



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

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;
CONSIDERACIONES TÉCNICAS
OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE
ZACAPA**

JORGE ESTUARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Asesorado por Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Guatemala, febrero de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;
CONSIDERACIONES TÉCNICAS OBTENIDAS EN EL
MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

JORGE ESTUARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL MSC. INGENIERO CIVIL

JORAM MATÍAS GIL LAROJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Guatemala, febrero de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodriguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO
HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS;
CONSIDERACIONES TÉCNICAS
OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE
ZACAPA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela Ingeniería Civil con fecha 03 de marzo de 2003.

Jorge Estuardo González González



Guatemala 25 de enero de 2005

Ingeniero

Pedro Antonio Aguilar Polanco.

Revisor de trabajo de graduación.

Escuela de Ingeniería Civil.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Aguilar

Por este medio le saludo y le hago saber que he revisado el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Jorge Estuardo González González carné numero 97-20269, titulado "PROTECCION DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS, CONSIDERACIONES TECNICAS OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALAN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA", este trabajo contó con la asesoría del suscrito. Por lo cual comparto responsabilidad de lo descrito como autor.

Trabajo en el cual se mencionan las consideraciones técnicas obtenidas para proteger la captación de agua del municipio de Gualán en el departamento de Zacapa, por lo cual el suscrito lo aprueba.

Atentamente.

Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Catedrático-asesor 15016

Ingeniero Civil.

Maestría en Ingeniería Sanitaria.

Colegiado No.2318



Guatemala 25 de enero de 2005

Ingeniera

Carmen Marina Mérida Alva.

Departamento de Hidráulica.

Escuela de Ingeniería Civil.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniera Mérida

Por este medio le saludo y le hago saber que he revisado el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Jorge Estuardo González González carné numero 97-20269, titulado "PROTECCION DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANTE DESASTRES Y EMERGENCIAS, CONSIDERACIONES TECNICAS OBTENIDAS EN EL MUNICIPIO DE GUALAN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA", este trabajo contó con la asesoría del suscrito. Por lo cual comparto responsabilidad de lo descrito como autor.

Trabajo en el cual se mencionan las consideraciones técnicas obtenidas para proteger la captación de agua del municipio de Gualán en el departamento de Zacapa, por lo cual el suscrito lo aprueba.

Atentamente.

Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

Catedrático-asesor 15016

Ingeniero Civil.

Maestría en Ingeniería Sanitaria.

Colegiado No.2318

ACTO QUE DEDICO A

Mis padres, Horacio y Virginia; por darme la vida y guiarme con sus sabios consejos.

Mis hermanos, Claudia, Roni (Q.E.P.D), Ximena y Gabriela; por estar siempre conmigo y apoyarme.

AGRADECIMIENTOS A

Dios, porque sin Él nada sería posible.

Eleonora Menegazzo; por creer en mí y en un proyecto de vida.

Mis amigos, en especial a Carlos Pinto, Antonio Juárez, Carlos Aldana, Patricia Pereira y Rolando Ríos; por su apoyo incondicional.

Ingeniero Joram Gil; por su tutela y paciencia en este trabajo.

Todas las personas que ayudaron en el proceso educativo de mi vida y a la Universidad de San Carlos de Guatemala; muy agradecido.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	X
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE MAYOR USO EN GUATEMALA.....	1
1.1. Fuentes de agua superficiales.....	1
1.1.1. Ríos.....	2
1.1.2. Lagos.....	3
1.1.3. Embalses.....	4
1.2. Fuentes de agua subterráneas.....	5
1.2.1. Nacimientos o manantiales.....	6
1.2.2. Pozos excavados o poco profundos.....	7
1.2.3. Pozos profundos.....	7
1.2.4. Galerías filtrantes.....	8
1.3. Agua de lluvia.....	9
2. EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA.....	11
2.1. Contaminantes urbanos potenciales.....	12
2.1.1. Aguas residuales domiciliarias.....	15
2.1.2. Aguas servidas industriales.....	17

2.1.3.	Aguas turbias producto de desastres naturales.....	19
2.1.3.1.	Contaminantes físicos debidos a desastres naturales.....	19
3.	DESASTRES NATURALES QUE AFECTAN LAS FUENTES DE AGUA.....	23
3.1.	Sismos o terremotos.....	27
3.1.1.	Consecuencias de los sismos en sistemas de agua potable	28
3.2	Huracanes.....	30
3.2.1.	Consecuencias de los huracanes en sistemas de agua potable.....	31
3.3.	Deslizamientos.....	32
3.3.1.	Consecuencias de los deslizamientos en sistemas de agua potable.....	34
3.4.	Inundaciones.....	34
3.3.1	Consecuencias de las inundaciones en sistemas de agua potable.....	36
3.5.	Sequías.....	37
3.3.2	Consecuencias de las sequías en sistemas de agua potable.....	37
3.4.	Erupciones volcánicas.	38
3.4.1	Consecuencias de las erupciones volcánicas en sistemas de agua potable.....	39

4.	PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA CONTRA DESASTRES NATURALES Y CONTAMINANTES URBANOS.....	43
4.1.	Especificaciones técnicas para la protección de fuentes de agua.....	45
4.1.1.	Normas de diseño para captaciones superficiales.....	46
4.1.1.1.	Tipos y normas de diseño de captaciones.....	47
4.1.1.2.	Normas de diseño para captaciones en lagos, lagunas y embalses.....	48
4.1.2.	Normas de diseño para captaciones de agua de manantiales.....	48
4.1.3.	Normas de diseño para galerías de infiltración...	49
4.1.4.	Normas de diseño para pozos excavados a mano.....	50
4.1.5.	Normas de diseño para pozos perforados por métodos mecánicos.....	51
4.2.	Especificaciones generales existentes en Guatemala para captaciones de agua.....	52
4.3.	Perímetros de seguridad por medio de áreas de riesgo de contaminación.....	53
4.3.1	Perímetros de protección en captaciones en capa subterránea.....	56
4.3.2	Perímetros de protección en captaciones superficiales.....	58

4.4.	Protecciones físicas.....	59
4.4.1.	Muros por gravedad.....	61
4.4.1.1	Muros por gravedad de concreto ciclópeo.....	63
4.4.1.2	Gaviones.....	65
4.4.2.	Muros perimetrales.....	69
4.4.2.1	Muros perimetrales de mampostería reforzada.....	70
4.4.2.2	Muros perimetrales prefabricados.....	72
5.	PROPUESTA DE DISEÑO DE MURO DE GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO, PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPTACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA.....	75
5.1	Datos generales del municipio de Gualán, departamento de Zacapa.....	78
5.2	Identificación, descripción y evaluación de los elementos que constituyen la captación de agua del municipio de Gualán.....	80
5.3	Otros elementos del sistema de agua potable de la cabecera municipal de Gualán.....	86
5.4	Mayores amenazas del área en Estudio: municipio de Gualán.....	89
5.5	Propuesta para la protección de la captación de agua de Gualán.....	100

CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES DE LA PROPUESTA DE PROTECCIÓN DE LA FUENTE DE AGUA.....	113
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	115
ANEXO 1 RECOPIACIÓN DE ESPECIFICACIONES GENERALES EXISTENTES PARA CAPTACIONES DE AGUA POTABLE.....	117
ANEXO 2 NORMAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES NR-4: 2001 REQUISITOS ESPECIALES PARA VIVIENDA Y OTRAS CONSTRUCCIONES MENORES.....	125
ANEXO 3 ANÁLISIS Y EL DISEÑO DE UN MURO POR GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO...	153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Flujograma del proceso para el análisis de vulnerabilidad de proyectos de agua y saneamiento	24
2	Ciclo natural de desastres sin planes de prevención y mitigación	26
3	Ciclo de los desastres aminorados con la presencia de planes de prevención y mitigación	26
4	Placas tectónicas en el continente americano	29
5	Sistema de fallas activas en la República de Guatemala	30
6	Matriz de los efectos e intensidades provocados por los eventos	41
7	Secciones transversales de muros por gravedad	61
8	Estimación de las dimensiones de un muro por gravedad	63
9	Ruta de acceso a la cabecera municipal de Gualán desde la ciudad capital de Guatemala	79
10	Ubicación de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa	80
11	Presa de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	82
12	Toma de agua de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	83

13	Canal de alivio, más canal de captación del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	84
14	Desarenador del sistema del abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa	86
15	Cobertura del sistema de distribución de agua de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa	88
16	Mapas de vulnerabilidad por sismo y mapa de vulnerabilidad por inundación	89
17	Diagrama de peso muerto del muro, por medio de sus centros de gravedad	105
18	Diagrama de presión bajo la base del muro	107
19	Fuerzas actuantes sobre el muro	153
20	Diagrama de presiones de un muro por gravedad	161
21	Componentes h y V de la presión activa	164
22	Distribución de presiones en la base del muro	165

TABLAS

I	Formato 1 MAV del sistema de agua potable Gualán	91
II	Formato 2A estimación para susceptibilidad de daño para huracán	93
III	Formato 2B estimación para susceptibilidad de daño para sismo	94
IV	Formato 2C estimación para susceptibilidad de daño para inundaciones	95
V	Formato 2D estimación para susceptibilidad de daño para deslizamientos	96
VI	Formato 4.8 estimación de medidas de mitigación del Componente operativo-administrativo	97
VII	Formato 4.8 estimación de medidas de emergencia del componente captación	98
VIII	Sumatoria de momentos aplicados al muro de concreto ciclópeo	105
IX	Varillas de refuerzo por números, las más usadas	128
X	Tabla dosificación del concreto	137
XI	Tabla relaciones agua/cemento	138
XI	Tiempo para remoción de formaleta	152

LISTA DE SÍMBOLOS

A/C	=	Relación agua / cemento, en peso
$P_{a\gamma}$	=	Empuje activo total
$P_{p\gamma}$	=	Empuje pasivo total
γ_c	=	Peso específico del concreto
γ_s	=	Peso específico del suelo
K_a	=	Coefficiente de presión activa
K_p	=	Coefficiente de presión pasiva
$Kg.$	=	Kilogramo
Kg/cm^2	=	Kilogramo / centímetro cuadrado
Kg/m^2	=	Kilogramo / metro cuadrado
Kg/m^3	=	Kilogramo / metro cúbico
L/s	=	Litro por segundo
$m^3/s.$	=	Metro cúbico por segundo
$Pulg$	=	Pulgada
Ton/m^2	=	Tonelada / metro cuadrado
UT	=	Unidad de turbiedad
μ	=	Coefficiente de fricción del suelo
Φ	=	Ángulo de fricción interna

GLOSARIO

Absorción	Capacidad de los materiales inertes, que componen el concreto, para fijar cierto número de moléculas de agua en la superficie de sus partículas.
ACI	Instituto Americano del Concreto
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería estructural y Sísmica.
Albuminoide	Grupo de aminoácidos de alto peso molecular y constitución compleja. Forma parte de las células animales y vegetales.
Cemento Pórtland tipo I	Cemento hidráulico que consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland y puzolana fina, dosificados de forma tal que la parte puzolánica no exceda el 15 por ciento de la masa total del cemento Pórtland modificado con puzolana.
Colmatación	Relleno de una cuenca sedimentaria.

Curado	Término usado para el proceso de promover la hidratación del cemento y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de humedad hacia dentro y fuera del concreto.
Deyecciones	Conjunto de materias arrojadas por un volcán o desprendidas de una montaña.
Encofrado	Recipiente de madera, metálico o de otro material, destinado a servir de molde, para la fabricación de un elemento de concreto.
Espectrofotómetros	Aparato para observar los espectros provistos de fotómetro que determinan, en cada punto, la intensidad relativa de las relaciones de dos espectros luminosos.
Fraguado	Es la acción del endurecimiento progresivo tanto del concreto como de las mezclas de cal y yeso.
Geomorfología	Rama de la geología que estudia el relieve terrestre y su evolución.
Infiltración	Penetración paulatina de un líquido entre los poros de un sólido.

INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
Lignina	Del término latino Lignum, que significa madera, así, las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las considera leñosas.
Mampostería	Obra hecha con piedras desiguales, ajustadas y unidas con argamasa, sin un orden establecido.
MAV	Metodología de análisis de vulnerabilidad.
Normas	Es el conjunto de disposiciones que regulan las pruebas y ensayos de los materiales y que son de un reconocimiento general.
Tanino	Sustancia astringente contenida en la nuez de agallas, en las cortezas de la encina, olmo, sauce y otros árboles, y en la raspa y hollejo de la uva y otros frutos.
UNEPAR	Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales.

RESUMEN

La protección de las captaciones de agua es vital dentro de un sistema de agua potable, debido a que de ésta depende la funcionalidad de los otros elementos. Debido a la gran cantidad de eventos naturales que ocurren en Guatemala se hace necesario una propuesta de obras complementarias para minimizar los daños provocados por un desastre natural a una captación de agua y asegurar así la continuidad del servicio después del mismo. Esta investigación menciona y clasifica los distintos tipos de captaciones de agua que se utilizan en Guatemala y los desastres naturales a los cuales están expuestas las mismas; también se mencionan las obras de protección que son necesarias, y se incluye las respectivas normas y especificaciones existentes en el país para su diseño y construcción.

En este trabajo también se propone el diseño de un muro de contención hecho con concreto ciclópeo, en uno de los taludes de la captación de agua potable que abastece a la cabecera municipal de Gualán, para evitar la caída de rocas a la misma, en caso de inundación o huracán; las cuales destruirían la presa, el canal de captación y el canal de alivio. Adicionalmente se menciona la metodología de análisis de vulnerabilidad para la captación en estudio y las tablas obtenidas respectivamente. Las normas y especificaciones que en Guatemala se usan son mencionadas en el capítulo cuatro y se detallan los incisos que deben utilizarse para la realización de obras hidráulicas relacionadas con la captación.

OBJETIVOS

- GENERAL

Proponer especificaciones técnicas para la protección de fuentes de agua para consumo humano ante emergencias y desastres y su respectiva aplicación.

- ESPECÍFICOS

1. Determinar los fenómenos naturales a los que está expuesta una fuente de agua.
2. Determinar sitios alternativos, en caso de que un evento natural llegara a afectar la fuente de agua, para que la población no se quede sin servicio de este vital líquido durante un tiempo prolongado.
3. Evaluar la captación de agua para el sistema de abastecimiento de aguas de la cabecera municipal de Gualán, departamento de Zacapa.
4. Proponer un diseño de una obra de protección para la captación del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán.

INTRODUCCIÓN

La conservación y mejoramiento de la calidad del agua de las fuentes destinada para el consumo humano es un punto importante dentro del área de la Ingeniería Sanitaria; al tomar esto en cuenta, es de vital importancia la protección de las fuentes de agua, de las cuales se abastecerá a las poblaciones. En nuestro país la mayoría de las fuentes o cuerpos receptores de agua no cuentan con protección adecuada ante los desastres naturales ni emergencias; de lo anterior se desprende que es necesario un estudio acerca del tipo de protección que se le debe de dar a una captación de agua, para evitar que la misma sea contaminada, dañada o destruida ante eventos de este tipo.

El presente documento enumera los principales desastres naturales que pueden afectar una captación y los cataloga de acuerdo a los tipos de daños que pueda ocasionar, tanto físicos como operativos y administrativos. En particular se analizó la captación de agua que abastece al municipio de Gualán, Zacapa, en donde se analizó cada uno de los componentes de la captación y se mencionan las normas de diseño y las especificaciones constructivas con las cuales se deben hacer los diferentes elementos que protegerán la captación.

Cabe mencionar que para este trabajo se hace uso de las normas y especificaciones existentes en el país, elaboradas por UNEPAR, INFOM y AGIES; y los comentarios de los ingenieros Alfredo Zsarata y Félix Aguilar, expertos en sistemas de agua potable. También se propone el diseño de un muro por gravedad, hecho con concreto ciclópeo para proteger a captación de agua potable del Municipio de Gualán, Zacapa.

1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE MAYOR USO EN GUATEMALA

1.1. Fuentes de agua superficiales

La mayor parte de las aguas provenientes de las precipitaciones; que no son más que el resultado de la caída de las aguas meteóricas a la superficie de la tierra, tanto de forma líquida como de forma sólida (granizo, escarcha), corrientes provenientes de la cima de montañas y volcanes, no se evaporan ni se infiltran en el suelo, sino que corren por la superficie, convirtiéndose así en ríos, que cuales casi siempre van hacia el mar o a un cuerpo receptor más grande como, lagos, lagunas, embalses, etc.

En términos hidrológicos, las fuentes de agua superficiales aportan agua a las cuencas, las cuales no son más que la superficie topográfica drenada por ríos y sus afluentes, de tal manera que toda esorrentía que nazca en el interior de esta superficie debe atravesar la sección normal considerada para continuar su trayecto hacia aguas abajo.

Las cuencas hidrológicas están separadas de sus vecinas por una línea llamada divisoria de aguas.

1.1.1. Ríos

La formación de los ríos se debe a los escurrimientos producidos por la precipitación y nacimientos de agua provenientes del subsuelo.

Los ríos son fuentes superficiales que llevan este exceso de agua a los océanos, por lo que también de les ha llamado líneas de drenaje natural. Son definidos como corrientes de agua que escurren de manera constante sobre su lecho, que acarrear un caudal variable, según la zona climática de la cuenca.

Cuando un río alcanza su menor caudal se habla de un estiaje, por el contrario, cuando alcanza un caudal mayor al habitual se habla de una crecida.

Las variaciones que sufre el caudal de un río durante el año están determinadas por su régimen. Aquellos ríos que aumentan su caudal durante la estación de las lluvias, que varía según la zona climática de la que se trate y de su cuenca o minicuenca, tienen un régimen pluvial. Además, hay ríos que se alimentan de diversas fuentes a lo largo del año, por lo que su caudal es mucho más estable: son los de régimen mixto.

En las zonas altas, donde hay grandes pendientes o barrancos estrechos y profundos, denominados quebradas, se producen cursos de agua intermitentes, pero de gran intensidad y alta velocidad durante la época de las lluvias o deshielos, que reciben el nombre de torrentes.

En Guatemala, los ríos son una importante fuente de agua para consumo humano, ya que las aguas son captadas de sus cauces para luego ser conducidas para este fin.

1.1.2. Lagos

Cuando el agua en vez de infiltrarse en el suelo o correr a través de una pendiente se deposita en zonas en las que el relieve está deprimido, forma, según su extensión y profundidad, un lago o una laguna.

Cuando solo se trata de una capa delgada de agua, invadida por una tupida vegetación acuática, se trata de un pantano.

Los lagos tienen un fondo plano y uniforme, pueden ser de agua dulce o salada en el caso de los ubicados en las zonas áridas y pueden variar mucho en su extensión y profundidad. Su oleaje depende del viento. El nivel de sus aguas varía de acuerdo al clima en el que se ubiquen. Son alimentados por ríos y manantiales, y casi todos desaguan a través de ríos denominados emisarios, por lo que también forman parte de la red de drenaje de las cuencas donde se encuentran. Cuando los lagos tienen un río emisario, su agua se mantiene dulce; pero cuando no tienen desagüe, generalmente la evaporación acaba por convertir sus aguas en saladas, como ocurre con el Mar Muerto y otros lagos llamados erróneamente mares.

Algunas de las funciones de los lagos son entregar agua limpia a sus ríos emisarios, ya que en el lago quedan depositados todos los sedimentos que traía el río que desembocó en ellos; cuando los ríos que llegan a los lagos aumentan su caudal, éste regula sus crecidas e impide inundación. Cuando el lago es muy grande, modera el clima de la región debido a la evaporación de sus aguas; su agua dulce sirve para la irrigación de cultivos; en la mayoría de los casos son vías de comunicación de fácil uso; también pueden ser importantes zonas de pesca. Los lagos ubicados en las zonas montañosas son generadores potenciales de energía hidroeléctrica; muchos son importantes zonas turísticas, como es el caso de los lagos Peten Itzá y Atilán.

1.1.3. Embalses

Los embalses son cuerpos de agua naturales formados con diques a través de valles cortados por las corrientes o artificiales, creados por el hombre.

Estos son el producto de la interrupción del cauce de un río; por medio de presas (llamadas así porque detienen o apresan el flujo del río), que sirven para generación de energía eléctrica, recreación, cultivos y para consumo humano. Los embalses permiten obtener energía en tiempos de estiaje y permiten tener agua disponible en tiempos de sequías prolongadas para el consumo de poblaciones cercanas a los mismos. Los embalses están sujetos a las mismas condiciones y cambios que las lagunas y lagos naturales.

El grado y carácter de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire.

En este tipo de reservorios, la mejor calidad de agua se encontrará a una profundidad mediana. El agua de la parte superior es propensa a crecimientos de algas y el agua del fondo puede tener un alto contenido de dióxido de carbono, hierro, manganeso y a veces sulfuro de hidrógeno, ya que este estrato es generalmente de condiciones anaeróbicas, es decir, sin presencia de oxígeno. En embalses profundos, el agua del fondo, además de anaeróbica, permanecerá fría durante todo el año, ya que la gran diferencia de densidad, con relación a la capa superior, no permite mezcla entre las diferentes zonas que conforman el cuerpo de agua.

1.2. Fuentes de agua subterránea

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con una gran cantidad de sustancias de naturaleza orgánica e inorgánica, algunas de ellas solubles en agua. Aguas de infiltración ricas en dióxido de carbono absorbido del aire o de materia orgánica en descomposición en el suelo, fácilmente propenden a la solubilización de compuestos que dan origen a la alcalinidad y dureza del agua contenida en tales reservorios.

En términos generales, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y mucho más duras y mineralizadas que el agua de superficie de la región en la cual se encuentran. Para que la absorción se produzca, es necesario que el terreno sea permeable, y que el relieve sea suave, para que no escurra. Son permeables la arena, arenisca y grava, y las rocas calizas, que tienen numerosas fisuras.

1.2.1. Nacimientos o manantiales

Cuando el agua subterránea aflora a la superficie se produce un manantial o como se conocen en Guatemala un nacimiento de agua. Aquellos que no siempre tienen agua, surgen de la zona de saturación intermitente; en cambio, los manantiales constantes emanan desde la zona de saturación permanente.

Los nacimientos alimentan el caudal de los ríos con aguas muy puras. Como las aguas subterráneas están impregnadas de sustancias minerales, poseen un sabor y olor característicos, por lo que son llamadas aguas minerales. Pueden ser alcalinas, sulfurosas, salinas, magnesianas o carbonatadas, dependiendo de los minerales que contienen.

En las regiones donde se ha producido fallas o están cercanas a actividad volcánica, las aguas subterráneas emergen a altas temperaturas y más mineralizadas. Estos manantiales se conocen como aguas termales.

1.2.2. Pozos excavados o poco profundos

El agua infiltrada deja de descender cuando se encuentra con una capa de rocas impermeables que permite su acumulación en la denominada capa freática o manto acuífero. La superficie de este manto constituye el nivel hidrostático.

En muchos lugares, este nivel se encuentra cercano a la superficie, lo que permite la extracción del agua por medio de la excavación de pozos poco profundos, en Guatemala, este tipo de pozos son excavados manualmente o de forma artesanal, son de gran utilidad en las zonas a las cuales no llega el agua potable. La zona en la cual las rocas se saturan o se secan, según asciende o desciende el nivel hidrostático, se denomina zona de saturación intermitente. En otros casos, se da que el nivel hidrostático está a gran profundidad, lo que varía de acuerdo a las precipitaciones. Si éstas son abundantes, se eleva por algún tiempo; si hay sequía, desciende.

1.2.3. Pozos profundos

En los casos en que el nivel hidrostático está a gran profundidad, se excavan pozos profundos para encontrarlo, para lo cual se hacen perforaciones mecánicas; este nivel variará según los niveles de precipitación y la permeabilidad de las capas que debe atravesar el agua. Si las precipitaciones son abundantes, el nivel del reservorio acuífero se eleva; en tiempos en que la precipitación es muy pobre, al igual que en los pozos excavados, el nivel de los mismos tiende a descender. La mayor profundidad a la que se ha encontrado agua subterránea es a tres kilómetros.

Más profundo es difícil, ya que por la gran presión las capas inferiores de la litósfera carecen de poros a través de los cuales pueda infiltrarse el agua.

En tanto que la zona de saturación permanente es aquella más profunda, por debajo de la cual nunca desciende el nivel del manto acuífero.

1.2.4. Galerías filtrantes

Son conductos horizontales con cierta pendiente, contruidos para interceptar y recolectar agua subterránea que fluya por gravedad. Generalmente se ubican paralelas a los lechos de los ríos para asegurar una recarga permanente. Las galerías o pozos filtrantes no son más que un medio para obtener agua a través de la filtración del suelo. Pueden ser hechos de manera artesanal o con taladro. Son captaciones de poca profundidad. Las galerías filtrantes son recomendadas para obtener agua en donde el caudal subterráneo tiene poca movilidad en las capas del subsuelo (debido a la permeabilidad o a la escases del agua). El interior de estos pozos y su base puede estar hecho de mampostería o de concreto, y cubierto por una tapadera de concreto armado o por medio de una cubierta abovedada.

1.3 Lluvia

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos o de cualquier otra superficie de agua es precipitada en forma de lluvia y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de las corrientes de agua que atraviesan las cuencas hidrológicas y lagos, el resto penetra en la tierra.

El almacenamiento de agua de lluvia para consumo humano se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficies o por la captación del agua que se ha infiltrado en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia, con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores decisivos en la formación de depósitos de aguas que eventualmente son usados como fuentes de abastecimiento. Las variaciones de estos factores afectan no solamente la cantidad disponible, sino también su calidad.

2. EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA

El agua pura, es decir, aquella constituida por la unión de una molécula de oxígeno con dos de hidrógeno, en sentido riguroso no existe en la naturaleza, pues por ser un solvente óptimo, nunca se encuentra en estado de absoluta pureza. Al estar en contacto con el suelo y la atmósfera, adquiere elementos o compuestos que desvirtúan su composición original, tanto desde el punto de vista físico, como químico y microbiológico. En la mayoría de los casos se requiere de análisis específicos de laboratorio para comprobar su presencia y concentración. Se puede afirmar que el agua posee una serie de impurezas, que le dan sus características físicas, químicas y biológicas y que su calidad depende de esas características. Por lo mismo se hace imprescindible la evaluación de la calidad del agua de las fuentes destinadas al consumo humano.

Las características de las aguas naturales no son estáticas y están sujetas a cambios, ya sea por condiciones naturales o por alteraciones producidas por el hombre. En términos generales, la calidad de una fuente de agua es inherente a su origen.

La contaminación del agua existe cuando una sustancia extraña a su composición provoca efectos perjudiciales al ecosistema y a los seres vivos. La calidad de las aguas naturales está íntimamente ligada al saneamiento global del medio.

Los niveles de contaminación varían según varios factores, entre los cuales se tienen el nivel de desarrollo en las comunidades o ciudades cercanas a la captación de agua (las cuales arrojan de forma directa o indirecta vertidos de aguas residuales); las industrias, las cuales, a pesar de su nueva conciencia ambiental, están tratando las aguas residuales antes de arrojarlas a cuerpos receptores; y por último la contaminación causada por los desastres naturales que arrastran hacia las fuentes de agua grandes cantidades de contaminantes agrícolas, prácticas de cultivos abonos, productos fitosanitarios, esparcimiento de las deyecciones animales, etc.; contaminantes urbanos, como depósitos de basura; contaminantes industriales, como residuos sólidos y líquidos provenientes de sus procesos; y finalmente, turbiedad causada por la presencia de sustancias en suspensión, es decir, sólidos suspendidos finamente divididos, en estado coloidal y de organismos microscópicos. La turbiedad es una característica propia de las aguas corrientes, siendo en general baja en las aguas en reposo. Para medir la turbiedad de las aguas se ha adoptado una unidad estándar arbitraria la cual relaciona la turbiedad causada por 1 mg SiO₂/l con una unidad de turbiedad (UT).

2.1. Contaminantes urbanos potenciales

Las actividades humanas generan una gran cantidad de residuos líquidos y sólidos, que pueden llegar a una fuente de agua para consumo colectivo; afectan su calidad, y por lo tanto causar serios daños a la salud de los usuarios de la misma, incluso pueden provocar la muerte.

La calidad de las aguas y el nivel de contaminación varía según el nivel de desarrollo en las sociedades. En los países en vías de desarrollo, la contaminación es causada principalmente por desechos humanos y animales, provenientes de sus actividades diarias.

Muchos países en vías de desarrollo, están en proceso de industrialización, y por lo tanto también están comenzando a producir contaminantes dañinos para las captaciones de agua. Los países industrializados, en cambio, sufren por la contaminación del agua debido a los extravagantes estilos de vida, a los desechos industriales que producen, y a que poseen una amplia gama de potenciales contaminantes peligrosos.

El agua constituye un elemento esencial para la vida animal y vegetal. Su papel para el desarrollo de la humanidad ha sido reconocido desde la antigüedad. Hipócrates (460-354 a. C.) afirmaba "La influencia del agua sobre la salud es muy grande".

El hombre requiere de agua de calidad adecuada y en cantidad suficiente para todas sus necesidades, libre de contaminantes de cualquier tipo.

La importancia sanitaria de los abastecimientos de agua es muy significativa: la implementación o mejora de los servicios de abastecimiento de agua trae como resultado una rápida y sensible mejoría en la salud y en las condiciones de vida de una comunidad, principalmente a través del control y prevención de enfermedades, de la promoción de hábitos higiénicos y del control de los desechos humanos e industriales.

La implementación de medidas de seguridad y prevención de contaminantes urbanos en las captaciones de agua, también tiene impacto económico, el cual se traduce en un aumento de la vida media de la población servida, en una disminución de la mortalidad en general y en particular de la infantil y en una reducción del número de horas perdidas por diversas enfermedades. Estos hechos se reflejan en un aumento sensible del número de horas de trabajo de los miembros de una comunidad, con el consiguiente aumento de producción.

El establecimiento de criterios para la determinación de la potabilidad de una fuente de agua (fuente libre de contaminantes), constituye un aspecto muy importante para el hombre.

En general, los núcleos urbanos se formaron inicialmente asociados a las posibilidades de obtener agua libre de calidad adecuada y libre de contaminantes. Pero, con el crecimiento de las ciudades, la provisión de agua potable se tornó problemática. Las fuentes tradicionales de aprovisionamiento se tornaron inadecuadas tanto en cantidad como en calidad. Los ríos se contaminan y los acuíferos subterráneos se agotan o se contaminan también.

El abastecimiento de agua se torna más difícil y costoso. La explotación de acuíferos se encarece por la necesidad de acceder a napas más profundas; se debe recurrir a ríos más lejanos, lo cual también implica el inconveniente de competir por el recurso, con otras poblaciones o por otros usos.

Se ha aceptado que las dos condiciones esenciales que ha de satisfacer el agua potable, aparte de la ausencia de sustancias tóxicas, son la absoluta pureza bacteriológica y la absoluta limpidez. Un agua turbia o coloreada no es potable y tampoco, evidentemente, un agua contaminada.

Cuando la calidad del agua cruda no reúne las características requeridas para satisfacer las necesidades, de acuerdo con el uso que se le pretenda dar, debe ser acondicionada mediante las operaciones y procesos que sean necesarios para obtener la calidad deseada, lo cual se lleva a cabo en las plantas de tratamiento. Este proceso podría ser evitado con tan solo proteger las captaciones de agua, haciendo valer la frase de “más vale prevenir que lamentar”.

Entre los contaminantes urbanos que afectan las captaciones de agua se pueden mencionar:

- Aguas residuales domiciliarias.
- Aguas servidas industriales.
- Aguas turbias producto de desastres naturales.

2.1.1. Aguas residuales domiciliarias

Éstas corresponden a las aguas utilizadas en las distintas actividades diarias del hogar, tales como limpieza, producción de alimentos, evacuación de excretas, etc., es decir, agua de desechos domésticos.

Las ciudades con alto grado de urbanización arrojan a ríos, lagos y otros cuerpos receptores, grandes volúmenes de aguas residuales, debido al uso doméstico del agua. La mayor parte de agentes contaminantes de las aguas residuales domiciliarias corresponden a los desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos. Estos tienen la propiedad de fermentar, es decir, se descomponen utilizando el oxígeno disuelto en el agua, a la cual llegan principalmente por los alcantarillados de las ciudades o por medio de drenajes abiertos, muy comunes en el área rural y en zonas marginales de Guatemala.

Se debe mencionar que dentro de las aguas residuales domiciliarias, también se encuentran agentes contaminantes de tipo químico y físico, aunque en menor proporción que los contaminantes biológicos.

La mayoría de los desechos orgánicos de tipo biológico son biodegradables, es decir, las bacterias que normalmente viven en el agua degradan o descomponen esta materia en sustancias más simples, haciendo uso del oxígeno presente en el agua, los cuales resultan menos dañinos que los no biodegradables.

El tratamiento de las aguas residuales domiciliarias no sólo tiene significado desde el punto de vista estético y urbanístico, sino también en la relación con la transmisión de enfermedades, ya que éstas transportan agentes patógenos, virus, bacterias, etc., las cuales afectan la salud humana y el entorno de la flora y fauna circundante.

Una disposición y tratamiento adecuado de las aguas residuales domiciliarias puede mitigar los índices de enfermedades y evitar la contaminación de las fuentes de agua.

2.1.2. Aguas servidas industriales

Para la mayoría de los procesos industriales es necesario utilizar agua y por lo tanto el agua servida debe ser dispuesta en algún momento hacia algún cuerpo receptor. El agua de desecho proveniente de las industrias, como fábricas de textiles y maquilas, licoreras, procesadoras químicas, etc., contiene altas cantidades de contaminantes de tipo biológico, químico y físico. Entre los cuales se pueden mencionar:

- **Contaminantes biológicos:** el término contaminantes orgánicos es aplicable a un número de constituyentes de origen animal o vegetal, que pueden indicar una polución reciente o remota. Se incluye en este ítem la materia orgánica, en general y el nitrógeno, en sus diversas formas orgánico, amoniacal, albuminoide, nitroso y nítrico. La presencia del nitrógeno en cualquiera de sus formas es muy importante por cuanto puede ser indicio de presencia de contaminación bacterial.

Los nitratos resultan tóxicos cuando se presentan en cantidades excesivas en el agua potable, y en algunos casos causa metahemoglobinemia en lactantes alimentados con biberón. Existe la posibilidad de que ciertas formas de cáncer pudieran asociarse con concentraciones muy elevadas de nitratos.

- **Contaminantes químicos:** son los compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que llegan al agua provenientes de las actividades, industriales y agropecuarias.

Entre los contaminantes químicos-orgánicos destacan los hidrocarburos derivados del petróleo y los compuestos sintéticos o creados por el hombre, tales como plaguicidas, solventes industriales, aceites, detergentes y plásticos. Estos, generalmente, no suelen ser biodegradables, razón por la que se mantienen en el agua por mucho tiempo.

Entre las sustancias inorgánicas están las del origen mineral, sales de metales pesados y metales de mercurio y de arsénico, como el salitre.

- **Contaminantes físicos:** son los materiales sólidos e inertes que afectan la transparencia de las aguas, como basuras, polvo y arcillas. También son contaminantes físicos, por una parte, los vertidos de líquidos calientes, que modifican la temperatura del agua de los ríos y de los lagos, y ponen en peligro la vida de la flora y fauna acuáticas, y por otra, las sustancias radioactivas que provienen de hospitales, laboratorios y centrales nucleares.

Por la complejidad de los contaminantes y la diversidad de industrias existentes en Guatemala, este estudio se limitará a mencionar sólo algunos de estos.

Debido a que se requiere de un estudio aparte para cada una de las industrias y sus respectivos desechos, ya que al mismo tiempo está subdividido en distintas áreas que requieren la intervención de profesionales de ingeniería química, sanitaria e ingeniería civil.

2.1.3 Aguas turbias producto de desastres naturales

Estas aguas son de especial importancia dentro de este estudio, debido a que los contaminantes se abren camino hacia la captación de agua, por medio de los desastres naturales, por ejemplo huracanes, inundaciones, deslaves, terremotos, etc.

En nuestro medio es muy común que las captaciones de agua tengan actividad doméstica o industrial, aguas arriba de la misma. Por ello las corrientes, deslaves o filtraciones a través del suelo, llegan a la captación de agua, contaminándola de manera física, química y bacteriológica.

2.1.3.1. Contaminantes físicos debidos a desastres naturales

Entre estos contaminantes se puede mencionar turbiedad, color; materiales sólidos, como rocas de pequeño y gran tamaño; troncos de árboles; ramas; basura; y por último contaminantes que pueden cambiar el olor y sabor del agua.

Los sólidos depositados en captaciones de agua son sumamente peligrosos para la integridad de los elementos que componen la captación, debido a que los mismos son arrastrados y chocan bruscamente contra muros, disipadores, tuberías, rejillas, etc., dependiendo de los elementos estructurales que la captación posea. De aquí la importancia de la protección física de las fuentes de agua, tema principal de este trabajo.

En la actualidad varias instituciones están preparando metodologías aplicables a la protección de las captaciones de agua contra desastres y emergencias. Entre las instituciones que están implementando este tipo de medidas están: la Organización Mundial de la Salud, OMS; la Organización Panamericana de la Salud, OPS; y la Comisión Nacional de Reducción de desastres, CONRED.

En cuanto al color, las aguas superficiales son a menudo coloreadas cuando han tenido contacto con desperdicios orgánicos, tales como hojas y demás material vegetal en estado de descomposición, pero se considera que el mayor aporte de color a las aguas superficiales es debido a los taninos y a los ácidos húmicos provenientes de la descomposición de la materia orgánica. También puede provenir de la presencia de metales como el hierro y el manganeso o de desechos industriales de color intenso. De acuerdo con lo anterior existen dos clases de color tomando en cuenta su origen: el orgánico y el inorgánico.

Esta característica puede estar presente en dos formas conocidas como color aparente y color verdadero.

El color aparente es causado por materias en suspensión. Las partículas que lo causan están cargadas negativamente y su remoción se efectúa por medio de coagulación, mientras que el color verdadero, es causado por sustancias disueltas que, en la gran mayoría de los casos son de naturaleza orgánica. Su remoción es muy compleja.

La determinación del color se hace por medios colorimétricos. La unidad de color (UC) es la que se obtiene agregando 1 mg de platino como cloroplatinato de potasio a un litro de agua destilada. Debido a lo complejo de la elaboración de patrones se han desarrollado diferentes instrumentos de medición que utilizan discos con vidrios coloreados, o equipos más precisos aún, como los espectrofotómetros.

Aunque el color del agua no necesariamente es un indicador de contaminación, el usuario asocia el mismo con ella. Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que actualmente muchas industrias, como el caso de las textiles, requieren agua libre de color.

La turbiedad se debe en cambio a la presencia de sustancias en suspensión o sea de sólidos suspendidos finamente divididos, en estado coloidal y de organismos microscópicos.

La turbiedad es una característica propia de las aguas corrientes, es en general baja en las aguas en reposo.

La medición de la turbiedad puede hacerse por métodos visuales o instrumentales. El método visual relaciona la turbiedad con la interferencia causada por las partículas al paso de la luz.

El método instrumental hace uso de la nefelometría para medir la intensidad de la luz dispersa por las partículas que causan la turbiedad. Debido a las diferencias en ambos métodos, el método instrumental se expresa en términos de Unidades de Turbiedad Nefelométrica (UTN) y el método visual en términos de UT. Este último método hace uso del turbidímetro de Jackson, considerado hoy en día obsoleto si se compara con los equipos instrumentales de que se dispone, pero aún se usa en algunas regiones.

En cuanto al sabor y al olor, las dos características se consideran en conjunto, pues generalmente una sensación de sabor proviene de la combinación del gusto y el olor; son características que provocan sensaciones subjetivas en los órganos sensitivos del olfato y a el paladar, causadas por la existencia de sustancias como materia orgánica en descomposición, residuos industriales, gases disueltos, algas, etc.

El sabor y el olor son características que pueden estar presentes en aguas corrientes, o en reposo después de la actividad de un desastre natural. Las aguas subterráneas rara vez poseen características de sabor y olor perceptibles, a menos que tengan sales disueltas en exceso.

Las alteraciones del sabor normal del agua de un sistema de abastecimiento, pueden ser un indicio de cambios de la calidad de la fuente de agua natural o deficiencias del tratamiento.

3. DESASTRES NATURALES QUE AFECTAN LAS FUENTES DE AGUA

Los desastres naturales se pueden definir como eventos que ocurren de forma súbita, o de forma lenta, que tienen su origen en fenómenos naturales, los cuales causan daños y pérdidas económicas. Los desastres son de dos tipos:

- Geológico
- Meteorológico.

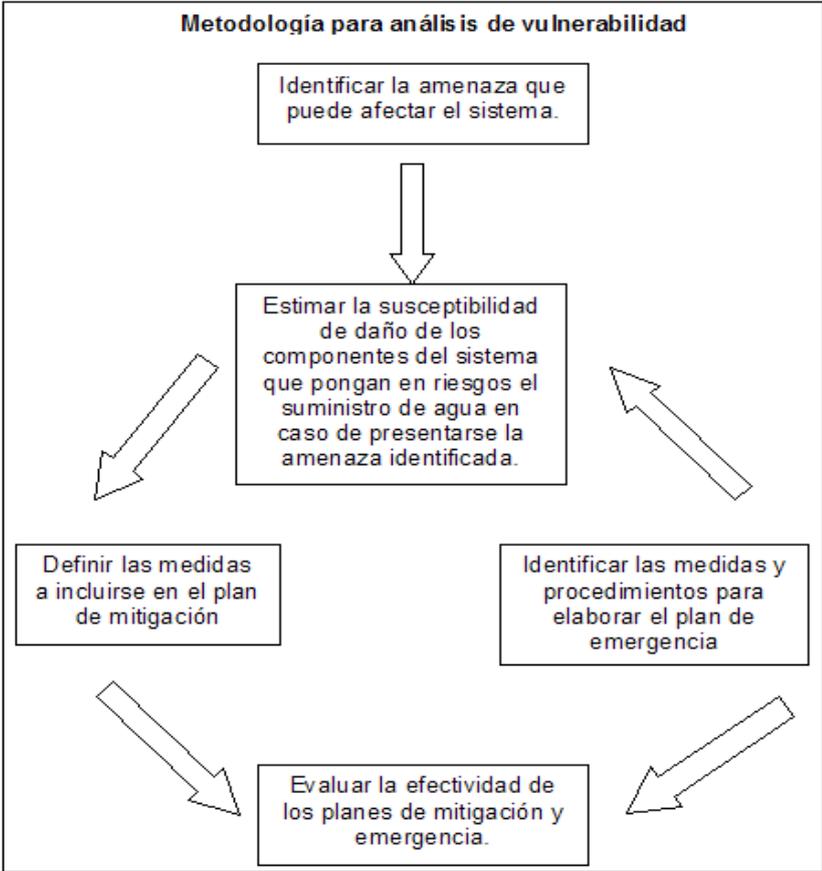
Estos pueden estar interrelacionados y sus efectos magnificados. Por ejemplo, los sismos provocan deslizamientos, los cuales a su vez ocasionan represamiento de ríos e inundaciones progresivas aguas arriba; y la rotura de represas causa inundaciones turbulentas y crecidas aguas abajo.

El impacto causado por los desastres naturales sobre las captaciones de agua y sus componentes, puede ser muy variado y dependerá principalmente de la magnitud y localización del fenómeno natural y de la vulnerabilidad del sistema y sus componentes, tanto en el aspecto físico, como en el operativo, administrativo y organizativo. El impacto de los desastres naturales es directo en los componentes físicos del sistema e indirecto en los aspectos organizativos, administrativos y en la capacidad de operación.

El buen manejo y estudio de los desastres, permite también desarrollar los programas de planificación de operaciones, capacitación, entrenamiento y acciones de simulación.

En el caso de Guatemala, que es constantemente afectada por los desastres naturales, se hace necesario implementar una metodología para análisis de vulnerabilidad, a efecto de identificación, susceptibilidad de daño en los componentes del sistema, plan de emergencia y mitigación ante un desastre natural.

Figura 1. Flujograma del proceso para el análisis de vulnerabilidad de proyectos de agua y saneamiento



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 7

Según la Organización Panamericana de la Salud, de acuerdo a su origen, las amenazas pueden ser de dos tipos:

- Las naturales, provenientes de fenómenos físicos atribuibles a la naturaleza
- Las humanas, provenientes de la acción del hombre

Entre estas dos fuentes de amenazas, se puede dar una interrelación, ya que algunas amenazas naturales y sus efectos pueden ser magnificados.

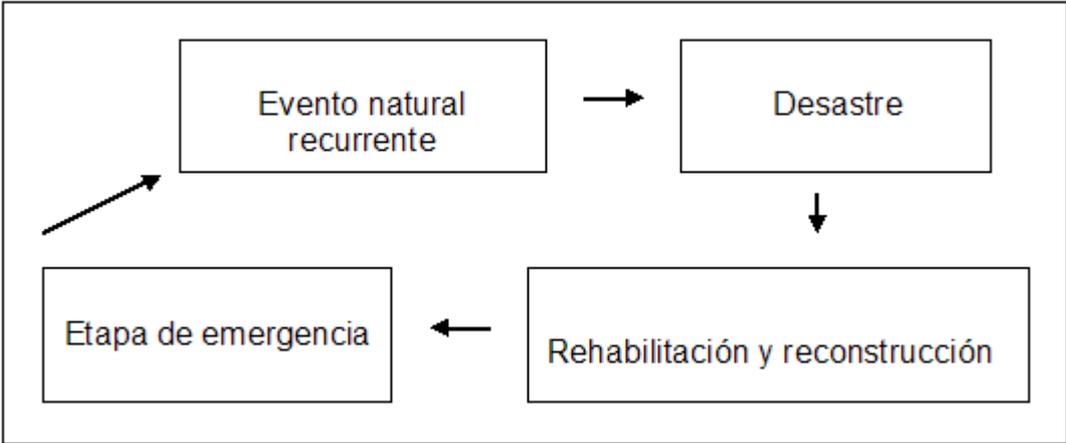
Lo importante de las amenazas es que éstas al momento de presentarse pueden tener efectos adversos al sistema, y como consecuencia de ello pueden provocar una emergencia o desastre a la población, y por ende al sistema de agua.

Entre los desastres naturales que se presentan con mayor frecuencia y que afectan a los sistemas de agua potable están los siguientes:

- Sismos o terremotos
- Huracanes
- Deslizamientos
- Inundaciones
- Sequías
- Erupciones volcánicas

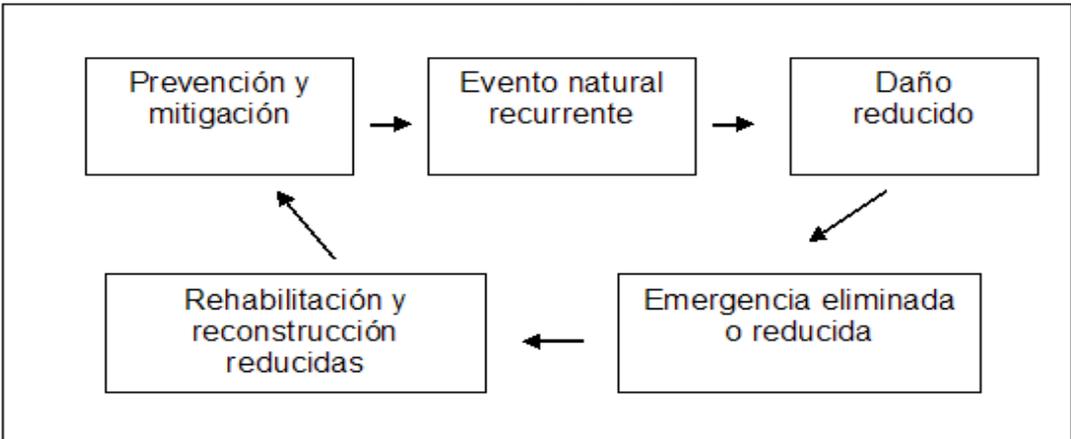
En el contexto nacional, la Coordinadora Nacional para la Reducción de desastres CONRED, ha contemplado el ciclo de desastres para llevar a cabo planes efectivos de prevención y mitigación, esquematizados en las etapas siguientes:

Figura 2. Ciclo natural de desastres sin planes de prevención y mitigación



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 34.

Figura 3. Ciclo de los desastres aminorados con la presencia de planes de prevención y mitigación



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 34.

3.1. Sismos o terremotos

Los movimientos de la corteza terrestre, principal origen de los terremotos, generan deformaciones en las rocas del interior de la tierra y acumulan energía que es liberada súbitamente en forma de ondas que sacuden la superficie.

Representan una de las más serias amenazas, debido a su gran potencial destructivo, su amplia zona de afección y, además, a la imposibilidad de predecirlos.

Los principales efectos de un terremoto, dependiendo de su magnitud, son:

- Fallas en las rocas y en el subsuelo
- Hundimientos en la superficie del terreno
- Derrumbes, deslizamiento de tierra y avalanchas de lodo
- Licuación o licuefacción

Los terremotos son calificados por su magnitud y por su intensidad. La magnitud sísmica se refiere a la energía liberada, que suele medirse por la escala logarítmica de Richter (Ms). La intensidad de los sismos se mide según el grado de destrucción que produce y se utiliza, normalmente, la escala modificada de Mercalli, que va de 1 (intensidad detectada por instrumentos muy sensibles) hasta 12 (daño total).

La importancia y características de los daños están relacionadas con la magnitud del terremoto y la extensión geográfica, el diseño antisísmico de las obras y su calidad constructiva, si como con la calidad del terreno donde se sitúan las obras.

Un sismo de magnitud determinada, tiene varias intensidades, según la ubicación con respecto al epicentro, las características propias de la geomorfología del lugar, así como de los materiales empleados en la infraestructura.

3.1.1 Consecuencias de los sismos en sistemas de agua potable

Entre las consecuencias que los sismos pueden tener sobre los sistemas de agua potable, destacan:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Roturas de tuberías (conducción y distribución), daños en las uniones entre tuberías o con tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción del fluido eléctrico, comunicaciones y vías de acceso.
- Modificación de la calidad del agua cruda debido a deslizamientos.
- Variación (disminución) de caudal de las captaciones subterráneas y superficiales.
- Cambio de sitio de salida de aguas de manantiales y/o cambio de nivel de capa freática.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.

- Introducción de agua marina en acuíferos costeros.

Guatemala está en una zona altamente sísmica debido a que aquí convergen las placas del Caribe, la placa de Norte América y la placa de Cocos, esto se puede ver mejor en las siguientes gráficas:

Figura 4. Placas tectónicas en el continente americano



Fuente: Monzón Despang Héctor. Formación geológica del valle de Guatemala y los sismos. Pág. 20.

Figura 5. Sistema de fallas activas en la República de Guatemala



Fuente: Monzón Despang Héctor. Formación geológica del valle de Guatemala y los sismos. Pág. 20.

3.2 Huracanes

Según sea la velocidad del viento, estos fenómenos se denominan depresiones tropicales (hasta 63 Km./h) y acompañado por cambios de presión atmosférica; tormentas tropicales cuando el viento es de 64 a 119 Km./h y acompañado de aguaceros intensos o huracanes cuando el viento alcanza una velocidad superior a los 120 Km./h y va acompañado por fuertes lluvias e importantes diferencias de presión atmosférica.

El huracán se origina al interaccionar el aire caliente y húmedo que viene del océano con el aire frío; estas corrientes giran y se trasladan a una velocidad entre 10 y 50 Km./h, con una trayectoria totalmente errática. Sin embargo, actualmente se manejan algunos modelos que pueden definir una posible trayectoria, que da una idea básica y que se va ajustando conforme avanza el evento.

Los huracanes pueden provocar daños en:

- Líneas de tendido eléctrico, incluso la falla de postes y torres de alta tensión, como consecuencia de los fuertes vientos ligados a los mismos.
- Infraestructura aledaña a cursos de agua
- Daños en viviendas por efecto de los fuertes vientos, sobre todo en zonas costeras.
- Incremento en la precipitación que puede dar lugar a las inundaciones totales en ciudades.

3.2.1. Consecuencias de los huracanes en sistemas de agua potable

En general, los daños en los sistemas de agua y saneamiento debido a este tipo de fenómenos son los siguientes:

- Daños parciales o totales en las instalaciones, puestos de mando y edificaciones, tales como rotura de vidrios, techos, inundaciones, etc.
- Roturas de tuberías debido a torrentes en pasos expuestos, tale como ríos y quebradas.
- Roturas y desacoples en tuberías en zonas montañosas, debido a deslizamientos y torrentes de agua.
- Roturas y daños en tapas de tanques y reservorios.
- Daños en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

3.3 Deslizamientos

Los deslizamientos se producen como resultado de cambios súbitos o graduales en la composición, estructura, hidrología o vegetación en un terreno en declive o pendiente.

En muchos casos están íntimamente ligados a amenazas primarias, como el caso de un terremoto, o por saturación de aguas producto de un huracán o lluvias intensas. Así mismo, en zonas urbanas se asocian a la acción del hombre, como por ejemplo la dotación del servicio de agua potable en comunidades ubicadas en zonas pendientes y suelos inestables, que pueden provocar un deslizamiento como consecuencia del exceso de humedad debido a fugas en los sistemas.

El caso es crítico cuando se suministra agua potable sin dotar, al mismo tiempo, de los respectivos servicios de alcantarillado.

La magnitud del impacto de los deslizamientos depende del volumen de masa en su movimiento y en su velocidad, así como de la extensión de la zona inestable, y de la disgregación de la masa en movimiento.

Los deslizamientos van acompañados generalmente por signos precursores, tales como grietas y ondulaciones del terreno.

Las afecciones más comunes se presentan en:

- Carreteras con cortes del terreno y zonas de alta pendiente.
- Alteración en el flujo normal de las corrientes de agua superficial (ríos y quebradas), presentándose represamientos (acumulación de agua), los que con una ruptura abrupta pueden provocar el desplazamiento de grandes volúmenes de agua o lodo.
- Hundimientos y desplazamientos de terrenos, con afecciones a estructuras como viviendas, escuelas, carreteras, etc.

3.3.1. Consecuencias de los deslizamientos en sistemas de agua potable

Los efectos que son de prever como consecuencia de deslizamientos en zonas donde se encuentran ubicados los componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Cambios en las características físico/químicas del agua cruda que dificulta su tratamiento.
- Destrucción total o parcial de todas las obras, en especial de las de captación y conducción ubicadas sobre o en la trayectoria de deslizamientos activos.
- Contaminación del agua en áreas de captación superficial de zonas montañosas.
- Impactos indirectos debido a la suspensión de caminos, servicio eléctrico y comunicaciones.
- Taponamiento de los sistemas de alcantarillado por acumulación de lodo y piedras.

3.4 Inundaciones

Las inundaciones se presentan como resultado de lluvia excesiva o del crecimiento anormal del nivel del mar, así como por la rotura de presas y diques.

Cada vez es más frecuente observar inundaciones ocasionadas por la intervención del hombre, como consecuencia de la degradación del medio ambiente, la deforestación y el inadecuado uso de la tierra. Por otra parte, existen inundaciones propias de las condiciones de las cuencas debido a su geomorfología, climatología, etc.

La magnitud de los efectos que se pueden producir por las inundaciones está relacionada con el nivel que alcanzan las aguas, su velocidad y el área geográfica que cubra. Otros factores de importancia son la calidad del diseño de las obras y la calidad del terreno donde éstas se ubican.

Los daños que habitualmente originan las inundaciones son:

- Daño parcial o total de viviendas situadas en las proximidades del cauce de los ríos.
- Inundaciones de áreas que pueden llegar a ser ciudades o poblaciones completas, construidas en zonas de baja pendiente, con alteración de la actividad económica y de servicios.
- Zonas anegadas, con baja pendiente, en las que normalmente se prolonga la situación al generarse áreas propicias para vectores transmisores de enfermedades.

3.4.1 Consecuencias de las inundaciones en sistemas de agua potable.

En resumen, los principales efectos de las inundaciones en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento son:

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos y quebradas.
- Daños en estaciones de bombeo cercanas a cauces.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio de cauce del afluente.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de río y quebradas.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.
- Introducción de agua marina en los acuíferos continentales, lo que implica la disminución de agua subterránea o su contaminación.

3.5 Sequías

Son períodos secos prolongados en ciclos climáticos naturales, originados por un conjunto complejo de elementos hidrometeorológicos que actúan en el suelo y la atmósfera.

La sequía no se inicia necesariamente cuando deja de llover, puesto que en ese caso podría disponerse de agua almacenada en presas o en el subsuelo para mantener el balance hídrico durante algún tiempo.

En general, entre los efectos de la sequía se pueden citar:

- Disminución de la lluvia, con la consiguiente reducción de aguas superficiales en los cursos y el riesgo de pérdidas para la agricultura y ganadería que esto conlleva.
- Alteración de la fauna en las zonas influidas por los cursos de agua afectados.
- Alteraciones en el nivel de vida de poblaciones, consecuencia del perjuicio sufrido en su actividad económica.

3.5.1. Consecuencias de las sequías en sistemas de agua Potable

Los efectos posibles en los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado son:

- Pérdida o disminución de agua superficial o subterránea.
- Disminución de los niveles de agua en las zonas de captación.
- Necesidad de suministro de agua mediante camiones cisterna, con la consiguiente pérdida de calidad y aumento de costos.
- Abandono del sistema.
- Acumulación de materia sólida en los sistemas de alcantarillado.

3.6. Erupciones volcánicas

Las erupciones son el paso de material (magma), cenizas y gases del interior de la tierra a la superficie. El volumen y magnitud de la erupción variará dependiendo de la cantidad de gas, viscosidad del magma y la permeabilidad de los ductos y chimeneas. La frecuencia de estos fenómenos es muy variable, ya que algunos volcanes tienen erupciones continuas mientras que en otros transcurren miles de años de intervalo.

Existen dos clases de erupciones que originan las amenazas volcánicas:

- **Erupciones explosivas:** se producen por la rápida disolución y expansión del gas que desprenden las rocas fundidas cuando éstas se aproximan a la superficie.

- **Erupciones efusivas:** el flujo de materiales, y no las explosiones en sí, constituyen la mayor amenaza. Los flujos varían en naturaleza (fango, ceniza o lava) y cantidad.

Una erupción volcánica es susceptible de generar diferentes desastres, ligados entre sí, que pueden provocar consecuencias mayores que las mismas erupciones. Entre estos se puede mencionar:

- Efectos sísmicos provocados por acción volcánica.
- Inundaciones y deslizamientos de tierra o lodo, producidos por el calentamiento del terreno y por las vibraciones locales.
- La erupción propiamente, que puede tener cenizas, polvo o gases, rocas o piedras y lava.

3.6.1. Consecuencias de las erupciones volcánicas en sistemas de agua potable

Los principales efectos de las erupciones volcánicas en sistemas de agua potable y saneamiento son los siguientes:

- Destrucción total de las instalaciones en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.

- Obstrucción por las cenizas en obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros.
- Modificación de la calidad del agua en captaciones superficiales y en reservorios abiertos debido a la caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de deposición de lahares.
- Destrucción de caminos de acceso y los componentes y líneas de transmisión de energía eléctrica y comunicación.
- Incendios.
- Falla de estructuras civiles por acumulación de cenizas.

En el siguiente cuadro se presente un resumen de los efectos que los desastres naturales pueden tener sobre los sistemas de agua potable y agua residual. Se incluye, así mismo, una clasificación del posible grado de afectación.

Figura 6. Matriz de los efectos e intensidades provocados por los eventos

	Sismo	Erupción volcánica	Deslizamiento	Huracán	Inundación
Fallos estructurales en la infraestructura de los sistemas					
Ruptura de tuberías					
Obstrucciones en captaciones, desarenadores, plantas de tratamiento y tuberías de conducción					
Contaminación biológica y química de las aguas para abastecimiento					
Reducción cuantitativa de la producción de las fuentes de agua para abastecimiento					
Interrupción del servicio eléctrico, comunicación y vías de acceso					
Escasez de personal					
Escasez de equipo, repuestos y materiales					

Simbología

	Afectación alta
	Afectación moderada
	Afectación mínima

Fuente: **OPS/OMS 2001. Emergencias y Desastres en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento**

4. PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA CONTRA DESASTRES NATURALES Y CONTAMINANTES URBANOS

Las municipalidades locales, son en general, responsables de la calidad de las aguas distribuidas a la población a la cual sirven. Deben asegurarse que éstas se destinen permanentemente a dicho uso. Es mucho más fácil suministrar a la población aguas de calidad satisfactoria cuando se utilizan recursos de los que se está seguro que están, en principio, exentos de cualquier tipo de contaminación, ya sea de tipo humano o proveniente de un desastre natural. Una de las condiciones para mantener la calidad natural de las aguas es la puesta en marcha de una política activa y voluntarista de protección de las captaciones ante desastres naturales y contaminantes provenientes de la actividad humana circundante.

Tanto en el plano cualitativo como en el cuantitativo, el agua es un problema esencial para el desarrollo de las comunidades en nuestro país. La conservación y la mejora de la calidad del agua destinada a la población constituye una importante preocupación para los entes encargados de velar por esto, en el caso de Guatemala las primeras responsables son las corporaciones municipales.

La protección de las captaciones de agua es una condición previa e indispensable para dar a la población servida aguas de excelente calidad, libre de cualquier tipo de contaminante, proveniente de actividad humana, animal o desastre natural.

La calidad de las aguas naturales está íntimamente ligada al saneamiento global del medio. En resumen se puede decir que la protección de las captaciones de agua contra cualquier agente contaminante, en este caso una emergencia o desastre natural, es indispensable para garantizar la distribución de agua a la población. Con un servicio y calidad satisfactoria, sin necesidad de invertir enormes cantidades de dinero en procesos previos de saneamiento de la misma.

Se debe recordar que el agua destinada al consumo humano debe cumplir exigencia de calidad, cuyos valores se fijan generalmente a partir de valores guía de la OMS. Se deben respetar las normas de higiene relativas a las instalaciones de producción, tratamiento o distribución, con objeto de suministrar de forma permanente a la población agua sanitariamente segura. La puesta en marcha de medidas de protección forma parte de estas obligaciones. Se protegerán contra las contaminaciones todos los puntos de agua explotados para la distribución pública.

La protección de las captaciones de agua se inscribe en una diligencia conjunta, priorizada por la OMS, con vistas a:

- Garantizar el servicio de agua potable.
- Proteger la salud de las generaciones presentes y venideras.
- Garantizar un desarrollo sostenible del planeta preservando los recursos.
- Prevenir en vez de curar.

Especificaciones técnicas para la protección de fuentes de agua

Para la protección de las captaciones de agua son necesarias varias obras de infraestructura que permitan resguardar las mismas de emergencias y desastres, que de una u otra forma no permitirán que agua de calidad sea distribuida a la población o en el peor de los casos ésta no sea en absoluto distribuida.

Otro punto importante a tomar en cuenta para la protección de las captaciones, tanto superficiales como subterráneas, son las medidas sanitarias que se tomen para este fin. Entre las normas de diseño para la captación de agua se tendrán en cuenta las siguientes condiciones de diseño:

- Las estructuras garantizarán seguridad, estabilidad y funcionamiento en todos los casos.
- Para cualquier condición de la fuente, garantizarán protección contra la contaminación y entrada o proliferación de raíces, algas y otros organismos indeseables.

- Se impediría al máximo la entrada de arena y materiales en suspensión y flotación.

4.1.1. Normas de diseño para captaciones superficiales

El sitio de la captación debe llenar, en lo posible, las siguientes condiciones:

- Ubicarse en los tramos rectos o en la orilla exterior de las curvas, cuando se trate de cursos de agua, el sitio escogido deberá proporcionar protección contra el ingreso de material flotante a las obras futuras.
- Ubicarse de tal manera que la corriente no amenace la seguridad de la estructura a construir.
- Deberá aislarse para impedir el acceso de personas y animales por medio de perímetros de seguridad.
- Ubicarse en lugares donde no se formen bancos de arena (asolvamiento).

Estas normas se pueden consultar en la guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales UNEPAR, segunda revisión, junio de 1997, Pg. 24.

4.1.1.1. Tipos de captaciones

Se distinguen varios tipos de captaciones superficiales, las más comunes son la bocatoma de fondo o sumergida y la captación lateral.

Bocatoma de fondo: estructura estable, localizada en la corriente de agua, perpendicular a ella y provista de rejilla metálica que permita dar entrada al agua y retener los materiales de acarreo de cierto tamaño. La inclinación de la misma deberá ser de 60 grados.

La colocación de la rejilla debe permitir su limpieza manual y su reemplazo. El área libre será de 150 a 200% del área de flujo que protege. La rejilla será de hierro fundido, de barras paralelas entre sí, colocadas en el sentido de la corriente y espaciadas de 1 a 2 cm, asegurada con tornillos de bronce u otro dispositivo similar.

No se aceptan mallas por la dificultad para su limpieza. Las velocidades de aproximación de entrada de la rejilla serán tales que no permitan sedimentación ni acumulación de materias extrañas en ella, justificando su diseño con los cálculos respectivos. Ver especificaciones constructivas del INFOM EAC-01, EOC-41, EOC-42 en el anexo 1.

Captación lateral: se recomienda cuando el régimen de la corriente no es torrencial y el caudal es significativo, es decir, mayor de 1 m³/seg. Las captaciones se proveerán de válvulas, desagües, rebalse y caja de inspección con tapa sanitaria.

Ver especificaciones constructivas de INFOM EAC-01, EOC-41, EOC-42, EOC 43, en el anexo 1, y en las normas AGIES NR4 4.2 a 4.6, también en las normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable de UNEPAR Pg. 17 .

4.1.1.2. Normas de diseño para captaciones en lagos, lagunas y embalses

- La toma se hará lo más lejos de la orilla que sea posible.
- La cota invert de la entrada a la toma no debe estar a menos de 1.50 m. del fondo y cuando sea posible a 3.00 m. del nivel mínimo de la superficie del agua.

Ver normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable de UNEPAR Pg. 17 y 18.

4.1.2 Normas de diseño para captaciones de agua de manantiales

Las captaciones de agua provenientes de manantiales, se diseñarán de tal manera que se garantice el libre flujo hacia un tanque de recolección.

- El tanque o caja de recolección será construido de material impermeable ,de tal manera que de completa protección sanitaria.

- Se colocará una cuneta interceptora para evitar la entrada de agua de escorrentía.
- Se protegerá con cercos de seguridad.

Una condición técnica necesaria para este tipo de captaciones será la de evitar el ahogamiento del manantial no forzando la altura de descarga del mismo (Ing. Alfredo Zsarata INFOM 2,005), ver también las especificaciones constructivas del INFOM EAC-01, EOC-41, EOC-42, EOC 43, y las normas AGIES NR4 4.2 a 4.6. También las normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable de UNEPAR, Pg. 18.

4.1.3. Normas de diseño para galerías de infiltración

Se construyen con tuberías de diámetro tal que garanticen la capacidad requerida, que se colocarán a junta perdida o tendrán perforaciones convenientemente diseñadas para captar el caudal necesario.

- Estarán recubiertas con material adecuadamente graduado, teniendo en
- cuenta la granulometría del material del acuífero y las características del agua.
- La distribución del material graduado que va encima del tubo colector será de 20 cm de piedrín de 3/4", 15cm de grava fina y 15 cm de arena gruesa lavada.

- Se usará una capa impermeable y drenajes laterales en la superficie para
- evitar la infiltración de avenidas hacia las galerías.
- La velocidad del agua en los tubos no será menor que 0.60 m/s.
- El agua deberá recolectarse en depósito cubierto.

Ver normas constructivas del INFOM EOC-41, EOC-42, EOC 43. También las normas AGIES NR4 4.2 a 4.6 y las normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable de UNEPAR Pg. 18 y 19.

4.1.4. Normas de diseño para pozos excavados a mano

- Ubicarse en zonas no inundables o de fácil acceso para el agua superficial.
- Excavarse aguas arriba de cualquier fuente real o potencial de contaminación.
- Localizarse como mínimo a 30 m de distancia de tanques sépticos, letrinas, sumideros, campos de infiltración o cualquier otra fuente de contaminación similar.
- Que el subsuelo del sitio seleccionado no presente grietas, fallas, o socavaciones que permitan el paso del agua superficial que pueda contaminar el acuífero.
- El área de captación deberá acondicionarse con piedra a junta perdida.

- La cubierta del pozo debe estar construida por una loza de concreto reforzado, provisto de tapa de inspección con cierre hermético. Ésta debe sobresalir por lo menos 20cm del nivel del piso.

Estas normas están en la Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales UNEPAR, segunda revisión, junio de 1997, Pg. 26.

4.1.5. Normas de diseño para pozos perforados por métodos mecánicos

- El espacio comprendido entre la perforación y el tubo de revestimiento deberá sellarse con mortero rico en cemento hasta una profundidad mínima de 3m (sello sanitario).
- El tubo de revestimiento deberá sobresalir un mínimo de 25 cm del piso terminado de la caseta de bombeo.
- El acondicionamiento del terreno en los alrededores del pozo debe hacerse de tal forma que garantice que las aguas superficiales drenen hacia fuera.
- En acuíferos con material permeable, de diámetro muy pequeño y uniforme, se debe construir un empaque de grava o filtro, alrededor de la rejilla o zona de ranura. Con este fin el espacio el espacio anular en la zona de filtración debe tener como mínimo 5cm (el diámetro de la perforación será 10cm más grande que el diámetro de la tubería de revestimiento).

- Terminada la perforación y después de entubar el pozo debe limpiarse y desarrollarse para sacar los residuos de perforación y conglomerados de arena, utilizando aire comprimido o cubeta mecánica adecuada.

Estas normas están en la guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales UNEPAR, segunda revisión, junio de 1997, Pg. 27.

4.2 Especificaciones generales existentes en Guatemala para captaciones de agua

En Guatemala existen especificaciones técnicas que pueden ser aplicadas en las captaciones de agua para consumo humano, tomando en cuenta los materiales de construcción y la supervisión de la misma.

Estas especificaciones se encuentran en los siguientes documentos:

- Especificaciones generales de construcción, INFOM (Instituto de Fomento Municipal), 2004.
- Manual de operación y mantenimiento de agua potable y servidas (MOM). CRS/ST (Programa de Salud, agua y saneamiento) 2001.

En el caso de las captaciones se puede mencionar las siguientes especificaciones:

INFOM	EAC-01	Limpia, chapeo y destronque
INFOM	EOC-11	Cimientos de piedra
INFOM	EOC-41/42	Concreto, materiales
INFOM	EOC-43	Acero de refuerzo
INFOM	EOC-62/63	Concreto ciclópeo, preparación del concreto ciclópeo
AGIES	NR4 4.2-4.6	Concreto, materiales.

Entre las normas existentes en el país para el diseño de captaciones de agua potable se cuenta con:

- Normas recomendadas AGIES (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica) 2000.
- Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales (UNEPAR) 1997.

4.3 Delimitación de zonas de seguridad por medio de áreas de riesgo de contaminación

La OMS prioriza la protección de las captaciones de agua para consumo humano, con vistas a proteger la salud de los consumidores actuales y futuros así como garantizar un desarrollo sostenible del planeta, preservando los recursos.

La protección de las captaciones de agua se basa en la delimitación territorial de zonas geográficas, denominadas perímetros de protección. Ésta tiene como principales objetivos:

- Impedir la degradación de las instalaciones de muestreo.
- Evitar el vertido de sustancias contaminantes susceptibles de alterar la calidad de las aguas captadas.
- Reprimir el desarrollo de cualesquiera nuevas actividades incompatibles con la preservación de los recursos explotados.
- Reforzar los dispositivos de prevención y control en las zonas de captación.

El respeto de estos objetivos permite:

- Limitar el recurso a tratamientos costosos y sofisticados preservando la calidad inicial del agua.
- Mejorar la fiabilidad de los tratamientos a los que se somete el agua, tratando de que sus características sean las más estables posible. En efecto, un tratamiento está adaptado a una calidad de agua bruta precisa; cualquier variación de las características químicas del agua puede, por tanto, provocar una disminución de su eficacia.

La instauración de perímetros de protección alrededor de las captaciones de agua subterránea y superficial, debido a su papel de escudo pasivo contra las contaminaciones, constituye la mejor garantía para obtener, de forma permanente, un agua de calidad satisfactoria.

Las autoridades competentes de la distribución del agua tienen la responsabilidad de poner en marcha los perímetros alrededor de las captaciones públicas, así como de garantizar la perennidad de los mismos.

Las disposiciones prácticas para la protección de captaciones de agua subterránea por medio de perímetros de seguridad ha sido puesta en marcha en muchos países desarrollados como Francia y Suiza, con resultados positivos. En el caso de Guatemala aún no se cuenta con reglamentación relativa a la protección de captaciones de agua para consumo humano, pero se podría dejar como un trabajo de investigación aparte y su respectiva implementación posterior; en el caso de este trabajo solo se mencionarán los principios de la protección por perímetros sucesivos, tanto para captaciones subterráneas como superficiales. Estos suelen ser tres:

4.3.1. Perímetros de protección en captaciones en capa subterránea:

- **Perímetro de protección inmediata (Zona 1: Zona alrededor del pozo):** sus límites se definen a menudo por distancias con respecto a la captación, por lo regular unas decenas o centenas de metros. En Bielorrusia, por ejemplo, dicho perímetro, denominado “de régimen estricto”, afecta una zona de entre 30 y 50 metros alrededor de las instalaciones de la captación.

El perímetro de protección inmediata tiene como principal función impedir el deterioro de las instalaciones de captación y evitar el vertido de sustancias contaminantes en las proximidades inmediatas de la captación. La colectividad explotadora del recurso adquirirá, cerrará y conservará los terrenos situados dentro de este perímetro. Quedará proscrita cualquier actividad distinta de las necesarias para la explotación de la obra y el mantenimiento de la zona.

Esta protección está especialmente adaptada a la prevención de la contaminación microbiológica. Por ejemplo, en las regiones en que las epidemias de cólera hacen estragos, la existencia y respeto del perímetro de protección inmediata alrededor de las captaciones constituye la medida más eficaz para proteger el agua de la contaminación producida por dichos microorganismos.

Sin embargo, en una situación semejante, la protección deberá completarse de forma sistemática, como mínimo, con un tratamiento de desinfección del agua previo a la distribución de la misma.

- **Perímetro de protección cercana (Zona 2: Zona de prevención):** en la mayoría de los países europeos, su delimitación se basa en una evaluación de los riesgos de migración subterránea de las sustancias contaminantes. A menudo se toma en consideración el tiempo de transferencia de un agente contaminante para determinar los límites de éste perímetro 50 días en el caso de Alemania; 10 días, en el caso de Suiza. Asimismo, se pueden emplear otros criterios de aspectos técnicos.

Las medidas de protección se imponen en forma de servidumbres. Dentro de la demarcación de este perímetro, se prohibirán o limitarán algunas actividades, tales como la construcción, agricultura, industria, depósitos de residuos, extracción de metales, vertidos de aguas residuales, etc.

- **Perímetro de protección alejada (Zona 3: Exterior):** su definición y contenido son muy variables. En el caso de Alemania está pensado para la protección contra los contaminantes químicos o radioactivos. En el caso de Francia es facultativo, determinándose su creación únicamente si con ello se consigue reducir los riesgos de forma significativa.

En los países bajos, éste se define sobre la base de un tiempo de transferencia (de 10 a 15 años); en Bélgica, tomando como base una distancia de 2,000 metros. En Austria, el perímetro de protección alejada está constituido por el conjunto de la cuenca alimentadora.

Dependiendo de los países, se podrán imponer en esta zona prohibiciones o solamente restricciones de actividades. Las disparidades que presentan las reglamentaciones actuales de los diferentes países en materia de protección de las aguas se explican fundamentalmente por las diferencias de contexto geológico e hidrológico; y para el caso de países en vías de desarrollo (como en el caso de Guatemala), diferencias culturales y económicas. Es imposible comparar condiciones de sistemas de captación de agua europeos con la de los países centroamericanos.

4.3.2. Perímetros de protección en captaciones superficiales:

Pocos países han establecido en la actualidad principios de protección de las aguas superficiales. En general los perímetros se extienden por las zonas sensibles a la contaminación que proviene de las aguas río arriba de las tomas de agua (tal es el caso de los cursos de agua) o en sus proximidades (como en el caso de embalses).

Las medidas de protección se refieren a las exigencias de calidad de los vertidos situados en la cuenca alimentadora, la puesta en marcha de dispositivos de protección en caso de contaminación y la vigilancia analítica y la alerta. En el caso de los embalses la protección queda garantizada mediante la instauración de perímetros sucesivos alrededor del nivel del agua.

Al fijar los límites de los perímetros de protección de las captaciones de superficie y las servidumbres a las que están sujetos, se prestará especial atención al tipo de actividades presentes en la cuenca o mini cuenca alimentadora y la calidad del agua bruta.

Para efectos de la implementación de los perímetros de seguridad, ya sean subterráneos o superficiales, estos deben de respetar en la medida de lo posible los límites catastrales existentes.

4.4 Protecciones físicas

Tomando en cuenta que Guatemala es constantemente afectada por diferentes eventos naturales, mayormente huracanes, inundaciones, deslizamientos y terremotos, se hace necesario tomar medidas de prevención para la protección física de los distintos componentes del sistema de agua potable, ante los diferentes desastres ocasionados por los fenómenos naturales anteriormente mencionados; en el caso especial de este trabajo la protección física de las captaciones de agua.

A partir de experiencias tales como el terremoto del 4 de febrero de 1976 y el huracán Mitch en 1998, se evidencia que el país no cuenta con la infraestructura física para la protección de las captaciones de agua. Estas deficiencias dan como resultado la destrucción parcial o total de las obras que permiten la captación del vital líquido, lo que en consecuencia hace que luego del desastre la población no tenga acceso a agua potable. Se genera así una serie de problemas, tales como deshidratación, enfermedades y epidemias, que solo aumentan la cantidad de víctimas mortales luego del desastre, incluso llegando a ser más destructivo que el evento en sí. De esta cuenta es necesario hacer propuestas reales de protección física para las captaciones de agua. Entre las protecciones físicas más comunes en Guatemala para las captaciones de agua se pueden mencionar disipadores y lagunas de estabilización aguas arriba de la captación, muros de retención en costados (por gravedad, en voladizo, muro con contrafuertes, celosía, etc.), gaviones, cortinas de embalse, de rebalse y compuertas y muros perimetrales para evitar la contaminación directa por humanos y animales.

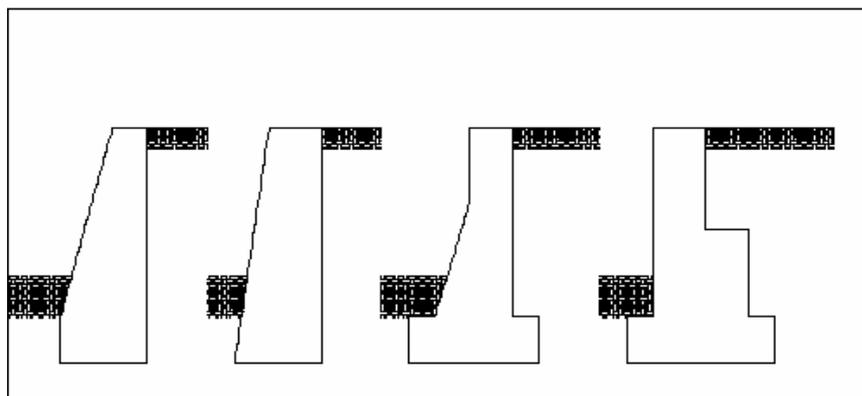
Para efectos del presente trabajo solo se comentará los muros por gravedad hechos con concreto ciclópeo, y de los gaviones; como un preámbulo de una propuesta de protección para una captación de agua potable.

4.4.1. Muros por gravedad

Los muros se clasifican según su forma de diseño. Los muros por gravedad, como su nombre lo indica, son una estructura que trabaja en base a su peso propio y es diseñada con el propósito de resistir las presiones laterales producidas por el volumen de material que está confinado. Los muros por gravedad son aquellos cuyas dimensiones son tales que el empuje de tierras es resistido, como se había mencionado por su peso propio, son sumamente económicos para alturas menores de 3.00 metros.

En cuanto a su sección transversal, pueden ser de diferentes formas, las más comunes las mostradas a continuación:

Figura 7. Secciones transversales de muros por gravedad



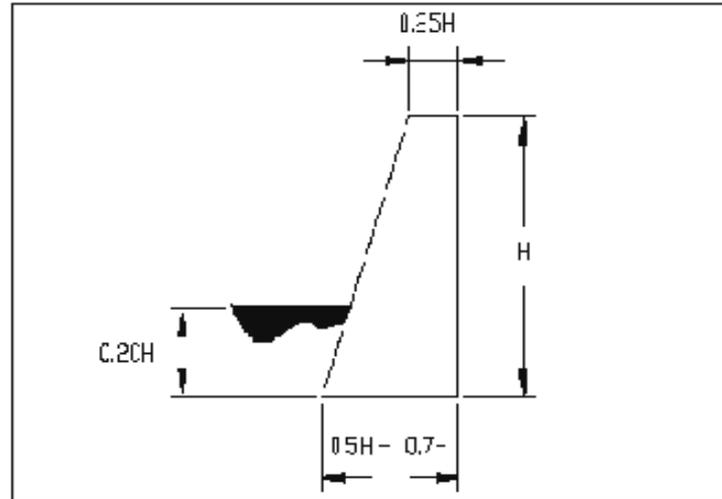
Fuente: USAC. Guía teórica y practica del curso de cimentaciones 1.
Tesis. Jadenón Vinicio cabrera Seis. Noviembre de 1994. Pág. 43

Con referencia a los materiales, pueden ser de mampostería, de ladrillo o más comúnmente de concreto ciclópeo. Como la estabilidad de este tipo de muros se obtiene mediante su propio peso, deben ser estructuras masivas.

La base de un muro de gravedad debe tener un ancho de por lo menos $5/10$ de su altura y si la cara exterior es vertical; puede obtenerse mayor estabilidad aumentando dicho espesor en el borde exterior, por debajo del terreno; el peso del muro es un factor importante para resistir el empuje de la tierra confinada, pero como a mayor altura la presión disminuye gradualmente, también puede reducirse el espesor del muro en su parte superior.

El procedimiento para el diseño de los muros por gravedad consiste en estimar las dimensiones y los materiales para después entrar o proceder al análisis del mismo (revisiones de estabilidad), así que no se cuenta con una metodología que pudiera decirse es definitiva, más que todo es un proceso repetitivo de prueba y error, por lo tanto sus dimensiones son estimadas, y tienen como punto de referencia la altura del muro, que en este caso sería la única dimensión conocida de antemano. En el siguiente esquema se puede apreciar el criterio para estimar las dimensiones del muro de gravedad.

Figura 8. Estimación de las dimensiones de un muro por gravedad



Fuente: USAC. Guía teórica y práctica del curso de cimentaciones 1.
Tesis. Jadenón Vinicio Cabrera Seis. Noviembre de 1994. Pág. 161

4.4.1.1. Muros por gravedad hechos con concreto ciclópeo

Los muros por gravedad hechos con concreto ciclópeo son estructuras que resisten el empuje de la tierra por su propio peso, se construyen a partir de grandes bloques de piedra, mezclados de forma homogénea, sumergidos en la masa pastosa del concreto, el cual une las piedras y sella los huecos que puedan quedar. a partir de esto se llama concreto ciclópeo o concreto pesado.

Los concretos pesados se requieren en la construcción de estructuras de protección y propósitos especiales, tales como los muros por gravedad, contrapesos en puentes colgantes; también en algunos casos para protección contra rayos gama y rayos X en reactores e instalaciones nucleares. Para estos concretos se utilizan agregados pesados, que pueden ser piedras de regular y gran tamaño, minerales pesados, etc. Los pesos unitarios para los concretos pesados con agregados naturales de roca pesada varían aproximadamente entre 3200 y 3690 Kg./m³; si se agregan fragmentos de hierro a los materiales de alta densidad se pueden alcanzar pesos de hasta 4330 Kg./m³.

El diseño de estos muros es básicamente igual al de cualquier muro por gravedad, tomando en cuenta únicamente que el peso unitario del relleno del muro variará debido a que está hecho con concreto ciclópeo. El concreto ciclópeo es un material que resiste grandes esfuerzos de compresión y de corte, pero muy poco esfuerzo de tensión o tracción, de manera que el diseño debe atender principalmente que no existan, o evitar en lo posible, los esfuerzos de tensión.

Al diseñar un muro por gravedad con concreto ciclópeo, se debe tener en cuenta que los desplazamientos de varios centímetros no suelen tener importancia, siempre que se asegure que no se producirán repentinamente desplazamientos más grandes.

Por eso el método de análisis y diseño de un muro de este tipo suele consistir en analizar las condiciones que existirán en una condición de falla, introduciendo convenientes factores de seguridad para evitar ésta; en el este caso particular se debe tomar en cuenta factores de seguridad debido a los desastres naturales, tales como presiones de tierra por sismo y presiones por hinchamiento de arcillas.

En el caso de la presión lateral de tierra por sismo puede ser incrementada contra un muro de retención a causa de una vibración de relleno. El incremento puede ser tomado como el 10% de la presión de diseño para un muro de altura normal.

Los muros por gravedad hechos con concreto ciclópeo, generalmente, son de sección trapezoidal, pero también pueden ser construidos con la parte posterior del parámetro quebrada. El procedimiento para el análisis y cálculo del mismo se puede consultar en el anexo 3.

4.4.1.2. Gaviones

Los gaviones deben su nombre a una palabra en latín (cavea), que significa cajón o canasta. Los primeros gaviones se utilizaron entre los egipcios y chinos, que confeccionaban jaulas de mimbre y bambú, rellenas con piedras para contención del agua en las orillas de los ríos Nilo y Amarillo. El gavión es una estructura sencilla, económica y súmamente fácil de colocar.

Luego de ser fabricado sólo requiere ser llenado con piedras y amarrado a sus adyacentes, para constituirse en una estructura consolidada.

El gavión galvanizado es un elemento con forma de prisma rectangular, con paredes construidas por red metálica, fuertemente galvanizada, con mallas hexagonales a doble torsión, que se llena con grava o material rocoso de tamaño apropiado.

Todos los bordes, ya sean de la pieza central o de las marginales, son reforzados con alambre de hierro galvanizado, de diámetro más grande. Esta ingeniosidad, además de fortalecer notablemente la estructura metálica, facilita el empleo de los gaviones, permitiendo la confección de cajas rectangulares bien encuadradas y por lo tanto, la perfecta alineación de los elementos, con buen aspecto estético.

Las dimensiones de las cajas del gavión pueden ser de 3X1X1 m, 2X1X1m, 3X1X0.50 m, 2X1X0.50 m, o cualquier otra dimensión que se requiera. Las principales características a definir en un gavión son:

- Las dimensiones del hexágono de la malla a doble torsión.
- El diámetro y el recubrimiento galvanizado del alambre, expresado en milímetros.
- El diámetro del alambre al borde.

El uso de los gaviones es bastante amplio, se puede decir que depende de la necesidad de la obra, por una parte y por otra, del ingenio de la persona que tiene a su cargo la obra. Dentro de los usos más comunes que se le dan a los gaviones se tienen estructuras de retención, diques de corrección de caudales, defensas marítimas, contención de desprendimientos, estabilidad de taludes, protección de márgenes de ríos, etc.

Los gaviones en obras de ingeniería deben seguir el orden de emplazamiento, relleno y cierre.

El emplazamiento del gavión consiste en colocarlo, una vez esté armado en el lugar de la obra, que indique el proyecto, amarrado en forma conveniente, mediante el uso de alambre galvanizado reforzado a otro gavión que esté contiguo a éste y formando filas. El relleno no es más que llenar la canasta de emplazamiento con piedras de canto rodado o de cantera, ya sea a mano o por medios mecánicos; es importante tomar en cuenta que para esta fase es necesario colocar un encofrado, que consiste en un entablado o bastidor metálico sostenido por puntales que permiten obtener la forma requerida. Así mismo se procurará colocar la piedra de mayor tamaño y de caras más planas en contacto con la malla, y las piedras de menor tamaño para el relleno interior. El cierre no es más que el sello de la boca del gavión, con alambre galvanizado, para que poco a poco se conformen las hiladas de gaviones.

Una de las aplicaciones principales de los gaviones es como muros de contención, tanto de terrenos como de terraplenes y en el caso particular de este trabajo, como protección de las laderas de las captaciones de agua, ya sean subterráneas o superficiales; de esta manera son estructuras que trabajan por gravedad. Como norma general se determinará la base del muro de gaviones usando la siguiente fórmula:

$$B = \frac{1}{2} (1 + H)$$

Donde:

B= base del muro de gaviones.

H= altura del muro.

Para facilitar la ejecución de la obra de los muros con gaviones, se debe colocar las hiladas de estos unos sobre otros y en forma escalonada.

Entre los datos útiles para el diseño de muros de contención con gaviones se tiene:

- Coeficiente de rozamiento entre gaviones: 0.75
- Peso específico de la piedra de relleno: 1.8 – 2.4 Ton/m²
- Porcentaje de vacíos: 20%
- Coeficiente de rozamiento terreno - gavión 0.70
- Coeficiente de trabajo por compresión: 2.5 Kg./cm²

4.4.2. Muros perimetrales

Los muros perimetrales tienen como función principal proteger un área en especial de cualquier contacto físico indeseado, por lo regular los muros perimetrales evitan que personas, animales o desastres lleguen a una zona protegida. Los muros perimetrales han existido desde que el hombre se vio obligado a proteger sus intereses más valiosos contra otras personas o animales. Con el pasar del tiempo, el hombre dejó de ser nómada y necesitó a proteger su territorio y lo que éste contenía; aquí es donde se encuentra especial interés en los muros de protección, debido a que los recursos naturales se vuelven cada vez más valiosos, se da la necesidad de protegerlos.

En el caso especial de este estudio, las captaciones de agua para uso colectivo deben ser protegidas de agentes tanto naturales como humanos; hay muchos contaminantes que pueden afectar las captaciones. Por ejemplo, las captaciones de agua deben estar aisladas de contaminantes humanos y animales, ya que si dichos contaminantes llegan a la fuente de agua estos son conducidos por el mismo sistema de distribución hasta los usuarios del sistema, dando lugar a enfermedades y epidemias, convirtiendo así un servicio útil en un servicio dañino para la población.

En el caso de Guatemala la mayoría de las captaciones de agua son de tipo superficial, y deben estar protegidas completamente contra todo tipo de contaminación. Los muros perimetrales son de especial interés debido a que mantienen alejadas a las personas que de una u otra manera podrían contaminar la fuente de agua.

Los muros perimetrales pueden ser fabricados de distintos materiales, madera, ladrillo, concreto, prefabricados, o combinaciones de estos.

Un muro perimetral debe asegurar el aislamiento de la captación de agua, para que tenga acceso a la misma únicamente el personal encargado del mantenimiento de las instalaciones, que debe estar capacitado para hacerlo.

Los muros perimetrales no son tan efectivos contra los desastres naturales, debido a la gran magnitud de estos; por ejemplo, en los casos de los grandes deslizamientos o sismos un muro perimetral no asegura la protección de la captación, son necesarias obras de mayor envergadura para la protección de las fuentes, como muros por gravedad, gaviones, represas, disipadores, etc.

4.4.2.1. Muros perimetrales de mampostería reforzada

Los muros de mampostería reforzada no son más que muros de mampostería común, a la cual se le ha colocado refuerzo de acero, de modo que aumente su resistencia a los esfuerzos de tensión, de corte y de compresión. Los principios del diseño de los muros perimetrales de mampostería reforzada son los mismos que aquellos comúnmente usados para el concreto reforzado, y las fórmulas usadas son similares.

Debido a que la mampostería reforzada se diseña para resistir flexión, así como compresión, es esencial que todas las juntas de la mampostería sean completamente llenadas. El método recomendado para lograr esto es llenar todas las juntas interiores con concreto aguado, para darle suficiente fluidez.

Como en todos los tipos de construcción, el funcionamiento y durabilidad de un muro fabricado con mampostería reforzada depende de varios factores.

- El diseño.
- La calidad de los materiales, ladrillos y/o block, la mezcla y el refuerzo.
- La mano de obra y los métodos de construcción.
- Mantenimiento adecuado.

Los muros perimetrales construidos de mampostería reforzada deben ser diseñados para resistir, en cierto grado, fuerzas laterales producidas por el viento, sismos y presiones producidas sobre ellos debido a deslizamientos. En general, deben proteger la captación de desastres ocasionados por fenómenos meteorológicos y contra la intromisión de personas que puedan ocasionar daños o provocar algún tipo de contaminación. Este tipo de muro es muy común en nuestro medio, debido a que no requiere una gran inversión de dinero, y por lo general, en los sistemas de captación de agua potable, las municipalidades o el gobierno provee los materiales y la comunidad beneficiada la mano de obra, siendo supervisada por los constructores de las obras de la captación.

4.4.2.2 Muros perimetrales prefabricados

Los muros perimetrales prefabricados, no son más que la combinación de planchas de concreto armado, confinadas por postes o columnas, también de concreto; modulados, según las condiciones del terreno en donde se construirá el muro perimetral. Los muros prefabricados pueden ser sin refuerzo de acero, prefabricados simples con refuerzo sin pretensión, prefabricados con refuerzo de acero pretensado y postensado, prefabricados con nudos rígidos, etc.

Los elementos de los muros prefabricados tienen varias ventajas sobre los muros construidos de mampostería simple o reforzados, entre los cuales se pueden mencionar que no se necesita mano de obra calificada para su colocación, pueden ser construidos “in situ” o en fábrica y llevados al lugar de la colocación, la formaleta para el colado del concreto puede ser una y ser utilizada mayor número de veces, se tiene un mayor control de calidad de los componentes del concreto.

Los muros de este tipo son mucho más sencillos de colocar en la captación para protegerla de cualquier eventualidad que pueda ocurrir, estos muros no llevan cimiento corrido sino que únicamente se entierran los postes en el suelo (entre 0.60 y 0.90 m según la altura del muro perimetral), y luego se colocan las planchas de concreto que sirven como pared.

La facilidad de colocación del muro prefabricado permite la protección de la captación rápidamente, aislándola así de los contaminantes potenciales.

Estos muros protegen de forma efectiva las captaciones de agua subterránea y manantiales, y en una menor escala las captaciones de agua superficiales, debido a que es muy difícil aislar a las personas que pueden entrar a la misma directamente por la fuente.

5. PROPUESTA DE DISEÑO DE MURO DE GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO, PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPTACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GUALÁN, DEPARTAMENTO DE ZACAPA

Guatemala en los últimos años ha sido afectada directamente por una serie de eventos naturales: terremotos, inundaciones, huracanes, deslizamientos, etc., que han provocado desastres para varias poblaciones ubicadas en distintos puntos cardinales del país. Entre estos desastres se puede mencionar el terremoto de 1976 y el huracán Mitch en noviembre de 1998, y las múltiples inundaciones de algunos lugares y las prolongadas sequías del oriente, específicamente en Camotán, causadas por el descontrol atmosférico que se ha dado por efectos del fenómeno del Niño y de la Niña. También se puede mencionar los inmensos incendios forestales en todo el país, especialmente en el área de El Petén.

Estos fenómenos han puesto de manifiesto que durante este tiempo no se ha progresado mucho en la implementación de normas urbanísticas y de diseño que permitan reducir el riesgo que corren los distintos servicios públicos que se prestan a la población, dentro de los que se puede mencionar los sistemas de agua potable.

Es común que existan normas de diseño que orientan las características hidráulicas que deben poseer los sistemas de agua potable, pero no existe una normativa que promueva la construcción de sistemas más seguros y flexibles, que minimicen el riesgo que conlleva la escasez o nulidad de la prestación de servicio de agua, así como la contaminación del agua que se distribuye después de un desastre.

Al realizar un análisis de los fenómenos naturales de los últimos 30 años en Guatemala se observó que la mayor ocurrencia de fenómenos naturales se centra en los de tipo hidrometeorológico, definiéndose estos como todos aquellos causados por vientos violentos, que se trasladan girando con extrema velocidad, debido a zonas de baja presión. En este grupo se encuentran los ventarrones, las correntadas, desbordamientos, temporales, inundaciones, fuertes lluvias, huracanes, heladas, tempestades, granizadas, marejadas, tormentas eléctricas y sequías.

En segundo lugar se ubican los fenómenos de tipo geodinámicos, los que se refieren a todos los movimientos de tierra, como los sismos y terremotos; éstos pueden ser de origen tectónico y volcánico.

De acuerdo al estudio desarrollado por ASDI, UNICEF e INFOM, en el año 2001, el 54.6% del territorio de la República de Guatemala es vulnerable a cualquier fenómeno natural, que conllevaría efectos sociales, económicos, culturales y físicos de la población, ya que este porcentaje del territorio se ubica en áreas consideradas con una vulnerabilidad de media a extrema.

A partir de esto, este estudio pretende aportar una aplicación de la metodología utilizada por la OMS en el sistema de abastecimiento de agua potable para el municipio de Gualán, en el departamento de Zacapa. Esto permitirá observar, en detalle, la forma como se deben utilizar los formatos propuestos y los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad y la propuesta de un muro por gravedad, construido con concreto ciclópeo, para evitar que los deslizamientos producidos por las grandes lluvias torrenciales lleguen a la captación y de esta forma evitar que las obras complementarias río abajo de la captación, sean destruidas parcial o totalmente.

Esta metodología ha sido desarrollada por la OMS principalmente, para que sea aplicada por los ingenieros y operadores de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

El presente estudio corresponde a una parte de la aplicación de la metodología propuesta por la OPS para realizar el análisis de vulnerabilidad en sistemas de agua potable, llamado metodología de análisis de vulnerabilidad (MAV) en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Gualán, departamento de Zacapa, con aplicación al entorno guatemalteco. También se propondrá un diseño de un muro de gravedad para evitar el deslizamiento de los taludes alrededor de la captación de agua del referido lugar.

Vale la pena mencionar que durante la aplicación de esta metodología, en la cabecera municipal de Gualán, la misma fue mejorándose a efecto de facilitar su aplicación en futuras evaluaciones.

5.1 Datos generales del municipio de Gualán, departamento de Zacapa

La cabecera municipal de Gualán, se localiza en el departamento de Zacapa, colinda al Norte con El Estor y Los Amates (Izabal); al Este con la República de Honduras; al Sur con La Unión (Zacapa); al Oeste con Zacapa y Río Hondo (Zacapa) y El Estor (Izabal). A una elevación de 129.31 metros sobre el nivel del mar. Gualán tiene una extensión superficial aproximada de 696 kilómetros cuadrados. Su clima es bastante cálido en las partes bajas y algo frío en las altas. La fiesta titular, de San Miguel, patrono del pueblo, se celebra del 26 al 30 de septiembre, Se celebra también otra fiesta, de gran actividad comercial, del 6 al 10 de mayo.

Actualmente cuenta con ochenta y siete comercios, cinco industrias, centro de salud, salón comunitario, salón de usos múltiples, alcaldía municipal, salón municipal, mercado, juzgado, campo de fútbol, tres establecimientos de educación preprimaria, cinco de educación primaria, dos de secundaria, dos de diversificado y una extensión de la Universidad Rural.

El municipio de Gualán tiene como principal patrimonio la agricultura, especialmente sus fincas de café, así como la ganadería.

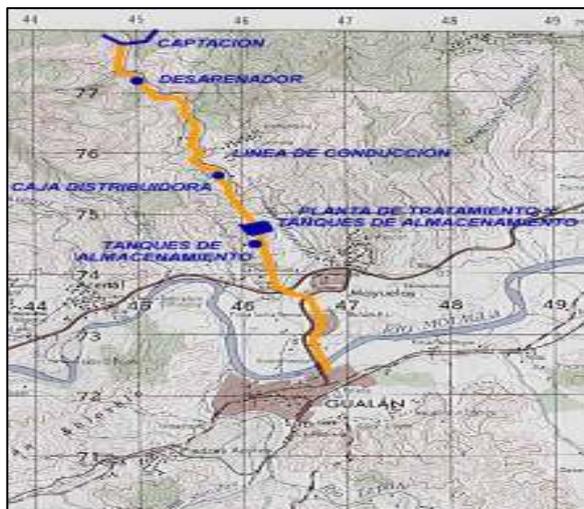
Entre sus industrias principales figuran la leche y sus derivados, especialmente quesos; fabricación de calzado; ebanistería, carpintería y otras industrias pequeñas, como fábricas de puros, de aguas gaseosas, etc.

5.2 Identificación, descripción y evaluación de los Elementos que constituyen la captación de agua del municipio de Gualán

La cabecera municipal de Gualán se abastece de agua potable por medio de un sistema por gravedad y atiende a una población en el casco urbano de 10,085 habitantes. La obra de captación se ubica sobre el río Mayuelas, cerca de la comunidad Cuchillas. La fuente de abastecimiento proporciona un caudal estimado en un metro cúbico por segundo, en época de verano y de unos tres metros cúbicos por segundo, en época de invierno.

El caudal de la captación es igual $1\text{m}^3/\text{s}$. mientras que el caudal captado es de $Q_c = 100\text{ L/s}$.

Figura 10. Ubicación de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 37.

Estimación de Caudales de diseño para el sistema de agua potable:

Población actual: 10085 habitantes

Población Futura: 15403 hab.

Tasa de crecimiento: 2.14%

Periodo estimado de diseño: 20 años

Dotación: 150 L/h/día

Factor de día máximo: 2

Factor de hora máxima: 3

Aforo de la fuente: 1000 l/s, marzo de 2003

Aforo de la planta de tratamiento: 80 l/s, marzo de 2003

Caudal medio: 26.74 L/s.

Caudal de conducción: 53.48 L/s

Caudal de distribución: 80.22 L/s.

Dado que el caudal de conducción es de 53.48 L/s y el caudal de distribución es igual 80.22 L/s, se concluye que el sistema tiene capacidad, debido a que la fuente produce 1000 L/s y la planta de tratamiento cubre hasta la demanda futura. Esto cumple con las normas de la guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales de UNEPAR en su capítulo 4 y con las normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable del INFOM en su sección II.1.8 Págs. 21 y 22.

Adicionalmente a estos datos la obra de captación está compuesta por:

- Presa: de aproximadamente 5 metros de ancho, por 2 metros de alto y un espesor de cortina de 0.90m, construida de mampostería de piedra con refuerzos de concreto armado. Esta presa cumple parcialmente con las normas de diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable del INFOM, contenidos en su sección II.2.6 inciso a), debido a que está situada en un tramo recto del río, y tiene una captación de tipo lateral. No tiene obras de defensa a la misma, ni posee compuerta de limpieza. En cuanto a las especificaciones de construcción vigentes, la presa cumple con las especificaciones generales de construcción del INFOM EAC-01, EOC-11, EOC-41, EOC-42, EOC-62, EOC-63. No cumple con la norma ACI-350 de concreto reforzado en proyectos hidráulicos.

Figura 11. Presa de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa

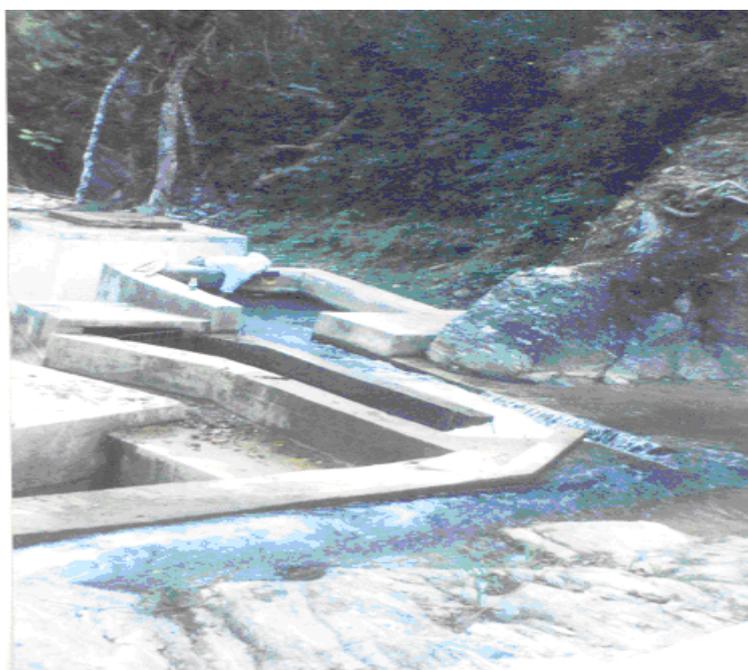


Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

- Toma de agua: se encuentra en uno de los laterales de la captación, la cual se realiza sumergida, se utiliza para ello unas rejas, que evitan el ingreso de material flotante.

Este elemento de la captación no cumple con las normas especificadas en la Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales de UNEPAR, no tiene sus respectivas válvulas, ni sus desagües, y su caja de inspección no posee tapa sanitaria. En cuanto a las especificaciones constructivas cumple parcialmente con las mismas, EOC-41, EOC-42, AGIES NR 4.2 a 4.6.

Figura 12. Toma de agua de la captación de agua del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

- Canal de captación: de aproximadamente dos metros de longitud, 0.80 metros de ancho y una profundidad de 1.00 metro, mediante el cual se transporta el agua captada hacia la caja de captación. No cumple con la norma ACI-350 de concreto reforzado en proyectos hidráulicos.
- Canal de alivio: de las mismas dimensiones que el canal de captación, el cual regresa el exceso de agua al río, cuando el canal de captación trabaja a sección llena, durante las crecidas del río. Este canal de alivio está diseñado en base a la Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales en su punto 4.5.2 inciso b), también cumple con las especificaciones constructivas del INFOM EOC-41, EOC-42

Figura 13. Canal de alivio, más canal de captación del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

- Caja de captación: ésta es de concreto armado y se ubica en la corona del río, de esta caja de captación sale la tubería de conducción. La caja de captación cumple con las normas especificadas en la Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales de UNEPAR. En cuanto a las especificaciones constructivas, cumple parcialmente con las mismas, EOC-41, EOC-42, EOC-43 y AGIES NR 4.2 a 4.6. No cumple con la norma ACI-350 de concreto reforzado en proyectos hidráulicos.
- Dos desarenadores: a una distancia de 250 metros de la caja de captación se ubican estos y son de concreto reforzado. El ingreso del agua a los desarenadores se realiza por medio de una tubería de 15" que viene de la caja de captación. Estas unidades tienen una longitud de 8 metros y un ancho de 6 metros. Vale la pena mencionar que esta estructura se encuentra trabajando sobrecargada. De esta unidad sale una tubería de 15", que es la tubería de conducción. No cuenta con un sistema de medición de caudales ni para toma de muestras de agua, tampoco cuenta con un sistema adecuado de distribución equitativa del mismo. No cumple con las normas de diseño establecidas en los planos típicos de captaciones superficiales del INFOM, tampoco cumple con la norma ACI-350 de concreto reforzado en proyectos hidráulicos.

Figura 14. Desarenador del sistema del abastecimiento de agua potable del municipio de Gualán, Zacapa



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

5.3 Otros elementos del sistema de agua potable de la cabecera municipal de Gualán

- Línea de conducción: la línea de conducción del sistema parte de la caja de captación, esta tubería es de PVC de 15", de reciente instalación y toda se encuentra cubierta con concreto armado y columnas de 0.15 x 0.15, de altura variable.
- Planta de tratamiento: la capacidad de la esta planta de tratamiento es de 100 litros por segundo, sin embargo, actualmente trabaja con un caudal de unos 80 litros por segundo.

- Sistema de almacenamiento: éste tiene una capacidad de 2,836.10 metros cúbicos, el cual se considera suficiente, ya que para la población actual se estima que es necesario un almacenamiento de 907 metros cúbicos.
- Red de distribución: fue construida recientemente, se estima que tiene capacidad para distribuir un caudal de 130.00 litros por segundo, en la actualidad se calcula una distribución de unos 80 litros por segundo. Lamentablemente el departamento de agua y la Unidad Técnica de la municipalidad no cuentan con los planos de la red de distribución, a pesar que ésta fue construida recientemente.

Este sistema de agua potable da abastecimiento a la cabecera municipal de Gualán cubre el 100% del área urbana y algunos caseríos y colonias ubicadas en la periferia.

La red abastece a las comunidades siguientes:

1. El Bordo
2. Piedras Azules
3. Barrio el Centro
4. Barrio la Barca
5. Barrio Las Flores
6. Colonia Valle del Motagua
7. Colonia Mofán
8. Barrio la Estación

La red de distribución es toda de tubería de PVC, de diámetros que varían de 10" a 2". La red alta y la red baja sumadas dan un total de 23 kilómetros de tubería.

Figura 15. Cobertura del sistema de distribución de agua de la cabecera municipal de Gualán, Zacapa



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 47.

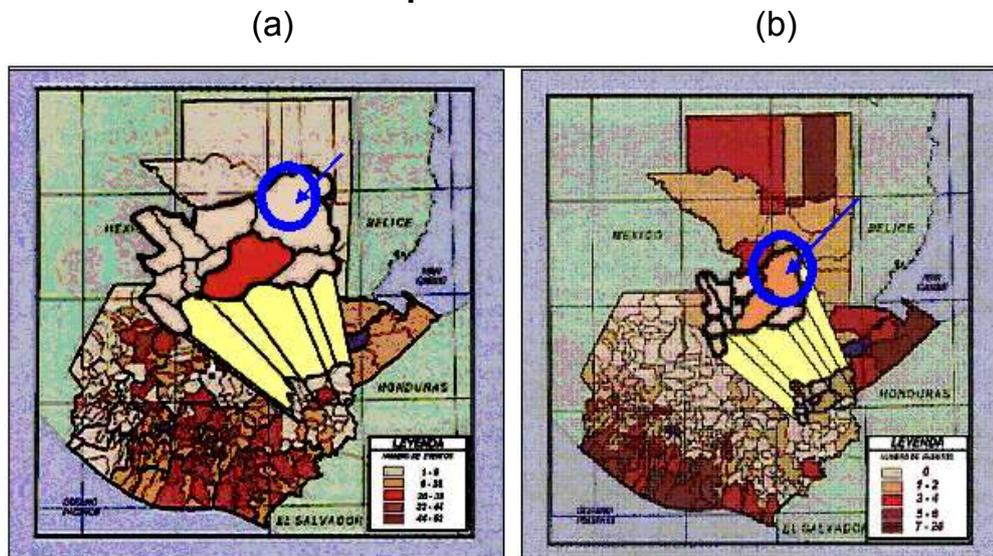
Se puede obtener más datos del sistema de agua potable que abastece el casco urbano de Gualán, en la municipalidad del lugar o en la metodología de análisis de vulnerabilidad (MAV) en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Gualán, departamento de Zacapa, con aplicación al entorno guatemalteco.

5.4 Mayores amenazas del área en Estudio: municipio de Gualán

Para el caso de este documento se debe identificar y priorizar las amenazas que puedan afectar la captación de agua. De acuerdo a los mapas de zonificación de amenazas de ASDI, UNICEF e INFOM, en la zona bajo estudio se identificaron las siguientes amenazas, en el siguiente orden:

- Sismos
- Inundaciones
- Huracanes

Figura 16. (a) Mapas de vulnerabilidad por sismo; (b) Mapa de vulnerabilidad por inundación



Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 49

Las crecidas de río afectan la captación debido a que cuando éstas vienen río arriba traen consigo piedras de gran tamaño, que se estrellan contra los elementos de la misma, y afectan físicamente las estructuras, de forma parcial o total. De experiencias previas los encargados de la operación y mantenimiento del sistema, saben que las grandes crecidas pueden destruir la presa y las tomas, como ha ocurrido en años anteriores.

Los deslizamientos, al igual que las crecidas, afectan la captación, debido a que en primer lugar ayudan a que las aguas se enturbien y se les deba tratar antes de llegar a los usuarios y segundo que arrastran árboles, piedras de todos tamaños, y grandes cantidades de tierra, que en un momento dado dañan los componentes estructurales de la captación de forma parcial o total.

De acuerdo a la metodología de análisis de vulnerabilidad (MAV) en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Gualán, departamento de Zacapa, con aplicación al entorno guatemalteco, se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla I. Formato 1 MAV del sistema de agua potable Gualán

No.	Componentes del Sistema a evaluar	Evaluación	Amenazas Identificables			
			Sismos	Inundación	Huracanes	Deslizamientos
1	Captación Río Mayuelas	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	3	3	3	3
2	Línea de Conducción Diámetros 15", 10" y 8"	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	2	2	3	3
3	Paso Aereo Sobre puente Río Motagua	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	3	1	3	3
4	Planta Potabilización (un solo módulo) Casa de químicos, floculación, decantador y filtros rápidos tasa declinante	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	2	1	3	3
5	Tanque de Distribución red alta 1433 metros cúbicos (cuatro tanques en un solo módulo)	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	2	1	3	3
6	Tanque de Distribución red baja 1402 metros cúbicos (tres tanques en un solo módulo)	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	3	1	3	3
7	Red de distribución 23 kilómetros de tubería (red alta y baja)	a Mapas de zonificación	1	1	1	1
		b Observación del evaluador	1	1	1	1
		c Opinión de los habitantes	1	1	1	1
		Sumatoria de a, b, c.	3	1	3	3
TOTALES			18	7	21	6

Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 50.

De acuerdo al formato 1 la jerarquización de la amenaza es la siguiente:

- a) Huracanes (21 Pts.)
- b) Sismo (18 Pts.)
- c) Inundaciones (7 Pts.)
- d) Deslizamientos (6 Pts.)

En cuanto al componente del sistema la jerarquización es la siguiente:

- a) Captación
- b) Línea de conducción

- c) Paso aéreo
- d) Red de distribución
- e) Tanque de distribución red baja
- f) Planta de tratamiento
- g) Tanque de distribución red alta.

De acuerdo a la misma metodología se pudo establecer que los efectos de las amenazas en el sistema de abastecimiento son los siguientes:

- a) Daño parcial de estructuras.
- b) Obstrucciones de tuberías o estructuras.
- c) Modificación de la calidad del agua.
- d) Disminución de la. cantidad de agua.
- e) Daños al suministro de energía eléctrica.
- f) Rotura de tuberías.
- g) Desacoples de tuberías.
- h) Daño parcial de equipo electromecánico.
- i) Destrucción de accesos a infraestructura.

También se obtuvieron las siguientes tablas, relacionadas con los desastres naturales que afectan la zona de la captación:

Tabla VI. Formato 4.8 estimación de medidas de mitigación del componente operativo-administrativo

FORMATO 4.8 ESTIMACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL COMPONENTE OPERATIVO-ADMINISTRATIVO		
EFEECTO ESPERADO ¹	LISTADO DE CAUSAS QUE PROVOCARÍAN EL EFECTO ESPERADO	MEDIDA DE MITIGACIÓN A IMPLEMENTARSE
1. Desabastecimiento de agua	1.1 Colapso de componentes físicos	1.1 Conformar comité de emergencias
2. Distribución de agua de mala calidad	1.2 Falta de recursos humanos, técnicos y materiales, para atender emergencia	1.2 Desamillar planes de concientización a las autoridades administrativas sobre la importancia de los suministros de agua
		1.3 Elaborar planes de emergencia
	1.3 Falta de coordinación interinstitucional para facilitar la rehabilitación del suministro de agua	1.4 Implementación del plan de emergencia operacional para aislar sectores
		1.5 Elaborar planes de operación y mantenimiento en emergencias
		1.6 Mejorar equipamiento para facilitar comunicación en caso de desastres
		1.7 Destinar fondos para manejo de emergencias
		1.8 Establecer normas y procedimientos a seguirse en caso de emergencias y desastres
		1.9 Mantener base de datos de proveedores y convenios comerciales para suministro de repuestos
		2.0 Mantener inventario del sistema (incluye planos y memoria de diseño)

Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 60.

En el formato 4.8, que se refiere a la mitigación del componente operativo administrativo, se puede ver cómo en base a la evaluación del sistema de agua potable, se encuentra que el problema principal ante un desastre natural sería el desabastecimiento de agua potable y mala calidad de la poca agua que se pudiera brindar a la comunidad de Gualán; también se enumera una serie de medidas inmediatas de mitigación.

Para el caso particular de este estudio, se hará referencia al formato 7.1 de la metodología de análisis de vulnerabilidad en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Gualán, en donde se estiman las medidas de emergencia que deben realizarse en la captación.

Tabla VII. Formato 4.8 estimación de medidas de emergencia del componente captación

FORMATO 4.8
ESTIMACION DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL COMPONENTE CAPTACIÓN

EFFECTO ESPERADO	LISADO DE CAUSAS QUE PROVOCARÍAN EL EFECTO ESPERADO	MEDIDA DE MITIGACION A IMPLEMENTARSE
1 Daño parcial de estructuras	1.1 Arrastre de piedras y árboles por crecidas del río	1.1 Construcción de disipadores de energía
	1.2 Volteo de presa de captación al incrementarse las velocidades de flujo	1.2 Rediseño de muro de presa de captación (disipadores y cimacio)
2 Obstrucciones de tuberías o estructuras	2.1 Arrastre de hojas y material flotante	2.1 Protección de cuenca
3 Modificación de la calidad del agua	3.1 Erosión de taludes de la cuenca del río, aguas arriba del punto de captación	2.1 Protección de cuenca
	3.2 Arrastre de arena de el lecho del río, por incremento de velocidad del	2.2 Construcción de disipadores de energía
4 Disminución de la cantidad de agua	4.1 Obstrucciones de la tubería de toma	2.1 Construcción de sistemas de autolimpieza de rajas para evitar taponamientos
5 Desacoples de tubería	5.1 Por el choque de rocas y árboles en uniones de tubería con estructuras	2.1 Protección de tuberías expuestas
6 Destrucción de accesos a infraestructura	6.1 Derrumbes de taludes en carreteras	3.1 Coordinación interinstitucional MICVI (carreteras)
	6.1 Incremento de nivel de dos ríos que deen de atravesar para llegar a la obra de captación.	3.2 Coordinación interinstitucional MICVI (carreteras)

Fuente: OPS. Metodología para el análisis de vulnerabilidad de agua potable. Caso aplicado al sistema de Gualán. Pág. 57.

Como se puede observar, las medidas de emergencia inmediatas más importantes a implementarse en su orden serían:

- Construcción de captación provisional
- Limpieza de captación dañada y tuberías bloqueadas
- Construcción de disipadores de energía
- Y por último reubicación y construcción de nueva captación.

Del estudio y por medio del análisis realizado, se pudo establecer que la oficina de aguas tiene conocimiento de la coordinación interinstitucional que se debe tener en caso de emergencias y desastres, se tiene claridad de las instituciones que pueden apoyarles en caso de ocurrir algún desastre que afecte la prestación del servicio de agua.

Dentro de las instituciones que pueden apoyar a la oficina de aguas, en caso de emergencia, se mencionaron las siguientes:

- a) Municipalidad de Gualán
- b) Bomberos Voluntarios
- c) Secretaría Ejecutiva (CODEDUR)

Es importante decir que el operador del servicio es el departamento de aguas de la municipalidad de Gualán y que no cuenta con planes de atención de emergencias, programas de planificación, planes de mitigación ni comisión para formulación de los planes de mitigación.

A pesar de esto es importante mencionar que cuentan con personal para darle un mantenimiento mínimo a la captación y tubería de conducción, y existe personal capacitado para la operación de la planta de tratamiento de agua potable; asimismo cuentan, con un manual para el manejo de la misma. En la operación del sistema se involucran seis personas, que desarrollan actividades de fontanería, operación y administración del sistema.

En caso de emergencias se adhieren al comité local de emergencias, el cual es coordinado por la CONRED.

5.5 Propuesta para la protección de la captación de agua de Gualán

Para el caso concreto de la protección de la captación de agua potable ante los desastres naturales anteriormente mencionados en este estudio, se propone el siguiente diseño de un muro por gravedad, con concreto ciclópeo, para proteger la captación de agua del departamento de Gualán, departamento de Zacapa:

Predimensionamiento del muro:

Altura (H):

Altura necesaria: 2 metros.

Altura mínima de cimentación de base (h): 0.60 m

$H = 2 \text{ m.} + 0.60 \text{ m.} = 2.60 \text{ m.}$

Altura de cresta de muro: 0.45 m, por simplicidad en primer Predimensionamiento.

Base del muro (B): 0.60 (H)

$B = 0.60 (2.60) = 1.56 \text{ m,}$ para fines constructivos se redondeará a 1.60 m.

$B = 1.60 \text{ m.}$

* Peso específico del suelo a orillas de la captación (arcilla con piedra):

$\gamma_s = 2.1 \text{ Ton/m}^3$

* Peso específico del concreto ciclópeo mínimo:

$$\gamma_c = 3.2 \text{ Ton/m}^3$$

* Ángulo de fricción interna del suelo (del talud natural que corresponde a una pendiente en relación de 2 de altura por 3 de base):

$$\Phi = 34^\circ$$

* Coeficiente μ del suelo en la base del muro (arcilla con piedra):

$$\mu = 0.40$$

* Valor soporte del suelo:

$$V_s = 22 \text{ Ton/m}^2.$$

* Factor de seguridad del cálculo FS = 1.5

Cálculo de presiones o empujes activos y pasivos que actuarán en el muro:

De Rankine se tiene que:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}\Phi}{1 + \text{sen}\Phi} \quad \text{y} \quad K_p = \frac{1 + \text{sen}\Phi}{1 - \text{sen}\Phi}$$

Donde:

K_a = coeficiente de presión activa.

K_p = coeficiente de presión pasiva.

Φ = ángulo de fricción interna.

entonces:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(34)}{1 + \text{sen}(34)} = 0.2827$$

$$K_a = \frac{1 + \text{sen}(34)}{1 - \text{sen}(34)} = 3.54$$

Al calcular las componentes horizontales de la presión activa y pasiva:

$$\overline{Pp\gamma} = K_p * \gamma_s * h \text{ y } \overline{Pa\gamma} = K_p * \gamma_s * H$$

Donde:

K_p = coeficiente de presión pasiva.

γ_s = Peso específico del suelo.

h = altura de cimentación.

H = altura total del muro.

Entonces:

$$\overline{Pp\gamma} = 3.54 * 2.1 \text{Ton/m}^3 * 0.60 \text{ m.}$$

$$\overline{Pp\gamma} = 4.46 \text{ Ton/m}^2$$

$$\overline{Pa\gamma} = 0.2827 * 2.1 \text{ Ton/m}^3 * 2.60 \text{ m.}$$

$$\overline{Pa\gamma} = 1.54 \text{ Ton/m}^2.$$

Con estos datos se calculan los empujes totales:

$$Pp\gamma = \frac{1}{2} \overline{Pp\gamma} * h \quad \text{y} \quad Pa\gamma = \frac{1}{2} \overline{Pa\gamma} * H$$

donde:

$\overline{Pp\gamma}$ = Componente horizontal pasiva de empuje de suelo.

$\overline{Pa\gamma}$ = Componente horizontal activa de empuje de suelo.

h = altura de cimentación.

H = altura total del muro.

Entonces:

$$Pp\gamma = \frac{1}{2} * 4.46 \text{ Ton/m}^2 * 0.6 \text{ m.}$$

$$Pp\gamma = 1.34 \text{ Ton/m}$$

$$Pa\gamma = \frac{1}{2} * 1.54 \text{ Ton/m}^2 * 2.6$$

$$Pa\gamma = 2.002 \text{ Ton/m}$$

Al calcular momentos de empuje activo y pasivo al pie del muro:

$$Mp\gamma = Pp\gamma * \frac{1}{3}h \quad \text{y} \quad Ma\gamma = Pa\gamma * \frac{1}{3}H$$

Donde:

$P_{p\gamma}$ = empuje pasivo total.

$P_{a\gamma}$ = empuje activo total.

h = altura de cimentación.

H = altura total del muro.

Entonces:

$$M_{p\gamma} = 1.34 \text{ Ton/m} * \frac{1}{3} 0.60 \text{ m}$$

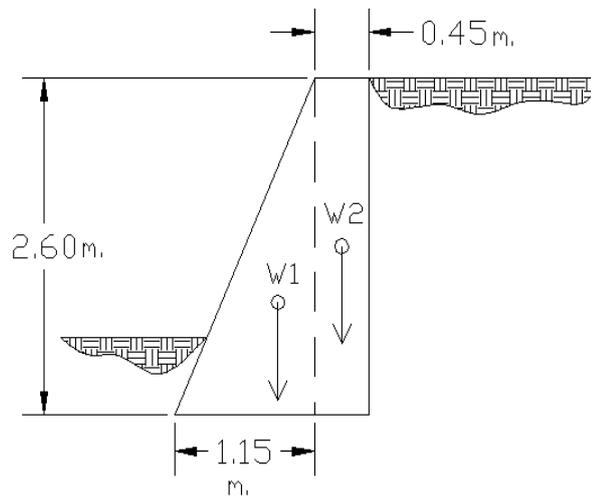
$$M_{p\gamma} = 0.268 \text{ Ton-m/m.}$$

$$M_{a\gamma} = 2.002 \text{ Ton/m} * \frac{1}{3} 2.60 \text{ m}$$

$$M_{a\gamma} = 1.735 \text{ Ton-m/m.}$$

Cálculo de peso muerto del muro, por medio de sus centros de gravedad.

Figura 17. Diagrama de peso muerto del muro, por medio de sus centros de gravedad.



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

Al calcular la sumatoria de momentos, aplicados al pie del muro:

Tabla VIII Sumatoria de momentos aplicados al muro de concreto ciclópeo

Figura	Área (m ²)	γ_c (Ton / m ³)	W (Ton/m)	Brazo (m)	M (Ton-m/m)
1	1.495	3.2	4.78	0.77	3.67
2	1.17	3.2	3.7	1.375	5.15
		Σ	8.48	Σ	8.82

Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD CONTRA VOLTEO

$$\text{(Factor de seguridad de volteo)} F_{sv} = \frac{Mp\gamma + Mw}{Ma\gamma}$$

Donde:

$Mp\gamma$ = Momento pasivo del suelo

$Ma\gamma$ = Momento activo del suelo

Mw = Sumatoria de momentos por peso propio del muro.

Entonces:

$$F_{sv} = (0.268 \text{ Ton-m/m} + 8.82 \text{ ton-m/m}) / 1.735 \text{ Ton-m/m}$$

$$F_{sv} = 5.23$$

Como el valor de 5.23 es mayor que el factor de seguridad 1.5, el muro resiste contra volteo.

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD CONTRA DESLIZAMIENTO

$$\text{(Factor de seguridad de deslizamiento)} F_{sd} = \frac{Pp\gamma + (\mu * W)}{Pa\gamma}$$

Donde:

$Pp\gamma$ = empuje pasivo total.

$Pa\gamma$ = empuje activo total.

μ = Coeficiente de fricción del suelo.

W = carga del muro.

Entonces:

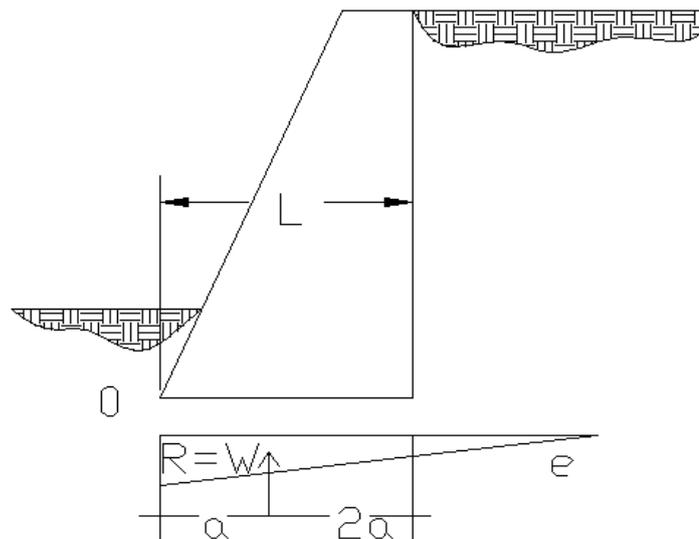
$$Fsd = [1.34 \text{ Ton/m} + (0.4 \cdot 8.48) \text{ Ton/m}] / 2.002$$

$$Fsd = 2.36.$$

Como $Fsd = 2.36$ es mayor que el factor de seguridad 1.5 el muro resiste contra deslizamiento.

VERIFICACIÓN DE LA PRESIÓN MÁXIMA BAJO LA BASE DEL MURO

Figura 18. Diagrama de presión bajo la base del muro



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

Donde la excentricidad es igual a:

$$e = (L/2) - a, \text{ en donde el término } a \text{ es: } a = (M_{p\gamma} + M_w - M_{a\gamma}) / W$$

donde:

$M_{p\gamma}$ = Momento pasivo del suelo

$M_{a\gamma}$ = Momento activo del suelo

M_w = Sumatoria de momentos por peso propio del muro.

W = carga del muro.

Entonces:

$$a = (0.268 \text{ Ton-m/m} + 8.82 \text{ Ton-m/m} - 1.735 \text{ Ton-m/m}) / 8.48 \text{ Ton/m}$$

$$a = 0.867 \text{ m}$$

$$\text{Como } 3a = (3 * 0.867) = 2.601 \text{ m.}$$

$2.601 > L = 1.60$, entonces se concluye que no existen presiones negativas.

Al haber obtenido a , entonces:

$$e = (1.60 \text{ m} / 2) - 0.867 \text{ m.}$$

$$e = -0.067.$$

Las presiones (q) máxima y mínima en el terreno serán:

$$q = \frac{W}{L} \pm \frac{W * e}{s}, \text{ donde } s = \text{módulo de sección lineal} = 1/6 * L$$

$$q = \frac{8.48}{1.60} \pm \frac{8.48 * (-0.067)}{1/6 * 1.6}$$

$$q \text{ max.} = 3.97 \text{ Ton/m}^2$$

$$q \text{ min.} = 6.63 \text{ Ton/m}^2$$

de estos resultados, y al saber que el $V_s = 22 \text{ Ton/m}^2$ se concluye que:

$q \text{ max} = 3.97 \text{ Ton/m}^2 < 22 \text{ Ton/m}^2$, por lo tanto se comprueba la hipótesis

$q \text{ min} = 6.63 \text{ Ton/m}^2 > 0$, por lo tanto se comprueba la hipótesis

Como la presión máxima es menor que el valor soporte del suelo, y la presión mínima es mayor que cero, se concluye que el muro resiste a la presión bajo su base.

De estos cálculos se concluye que las dimensiones del muro por gravedad con concreto ciclópeo serán de:

$$H = 2.60 \text{ m.}$$

$$B = 1.60 \text{ m.}$$

$$b = 0.45 \text{ m.}$$

Se utilizará concreto ciclópeo, con piedra no mayor a un diámetro de 8" y un peso específico de 3.2 Ton/m³

CONCLUSIONES

1. Las especificaciones técnicas para la protección de las fuentes de agua ante desastres y emergencias son sellos sanitarios, brocales, filtros de grava y arena; protecciones físicas, tales como rejillas, muros de contención, muros perimetrales, cunetas, contracunetas y compuertas. Estas estructuras deben garantizar seguridad, estabilidad y funcionamiento de las captaciones de agua en caso de un desastre natural o terrorismo.
2. Los principales fenómenos naturales a los cuales está expuesta la captación de agua del municipio de Gualán son en su orden huracanes, sismos, inundaciones y deslizamientos. Durante el Mitch los daños más severos, causados a la captación fueron debido a las inundaciones y deslizamientos.
3. En caso de un evento natural de tal magnitud que la captación de agua de Gualán fuera dañada parcial o totalmente, ésta podría trasladarse aguas arriba, en donde el río no esté enclavado entre montañas y el flujo del mismo es laminar.

4. De la metodología de análisis de vulnerabilidad (MAV) en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Gualán, se puede establecer que la municipalidad de la localidad, por medio de su departamento de aguas, no cuenta con planes de atención de emergencias, programas de planificación, planes de mitigación, ni comisión para formulación de los planes de mitigación ante un desastre natural, entre los cuales deberían de estar las medidas de mitigación-operativo administrativo, y técnico.
5. La captación de agua no cuenta con un sistema de medición de caudales ni para toma de muestras de calidad del agua.
6. Las especificaciones constructivas dictadas por UNEPAR e INFOM, en cuanto a los materiales constructivos utilizados en los componentes de la captación son cumplidos en forma parcial.
7. Ninguna de las obras hidráulicas cumple con las especificaciones de concreto, en especial con la especificación ACI-350.

RECOMENDACIONES

1. La Municipalidad de Gualán debe construir obras de protección para los elementos de la captación de agua, muros de contención, disipadores de energía, rejillas, cunetas, contracunetas y muros perimetrales, para garantizar la continuidad del servicio de agua potable ante un desastre natural o algún evento terrorista. Estas obras deben de cumplir con las normas de diseño y especificaciones constructivas del INFOM, UNEPAR y AGIES.
2. Crear una comisión para la formulación de los planes de mitigación, de atención de emergencias y programas de planificación, ante un desastre natural; siguiendo la metodología de análisis de vulnerabilidad (MAV), esto en el departamento de aguas de la municipalidad de Gualán.
3. La municipalidad de Gualán debe dar seguimiento, a través de la unidad técnica, a lo planteado en esta investigación, para evitar que los desastres o eventos naturales sean magnificados.

BIBLIOGRAFÍA

1. **American Concrete Institute. *Manual of concrete Practice*.** Part 4 ACI-350. EUA 2002.
2. Cabrera Seis, Jadenón Vinicio. Guía teórica y práctica del curso de cimentaciones I. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1994. 178 Págs.
3. Del Cid Colindres, Erika Paola. Protección de líneas de conducción de agua para consumo humano ante desastres naturales y emergencia. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad Rafael Landivar, Facultad de Ingeniería, 2004. 92 Págs.
4. **Desastres naturales y zonas de riesgo en Guatemala.** ASDI. UNICEF, 2001. 94 p. [Boletín /05/04](#).
5. **Guía para el diseño de abastecimientos de agua potable a zonas rurales.** Instituto de fomento municipal (INFOM/UNEPAR). 2da. revisión. Guatemala 27 de junio de 1997. 66 Págs.
6. **Guías para la calidad del agua Potable.** Ginebra. OMS, 1995. 2a. Edición. 195 Págs.
7. **La protección de las captaciones.** OMS, 1997. Copenhague, Dinamarca 20 p.
8. **Normas generales para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.** Instituto de fomento municipal, departamento de estudios y diseño (INFOM). Guatemala febrero de 1979. 45 Págs.
9. Seaman, John. **Epidemiología de desastres naturales.** México, D.F. Harla, 1989.

Anexo I

RECOPIACIÓN DE ESPECIFICACIONES GENERALES EXISTENTES PARA CAPTACIONES DE AGUA POTABLE.

INFOM EAC-01

Limpia, chapeo y destronque

Definición.

Son las operaciones previas al inicio de los trabajos en la obra, con el objetivo de eliminar toda clase de vegetación y material desechable.

Descripción.

Consiste en el chapeo, remoción y eliminación de toda clase de vegetación y desechos que estén dentro de los límites de la obra, con el fin de realizar y facilitar los trabajos de obra civil, comprende además la preservación de la vegetación que deba conservarse, a efecto de evitar daño en la obra y en la propiedad privada. Para la línea de conducción debe estimarse como mínimo la limpieza de 1m. a cada lado del eje de la línea.

Requisitos de ejecución.

El supervisor previamente designará los límites del área de limpia, chapeo y destronque, si no se indicara en algún documento.

Disposición y eliminación de producto de limpia, chapeo y destronque.

El producto indeseable de la limpia y chapeo se dispondrá en sitios adecuados, procediendo a su incineración o entierro en lugares debidamente autorizados en forma escrita por sus propietarios.

INFOM EOC-11

Cimientos de piedra.

- a. Se construirán de las dimensiones y materiales especificados en los planos. Si no existiese especificación especial respecto a materiales, podrán ser hechos con piedra de cantera, laja, etc., evitando el uso de piedra bola. Las piedras deberán ser seleccionadas y serán colocadas de tal forma que la transmisión de sus cargas sea normal a sus caras, evitando así, los planos inclinados que provoquen posible deslizamiento.

- b. En la fabricación de este tipo de cimiento se usarán piedras sanas y no intemperizadas, sin reventaduras y con un peso mínimo de 3 Kg., y un mortero (cemento-cal-arena), procurando utilizar la menor cantidad de mortero en el acomodamiento de la piedra.

INFOM EOC-41

Concreto.

Mezcla de cemento Pórtland, modificado tipo I (PM) o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, grueso y agua, con o sin aditivos.

Al concreto que tiene acero de refuerzo, ya sea preesforzado o no, diseñado suponiendo que ambos materiales actúan juntos para resistir las fuerzas a las que son sometidos, se le denomina concreto reforzado o concreto preesforzado.

INFOM EOC-42

Materiales.

Para la fabricación de concreto se emplean los siguientes materiales:

a. Cemento. Deberá cumplir con los siguientes requisitos:

a.1 Cumplir con las especificaciones para cemento Pórtland tipo I (PM) de norma COGUANOR NGO 41001, o ASTM C 595.

a.2 el cemento que se utilice deberá ser de marca de reconocida calidad y aprobada por INFOM, de no ser así deberá utilizarse hasta que haya sido aprobado por el CII e INFOM.

b. Agregados.

b.1 Agregado fino

Este material estará formado por arena de río, o por arena de trituración, que sea consistente, libre de cantidades dañinas de arcilla, cieno, desechos orgánicos y sales minerales que afecten la calidad del concreto. En general los agregados finos deben cumplir con las especificaciones de agregados para concreto COGUANOR NGO 41007 o ASTM C 33.

c. Agua.

c.1 El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero de refuerzo.

c.2 Se podrá utilizar agua potable sólo en el caso de los cilindros de mortero para pruebas y que deberá tener resistencias a los 7 y 28 días de por lo menos el 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable y cumplir con la resistencia mínima especificada para el proyecto. La comparación de la prueba de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezcla, preparados y probados de acuerdo con la norma ASTM C 109.

d. Aditivo.

Se denomina aditivos a todo el material distinto de agua, agregados o del cemento hidráulico, utilizado como ingrediente del concreto y que se añade a éste antes de o durante su mezclado con el fin de modificar sus propiedades.

d.1 Los aditivos reductores de agua, retardantes y acelerantes, deberán cumplir con las especificaciones para aditivos químicos para concreto (ASTM C 494).

d.2 Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con las especificaciones para aditivos inclusores de aire para concreto.

d.3 La ceniza volante u otros deberán cumplir con las especificaciones para ceniza volante puzolanas naturales; cruzadas o calcinadas para usarse en concreto de cemento Pórtland. (ASTM C 616).

d.4 Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener la misma composición y comportamiento en el concreto en toda la obra donde se use el producto en las proporciones establecidas.

INFOM EOC-43

Acero de refuerzo

a. El acero de refuerzo debe ser corrugado, excepto para cables o barras No. 2. Las varillas de refuerzo serán grado 40, a menos que se indique lo contrario en los planos del proyecto y debe cumplir con una de las siguientes especificaciones, excepto en lo dispuesto en el inciso b. A continuación.

a.1. Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero de lingote para refuerzo del concreto (ASTM A 615).

a.2. Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero y riel para refuerzo del concreto (ASTM A 616).

a.3. Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero eje para refuerzo del concreto (ASTM A 617).

a.4. Especificaciones para varillas corrugadas de acero de baja aleación para refuerzo del concreto (ASTM A 706).

b. Las varillas corrugadas de refuerzo deben estar de acuerdo con las siguientes excepciones a las especificaciones de la ASTM que se indican el inciso anterior:

b.1. Para las normas ASTM A 615, 616, y 617, los requisitos para la prueba de doblado de todas las varillas desde la No. 3 hasta la No. 11 deben hacerse en base a dobleces de 180 grados en varillas de sección transversal completa alrededor del gancho, cuyos diámetros se especifican en la tabla V-1.

INFOM EOC-62

Concreto ciclópeo

Definición.

Es una combinación de concreto hidráulico y piedra grande, de tamaños entre límites de 0.10 y 0.30 m.

Descripción.

Este trabajo consiste en la preparación, colocación y curado de una combinación de concreto hidráulico ($f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$. A los 28 días), con piedras sólidas.

INFOM EOC-63

Preparación del concreto ciclópeo

a. La preparación de la mezcla de concreto deberá cumplir con las especificaciones de concreto hidráulico que sean aplicables.

b. Las piedras deberán lavarse para eliminar la tierra, arcilla, o cualquier otro material extraño.

c. Las piedras deberán humedecerse en tal forma, que se garantice el proceso de fraguado normal, para evitar pérdidas de agua en el concreto por absorción del material pétreo.

ANEXO II

NORMAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES NR-4: 2001 REQUISITOS ESPECIALES PARA VIVIENDA Y OTRAS CONSTRUCCIONES MENORES

CAPÍTULO 4

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES

4.1 Generalidades

4.1.1 Los materiales deben ser de buena calidad para garantizar una adecuada resistencia y capacidad de la vivienda para absorber los efectos de las cargas externas e internas.

4.1.2 Materiales frágiles, poco resistentes, con discontinuidades se rompen fácilmente ante la acción de un terremoto, por lo que deben evitarse. Muros de adobe, ladrillo o block sin reforzar, sin vigas ni columnas, son muy peligrosos, por lo que su empleo no se recomienda.

4.2 Cemento

4.2.1 Los cementos Pórtland, generalmente, se fabrican en cinco tipos; el Tipo I es empleado más comúnmente en la construcción de vivienda, aunque también se emplea el Pórtland Tipo I Modificado, que contiene puzolana.

4.2.2 El cemento debe estar en su empaque original, fresco y al utilizarse se debe asegurar que conserve sus características de polvo fino sin grumos.

4.2.3 El cemento se debe almacenar en un lugar techado, que proteja al mismo de la lluvia y de la humedad, sin contacto con paredes o muro que puedan humedecerlo.

4.2.4 En los trabajos pequeños, y en forma temporal, se puede permitir el almacenamiento al aire libre, en cuyo caso debe proporcionarse una plataforma separada del suelo, con amplia cubierta impermeable.

4.2.5 El cemento en sacos, no debe ser apilado durante su transporte o almacenamiento, en pilas de más de 8 sacos de alto.

4.2.6 El cemento no debe almacenarse por un tiempo mayor de dos meses.

4.2.7 No puede usarse el cemento que se haya dañado por exposición a la humedad, que haya fraguado parcialmente, o que tenga terrones o esté endurecido, y debe ser rechazado el uso del contenido total del saco de cemento o del recipiente o bulto del mismo y ser retirado inmediata y definitivamente de la obra. No puede usarse el cemento recogido de los sacos rechazados o usados, o provenientes de la limpieza de los mismos.

4.3 Acero

Este material se usa en varias formas varillas de refuerzo, pernos, clavos, perfiles estructurales, etc.

4.3.1 Varillas de refuerzo

4.3.1.1 Se prefieren corrugadas porque mejora de adherencia entre el concreto y el acero.

4.3.1.2 La resistencia del refuerzo puede ser grado 40, grado 60 o grado 70 (alta resistencia).

4.3.1.3 El refuerzo grado 33 o comercial no debe usarse para aplicaciones estructurales, en vista que no posee ductilidad ni uniformidad. Únicamente para aplicaciones secundarias como aceras, bordillos. Etc.

4.3.1.4 Las varillas de refuerzo grado 40 y/o grado 60 se identifican por números, los más usados en la construcción de vivienda son:

Tabla IX. Varillas de refuerzo por números, las mas usadas

Número	Diámetro	
	(Fig.)	Observaciones
2	1/4	Usado para estribos de soleras, mochetas y cimientos trapezoidales
3	3/8	Usado para el refuerzo longitudinal de cimientos, soleras, mochetas y para estribos de vigas y columnas
4	1/2	Usado para refuerzo longitudinal de vigas, columnas, soleras, mochetas y cimientos

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.3.1.4

4.3.1.5 Las varillas de grado 70 normalmente se usan en diámetros milimétricos. La disponibilidad de los diámetros dependerá de los fabricantes o importadores, pero usualmente se manejan diámetros desde 3.80 mm hasta 6.41 mm en la versión corrugada.

4.3.1.6 En algunas situaciones particulares será necesario cambiar de tipo de refuerzo. Para ello deberá tomarse en cuenta el tipo de elemento estructural donde se empleará para obtener los diámetros equivalentes. Por ejemplo, para soleras, mochetas y cimientos, el cambio de refuerzo longitudinal se basará en una equivalencia de fuerzas (multiplicación de áreas por esfuerzos), mientras que para estribos se modificará el espaciamiento acordemente.

4.3.1.7 No emplear varillas usadas anteriormente o rescatadas de escombros, porque pueden tener fallas en su resistencia.

4.3.1.8 Se permite cierta cantidad de oxidación en los refuerzos si no está floja o suelta y no hay pérdida apreciable de área transversal.

4.3.1.9 Antes de vaciar el concreto se debe revisar que el refuerzo esté limpio de herrumbre suelta, incrustaciones y escamas, grasa, aceite, rebabas, mortero seco y otro recubrimiento que pueda afectar la adherencia.

4.3.1.10 El refuerzo debe ser firmemente sostenido durante la colocación y fraguado del concreto. Las barras deben amarrarse en todas las intersecciones, excepto en el caso de espaciamientos menores de 30 centímetros, en el cual se amarrarán las intersecciones alternas.

4.3.1.11 El alambre usado para amarre debe tener un diámetro de 0,0625 ó 0.0800 pulgadas (1.5875 a 2.032 mm), o calibre equivalente. No se permite el soldado de las intersecciones de barras de refuerzo.

4.3.1.12 La posición del refuerzo dentro de las formaletas debe mantenerse por medio de tirantes, bloques, ataduras, suspensiones y otros soportes aprobados. Los bloques deben ser de mortero de cemento prefabricado, de calidad, forma y dimensiones aprobadas. Las silletas de metal que entren en contacto con la superficie exterior del concreto, deben ser galvanizadas.

Las camas de las barras deben separarse por bloques de mortero de cemento u otros medios igualmente adecuados. No es permitido el uso de guijarros, pedazos de piedra o ladrillos quebrados, tubería de metal o bloques de madera. Los estribos verticales deben estar siempre alrededor del refuerzo principal de tensión y adheridos adecuadamente a él.

4.3.1.13 El empalme en las barras será permitido donde lo indiquen los planos. Hasta donde sea factible, los empalmes en tensión deben localizarse alejados de los puntos de momento máximo o de las zonas de altos esfuerzos de tensión.

4.3.1.14 A menos que se indique de otra forma en los planos, la longitud del traslape en tensión, no debe ser menor de 24 y 36 diámetros de barra par barras de grados 40 o menos y grado 60 respectivamente, ni menor de 30 centímetros.

4.3.1.15 Los empalmes en zonas donde el esfuerzo crítico es de compresión y cuando se utilice concreto de 210.kg/cm² o mayor, el traslape debe ser no menor de 20 y 24 diámetros para barras grados 40 o menos, y grado 60 respectivamente, ni menor de 30 centímetros. En concreto de clase inferior a 210.kg/cm², las longitudes de traslape anteriores deben incrementarse en 1/3.

4.3.1.16 En los empalmes de traslape, las barras deben colocarse en contacto entre sí y amarrarse con alambre, de tal manera, que mantengan la alineación de las mismas y su espaciamiento, dentro de las distancias libres mínimas especificadas, en relación a las demás barras y a las superficies del concreto.

4.3.1.17 Las varillas no deben quedar torcidas ni tener curvaturas no específica al fundir el concreto.

4.3.1.18 El acero de refuerzo debe almacenarse por encima del nivel del terreno, sobre plataformas, largueros, bloques y otros soportes de madera u otro material adecuado y debe ser protegido hasta donde sea posible contra daños mecánicos y deterioro superficial, incluyendo los efectos de la intemperie y ambientes corrosivos.

4.3.1.19 Las barras de refuerzo deben ser dobladas en frío.

4.3.1.20 A menos que los planos lo muestren en otra forma, los dobleces deben hacerse de acuerdo con los requisitos siguientes:

- Los estribos y las barras de amarre o sujeción del refuerzo deben doblarse alrededor de un pasador de un radio no menor del diámetro del estribo o barra.
- Los dobleces para las otras barras 3 ó 4, tendrán radios en el interior de la pasador no menores de 2.5 veces el diámetro de la barra.

4.3.2 Herrajes

4.3.2.1 Pernos, clavijas y espigas. Los pernos comunes maquinados, clavijas y espigas pueden ser de hierro forjado o de acero de carbono intermedio.

Las arandelas pueden ser de hierro fundido de segunda fusión, o hierro fundido maleable o cortadas de lámina de hierro forjado o lámina de acero de carbono intermedio. Los pernos comunes maquinados deben tener cabezas y tuercas cuadradas.

4.3.2.2 Clavos. Los clavos deben ser de alambre de acero liso y de forma estándar.

4.3.2.3 Conectores para madera. Los conectores para madera pueden ser de los siguientes tipos según se especifique en los planos: conectores de anillo partido; conectores de anillo dentado; conectores de placas de corte o conectores de malla de escarpías.

4.3.2.4 Galvanizado del herraje. Todo el herraje debe ser galvanizado conforme ASTM A 153 a menos que se especifique en otra forma.

4.3.3 Estructomallas

4.3.3.1 También es posible usar combinaciones de refuerzos de alta resistencia para fundiciones de muros y losas; el más común es la estructomalla o malla electro soldada, cuyo módulo de espaciado es generalmente de 15 centímetros o 6 pulgadas. Su resistencia normalmente es grado 70. Sus diámetros varían según cada fabricante.

4.3.3.2 Las planchas de malla de alambre soldado de refuerzo, deben traslaparse unas con otras, lo suficiente para mantener una resistencia uniforme y deben amarrarse debidamente en los extremos y bordes.

El traslape en las mallas de alambre liso, no debe ser menor del espaciamiento de la malla, en la dirección del traslape, más 5 centímetros. En las mallas de alambre corrugado, el traslape debe calcularse de acuerdo con el Reglamento ACI 318, pero en ningún caso será menor de 30 centímetros.

4.3.4 Perfiles estructurales

El acero se produce en formas preestablecidas, las más conocidas son las de alma llena o sección I, canales o costaneras, angulares, tubos, *joists*, etc. Dichas secciones pueden ser roladas de molino, o bien hechizas.

Los elementos deben protegerse de la corrosión aplicando 2 manos de pintura anticorrosiva.

4.4 Agregados

Los agregados constituyen el 75% del volumen de una mezcla típica de concreto. El término agregados comprende las arenas, gravas naturales o piedra triturada, utilizadas para preparar morteros y concretos.

4.4.1 La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes. Los agregados se consideran limpios si están libres de arcilla, limo, mica, materia orgánica (tierra), sales químicas o granos recubiertos.

4.4.2 Las partículas planas y alargadas (longitud mayor que 5 veces el espeso promedio) deben evitarse porque perjudican la trabajabilidad del concreto, resultando mezclas con más arena, cemento y agua. El porcentaje no debe sobrepasar el 15% en peso.

4.4.3 La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.

4.4.4 La grava o pedrín no debe ser frágil ni tener tamaños mayores a 7 cm.

4.5 Piedra

4.5.1 La piedra normalmente se usa para fabricar concreto ciclópeo. Es una combinación de concreto de cemento Pórtland y de piedra grande de tamaño no mayor de 30 centímetros. El concreto puede ser hasta de una resistencia de 175. kg/cm².

4.5.2 Las piedras puede consistir en piedra partida o canto rodeado, de buena calidad, de preferencia en su estado natural (con caras sin labrar), limpia, dura, sana, durable, libre de agregaciones, fracturas, grietas y otros defectos estructurales que tiendan a reducir su resistencia a la intemperie.

4.5.3 Se conservará libre de suciedad, aceite, mortero seco y otras sustancias que afecten su adhesión con el concreto.

4.5.4 La piedra debe colocarse cuidadosamente de preferencia a mano, sin dejarla caer o tirarla, para no causar daño a las formaletas, a las tuberías transversales en el caso de cabezales o al concreto adyacente parcialmente fraguado.

4.5.5 Podrá usarse piedra estratificada, siempre que sea colocada horizontalmente en relación a su plano de ruptura. Toda la piedra antes de ser colocada, debe limpiarse y mojarse con agua limpia, a modo de evitar que la piedra absorba agua del concreto. Cada piedra debe estar rodeada de por lo menos 25 centímetros de cualquier superficie ni a menos de 8 centímetros de cualquier otra superficie de la estructura que se está construyendo.

4.5.6 Si se interrumpe la fundición, al dejar una junta de construcción, deben dejarse piedras sobresaliendo no menos de 10 centímetros para formar llave. Antes de continuarse la fundición, debe limpiarse la superficie donde se colocará el concreto fresco, y mojarse la misma con agua limpia.

4.5.7 El concreto ciclópeo no se debe usar en elementos cuyo peralte sea menor de 40 centímetros y/o en las que el espesor sea menor de 30 centímetros.

4.6 Concreto

4.6.0.1 El concreto es una mezcla heterogénea de arena, grava, cemento y agua. En algunas ocasiones con aditivos que modifican sus características.

4.6.0.2 La economía de usar concreto reside en que tanto la grava como la arena y otros agregados están disponibles en forma abundante en casi todas las localidades.

4.6.0.3 El concreto puede ser de varios tipos; actualmente son los más conocidos el concreto de peso normal y el concreto liviano.

4.6.0.4 La resistencia del concreto depende de muchos factores tales como los materiales, el diseño de la mezcla, el colado y curado.

4.6.1 Dosificación del concreto

4.6.1.1 Las proporciones de los ingredientes del concreto deben establecerse con el objeto de garantizar el cumplimiento con los requisitos para la evaluación y aceptación del concreto con base en las pruebas de resistencia; la trabajabilidad, que es la consistencia adecuada para permitir que el concreto se trabaje fácilmente, dentro de las formaletas y alrededor del refuerzo, bajo las condiciones de colocación que van a emplearse, sin segregación o exudación excesivas; y la resistencia a aguas o suelos nocivos y otras condiciones hostiles, cuando se requiera.

4.6.1.2 Las proporciones del concreto pueden establecerse con base en la experiencia de campo, con materiales semejantes a los que se emplearán en la obra propuesta, o sobre la base de pruebas de tanteo en el laboratorio.

4.6.1.3 La dosificación debe realizarse en forma muy cuidadosa. Se recomienda tener en cuenta la siguiente tabla según sea el elemento estructural que se va a construir:

Tabla X. Tabla dosificación del concreto

Elementos	Cemento	arena	grava
Cimientos	1 parte	2 partes	2 ¹ / ₂ partes
Columnas y vigas	1 parte	2 partes	2 partes
Pisos	1 parte	2 partes	3 partes
Dinteles	1 parte	2 partes	3 partes

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.3

4.6.1.4 Las partes se deben medir en el mismo recipiente como balde, cubeta o cajón.

4.6.1.5 Cuando se trate de estructuras pequeñas y si no se cuenta con experiencia de campo o con datos adecuados, de bachadas de tanteo en el laboratorio, pueden basarse las proporciones del concreto en los límites de la relación agua/cemento indicadas en la tabla siguiente:

Tabla XI. Tabla relaciones de agua/cemento

Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lbs/pulg ²)	Galones por saco	Litros/saco	Agua/cemento	Sacos de 42.5 Kg por m ³ de concreto
140	2000	8	30	0.71	6.5
175	2500	7	26.5	0.68	7
210	3000	6.5	24.5	0.58	7.5

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.5

4.6.1.6 Las cantidades indicadas en tabla anterior no deben tomarse como límites cuando se apliquen los métodos normales de diseño de mezclas.

4.6.1.7 El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales, como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

4.6.1.8 El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

4.6.2 Mezclado

El concreto debe mezclarse preferentemente en el lugar de la obra. También puede hacerse por medio de la combinación de una mezcladora en un punto central y camiones agitadores o mezcladores. El concreto se debe mezclar solamente en la cantidad que sea necesaria para el uso inmediato.

4.6.2.1 Mezcladoras estacionarias en el lugar de la obra

4.6.2.1.1 El contenido de la mezcladora debe ser totalmente vaciado del tambor, previamente a la colocación de la carga siguiente. El interior del tambor y la canaleta de descarga, deben mantenerse libres de acumulaciones de mezclas y lavarse con mucho cuidado, inmediatamente después y antes de cada fundición o cuando se interrumpa por más de 45 minutos la fundición.

4.6.2.1.2 Cada carga se debe introducir en tal forma dentro del tambor que parte del agua entre en el mismo antes del cemento y del agregado y continúe fluyendo dentro del tambor cuando menos durante 5 segundos después de que todo el cemento y los agregados estén en él. El agua debe quedar vertida totalmente dentro del tambor dentro de la primera cuarta parte del tiempo especificado de mezcla.

4.6.2.1.3 Para mezcladoras estacionarias, no mayores de una capacidad de cuatro yardas cúbicas (3m³), el tiempo total de mezclado debe ser no menor de un minuto y medio.

Por cada yarda cúbica adicional de capacidad, el tiempo puede incrementarse en un cuarto de minuto, y se debe continuar hasta lograr un concreto de consistencia uniforme y apariencia satisfactoria. En todo caso, el tiempo máximo de mezclado no debe sobrepasar de cinco minutos, a fin de evitar la rotura y la segregación del agregado.

4.6.2.1.4 El tiempo de mezclado será medido desde el momento en que los agregados y el cemento estén dentro del tambor y éste empiece a girar. El mezclado del concreto debe iniciarse dentro de los treinta minutos a partir del momento en el que el cemento entre en contacto con los agregados.

4.6.2.1.5 Si los agregados están muy húmedos o la temperatura ambiente es mayor de 30 °C (85°F) o existen otras condiciones que favorezcan el rápido endurecimiento de la mezcla, este tiempo debe reducirse a 15 minutos.

4.6.2.2 Mezclado manual

4.6.2.2.1 El mezclado manual debe hacerse en bachadas no mayores de 2/3 de yarda cúbica (1/2 de metro cúbico). La cantidad de agregado debe ser medida en cajones apropiados. La mezcla debe hacerse sobre una plataforma lisa e impermeable. La arena y el cemento deben mezclarse cuidadosamente por medio de palas mientras estén secos, hasta que la mezcla tenga un color uniforme, después de lo cual se formará un cráter agregando el agua en cantidad necesaria para obtener un mortero de adecuada consistencia.

El material de la parte exterior del anillo del cráter se palea entonces hacia el centro y se da vueltas a toda la masa cortándola, en secciones, hasta que se logre una consistencia uniforme.

4.6.2.2.2 Se humedece completamente el agregado grueso y se añade al mortero, dando vueltas y revolviendo toda la masa por lo menos seis veces, hasta que todas las partículas de piedra estén cubiertas de mortero y la mezcla sea de un color y apariencia uniformes. Las cargas mezcladoras a mano no deben usarse para concreto colocado debajo del agua.

4.6.2.2.3 Cuando se realice una mezcla de concreto, se debe realizar la prueba de la bola. Ésta consiste en formar una bola con la mezcla. Si no la puede formar, pues se desmorona, es porque le falta agua o arena. Si se escurre en las manos, se pasó de agua. Si se logra formar es que la mezcla es adecuada.

4.6.2.3 Mezclado en planta y transportado en camiones

4.6.2.3.1 Los camiones mezcladores o agitadores deben ser preferentemente del tipo tambor giratorio, y contruidos de tal forma que el mezclado produzca un concreto homogéneo.

4.6.2.3.2 El concreto debe ser descargado, entregado y colocado dentro de hora y media después de que el cemento haya sido puesto en contacto con los agregados en la mezcladora.

4.6.2.3.3 Cuando existan condiciones de clima cálido, 30°C (85°F) o mayor, de mucho viento u otras que favorezcan el rápido endurecimiento de la mezcla, el límite de tiempo mencionado puede ser reducido a 1, hora si para el transporte se usan camiones agitadores, y a 45 minutos o menos, si se emplean otros medios de transporte desprovistos de agitadores.

4.6.2.3 Manejo y colocación de concreto

4.6.2.3.1 Todo el concreto debe ser fundido en horas del día y su colocación en cualquier parte de la obra no debe iniciarse si no puede completarse en dichas condiciones, a menos que se disponga de un adecuado sistema de iluminación.

4.6.2.3.2 Previamente a la colocación del concreto, debe limpiarse el interior de las formaletas, de aserrín, viruta, basuras y otras materias extrañas.

4.6.2.3.3 Cuando sea necesario, las formaletas de madera, las superficies de cimentación, y otras superficies que absorban humedad, se deben mojar antes de colocar el concreto.

4.6.2.3.4 No se debe exponer el concreto a la acción del agua antes del fraguado final. El concreto se debe depositar en seco. El concreto no debe exponerse durante su colocación o después de la misma a la acción de aguas o suelos que contengan sales alcalinas, hasta pasado un período de por lo menos 7 días.

4.6.2.3.5 Para el manejo del concreto desde la mezcladora hasta la colocación del mismo en su sitio final, deben usarse solamente aquellos métodos y equipo que reduzcan la segregación, la separación o pérdida de materiales, y aseguren el suministro de un concreto homogéneo y digno de confianza bajo todas las condiciones y procedimientos de colocación.

4.6.2.3.6 Donde las operaciones de colocación del concreto impliquen verterlo directamente desde una altura de más de dos metros, se debe depositar a través de tubos de lamina metálica u otro material aprobado.

4.6.2.3.7 El concreto debe colocarse tan cerca de su posición final como sea posible. No debe depositarse una gran cantidad de él en un determinado punto, para luego extenderlo o manipularlo a lo largo de las formaletas.

4.6.2.3.8 El concreto debe, durante y después de ser depositado, compactarse completamente, manipulándolo continuamente con una herramienta adecuada, o vibrándolo como se establece más adelante. Donde no se usen vibradores, todas las partes angostas deben ser bien paletadas y el mortero emparejado en la superficie, por el manejo continuo de un implemento para trabajar el concreto.

4.6.2.3.9 En todos los casos en que sea difícil colocar el concreto junto a las formaletas, debido a las obstrucciones producidas por el acero de refuerzo, o por cualquier otra condición, debe procurarse el contacto apropiadamente entre el concreto y las caras interiores de las formaletas, vibrando estas últimas. Las vibraciones se producen por vibradores de formaleta.

4.6.2.3.10 El concreto se debe colocar en capas horizontales contínuas cuyo espesor no exceda generalmente de 30 centímetros. Cuando por razones de emergencia sea necesario colocar menos de una capa horizontal completa, en una sola operación, dicha capa debe de terminar en una sección vertical. En cualquiera de las capas, las descargas deben sucederse una tras otra, debiendo cada una de ellas colocarse y compactarse, antes de que la precedente haya alcanzado el fraguado inicial, para que no quede una separación entre las mismas. Cada capa de concreto se debe dejar algo áspera para lograr una liga eficiente en la capa subsiguiente. La capa superior, colocada antes de que la anterior haya fraguado, debe compactarse en forma tal, que evite la formación de una junta de construcción entre ambas.

4.6.2.3.11 Las capas que se completen en un día de trabajo o que hayan sido colocadas poco antes de interrumpir temporalmente las operaciones, se deben limpiar de toda la lechada o de cualquier otro material objetable, tan pronto como las superficies sean lo suficientemente firmes para retener su forma. Para evitar las uniones visibles en las caras expuestas, hasta donde sea posible, se les debe dar una acabado adecuado.

4.6.2.3.12 El método y manera de colocación del concreto se regulará en tal forma que todas las juntas de construcción se coloquen en las zonas de bajo esfuerzo cortante y en lo posible en sitios que no sean visibles.

4.6.2.3.13 La colocación del concreto por bombeo puede ser permitida dependiendo de la adaptabilidad del método a usarse en obra. El equipo debe disponerse en una forma tal que las vibraciones derivadas de su operación no dañen el concreto fresco, recién colocado.

4.6.2.3.14 Al emplear bombeo mecánico, la operación de la bomba debe ser tal, que se produzca una corriente continua de concreto sin bolsas de aire. Cuando se terminen las operaciones de bombeo, en caso de que se vaya a usar el concreto que quede en las tuberías, éste se debe expeler de tal manera que no se contamine o que se separen los agregados.

4.6.2.3.15 Al emplearse bombeo neumático, el equipo de bombeo debe colocarse lo más cerca posible del depósito de concreto. Las líneas de descarga deben ser horizontales o inclinadas hacia arriba respecto a la máquina de bombeo.

4.6.2.3.16 El concreto para las columnas debe colocarse en una operación continua. Debe dejarse que el concreto haya endurecido por lo menos 12 horas, antes de apoyar sobre ellas las vigas o losas.

4.6.2.3.17 El concreto de las vigas debe ser colocado en una sola operación, depositándolo uniformemente en capas horizontales a todo el largo de la viga.

4.6.2.3.18 Antes de colocar cualquier concreto para las losas se debe tener a mano una regla niveladora y herramientas de acabado aprobadas, para nivelar la superficie de la losa hasta obtener el nivel deseado.

4.6.2.3.19 El concreto debe colocarse en fajas como lo indican los planos y en su espesor total. El ancho de dichas fajas será tal que el concreto de cualquiera de ellas no alcance su fraguado inicial antes de que se efectúe la fundición de la siguiente. Al efectuar el trabajo, el concreto puede ser transportado en carretillas sobre la losa ya fundida, siempre que se usen tablonés para distribuir la carga sobre las vigas.

4.6.2.4 Reblandamiento del concreto. No se debe hacer ningún reblandamiento del concreto, agregándole más agua o por otros medios.

4.6.3 Vibrado

4.6.3.1 El vibrado se debe hacer para eliminar las burbujas de aire en el concreto y evitar futuras “ratoneras” o vacíos en los elementos estructurales, ya que debilitan su resistencia, rigidez y continuidad.

4.6.3.2 Una vez colocado el concreto en el sitio, se debe empujar con una varilla lisa y recta que tenga una punta redondeada.

4.6.3.3 A menos que se especifique de otra manera, todo el concreto debe ser compactado, usando para el efecto vibradores mecánicos, de tipo interno. Para fundiciones delgadas, donde las formaletas estén específicamente diseñadas para resistir la vibración, se pueden utilizar vibradores exteriores de formaleta. Para vibrar secciones delgadas fuertemente reforzadas, el constructor debe usar cabezas de un tamaño que permita la apropiada vibración del concreto sin causar desperfectos o molestias al acero de refuerzo, a las formaletas, ni al concreto adyacente ya endurecido.

4.6.3.4 La vibración debe ser de una intensidad y duración suficientes para producir la plasticidad y la adecuada consolidación del concreto, pero no debe extremarse hasta causar la segregación de los materiales. La intensidad de la vibración será tal que afecte visiblemente una masa de concreto de revenimiento o asentamiento de 2 centímetros, en un radio de por lo menos 45 centímetros.

4.6.3.5 Las vibraciones se deben aplicar en el punto de descarga y donde haya concreto depositado poco antes. Los vibradores no deben empujarse rápidamente sino que se les permita que ellos mismos se abran camino dentro de la masa de concreto y se retiren lentamente para evitar la formación de cavidades.

4.6.3.6 Los vibradores deben insertarse verticalmente, atravesar la capa que se está consolidando y penetrar unos centímetros en la capa colocada anteriormente, la que debe estar en estado plástico, a intervalos sistemáticos, de tal manera que se logre una compactación adecuada.

Los puntos de aplicación deben espaciarse uniformemente a distancias no mayores del doble del radio de vibración efectiva de los vibradores.

4.6.3.7 La vibración debe ser tal que el concreto sobre el refuerzo no fuerce a secciones o capas de concreto que hayan endurecido, a tal grado que el concreto no pueda volverse plástico por su revibración, y tampoco debe usarse como medio para transportar el concreto a lo largo de las formaletas ni para desplazar el mismo distancias tales que causen su segregación.

4.6.3.8 Con el fin de obtener un concreto debidamente compactado carente de cavidades, burbujas y similares, la vibración debe ser complementada por la compactación manual que sea necesaria a lo largo de las superficies de las formaletas y en la esquinas y puntos donde sea difícil obtener una vibración adecuada.

4.6.4 Curado

4.6.4.1 El concreto necesita tiempo de curado, porque no todas sus partículas reaccionan y se endurecen al mismo tiempo. Todas las superficies de concreto deben mantenerse húmedas por un periodo no menos de 7 días, después de haber sido colocado. Durante ese tiempo se debe proteger el concreto del viento y del sol y debe mantenerse tan húmedo como sea posible, especialmente los tres primeros días.

4.6.4.2 Inmediatamente después del retiro de las formaletas y la terminación del acabado de las superficies, el concreto puede ser curado por alguno de los métodos indicados a continuación. Si las formaletas de madera deben permanecer en su sitio por el período de curado, deben mantenerse húmedas todo ese tiempo. Deben tomarse las precauciones necesarias para proteger el concreto fresco contra las altas temperaturas, así como con los vientos que puedan causar un secado prematuro y la formación de agrietamientos superficiales. En caso necesario deben colocarse cortinas protectoras contra el viento hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para recibir una cubierta o tratamiento de curado.

4.6.4.3 Métodos de curado con agua

4.6.4.3.1 Las losas de concreto pueden ser cubiertas por:

- Tierra o arena mojada de un espesor mínimo de 5 centímetros.
- Lámina de agua, mantenida a un nivel tal que la superficie de la losa quede completamente sumergida durante el periodo de curado.
- Cubiertas apropiadas, como esterillas de algodón o brines empapados, membranas de polietileno, papel impermeable u otras cubiertas.

4.6.4.3.2 Todas las otras superficies de concreto pueden ser mantenidas húmedas mediante el uso de cubiertas apropiadas como las indicadas en el párrafo anterior o por medio de rociado o riego continuo de agua.

Para aquellas áreas que deban ser acabadas por frotado, podrá quitárseles las cubiertas provisionalmente para permitir el acabado, debiendo las mismas ser repuestas tan pronto como sea posible.

4.6.4.4 Compuesto líquido para curado

4.6.4.4.1 A todas las superficies se les debe dar el acabado superficial exigido antes de la aplicación del compuesto líquido para curado. Durante el periodo de curado, el concreto debe ser protegido por cubiertas húmedas o por rociado continuo. El compuesto líquido para curado debe ser de una consistencia apropiada para regarlos a las temperaturas existentes durante la construcción y formar una película continua y uniforme. Debe estar libre de materiales en suspensión causadas por las condiciones de almacenamiento o temperatura, ser relativamente antitóxico y de tal naturaleza que no reaccione con el concreto.

4.6.4.4.2 Además, si es del tipo transparente o translucido debe contener una tintura temporal para ayudar a obtener una cobertura uniforme. El color debe permanecer visible por lo menos 4 horas, al cabo de las cuales se esfumará dejando la superficie del concreto libre de cualquier cambio pronunciado de color, salvo un ligero oscurecimiento y carente de decoloración objetable.

4.6.4.4.3 El compuesto líquido debe aplicarse por medio de un equipo de rociado o regado a la velocidad indicada por el fabricante pero no menor de un galón para cada 150 pies cuadrados (1 litro cada 3.6 M2) de superficie de concreto. Todo el concreto curado por este método debe recibir dos aplicaciones del compuesto líquido para curado.

La primera capa debe aplicarse después del retiro de la formaleta y haber sido acabado el concreto. Si la superficie está seca, debe mojarse completamente con agua, aplicando el compuesto líquido de curado cuando desaparezca de la superficie la película de agua. La segunda aplicación se hace después de que haya secado y fraguado la primera capa.

4.6.4.4.4 Las capas de curado deben mantenerse protegidas contra daños por lluvia u otra forma, por un periodo no menor de 10 días. Si no se puede evitarse que se produzcan daños, debe exigirse la aplicación del curado con agua. Durante el tiempo caluroso, las superficies de concreto deben conservarse húmedas por curado continuo con agua por un periodo no menor de 24 horas, inmediatamente después del acabado de las mismas. Después de este periodo puede aplicarse compuesto líquido para curado (preferiblemente con pigmento blanco) o continuar con el curado con agua. Para temperaturas ambientales mayores de 32°C y vientos secos, es recomendable suspender el uso de compuesto líquido de curado y utilizar el método de curado con agua.

4.6.5 Remoción de las formaletas y de la obra falsa

4.6.5.1 El tiempo de remoción de las formaletas y obra falsa está condicionado por el tipo y localización de la estructura, el curado, el clima y otros factores que afecten el endurecimiento del concreto.

Si las operaciones de campo no están controladas por ensayos de especímenes de concreto, el siguiente cuadro puede usarse como guía para el tiempo mínimo requerido antes de la remoción de las formaletas y la obra falsa.

Tabla XII. Tiempo para remoción de formaleta

Tipo de elemento	Tiempo para remoción de formaleta
Vigas de luces de 3 metros o menos	10 a 14 días
Vigas con luces mayores de 3 metros	14 a 21 días
Losas	7 a 14 días
Muros	12 a 24 horas
Columnas	1 a 7 días
Lados y vigas y todas las demás partes	12 a 24 horas

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.5

4.6.5.2 La remoción de formaletas y soportes se debe hacer cuidadosamente y en forma tal que permita al concreto tomar gradual y uniformemente los esfuerzos debidos a su peso propio.

ANEXO III

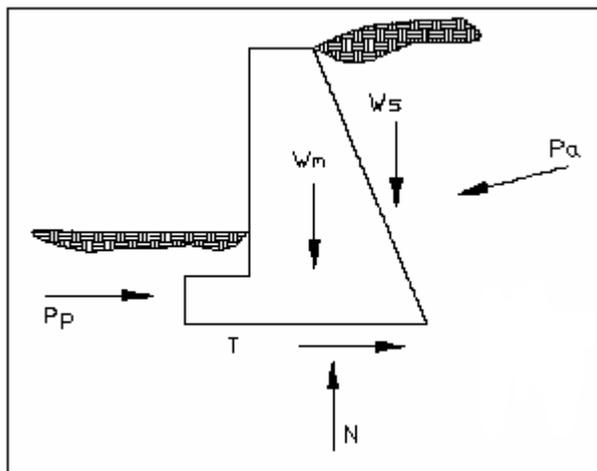
ANÁLISIS Y EL DISEÑO DE UN MURO POR GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO

Para esto se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

a. Fuerzas sobre el muro:

Las fuerzas que actúan, en forma general, sobre el muro, se muestran en la figura 19. Estas fuerzas se acostumbran tomar por unidad de longitud, ya sea por metro o por pie.

Figura 19. Fuerzas actuantes sobre el muro



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

Donde:

W_m = Peso del muro.

W_s = Peso del suelo.

P_a = Empuje activo.

P_p = Empuje pasivo.

T = Resistencia al deslizamiento.

N = Fuerza sustentante.

La fuerza sustentante soporta el peso del muro, el peso del suelo más las componentes verticales de las demás fuerzas. El empuje activo que se desarrolla al colocar el relleno y cuando actúan otras sobrecargas sobre la superficie del terreno, tiende a empujar el muro hacia el exterior. Este movimiento hacia fuera es contrarrestado por la resistencia al deslizamiento en la base del muro y por la presión pasiva del suelo o del agua situada por delante del muro.

El empuje activo también tiende a volcar el muro alrededor de su pie. Este vuelco es contrarrestado por el peso del muro y por la componente vertical del empuje activo. Así pues, el peso del muro es importante por dos razones:

- Se opone al vuelco del muro.
- Da lugar a una resistencia al deslizamiento en la base.

Un muro de gravedad con concreto ciclópeo, junto con el relleno que sostiene y el suelo que soporta, constituyen un sistema con un grado elevado de indeterminación. Las magnitudes de las fuerzas que actúan sobre un muro no pueden determinarse únicamente a partir de la estática, además, estas magnitudes resultarán afectadas por la secuencia de las operaciones de construcción y relleno. Por esto, el análisis de un muro de este tipo se basa no solo en un cálculo de las fuerzas que existirían en caso que el muro comenzara a fallar, debido a cargas dinámicas producidas por desastres naturales.

El primer paso para el cálculo del muro será prever el sistema de deformaciones que conducirán a la falla. Al desplazarse el muro hacia fuera, un mínimo espacio, el suelo de relleno se mueve hacia el muro y hacia abajo. Estos movimientos son la causa de que la falla se produzca a través de una zona activa, es decir, toda la resistencia por fricción se movilizó en dicha zona.

Una segunda zona de falla por corte, o sea la zona pasiva, se desarrolla al pie del muro, cuando éste empuja contra el suelo.

El empuje activo y pasivo de tierras es calculado, ya sea con las ecuaciones de Coulomb o con las ecuaciones de Rankine. Éstas se presentan a continuación:

Ecuación de Rankine:

$$P_a = K_a * \gamma * H^2/2 \quad \text{y} \quad P_p = K_p * \gamma * H^2/2$$

Donde:

P_a = Empuje activo de tierras.

P_p = Empuje pasivo de tierras.

γ = Peso unitario del suelo.

H = Altura del muro.

K_a = coeficiente de presión activa.

K_p = Coeficiente de presión pasiva.

El coeficiente de la presión activa depende únicamente de ϕ (ángulo de fricción interna) y de β (ángulo del talud del terreno) de esto Rankine dedujo la siguiente fórmula:

$$K_a = \cos \beta * \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Donde:

β = Ángulo del talud del terreno.

ϕ = Ángulo de fricción interna.

Al igual que el coeficiente de empujes activos, el coeficiente de empujes pasivos solamente depende de ϕ y de β

$$K_p = \cos \beta * \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$K_p = 1 / K_a$$

Donde:

β = Ángulo del talud del terreno

ϕ = Ángulo de fricción interna

Algunos diseñadores usan la presión hidrostática que produciría un flujo imaginario, cuyo peso específico fuera γ_f , que se llama peso específico equivalente. A esta forma de hallar los empujes se le llama equivalente líquida o equivalente fluida. Esto no es más que la modificación de la fórmula de Rankine en la que:

$$\gamma_f = K_a \gamma \quad \text{o} \quad \gamma_f = K_p \gamma$$

Ecuación de Coulomb:

$$P_a = K_a \gamma H^2/2 \quad \text{y} \quad P_p = K_p \gamma H^2/2$$

Donde:

P_a = Empuje activo de tierras.

P_p = Empuje pasivo de tierras.

γ = Peso unitario del suelo.

H = Altura del muro.

K_a = coeficiente de presión activa.

K_p = coeficiente de presión pasiva.

Para el caso activo, la teoría de Coulomb, la forma del coeficiente del empuje activo de tierras depende de las siguientes variables: ϕ , α , β , δ y es independiente de γ y de H

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha - \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

El coeficiente de presión pasiva depende también de las variables anteriormente mencionadas, y tiene la siguiente forma:

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\alpha - \phi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha + \delta) * \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi + \beta)}{\text{sen}(\alpha + \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Si la teoría de Coulomb es la usada para determinar los empujes, en ésta se asume que hay un pequeño deslizamiento en la cara posterior del muro y que la presión de la tierra actúa a un ángulo δ (fricción suelo – muro) formado con la normal al muro.

La solución de Rankine aplica la presión activa a un ángulo β con la horizontal, sobre un plano vertical que pasa por el extremo de la base

b. Dimensionamiento:

El diseño de un muro por gravedad empieza con la selección de dimensiones tentativas. Con estas dimensiones se hace el análisis de la estabilidad del muro y los requerimientos estructurales y, si es necesario, se reajustan las mismas.

Como éste es un procedimiento de “tanteos”, son varias las soluciones que se pueden obtener. Todas estas soluciones son, pues, satisfactorias a los requerimientos planteados.

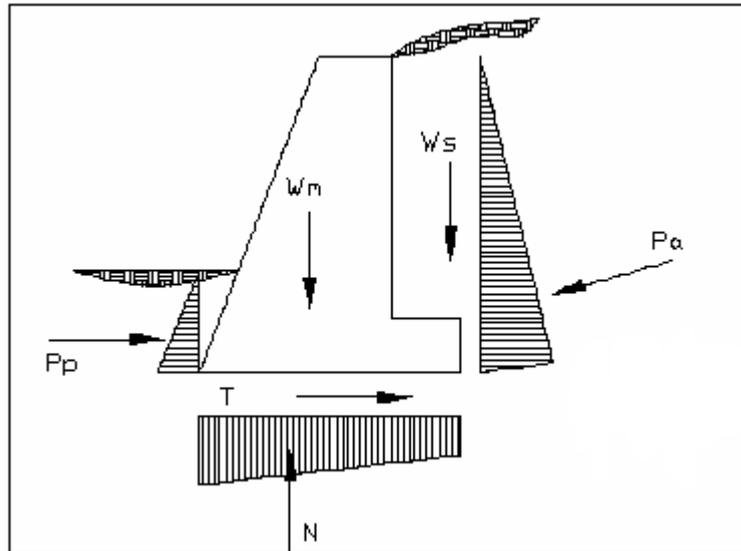
La base y otras dimensiones del muro deben ser tales que la resultante o fuerza sustentante caiga en el tercio medio. Si esto es así, por lo general el muro es una estructura estable. La parte superior del muro debe ser, al menos, de 30 centímetros, pudiendo variarse hasta $H/8$.

c. Estabilidad contra deslizamiento:

Es común, en la práctica, tomar en cuenta el suelo del frente del muro, solamente hasta la altura de la base del muro, en el análisis de estabilidad contra deslizamiento. El suelo en esta parte provee una presión pasiva resistente cuando el muro tiende a deslizarse dentro de ésta. Por lo tanto, si el suelo fuera excavado por alguna razón, después que el muro sea construido, esta presión pasiva dejaría de ser efectiva y se tendría una falla por deslizamiento en potencia.

La resistencia a la fuerza de deslizamiento a lo largo de la base se identifica con la letra T.

Figura 20. Diagrama de presiones de un muro por gravedad



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

La fuerza sustentante es igual a la suma de fuerzas verticales, incluyendo la componente vertical del empuje.

$$N = \Sigma F_v$$

La resistencia al deslizamiento no es más que:

$$T = fN$$

Donde:

F = Factor de deslizamiento.

N = Fuerza sustentante.

El coeficiente de fricción, f, se toma como la tangente del ángulo de fricción externa ($2/3 \phi$):

$$f = \text{tg} (2/3 \phi)$$

En cuanto el factor de seguridad para el análisis de estabilidad contra el deslizamiento se tiene:

$$\text{f.s.} = \text{FR}/\text{Pah}$$

Donde:

f.s. = Factor de seguridad.

FR = Fuerza resistente.

Pah = Empuje activo horizontal.

d. Estabilidad contra el volteo:

El empuje sobre el muro, tiende a volcar éste alrededor de su pie o base (punto 0). Este momento de volteo es equilibrado por el momento que desarrolla el peso del muro.

Para el análisis de estabilidad contra volteo se tiene:

$$f.s. = Me/Mv$$

Donde:

f.s. = Factor de seguridad contra volteo.

Me = Momento estabilizante.

Mv = Momento de volteo.

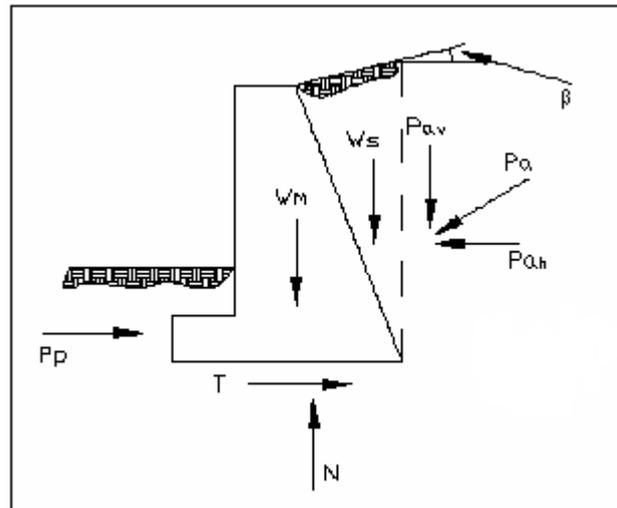
El momento estabilizante está dado por el peso de la estructura, el peso del suelo, la componente vertical del empuje y el empuje pasivo del frente del muro.

El momento de volteo está dado por el empuje horizontal que actúa sobre el muro.

El factor de seguridad contra el volteo es usual tomarlo también como de 1.5, aunque puede ser mayor. Existen varias maneras de determinar el factor de seguridad, para un problema dado (sismos, lluvias, deslaves, etc.) depende del procedimiento.

Por lo general si la resultante N cae en el tercio medio de la base, la estabilidad contra el volteo es adecuado.

Figura 21. Componentes h y V de la presión activa



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

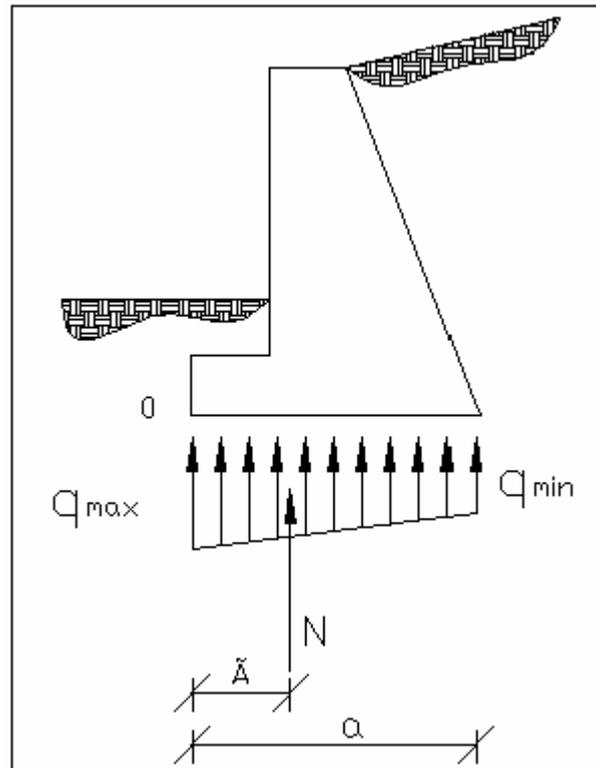
e. Capacidad soporte:

Para el diseño de los muros que trabajan por gravedad es muy importante tomar en cuenta la capacidad soporte del suelo, ya que no se debe sobrepasar la capacidad del mismo, a causa de la absorción de cargas.

Se debe procurar que la resultante N , fuerza sustentante caiga en el tercio medio de la base, con el objeto de tener una distribución de presiones, como la que se muestra en la figura 22.

Es muy importante que en esta distribución de presiones no haya tensiones, pues el suelo no es capaz de absorberlas.

Figura 22. Distribución de presiones en la base del muro



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

La resultante vertical N , que actúa en la base es igual a la suma de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro. Puede tener una excentricidad “ e ”, con respecto al centroide de la base.

Tomando momentos alrededor del punto 0, se tiene:

$$M_N = M_E - M_V$$

Donde:

M_N = Momento neto que actúa sobre el muro.

M_E = Momento estabilizante.

MV = Momento de volteo.

Por otro lado se tiene que:

$$MN = N \cdot e \quad \text{por lo tanto} \quad e = MN/N$$

Donde:

MN = Momento neto.

N = Fuerza sustentante.

e = Brazo con respecto a 0 de N.

Si el ancho de la base es a, la excentricidad puede ser determinada por:

$$e = a/2 - e$$

La presión sobre la base del muro por metro de longitud es:

$$q = N/a (1 \pm 6e/a)$$

de donde:

$$q_{\max} = N/a (1 \pm 6e/a)$$

El valor de la presión máxima debe ser menor o igual a la capacidad soporte.