



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO BÁSICOS  
PARA CENTRALES HIDROLÉCTRICAS.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A:**

Pável de Jesús Sánchez Sánchez



DIRECTOR DE TESIS: ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO

México, D.F. 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/101/10

Señor  
PÁVEL DE JESÚS SÁNCHEZ SÁNCHEZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO BÁSICOS PARA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS"**

- INTRODUCCIÓN  
I. ANTECEDENTES  
II. INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN  
III. MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
IV. MANTENIMIENTO CORRECTIVO  
V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 8 de Diciembre del 2010.  
EL PRESIDENTE

ING. RODOLFO SOLÍS UBALDO

RSU/MTH\*gar.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su amor incondicional y entrega desinteresada. El apoyo y la confianza brindada durante mi vida constituyen el cimiento más fuerte de mis logros.

A mi padre, por su gran cariño y esfuerzo empeñado en hacerme un hombre de bien.

A mi hermano, por su amistad y su constante compañía.

A mi querida UNAM, por los conocimientos y la preparación que me ayudaran a mejorar mi país.

A mi querido Chiapas, por los buenos tiempos vividos y entrañables amigos.

Mi muy sincero agradecimiento al Ing. Carlos Chávarri Maldonado, por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo y sobretodo a la confianza depositada.

A mis maestros con gratitud y admiración, porque son la base de lo que soy como profesionista.

# INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO BÁSICOS PARA CENTRALES HIDROLÉCTRICAS.

<b>CONTENIDO</b>	<b>iv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	1
1.2. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	1
1.3. SISTEMAS DE CONDUCCIÓN	1
1.3.1. Conducción con sistema combinado (a superficie libre y a presión)	2
1.3.2. Conducción con túnel a presión	3
1.4. ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN	5
1.4.1. Obras de captación	5
1.4.2. Conducción por gravedad	10
1.4.3. Conducción a presión	11
1.4.4. Instalaciones auxiliares	15
1.5. CASA DE MÁQUINAS	20
1.5.1. Tipos de casas de máquinas	20
<b>CAPÍTULO 2. INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN</b>	<b>26</b>
2.1. ALCANCE	26
2.2. TIPOS DE INSPECCIÓN	26
2.2.1. Inspección de rutina general	27
2.2.2. Inspección de rutina específica	27
2.2.3. Inspección especial	27
2.3. ELABORACIÓN DE INFORMES	27
2.4. GUÍA DE INSPECCIONES	28
2.4.1. Obras de captación	28
2.4.2. Sistemas de conducción a superficie libre	30
2.4.3. Sistemas de conducción a presión	30
2.4.4. Instalaciones auxiliare	31
2.4.5. Camino de acceso a la central hidroeléctrica	32
2.4.6. Túnel de acceso y galerías	32
2.4.7. Subestructura	33

2.4.8. Nivel de turbinas	33
2.4.9. Nivel de generadores	33
2.4.10. Nivel de excitadores	34
2.4.11. Superestructura y transformadores	34
<b>CAPÍTULO 3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	<b>35</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	35
3.2. OBRAS DE CAPTACIÓN	35
3.2.1. Presa derivadora	35
3.2.2. Obra de toma	39
3.2.3. Canal de llamada	39
3.3. OBRAS DE CONDUCCIÓN	40
3.3.1. Canales	40
3.3.2. Conductos cerrados parcialmente llenos	43
3.3.3. Sifones invertidos	44
3.4. TANQUES DE REGULACIÓN	44
3.5. POZOS DE OSCILACIÓN	45
3.6. TÚNEL DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS	46
3.7. LUMBRERAS	46
3.8. DESFOGUE	47
3.9. CÁRCAMOS DE BOMBEO	47
3.10. MÉNSULAS, TRABE CARRIL Y GRÚA VIAJERA	48
3.11. CARCASA DE LA TURBINA Y TUBO DE ASPIRACIÓN	48
3.12. SISTEMA DE VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	49
3.13. INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA	49
<b>CAPÍTULO 4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>52</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	52
4.2. OBRAS DE CAPTACIÓN	52
4.2.1. Presa derivadora	52
4.2.2. Obra de toma	54

4.3. OBRAS DE CONDUCCIÓN	55
4.3.1. Canales	55
4.3.2. Conductos cerrados parcialmente llenos	58
4.4. TANQUES DE REGULACIÓN	61
4.5. POZOS DE OSCILACIÓN	62
4.6. TÚNEL DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS	63
4.7. LUMBRERAS	64
4.8. TÚNEL DE DESFOGUE	64
4.9. CÁRCAMO DE BOMBEO	65
4.10. TRABE CARRIL Y GRÚA VIAJERA	65
4.11. CARCASA DE LA TURBINA Y TUBO DE ASPIRACIÓN	66
4.12. SISTEMA DE VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	66
4.13. INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA	67
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>69</b>

## INTRODUCCIÓN

En México existen 64 Centrales Hidroeléctricas en operación que representan el 22% de la capacidad efectiva instalada para la generación de energía eléctrica. En todas las Centrales Hidroeléctricas sean grandes o pequeñas desde el punto de vista de infraestructura o capacidad instalada, todas requieren de mantenimiento mecánico, eléctrico, de control y civil; este último tipo de mantenimiento es el tema que atañe a la presente Tesis, la cual se enfoca a las obras civiles más significativas de una Central Hidroeléctrica y servirá como una guía básica para la inspección y la realización de los trabajos necesarios para lograr un adecuado mantenimiento tanto preventivo como correctivo. Así pues el primer objetivo de este trabajo es servir de guía básica para todos aquellos profesionistas o técnicos involucrados en los trabajos de mantenimiento civil, no se duda que algunos problemas reales queden fuera del alcance de este trabajo pues debido a la amplia problemática que puede presentarse durante la vida útil de las obras civiles resulta una tarea difícil abarcar soluciones a todas las contrariedades antes mencionadas, no obstante el presente trabajo ofrece soluciones a los problemas más comunes que puede enfrentar el Ingeniero Civil a cargo del mantenimiento de la infraestructura de Centrales Hidroeléctricas.

# CAPITULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Es el conjunto de actividades cuyos objetivos son preservar la integridad y el funcionamiento de las obras, equipos e instalaciones; maximizar su disponibilidad; minimizar los costos de operación, y asegurar la producción de electricidad. Esto se logra al llevar a cabo las acciones de conservación necesarias. Su clasificación más simple es:

- a) **Mantenimiento preventivo:** Sus actividades básicas son la inspección, análisis de la información, diagnóstico y trabajos de prevención.
- b) **Mantenimiento correctivo:** Sus tareas fundamentales son la inspección específica, reparación y reemplazo parcial o total de las obras.

Resulta evidente la importancia que debe darse a las actividades de mantenimiento, en sus aspectos preventivo y correctivo, con el fin de lograr que las centrales hidroeléctricas tengan un desempeño adecuado, ya que cualquier daño o deterioro en alguna de las obras civiles que no reciba mantenimiento adecuado y oportuno puede afectar la capacidad de generación y la vida útil de una central.

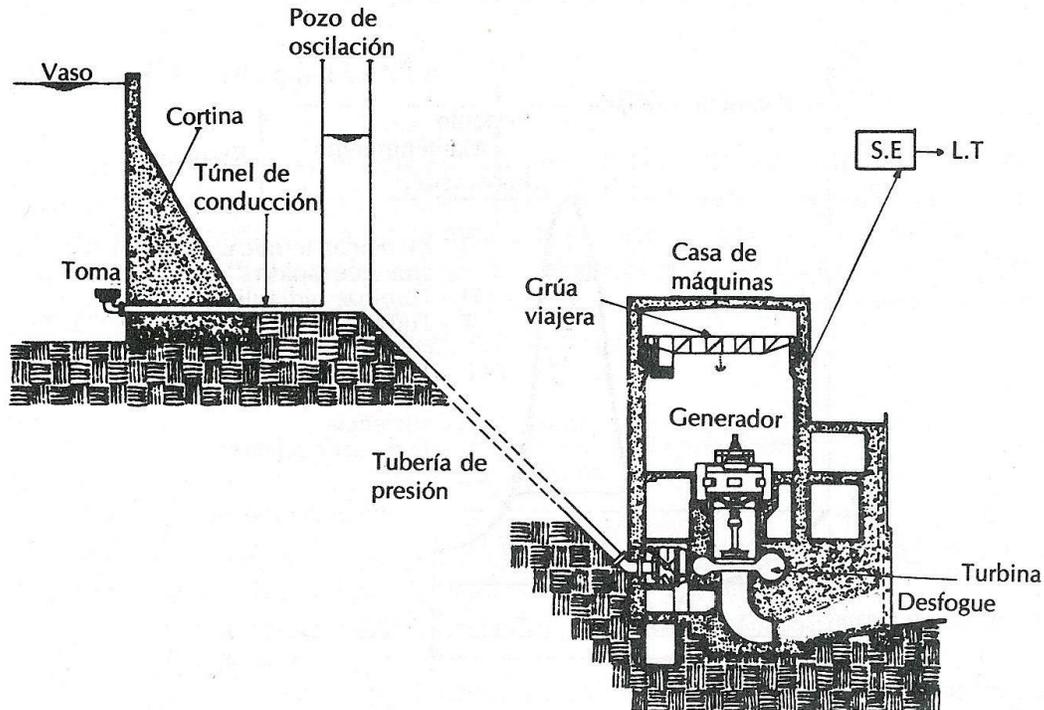
### 1.2. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua como fuente primaria para generar electricidad. Estas plantas se localizan en sitios en donde existe una diferencia de altura entre la central eléctrica y el suministro de agua. De esta forma, la energía potencial del agua se convierte en energía cinética que es utilizada para impulsar el rodete de la turbina y hacerla girar para producir energía mecánica. Acoplado a la flecha de la turbina se encuentra el generador, que finalmente convierte la energía mecánica en eléctrica.

No existen centrales hidroeléctricas idénticas ya que cada proyecto se tiene que adaptar a un medio ambiente diferente, pero todas cuentan con los siguientes elementos básicos para la generación de electricidad.

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| ▪ Presa o vaso de almacenamiento | ▪ Pozo de oscilación    |
| ▪ Cortina                        | ▪ Tubería a presión     |
| ▪ Obra de demasías               | ▪ Casa de máquinas      |
| ▪ Obra de toma                   | ▪ Obra de desfogue      |
| ▪ Conducción                     | ▪ Subestación elevadora |

En la Figura 1.1 se representa esquemáticamente los elementos antes mencionados. En el esquema puede observarse que una vez producida la energía eléctrica es conducida a la subestación elevadora, S. E., y de allí a la línea de transmisión, L. T.



**Figura 1.1. Elementos principales de una central hidroeléctrica (Gardea, 1992)**

En el siguiente subcapítulo se hará una descripción a detalle de las obras e instalaciones que componen a una central hidroeléctrica poniendo especial énfasis en el sistema de conducción y la casa de máquinas.

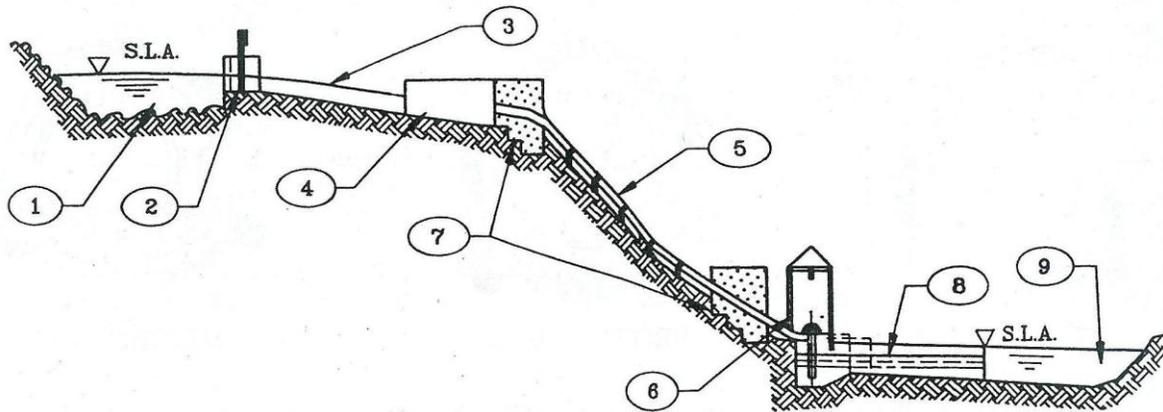
### 1.3. SISTEMAS DE CONDUCCIÓN

Un sistema de conducción es un conjunto de obras civiles que encauzan el agua desde una captación natural o artificial, hacia los equipos que generan la energía eléctrica. Pueden clasificarse en tres tipos que se describen a continuación.

#### 1.3.1. Conducción con sistema combinado (a superficie libre y a presión)

La conducción se realiza por gravedad sobre las laderas ó, a través de montañas y barrancas hasta un conducto a presión donde se logra la caída hacia la planta generadora (Figura 1.2). Los componentes que lo integran son:

- Presa de derivación y sus elementos secundarios.
- Obra de toma a superficie libre, con sus mecanismos de control y rejillas.
- Obras de conducción como canales, cajones, túneles, sifones y puentes-canal.
- Tanque de regulación, desarenadotes y casetas de operación.
- Tubería a presión



CONDUCCION CON SISTEMA COMBINADO

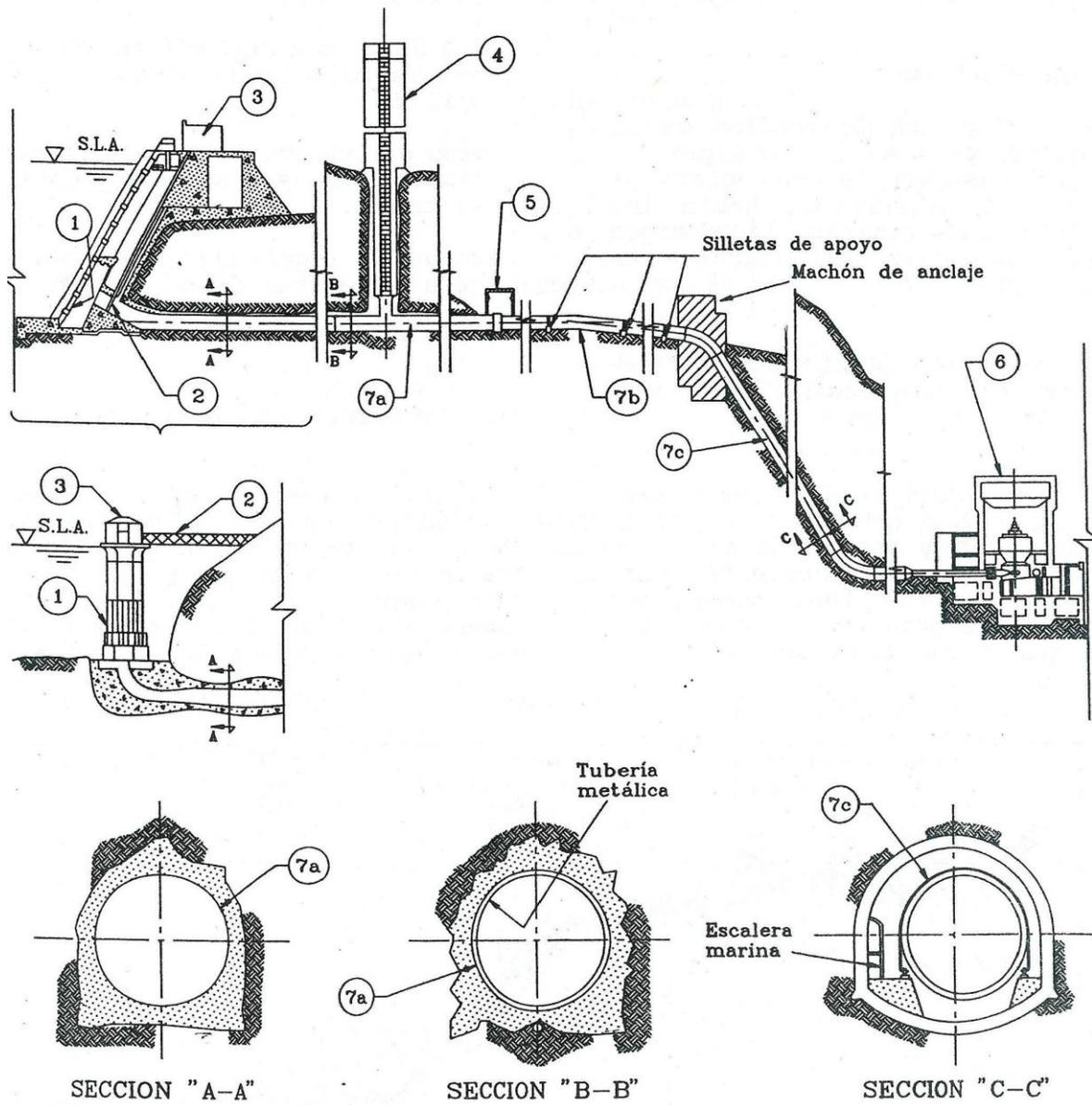
- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Obra de almacenamiento                                 | 5. Tubería a presión a la intemperie |
| 2. Obra de toma   | 6. Casa de máquinas                  |
| 3. Conducción por gravedad<br>(Canales, Sifones, Túneles) | 7. Machón de concreto                |
| 4. Tanque de regulación                                   | 8. Estructura de desfogue            |
|   | 9. Río                               |

Figura 1.2. Elementos de un sistema de conducción combinado (CFE, 1991)

### 1.3.2. Conducción con túnel a presión

Se utiliza cuando el río forma un meandro con fuerte pendiente, donde con un túnel a presión a través de la montaña se gana una caída considerable hasta la planta generadora, acortando la longitud del conducto (Figura 1.3). Sus elementos más importantes son:

- Presa de almacenamiento.
- Obra de toma, adosada ala ladera de la montaña o como torre de toma en el embalse (ambas con sus mecanismos de control y rejillas).
- Túnel a presión.
- Pozo de oscilación.
- Tubería a presión.



CONDUCCION CON TUNEL A PRESION

TOMA ADOSADA A LA PRESA  
O A LA LADERA

- 1. Rejilla metálica
- 2. Compuerta de servicio
- 3. Caseta de operación
- 4. Pozo de oscilación
- 5. Casa de válvulas

- 6. Casa de máquinas
- 7. Conducto a presión
  - a). Túnel revestido
  - b). Tubería a la intemperie
  - c). Tubería alojada en lumbrera

TORRE DE TOMA

- 1. Rejilla metálica
- 2. Puente de acceso a la torre
- 3. Caseta de operación o inspección

Figura 1.3. Elementos de un sistema de conducción con túnel a presión (CFE, 1991)

### **1.3.3. Conducción con captación a pie de presa**

Su principal característica es la comunicación directa entre el embalse y la casa de máquinas, mediante la tubería a presión de longitud relativamente corta. La central se ubica al pie de la presa (Figura 1.4), se integra por los siguientes elementos:

- Obra de toma (adosada al paramento aguas arriba de la presa, en ocasiones con canal de llamada; o bien como una torre de toma dentro del embalse).
- Tubería a presión (generalmente contenida al cuerpo de la presa).

Este tipo de conducción se emplea cuando las condiciones geológicas y topográficas del sitio sólo permiten aprovechar la carga hidráulica que se crea en el embalse.

## **1.4. ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN**

En los sistemas antes mencionados existen obras e instalaciones principales para la conducción y control del agua, y obras auxiliares para su operación y protección. Los elementos de los sistemas de conducción se clasifican en:

- 1.4.1. Obras de captación: presa de derivación y obras de toma.
- 1.4.2. Conducción por gravedad: Canales, cajones y túneles parcialmente llenos.
- 1.4.3. Conducción a presión: tuberías, túneles y sifones.
- 1.4.4. Instalaciones auxiliares: tanques de regulación, vertedores, desarenadores, pozos de oscilación, lumbreras, casetas de válvulas y estructuras de apoyo.

A continuación se hace una breve descripción de los elementos anteriores.

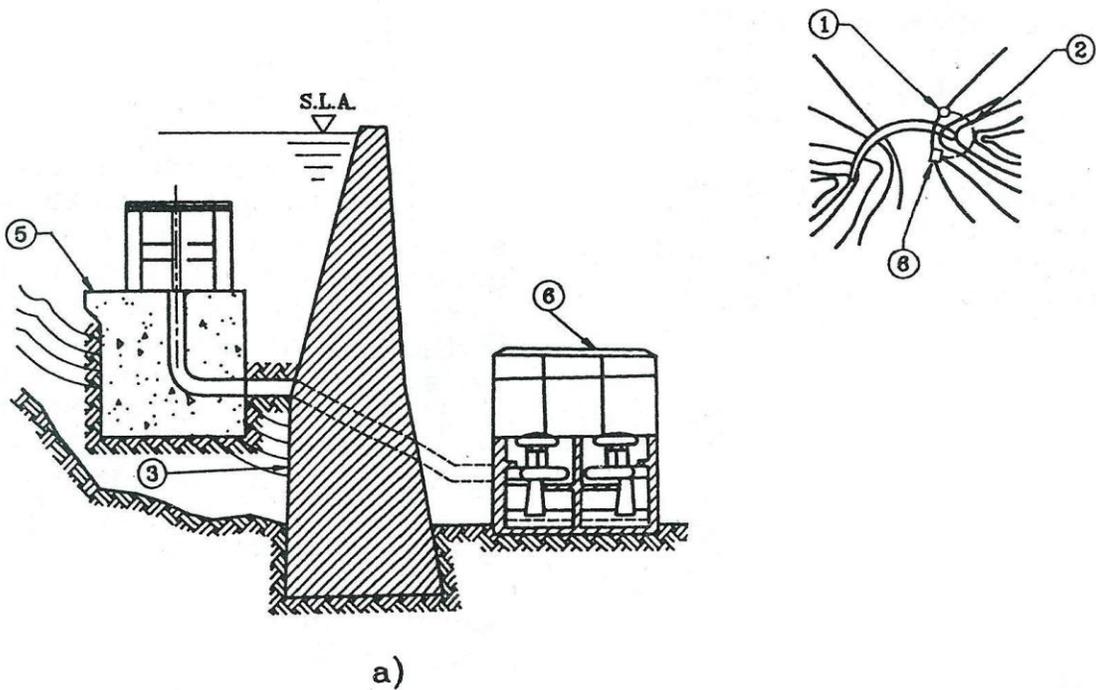
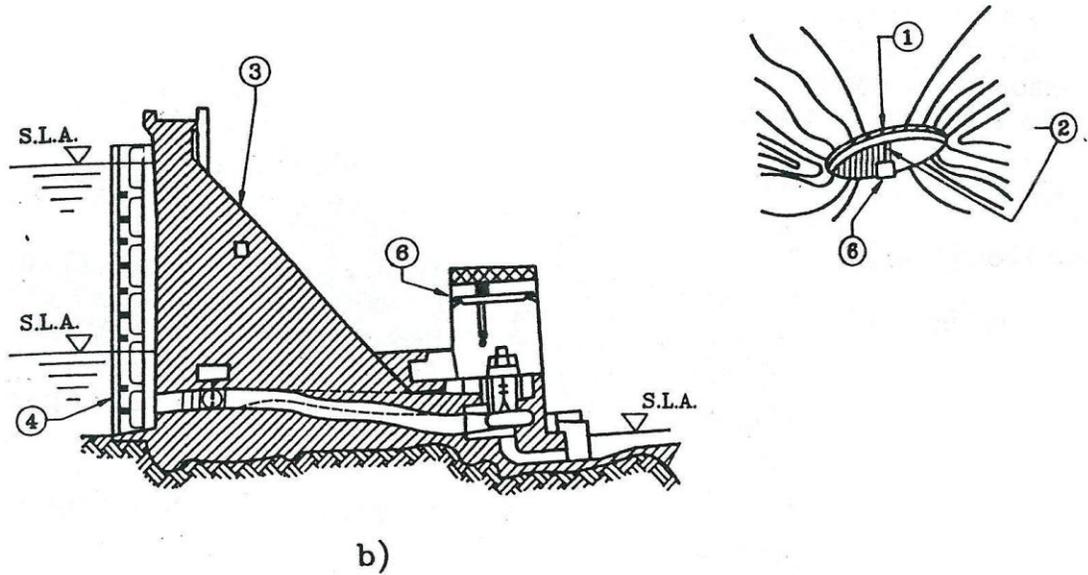
### **1.4.1. Obras de captación**

#### **Presas derivadoras**

Es una estructura dispuesta en forma perpendicular al sentido de la corriente. Tiene por objeto aumentar la carga hidráulica para garantizar el gasto requerido por la central generadora y mantiene el nivel por arriba de la obra de toma. Su tipo y dimensiones dependen del volumen de agua que se requiere controlar y aprovechar y de las características del escurrimiento del cause. Existen tres tipos de obras de captación de acuerdo con los materiales utilizados para su construcción.

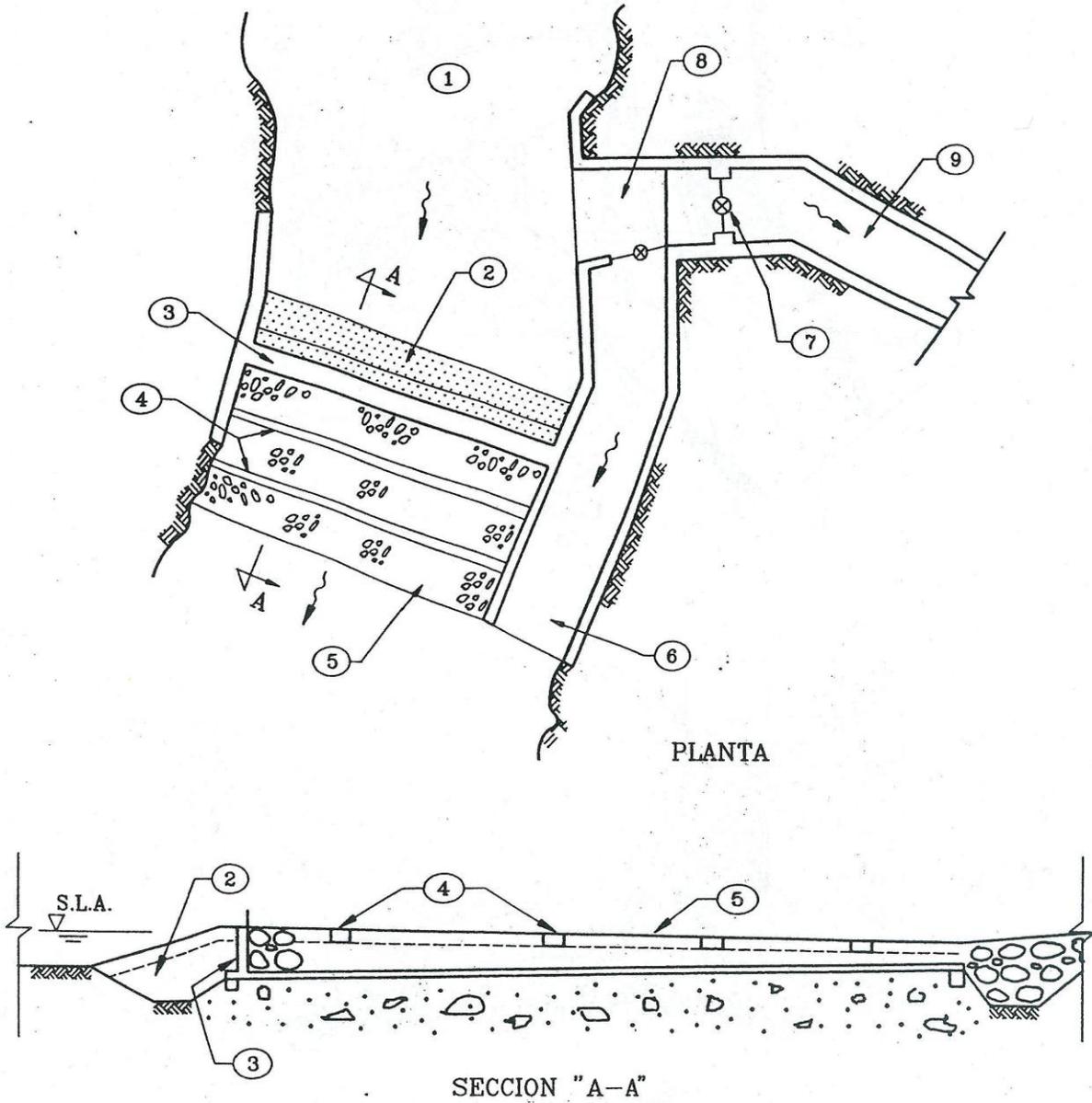
- Tipo indio: Se construye de tierra y enrocamiento, tiene una estructura de toma adyacente, a superficie libre, que controla el caudal (Figura 1.5).
- Tipo rígida: Se constituye de una estructura hecha de concreto reforzado y/o mampostería y cuenta con una estructura de toma igual que en la tipo indio (Figura 1.6).

- Tipo alpina: Es de concreto reforzado y forma un canal de captación longitudinal, este tipo de obra de captación levanta por si misma el nivel del agua, capta el caudal sobre su corona y lo conduce hacia los canales (Figura 1.7).



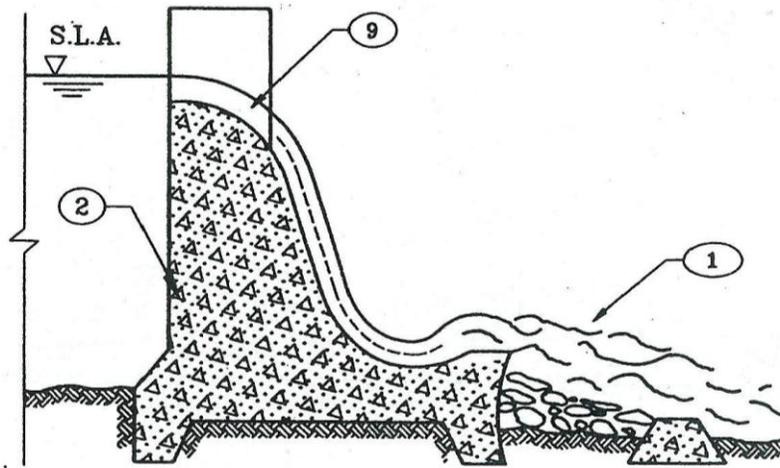
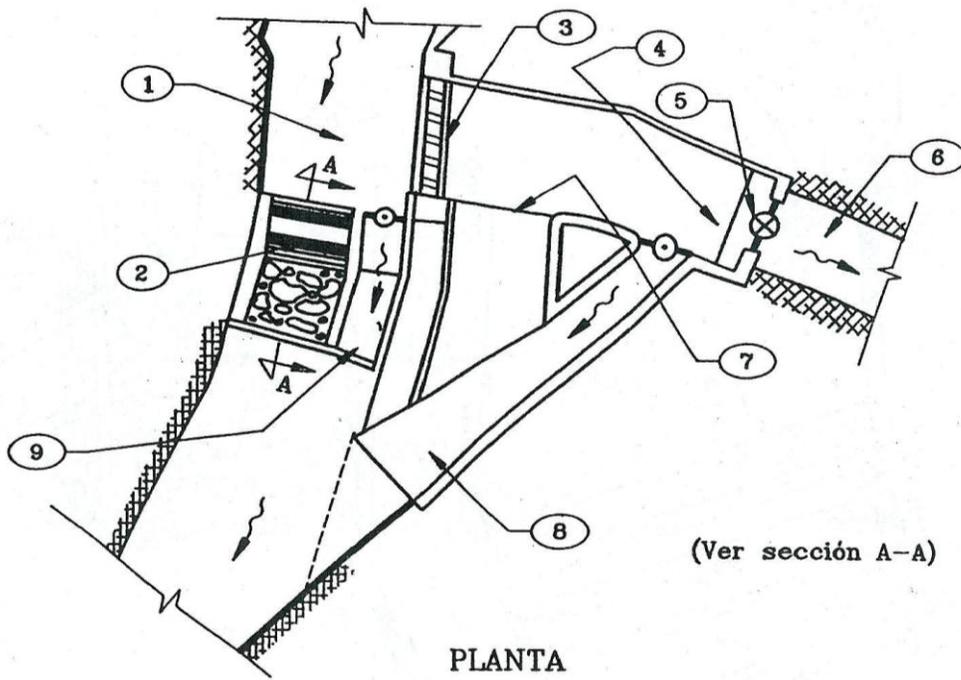
- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Captación          | 4. Toma adosada a la presa  |
| 2. Conducto a presión | 5. Toma adosada a la ladera |
| 3. Presa              | 6. Casa de máquinas         |

Figura 1.4. Conducción con túnel a presión (CFE, 1991)



- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1. Río  | 6. Canal del desarenador   |
| 2. Plantilla impermeable                            | 7. Compuerta de derivación |
| 3. Muro de concreto                                 | 8. Desarenador             |
| 4. Refuerzo de concreto simple                      | 9. Canal de conducción     |
| 5. Enrocamiento con lechada superficial de concreto |                            |

Figura 1.5. Presa de derivación tipo indio (CFE, 1991)



- |                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1. Río                   | 6. Canal de conducción               |
| 2. Presa                 | 7. Vertedor lateral                  |
| 3. Rejilla de derivación | 8. Canal de descarga del desarenador |
| 4. Desarenador           | 9. Vertedor de la presa              |
| 5. Compuerta             |                                      |

**Figura 1.6. Presa de derivación tipo rígida (CFE, 1991)**

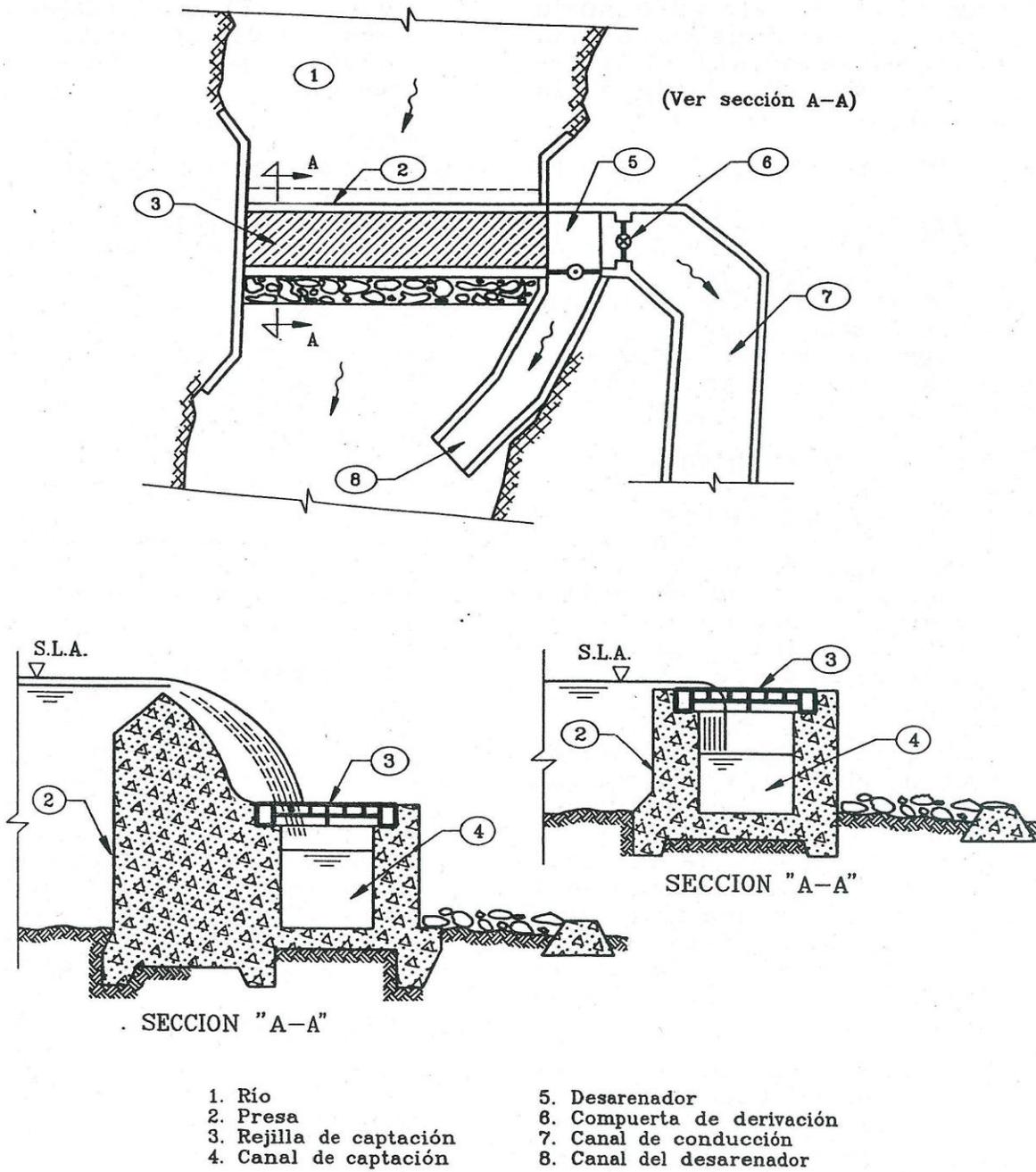


Figura 1.7. Presa de derivación tipo alpina (CFE, 1991)

## **Obra de toma**

Sus características dependen del tipo de captación, del volumen de agua requerido, del tipo de embalse y el tipo de conducción, llegando a ser un diseño específico para cada proyecto. En un sistema de conducción estas estructuras se encuentran como:

- Torre de toma ubicada dentro del embalse: La estructura colectora está separada de la ladera de la montaña, aguas arriba del paramento de la presa, y esta conectada directamente al túnel de presión (Figura 1.3). Los dispositivos de control del flujo se alojan en la misma torre o en una lumbrera separada que interfecta el túnel.
- Toma adosada a la presa o a la ladera de la montaña: Los elementos de control del flujo están fijos o alojados en una estructura construida sobre la ladera de la montaña o el paramento de la presa aguas arriba (Figura 1.4).
- Toma en tanques de regulación: Es una estructura integrada al tanque que se ubica en la parte más baja del mismo (Figura 1.12). Los elementos de control del caudal y las rejillas de protección se alojan en ella.

### **1.4.2. Conducción por gravedad**

#### **Canales**

Son estructuras excavadas en el terreno natural, sus taludes y plantillas pueden estar revestidos con concreto o zampeado. También se construyen sobre la superficie en forma de cajones y muros de concreto o mampostería; o a través de la montaña como túneles. En todos los casos su función es conducir el agua a superficie libre únicamente bajo el efecto de la gravedad. Su sección transversal puede ser:

- Abierta, con geometría rectangular, trapecial, trapezoidal, semicircular y compuesta.
- Cerrada, como los cajones, canales de secciones rectangular y trapecial con tapas (losas), y los tubos y túneles circulares y de herradura trabajando parcialmente llenos.

Las dimensiones y secciones se determinan con base en las características hidráulicas, topográficas y facilidades en el proceso de constructivo.

#### **Cajones**

Son conductos cerrados de concreto reforzado y presentan la misma variedad en la sección transversal que los canales abiertos. En la conducción por canales algunos de sus tramos se cubren con losas de concreto reforzado para protegerlos contra derrumbes y “caídos” de tierra, piedras o vegetación que azolvan su interior.

## **Túneles parcialmente llenos**

Los túneles son conductos subterráneos abiertos por medios mecánicos de perforación y extracción del material. Un túnel parcialmente lleno (trabajando como canal) se construye para salvar grandes montañas donde el trazo de la conducción por canales abiertos implica grandes movimientos de tierra, debido a la excavación de laderas muy accidentadas o al relleno excesivo de barrancas, y para evitar puentes-canal o sifones muy largos. Su pared interior puede ser de roca libre o un revestimiento de concreto reforzado o lanzado. La Figura 1.8 presenta algunas secciones transversales tipo, usadas en túneles que funcionan como canales. Las principales condiciones para asegurar su correcto funcionamiento estructural e hidráulico deben ser la estabilidad interior de sus paredes, la estabilidad exterior en la zona de los portales de entrada-salida, así como la resistencia de la roca para evitar filtraciones.

### **1.4.3. Conducción a presión**

#### **Tuberías metálicas**

En la Tabla 1.1 se da una clasificación de las tuberías a presión más comunes, tomando en cuenta los efectos que influyen en su comportamiento, tipo de ensamble y el medio que las rodea. Estas tuberías pueden ser superficiales o alojadas dentro de túneles o lumbreras.

#### **Tuberías de concreto**

Estas tuberías se fabrican con varillas o placas metálicas de refuerzo ahogadas en concreto. O pueden ser fabricadas “in situ” o prefabricadas, de concreto normal o presforzado. Estas tuberías se colocan superficialmente, semienterradas o enterradas. Sus puntos de falla son las juntas entre cada tramo, los cambios de pendiente y las zonas cercanas a las bifurcaciones y trifurcaciones.

#### **Tuberías de concreto**

Estas tuberías se fabrican con varillas o placas metálicas de refuerzo ahogadas en concreto. O pueden ser fabricadas “in situ” o prefabricadas, de concreto normal o presforzado. Estas tuberías se colocan superficialmente, semienterradas o enterradas. Sus puntos de falla son las juntas entre cada tramo, los cambios de pendiente y las zonas cercanas a las bifurcaciones y trifurcaciones.

**Tabla 1.1. Tipos de tuberías metálicas a presión.**

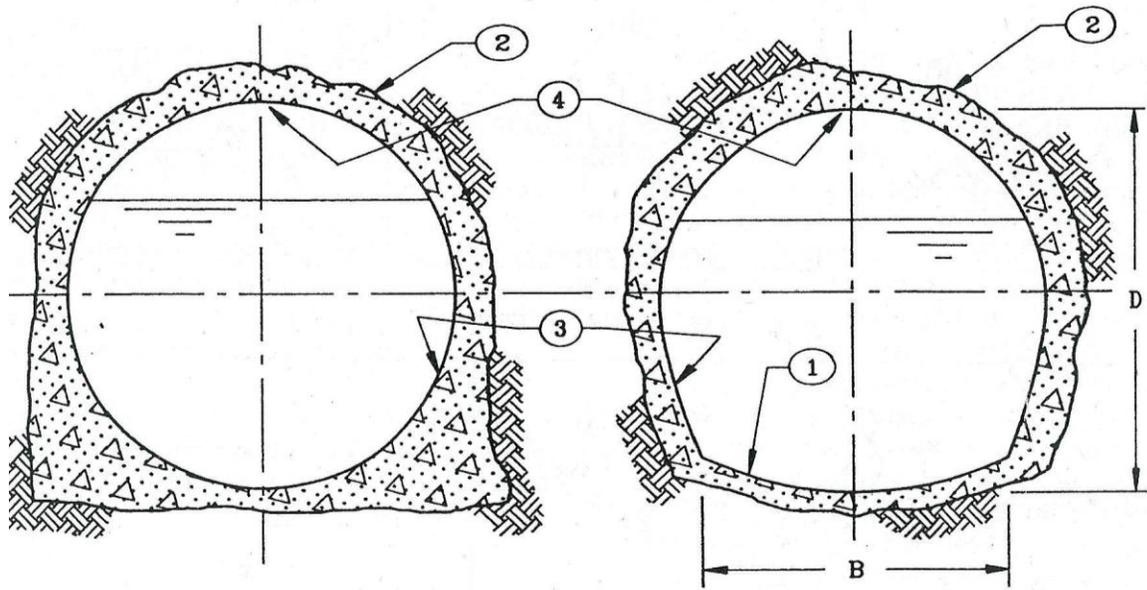
TIPO	CARACTERÍSTICAS
a) Fija con junta de expansión; a la intemperie.	Tubería instalada con sus extremos fijos en bloques de anclaje y provista con una junta de expansión entre cada tramo.
b) Fija con junta de expansión; alojada en túneles o lumbrera.	Igual al inciso a), solo que alojada en túneles o lumbreras.
c) Con juntas flexibles; a la intemperie.	Tubería instalada con o sin extremos fijos en bloques de anclaje y la unión entre los tubos por medio de juntas flexibles que sustituyen a la junta de expansión.
d) Fija sin junta de expansión a la intemperie.	Tubería instalada con sus extremos fijos en bloques de anclaje y juntas entre los tubos unidas por soldadura y sin juntas de expansión.
e) Fija sin junta de expansión; empacada.	Tubería instalada y cubierta totalmente de concreto y en condiciones tales que no le afectan variaciones de temperatura del ambiente exterior.
f) Fija sin junta de expansión; enterrada.	Tubería cuyos extremos pueden estar o no fijos en bloques de anclaje, alojada en el subsuelo o instalada a tal profundidad que las variaciones de temperatura no le afectan.
g) Libre sin junta de expansión; a la intemperie.	Tubería instalada directamente sobre la superficie del terreno, sin bloques de anclaje y únicamente con la sujeción necesaria para mantenerla alineada. Las juntas entre los tubos son soldadas.
h) Fija o libre con juntas de brida o de tipo campana	Tubería instalada a la intemperie, con o sin anclaje en bloques, las juntas entre los tubos mediante bridas o del tipo campana.

## **Túneles**

Estos están generalmente revestidos. Las funciones del revestimiento son resistir las cargas exteriores de roca y la presión interna del agua; proteger a la roca contra la acción del agua, reducir la rugosidad y evitar las filtraciones. Su refuerzo se hace por medio de varillas, perfiles o placas de acero.

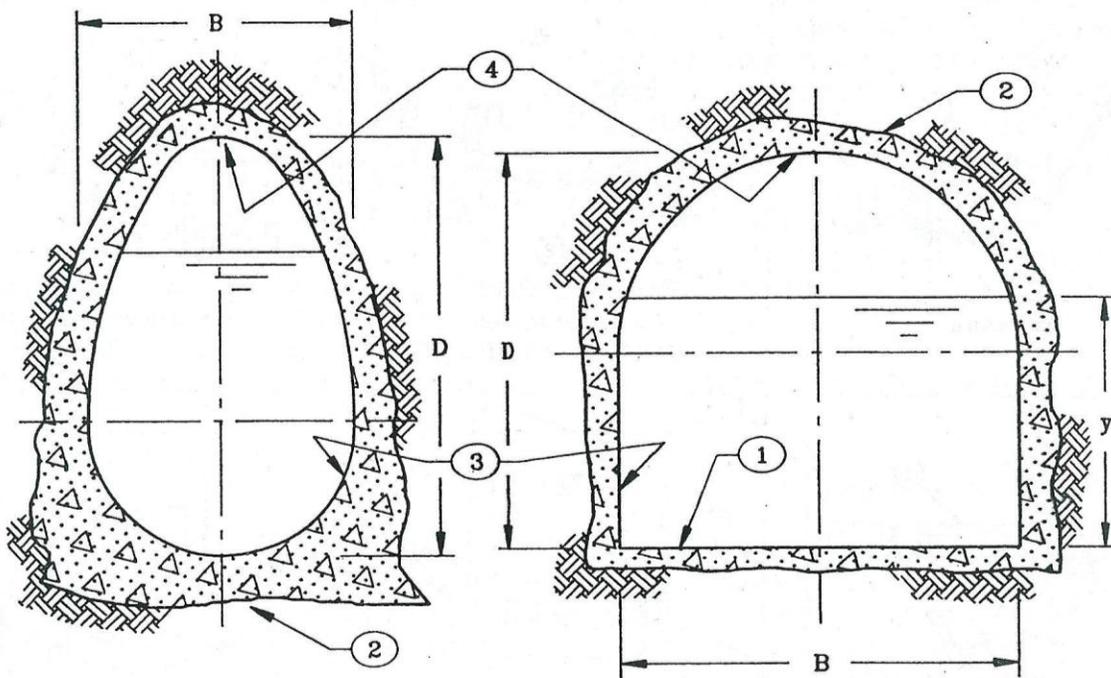
## **Sifones invertidos**

Se utilizan para salvar depresiones en el terreno. Su funcionamiento y disposición son opuestos a los de un sifón normal, ya que trabajan a presión manométrica positiva y su nivel más bajo es menor que sus niveles a la entrada y a la salida (Figura 1.9). Para asegurar un buen funcionamiento hidráulico se requiere que la elevación a la salida sea menor que la cota de entrada, esta diferencia debe ser igual a la pérdida de carga, como mínimo, para garantizar el gasto de diseño. Para su mantenimiento e inspección deben contar con una entrada-hombre en la parte más baja y una válvula que permita su vaciado y desazolve.



SECCION CIRCULAR

SECCION HERRADURA



SECCION OVIFORME

SECCION HERRADURA  
CON PAREDES VERTICALES

1. Plantilla
2. Límite de excavación
3. Revestimiento de concreto reforzado
4. Clave

Simbología

- D = Diámetro, en m  
 y = Tirante, en m  
 B = ancho, en m

Figura 1.8. Secciones transversales de túneles (CFE, 1991)

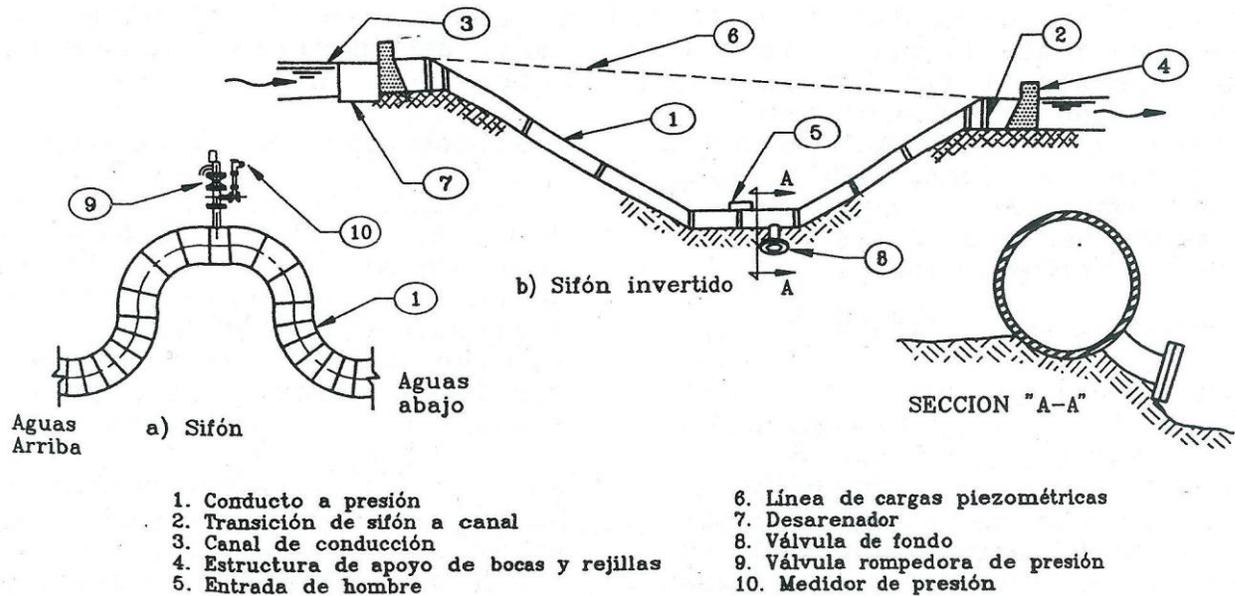


Figura 1.9. Sifones (CFE, 1991)

#### 1.4.4. Instalaciones auxiliares

##### Vertedor lateral

Se dispone a lo largo de los canales para la descarga de demasías, sobretodo en los cambios de dirección, (Figura 1.10). La cresta del cimacio es paralela y lateral al canal, sobre la cual el escurrimiento pasa a un conducto de descarga que es el canal colector. Su estructura es de concreto reforzado, de concreto simple, de mampostería o zampeado y debe estar anclada al terreno natural (el que debe ser roca).

##### Desarenadores

Se constituyen básicamente de una pequeña cámara de sedimentación, una compuerta, una canal de desvío y lavaderos de desfogue. Se pueden construir de concreto o mampostería. Están dispuestos en una conducción a superficie libre con el fin de evitar que el material de azolve provoque pérdidas del gasto o que llegue hasta las unidades generadoras y las dañe. Sus dimensiones se determinan en función del volumen de partículas en arrastre o suspensión y su velocidad de caída (Figura 1.11).

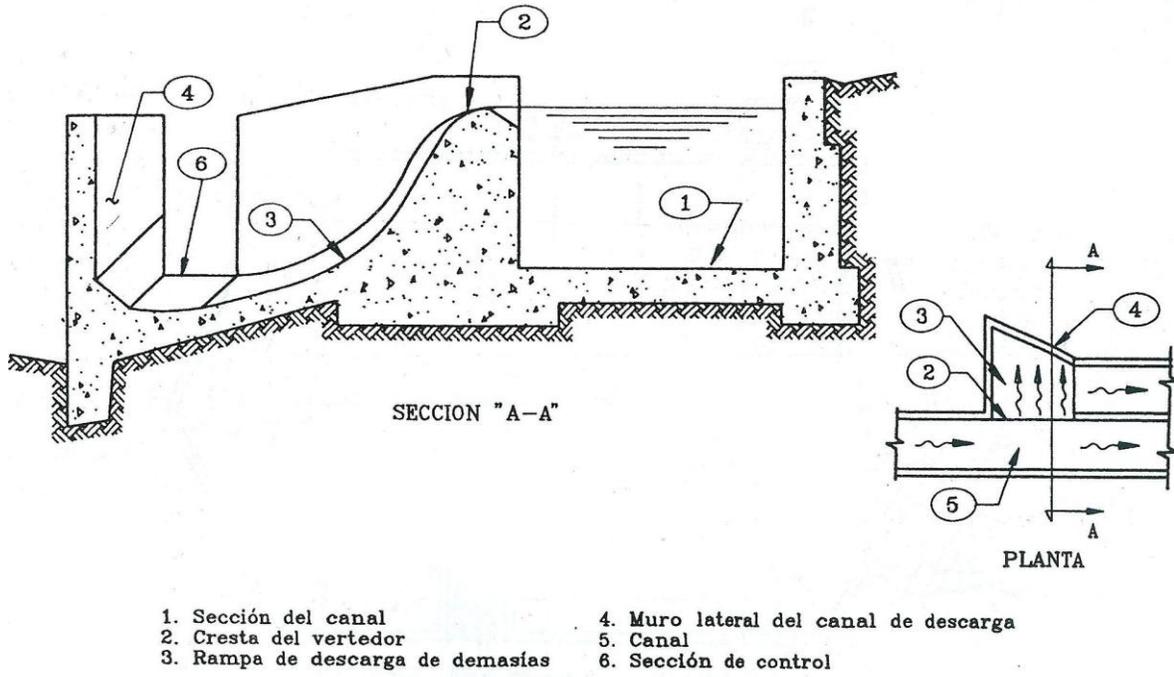


Figura 1.10. Vertedor lateral (CFE, 1991)

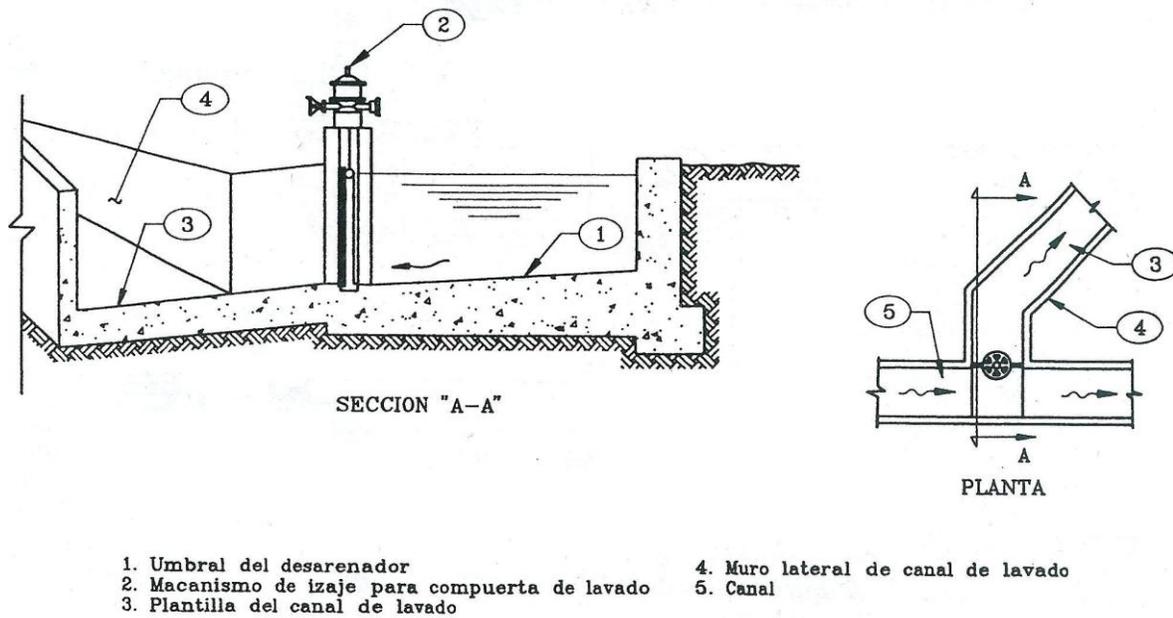


Figura 1.11. Desarenador en canal (CFE, 1991)

### **Tanque de regulación**

Su función es almacenar y regular el agua de acuerdo a las necesidades de generación de energía eléctrica (Figura 1.12). Sus principales estructuras son:

- Transición de llegada (canal de conducción a tanque).
- Muros y plantilla.
- Vertedor de demasías.
- Desarenador con desfogue de fondo.
- Estructura de obra de toma.
- Caseta de operación de válvulas o compuertas.

### **Pozo de oscilación**

Por la operación de la central, el anillo del distribuidor de las turbinas se abre o se cierra en forma más o menos rápida, esto crea una onda de presión que viaja aguas arriba por la tubería hasta el almacenamiento, donde es reflejada hacia la turbina. Si la tubería es muy larga la onda de presión es de gran magnitud. El fenómeno de estas ondas rápidas de presión se conoce con el nombre de “golpe de ariete”.

Un dispositivo eficaz para controlar dicho fenómeno es la cámara o pozo de oscilación, esta estructura transforma las ondas de presión en oscilaciones de masa de agua mucho más lentas y de menor amplitud, protegiendo al conducto de posibles daños.

### **Lumbreras**

Son conductos que, en general, se construyen realizando una excavación vertical o inclinada en el terreno y su pared se recubre de concreto reforzado o con placas metálicas. Se destinan para varios fines, alojan compuertas o válvulas, dan acceso para la inspección y mantenimiento de instalaciones subterráneas; sirven como conductos de ventilación o bien, alojan y dan acceso a las tuberías de presión. La sección trasversal y las dimensiones de estas obras dependen del servicio a que se destinen y pueden ser cuadradas, circulares o de forma irregular, por ejemplo; para alojar a las tuberías de presión se requiere espacio para la inspección y reparaciones sobre la tubería; para acceso a instalaciones subterráneas alojan escaleras marinas, cubos de escaleras y elevadores de sección grande que tienen conductos de ventilación adicional (Figura 1.14).

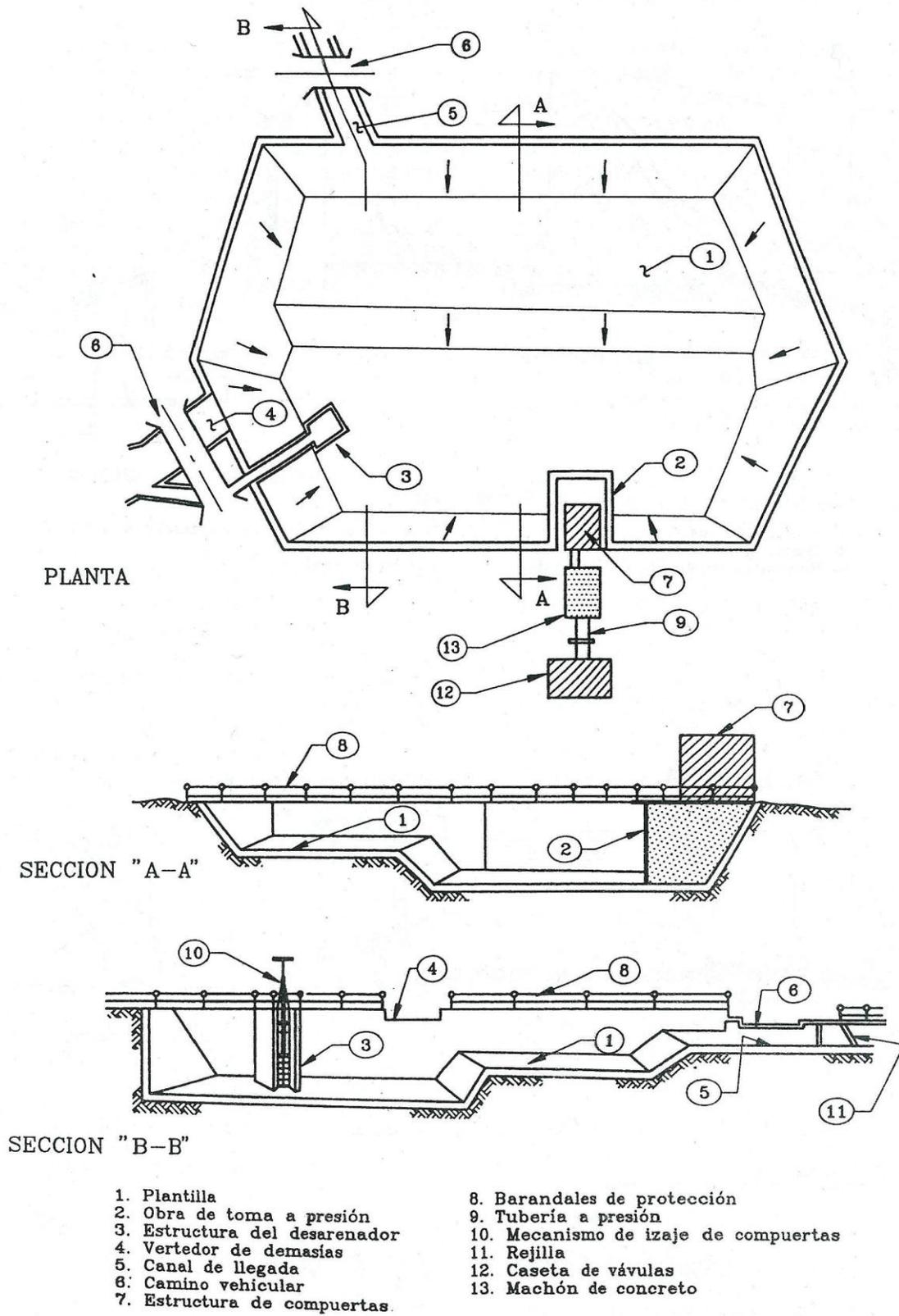


Figura 1.12. Tanque de regulación (CFE, 1991)



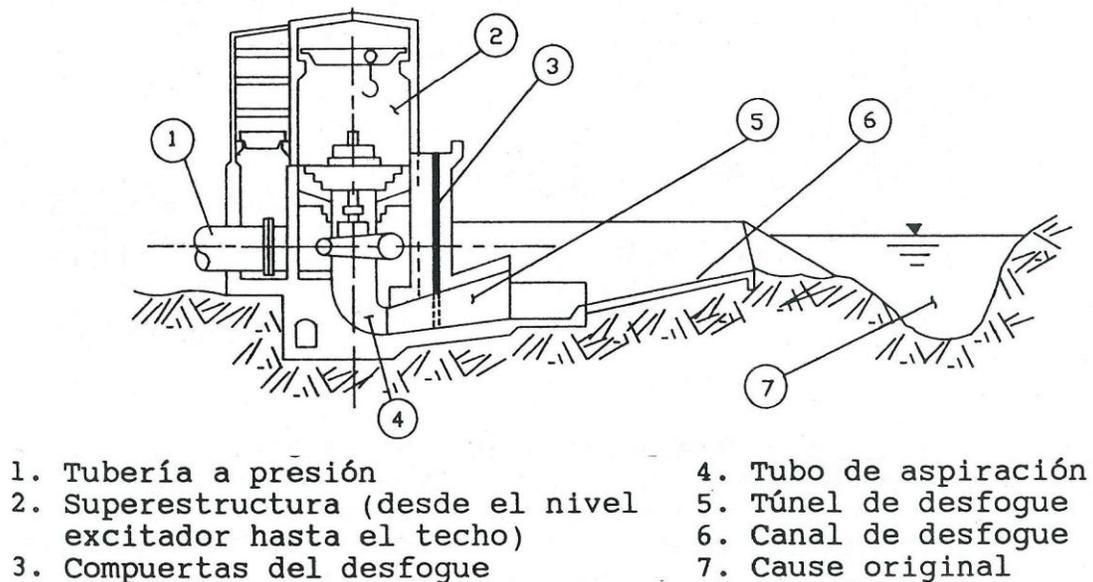
## 1.5. CASA DE MAQUINAS

### 1.5.1 Tipos de casa de máquinas

La casa de máquinas es la estructura que aloja en su interior los equipos que generan la energía eléctrica, así como otros auxiliares necesarios para la operación, control y protección de los equipos principales.

De acuerdo a su disposición en el terreno, las casas de máquinas pueden ser de dos tipos: superficiales y subterráneas. Las primeras se construyen al pie de la presa, expuestas al medio ambiente (Figura 1.15) y las subterráneas son aquellas que por las condiciones topográficas, geológicas y de proyecto se construyen en el interior de la montaña (Figuras 1.16 y 1.17).

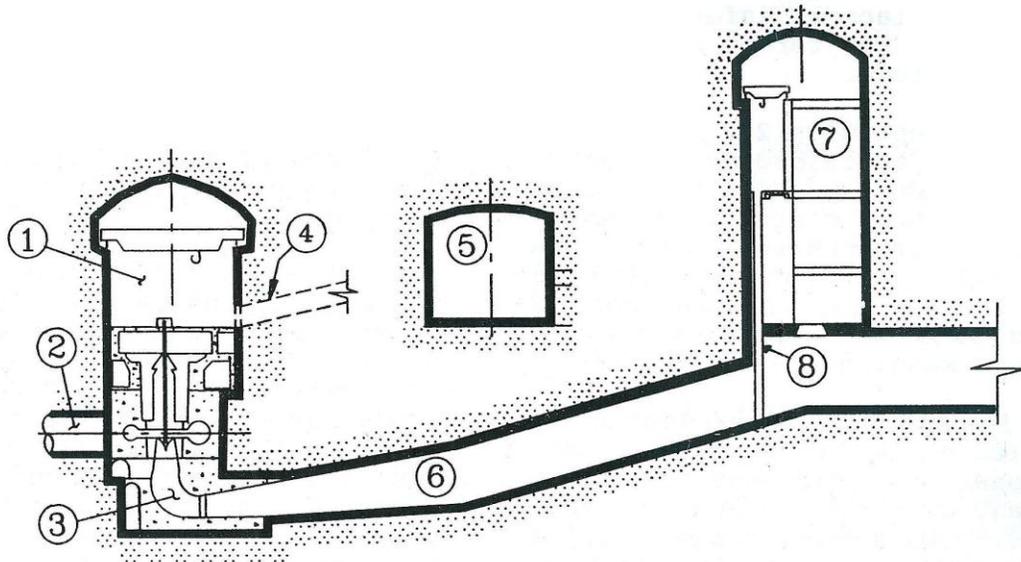
Para fines prácticos estas estructuras se dividen en: subestructura, nivel de turbinas, nivel de generadores, nivel de excitadores y superestructura. En la Tabla 1.2 se desglosan las áreas e instalaciones de una casa de máquinas a las que se da mantenimiento civil, y en las Figuras 1.18, 1.19 y 1.20 se presentan sus detalles típicos.



**Figura 1.15. Casa de máquinas superficial (CFE, 1991)**

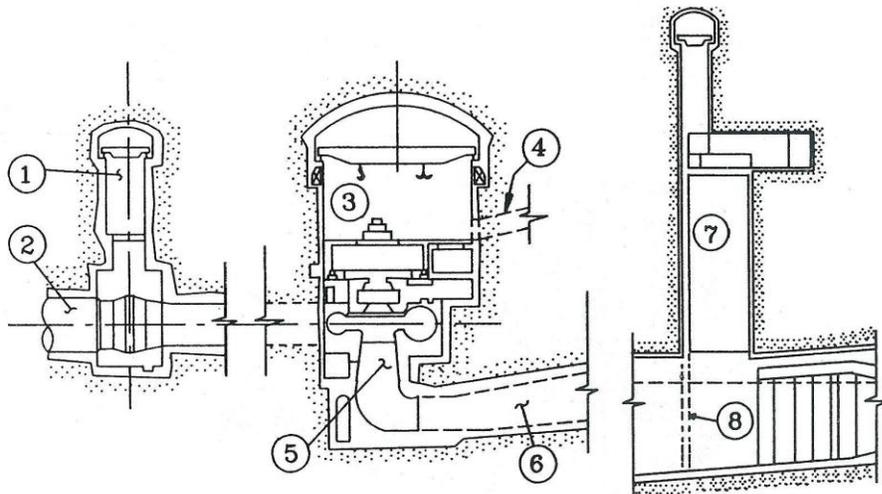
**Tabla 1.2. Áreas e instalaciones de una casa de máquinas.**

<p><b>SUBESTRUCTURA</b> (desde el nivel de desplante de la cimentación hasta el eje del distribuidor)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Túnel o tubería de desfogue</li> <li>- Tubo de aspiración</li> <li>- Galerías de inspección y de filtraciones</li> <li>- Galerías de drenaje</li> <li>- Cárcamos de bombeo</li> <li>- Galería de válvulas principales de la conducción a presión</li> </ul>
<p><b>NIVEL DE TURBINAS</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de turbinas</li> </ul>
<p><b>NIVEL DE GENERADORES</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de operación de los generadores</li> <li>- Galerías o ductos de cables</li> <li>- Piso de baterías</li> <li>- Área de tableros</li> <li>- Talleres</li> </ul>
<p><b>NIVEL DE EXITADORES</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de excitadores</li> <li>- Área de la turbina auxiliar</li> </ul>
<p><b>SUPERESTRUCTURA</b> (desde el nivel de excitadores hasta el techo o bóveda)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura metálica o de concreto</li> <li>- Grúa viajera</li> <li>- Techo o bóveda</li> <li>- Áreas de control</li> </ul>
<p><b>INSTALACIONES</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de ventilación y aire acondicionado</li> <li>- Sistemas contra incendio</li> <li>- Sistemas hidráulico y sanitario</li> <li>- Red de tierras</li> <li>- Sistema de bajadas pluviales</li> <li>- Sistema de drenaje</li> <li>- Sistema de bombeo</li> <li>- Alumbrado</li> <li>- Galerías auxiliares (de inspección, de drenaje, etc.)</li> </ul>



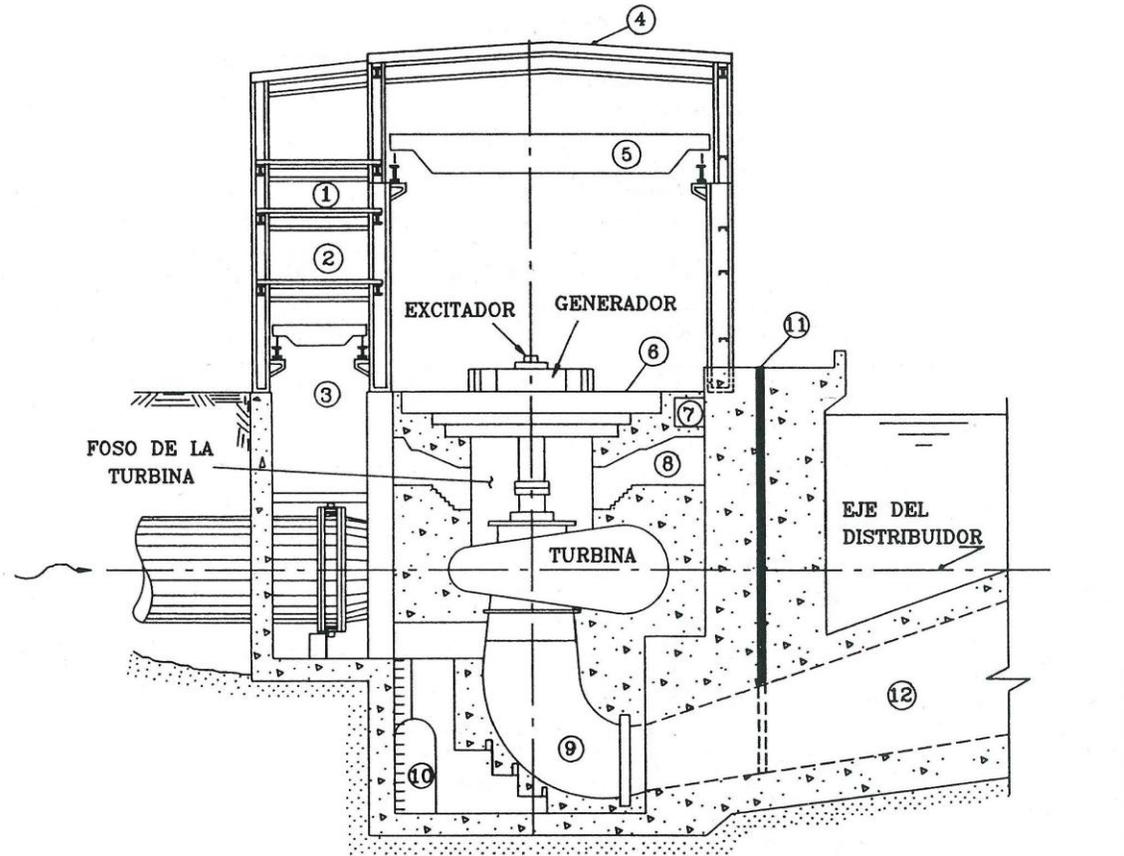
- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. Superestructura (desde el nivel del excitador hasta la bóveda) | 4. Túnel de acceso            |
| 2. Tubería a presión  | 5. Galería de transformadores |
| 3. Tubo de aspiración   | 6. Túnel de desfogue          |
|   | 7. Pozo de oscilación         |
|   | 8. Compuertas del desf.       |

**Figura 1.16. Casa de Máquinas subterránea (CFE, 1991)**



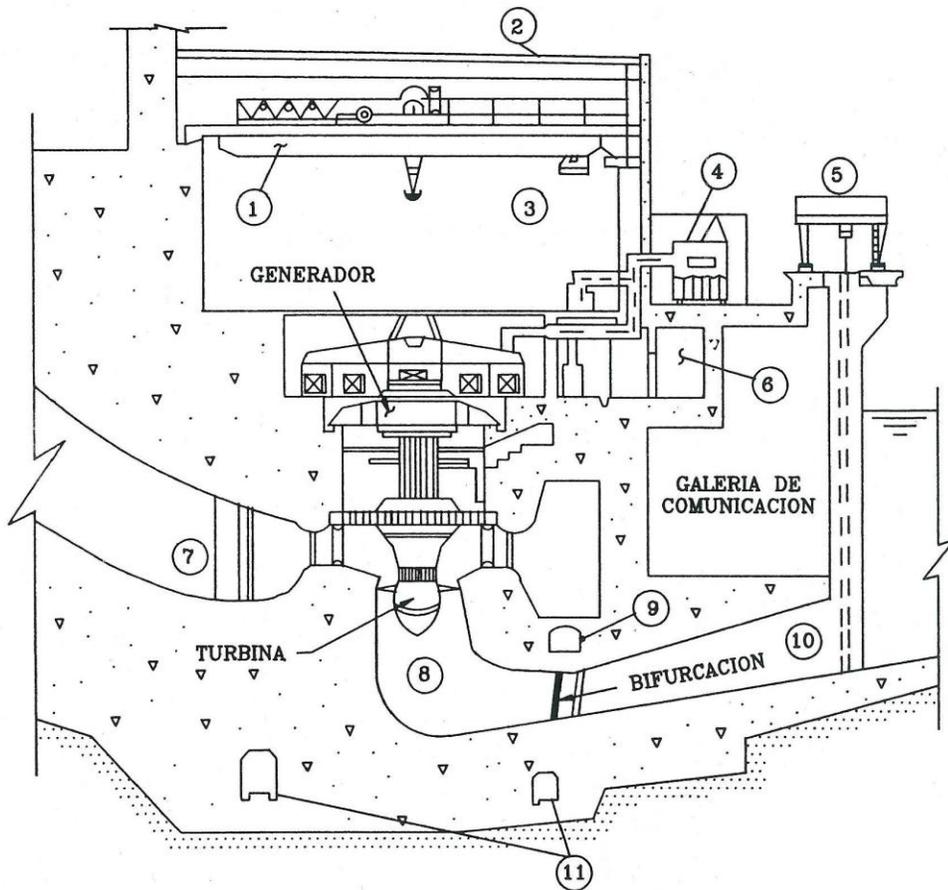
- |   |                            |                       |
|---|----------------------------|-----------------------|
| 1. Galería de válvulas  | 4. Túnel de acceso         | 5. Tubo de aspiración |
| 2. Tubería a presión  |                            | 6. Túnel de desfogue  |
| 3. Superestructura (desde el nivel del excitador hasta la bóveda) | 7. Pozo de oscilación      |                       |
|   | 8. Compuertas del desfogue |                       |

**Figura 1.17. Casa de Máquinas subterránea (CFE, 1991)**



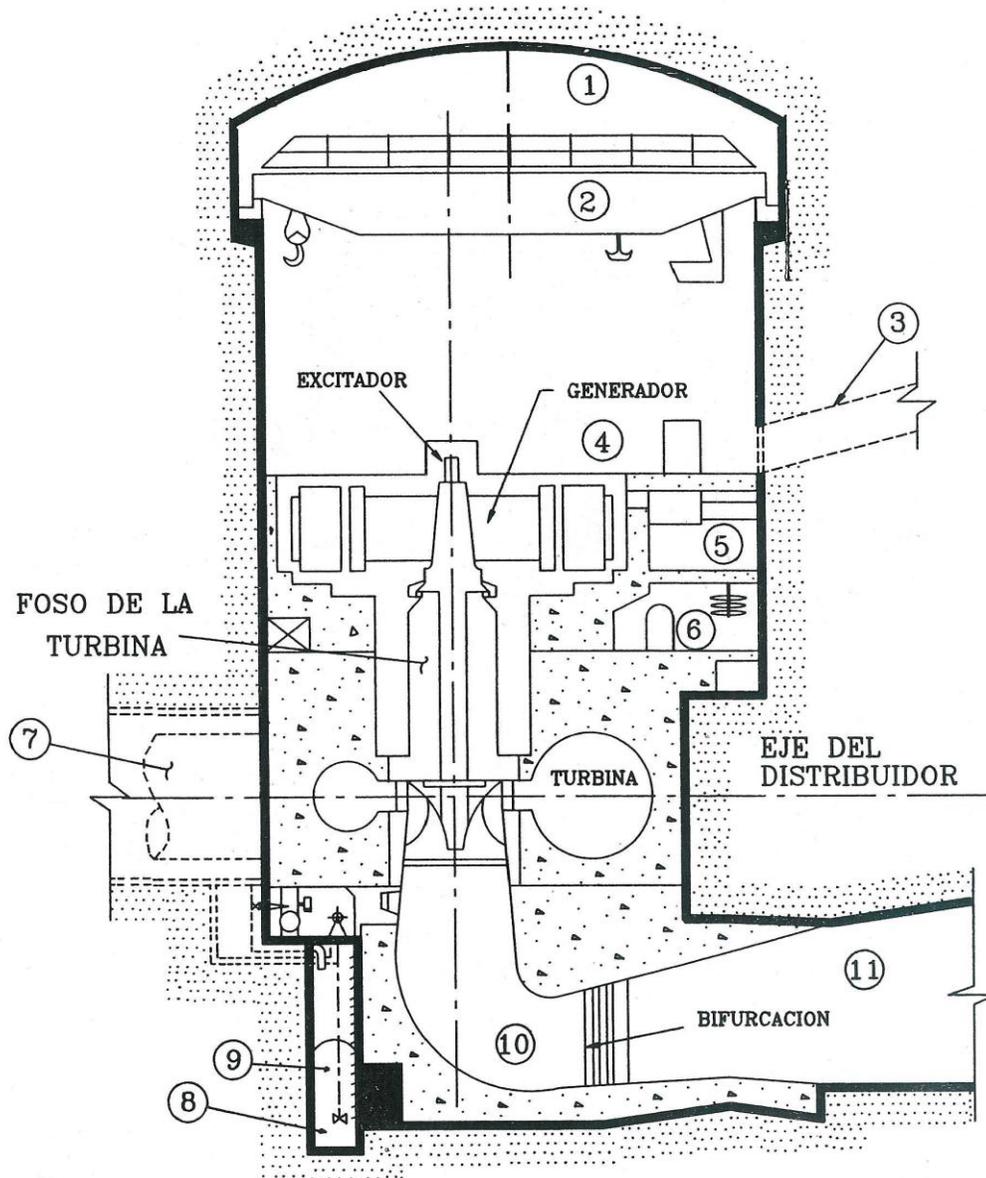
- |                      |                         |                             |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Nivel de baterías | 6. Nivel de excitadores | 11. Compuertas del desfogue |
| 2. Area de tableros  | 7. Nivel de generadores | 12. Tunel de desfogue       |
| 3. Area de válvulas  | 8. Nivel de turbinas    |                             |
| 4. Cubierta          | 9. Tubo de aspiración   |                             |
| 5. Grúa viajera      | 10. Galería de drenaje  |                             |

**Figura 1.18. Detalle de una Casa de Máquinas superficial con superestructura de concreto reforzado (CFE, 1991)**



- |  |                        |                                 |
|--|------------------------|---------------------------------|
| 1. Grúa viajera  | 4. Transformador       | 7. tubería de presión           |
| 2. Techo   | 5. Grúa para compuerta | 8. Tubo de aspirac. de desfogue |
| 3. Superestructura (desde el nivel del excitador hasta el techo) | 6. galería de cables   | 9. galería de drenaje           |
|  | 10. Tunel de desf.     | 11. Galería(s) de drenaje       |

**Figura 1.19. Detalle de una casa de máquinas superficial con superestructura metálica (CFE, 1991)**



- |                         |                         |                        |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. Bóveda               | 5. Nivel de generadores | 8. Cárcamo de bombeo   |
| 2. Grúa viajera         | 6. Nivel de Turbinas    | 9. Galería de drenaje  |
| 3. Túnel de acceso      | 7. Tubería de presión   | 10. Tubo de aspiración |
| 4. Nivel de excitadores | 11. Túnel de desfogue   |                        |

Figura 1.20. Detalle de una Casa de Máquinas subterránea (CFE, 1991)

## CAPÍTULO 2

### INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN

#### 2.1. ALCANCE

El propósito de inspeccionar las instalaciones y obras civiles que integran una central hidroeléctrica es evaluar su capacidad estructural y funcional para asegurar la protección de vida humana, del equipo y la continuidad del servicio.

En general, las inspecciones consisten de exámenes visuales en el sitio para juzgar el estado de las estructuras y, si es necesario, efectuar una inspección más detallada que incluya estudios analíticos, de laboratorio y pruebas de campo. Los resultados de estos estudios mostrarán si es necesario efectuar algún tipo de medida preventiva o correctiva y su prioridad para realizarlas.

#### 2.2. TIPOS DE INSPECCIÓN

Hay tres tipos básicos de inspección: de rutina general, de rutina específica y específica. En la Tabla 2.1 se presentan un resumen de conceptos que deben tenerse en cuenta para llevar a cabo los tres tipos de inspección antes mencionados.

**Tabla 2.1. Resumen de conceptos relativos a las inspecciones periódicas.**

CONCEPTOS	INSPECCIONES		
	DE RUTINA GENERAL	DE RUTINA ESPECÍFICA	ESPECIAL
1. Periodicidad	Rutinaria (mensual o bimestral de acuerdo a las necesidades)	Una para el presupuesto anual del mantenimiento y otra antes de la época de lluvias	Después de un evento extraordinario
2. Propósito	Observación permanente	Observación detallada de todas las instalaciones	Localizar daños y determinar reparaciones de emergencia
3. Personal de inspección y evaluación	Personal de operación y de mantenimiento; residente del departamento civil y el superintendente de la central	Jefe del departamento civil o superintendente de la central	Especialistas (internos y externos) y personal de la central necesarios
4. Equipo necesario	Bitácora, plomada, linterna, casco, flexómetro, nivel de mano y otros que se consideren necesarios	Guías de inspección, planos o croquis (en planto y perfil) para localización de los componentes de la central hidroeléctrica, martillo, plomada, cámara fotográfica, grietómetro, nivel de mano, flexómetro, cin-cel, binoculares, desarmadores, linterna, cuerdas y cinturón de seguridad	Equipo especial para hacer mediciones de campo, todos los accesorios de las inspecciones de rutina específica y una cuadrilla de trabajo.
5. Informes	Verbal y escrito, al Jefe de Departamento Civil o al superintendente de la central	Verbal y escrito, al superintendente de la central y al superintendente civil regional	Escrito dirigido al superintendente de la central y a la autoridad superior que corresponda
6. Formato	Según formato normalizado en cada área	Según los formatos usuales y guías establecidos	A juicio de los especialistas

### **2.2.1. Inspección de rutina general**

Consiste en un examen visual que realiza el personal de mantenimiento civil de la central. Estas inspecciones proporcionan una idea de la apariencia general y del funcionamiento de las estructuras y permiten identificar con oportunidad cualquier anomalía que aparezca.

Entre los aspectos que deben recibir más atención están: filtraciones, asentamientos diferenciales, agrietamientos, corrosión, vibraciones, deflexiones, pandeo, conexiones y anclajes. Las observaciones hechas a lo largo del recorrido por la central deben quedar asentadas en una bitácora o informe diario y, cuando se detecten situaciones inusuales o peligrosas, deben comunicarse inmediatamente al jefe del área de ingeniería civil para su atención.

### **2.2.2. Inspección de rutina específica**

Una inspección de rutina específica es una búsqueda detallada de evidencias de deterioro y fallas que muestren inseguridad en el comportamiento estructural y funcional de alguno de los elementos que integran a una central hidroeléctrica.

Estas inspecciones se realizan a intervalos regulares definidos de acuerdo con la importancia y antigüedad de la central hidroeléctrica y su potencial de riesgo. Este tipo de inspección debe incluir una revisión y evaluación previa de la información sobre el comportamiento registrado desde la última inspección y, en general, aquellos comportamientos de elementos o instalaciones que representen un riesgo para el personal, para el equipo y para la continuidad del servicio.

### **2.2.3. Inspección especial**

Estas se realizan inmediatamente después de eventos extraordinarios (sismos, huracanes, incendios, inundaciones, etc.) o de la aparición de patrones de comportamiento especiales no esperados. Las inspecciones se levantan a cabo con el propósito de determinar la magnitud de los daños, si los hay, y la prioridad de las reparaciones. En este tipo de inspección es necesaria la participación de personal especializado y experimentado.

## **2.3. ELABORACIÓN DE INFORMES**

Los propósitos básicos de los informes son: proporcionar información actual del estado físico y de operación de una central; demostrar que se cumplen los programas de seguridad y mantenimiento; documentar estudios adicionales más detallados, e indicar con oportunidad las acciones preventivas y correctivas necesarias. Por lo tanto se deben conservar en el archivo del departamento de Ingeniería Civil de cada central.

En términos generales, un informe debe considerar los siguientes aspectos:

- a) Detalles de los daños o deterioros anexando los croquis que sean necesarios, los formatos y las guías de inspección correspondientes debidamente aplicados.
- b) Información sobre la integridad y estabilidad de las estructuras, considerando todas las posibles condiciones de funcionamiento.
- c) Indicar las reparaciones que se requieran; determinar, si fuera necesario, la realización de estudios especializados adicionales, y establecer la magnitud de una posible reducción en la generación por estas actividades y su tiempo requerido.
- d) Recomendar el periodo de tiempo para la próxima inspección y su alcance.

Adicionalmente se recomienda establecer una escala de calificaciones para evaluar el estado de conservación de una estructura o la funcionalidad de los elementos, instalaciones y equipo de conducción, así mismo se sugiere una escala para señalar la prioridad del mantenimiento requerido (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2. Calificación del estado de una estructura y su prioridad de mantenimiento.**

GRADO	CONDICIONES DE LA ESTRUCTURA	PRIORIDAD	PRIORIDAD DEL MANTENIMIENTO
B-bueno	Buen funcionamiento, seguro (hidráulico y estructural)	3	No requiere mantenimiento especial; dar mantenimiento rutinario
R-regular	Funciona pero necesita de mantenimiento; será seguro siempre y cuando se le dé mantenimiento	2	Antes de la próxima inspección de rutina específica. De ser posible antes de la temporada de lluvia
M-malo	Inadecuado para cumplir su función, inseguro, urge se corrija	1	Inmediatamente

## 2.4. GUÍA DE INSPECCIONES

A continuación se presentan las características más importantes de cada uno de los elementos que conforman o tienen relación con el buen funcionamiento de la central hidroeléctrica. En cada una de las áreas de inspección se presentan los puntos de interés a tener en cuenta en la inspección.

### 2.4.1. Obras de captación

#### Presa de derivación

Es importante realizar un recorrido periódico para detectar posibles fallas y para evaluar su estabilidad; si existen daños definir las causas y su naturaleza. En presas derivadoras de tierra o materiales graduados atender fundamentalmente sus taludes, tratando que siempre

tengan protección contra agentes erosivos. Otros aspectos a tener en cuenta son la aparición de grietas, asentamientos, deslizamientos de taludes, filtraciones o zonas licuadas. En épocas en que el nivel de agua se encuentra bajo se debe aprovechar para observar las partes expuestas del talud de la presa y las laderas del vaso.

- Verificar el comportamiento de la presa mediante la instrumentación y las referencias topográficas dispuestas para ese fin, por ejemplo:
- Observar periódicamente los asentamientos y desplazamientos horizontales de la estructura, utilizando una línea de bancos de nivel a lo largo del eje de la presa y puntos de referencia para nivelación y colimación de ambos extremos empotrados.
- En estructuras de grandes dimensiones pueden encontrarse instrumentos especializados tales como; las celdas de presión, extensómetros y deformímetros verticales, estos dispositivos proveen información acerca de la presión y los desplazamientos (horizontales y verticales) en el interior de la estructura de material graduado.
- Evaluar las presiones de poro y determinar las condiciones de resistencia y estabilidad de la presa, mediante los piezómetros instalados desde su construcción.
- Detectar posibles filtraciones a través de la estructura o la cimentación. Si son importantes se deben aforar para determinar su magnitud y verificar el arrastre de finos que den evidencia de problemas de agrietamiento o tubificación.

Para presas derivadoras con estructura de concreto los aspectos más significativos a considerar son el estado (calidad) actual del concreto (erosión, grietas, desprendimientos, refuerzo expuesto, etc.), y problemas por asentamientos, separación en las márgenes, movimientos entre otros.

### **Obra de toma**

La inspección de estas estructuras está en función de su disposición en las obras de captación. En las estructuras permanentemente sumergidas es necesario el personal especializado de buceo, para la detección oportuna de fallas que pongan su integridad y buen funcionamiento.

Los aspectos de revisión mas importantes en cada uno de los componentes de una obra de toma son: obstrucción en el conducto de ventilación; corrosión en las superficies metálicas, fugas, sellos deteriorados, protección anticorrosivo insuficiente y mal alineamiento de las compuertas; incorrecto funcionamiento de los dispositivos de cierre y apertura de válvulas o de los mecanismos de accionamiento e izaje de compuertas; obstrucciones y engrasado de las guías y los elementos deslizantes; deformación, desprendimiento, taponamiento y corrosión de rejillas y otros aspectos a criterio del ingeniero de mantenimiento civil.

## **2.4.2. Sistemas de conducción superficie libre**

### **Canales**

En canales sin recubrimiento se debe evaluar la erosión en las paredes y plantilla, ya que provoca socavación y pérdida de estabilidad de los taludes (en terraplenes, laderas y bermas). Esta erosión y el material arrastrado por el río (que llega al canal por suspensión) provocan el azolve que se acumula en el canal o en otras obras.

En canales revestidos se detectan problemas de filtraciones y fugas debidas al desgaste del revestimiento (causado por el choque de partículas de arrastre, cuerpos flotantes o por “caídos”), grietas, losas levantadas o juntas falladas.

Vigilar otros aspectos como el crecimiento de plantas en el bordo libre, la corona y las bermas, para evitar que provoquen grietas; la estabilidad en los muros del canal; derrames por demasías, obstrucciones o grietas; daños y acumulación de piedras, ramaje o basura, por derrumbes de las laderas.

### **Cajones, túneles y sifones**

Por su condición como medio cerrado de conducción de aguas es muy difícil el acceso a su interior y se requiere una libranza en el servicio para inspeccionarlos internamente. La inspección de túneles consiste en determinar sus condiciones externas de estabilidad; grietas en el terreno adyacente; filtraciones o fugas; obstrucción por derrumbes en la entrada y salida; estabilidad de los portales de entrada y salida, etc. Para cajones y sifones se debe considerar huecos o asentamiento en el terreno de apoyo; “caídos” desde las laderas; fugas en las juntas o engrieras de sus paredes.

## **2.4.3. Sistemas de conducción a presión**

### **Tuberías**

La inspección de tuberías a presión depende de sus condiciones de ensamblaje, así como del lugar donde se alojan. Existen tuberías sobre rampas con o sin revestimiento, también hay tuberías alojadas en lumbreras y túneles inclinados de difícil acceso y otras que están enterradas en el subsuelo. La inspección de las tuberías se hace considerando el medio que las rodea y el tipo de material con el que están construidas. Los principales problemas a encontrar son: fugas y corrosión; vibraciones y sujeción o apoyo incorrecto; humedad exterior; deterioro del concreto en los elementos de apoyo, y alineamiento de la tubería (vertical y horizontal). Otros elementos de importancia que deben tenerse en cuenta son las piezas especiales, tales como las juntas bridas, soldadas y de expansión); carretes de desmontaje y registros de acceso, (su tortillería y empaques); bifurcaciones y trifurcaciones.

## **Túneles y lumbreras**

En túneles y lumbreras que alojan tuberías hay que verificar si existen filtraciones y grietas en su pared interior, drenajes inadecuados, inestabilidad del terreno, falta de un sistema de ventilación y alumbrado. Revisar detalladamente el estado de la bóveda y las paredes sin revestir para detectar fallas o inestabilidad que pongan en peligro la integridad del túnel. La inspección de lumbreras que alojan instalaciones o dispositivos especiales incluirá el estado de conservación de dichos elementos y de sus accesos (cubos de escaleras, y elevadores).

### **2.4.4. Instalaciones auxiliares**

#### **Tanques de regulación**

Su inspección se hace para encontrar y evaluar problemas, tales como: desgaste o fracturas en el revestimiento, inestabilidad de los muros contenedores, azolve, mal funcionamiento del desarenadores, aforo de filtraciones, falta de drenajes exteriores, obstrucción en las rejillas, falta de protecciones para el personal, y otros.

#### **Vertedores laterales y desarenadores**

Los aspectos más importantes en su inspección son: filtraciones y grietas en su construcción, operación incorrecta de compuertas, corrosión y falta de sello en compuertas, erosión en el terreno de desplante del canal de descarga y limpieza de azolve.

#### **Cámaras o pozos de oscilación**

Para los pozos exteriores (abiertos) se recomienda una protección para evitar la entrada de objetos extraños y basura; vigilar el estado de su pared de contorno y las condiciones del agua atrapada, verificar la limpieza del drenaje exterior. Además, se deben vigilar los niveles de oscilación marcados en su pared interior para conocer su comportamiento. En pozos de oscilación subterráneos, incluir la inspección de sus accesos, su sistema de alumbrado y ventilación, así como la estabilidad de la pared de contorno.

#### **Caseta de válvulas**

Las válvulas de control de un conducto a presión se alojan en una caseta para su protección, de ahí la importancia de revisar sus paredes, techos, pisos, ventanas, puertas y drenaje con el fin de evitar humedad y acceso de personas ajenas a su operación. También revisar el estado y conservación así como el funcionamiento de las válvulas.

#### **2.4.5. Camino de acceso a la central hidroeléctrica**

Es el camino principal de llegada a la central, el cual se inicia en el retén o caseta de vigilancia y llega hasta la puerta de entrada de una Casa de Máquinas superficial o hasta el portal de entrada al túnel de acceso de una Casa de Máquinas subterránea. Las estructuras más comunes que deben inspeccionarse son: pavimentos, puentes, casetas, señalamientos, rampas, drenaje, cunetas, contracunetas, alcantarillas, taludes, alumbrado y túneles. En primer lugar, se tomarán como base de inspección los planos de la central; en ausencia de planos, deberá hacerse un croquis del conjunto, marcando la orientación y las acotaciones o cadenamientos de referencia. En este plano conviene demarcar claramente la zona o tramo de interés que permita ubicar fácilmente aquellos sitios en donde se requiera llevar a cabo alguna tarea de inspección. Se hará una inspección general de las terracerías y pavimentos así como de las obras complementarias para caminos.

En lo que respecta a los taludes sin recubrimiento, se pondrá especial cuidado en su estabilidad tomando puntos de referencia y niveles para detectar desplazamientos importantes, así como verificar el drenaje adecuado de los mismos. Las áreas que presenten erosión incipiente pero con un peligro potencial importante deberá considerarse prioritarias para su futura protección.

#### **2.4.6. Túnel de acceso y galerías**

El túnel de acceso conecta la Casa de Máquinas subterránea con la superficie exterior, permitiendo el tránsito peatonal y vehicular; puede estar revestido con concreto. El túnel se encuentra comunicado con otras instalaciones como son: pozos de oscilación, galerías, lumbreras y túneles auxiliares de construcción. Las galerías (de inspección, filtraciones, etc.) son excavaciones, normalmente en roca viva, que permiten verificar el estado de las instalaciones, captar, conducir y medir las filtraciones del subsuelo y pueden alojar equipos.

En la parte frontal del túnel de acceso se encuentra un parapeto de entrada que tiene como función proteger de derrumbes la entrada a la Casa de Máquinas. Generalmente este parapeto es una estructura de concreto reforzado, la cual se encuentra anclada al macizo rocoso. Debe inspeccionarse el estado del concreto así como el grado de corrosión y el funcionamiento de las anclas.

El piso del túnel y de las galerías va revestido con una losa de concreto y es común que contenga: banquetas, barandales, cunetas, trincheras, rejillas, conducciones y registros. El drenaje es importante, especialmente si la losa está en contrapendiente es decir, que el nivel de entrada sea más alto que el piso de llegada de la Casa de Máquinas; en este caso tendrá que verificarse que el agua exterior no entre al túnel o a las galerías; para esto se requieren canalizaciones adecuadas y drenajes exterior e interior eficientes. Por último se tiene que verificar que el alumbrado y la ventilación del túnel y de las galerías funcionen adecuadamente.

### **2.4.7. Subestructura**

La zona de la subestructura abarca desde la cimentación, hasta el eje del distribuidor. Las estructuras componentes son básicamente de concreto masivo. Las estructuras y dispositivos que se alojan en esta área son: cárcamo de bombeo, galerías de inspección y drenaje, cámara del rodete de la turbina, tubo de aspiración, sistema de desagüe de la carcasa, conductos de desfogue, tomas de agua y conducción, válvulas y bombas sumergibles.

Las filtraciones de agua excesivas constituyen los aspectos más importantes a cuidar en la inspección. Se define como filtración excesiva aquella que sufre un cambio repentino de acuerdo al historial y dependerá en cada caso de situaciones particulares. Durante la inspección es importante identificar la fuente de dichas filtraciones y encontrar la causa. Normalmente, esto requiere de personal y equipo especializado.

### **2.4.8 Nivel de turbinas**

Aquí se localiza la turbina, cuya carcasa está alojada en la losa de piso de este nivel. La estructura que contiene a ésta, a la flecha y a las chumaceras de guía y de carga se le conoce como foso de la turbina. Todos los equipos están cimentados sobre bases de concreto y deben tener sus respectivos ductos de drenaje los cuales se deben inspeccionar para que estén libres de obstrucciones y canalizados adecuadamente.

La inspección en este nivel considera las filtraciones en zonas donde está el equipo electromecánico, el estado de la protección anticorrosiva, los señalamientos de los sistemas de agua, aceite y aire, así como dispositivos contra incendio.

### **2.4.9. Nivel de generadores**

En este nivel se tiene la salida de buses del generador hacia los transformadores. Entre los elementos más importantes de este nivel se encuentran los siguientes:

- Foso del generador, dentro del cual se alojan el estator y el rotor.
- Barras de conducción o buses.
- Tableros de control para operación o servicios.
- Acceso de lumbreras utilizadas para ventilación y conducción de buses y cables.
- Sala de baterías.
- Área para maniobras y trabajos menores.

En este piso se produce un sobrecalentamiento importante lo que obliga a una inspección periódica detallada del sistema de ventilación para asegurar su adecuado funcionamiento. Los elementos que producen calor son básicamente el generador y los buses; el foso del generador debe permitir la circulación de aire en su interior y el aislamiento de los buses debe encontrarse en buenas condiciones.

Debe tenerse cuidado en revisar los ductos de ventilación desde la caseta de ventiladores e inyección de aire hasta las salidas. La zona de tableros, y en general todo el nivel, debe estar libre de filtraciones. Las trincheras para cables y para drenaje deben estar separadas. Así mismo toda el área debe contar con señalización necesaria. Los sistemas contra incendio requieren una inspección continua para garantizar su existencia en sitios adecuados, y en el caso de los equipos portátiles, se deben verificar los rangos de presión y seguir las instrucciones de mantenimiento del fabricante para tenerlos disponibles en cualquier emergencia.

#### **2.4.10. Nivel de excitadores**

Este nivel se considera como el principal pues es la primera impresión para cualquier persona al entrar a la Casa de Máquinas. Aquí deben conservarse en buen estado los acabados de piso y muros, así como el alumbrado. En este nivel se localizan: sala de tableros, áreas de almacenamiento de equipo, sanitarios, sala de baterías y área de maniobras. Se tendrá cuidado en revisar las zonas de seguridad como son: sistemas contra incendio, pisos antiderrapantes, áreas restringidas, escaleras, barandales y verificar que los señalamientos sean visibles y estén colocados en sitios estratégicos.

Al igual que en el nivel de generadores, se verificará que el sistema de ventilación funcione adecuadamente, en especial si la casa es subterránea. Una estructura importante a considerar es la grúa viajera compuesta por la trabe carril, las vías, los apoyos, los accesorios de izaje y la instalación eléctrica. La inspección de estos elementos debe ser meticulosa con el fin de detectar vibraciones por holguras o desgastes. Además deberá revisarse su alineamiento vertical y horizontal, pues este desajuste puede ocasionar desgaste por fricción.

#### **2.4.11. Superestructura y transformadores**

Esta sección se considera a partir del nivel de excitadores hasta la bóveda o techo. En las Casas de Máquinas superficiales la estructuración se constituye a base de columnas, traveses y contravientos; la estructura principal puede ser metálica o de concreto reforzado, de losacero o una combinación de éstos.

La bóveda de las casas subterráneas no deben tener plafón para facilitar las maniobras de canalización de filtraciones, ya que por lo general éstas son frecuentes. Los muros en este tipo de casas tienen un sistema de drenes conectados a un colector general, los cuales deben revisarse que no tengan obstrucciones y que su funcionamiento sea adecuado.

Los transformadores pueden estar en una caverna o en una plataforma exterior en las casas subterráneas; en las casas superficiales es común que se instalen junto a la superestructura al nivel de excitadores o en un nivel superior. Es muy importante inspeccionar el sistema contra incendio, así como su ventilación y el drenaje correspondiente. También se debe verificar la existencia de una fosa de captación de aceites que permita el reuso, así como el funcionamiento del drenaje pluvial.

## CAPÍTULO 3

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

La prevención debe ser la base de todas las acciones de conservación para mantener en óptimas condiciones la infraestructura. Esto exige una vigilancia continua para distinguir los problemas potenciales y actuar en consecuencia. El mantenimiento preventivo para las estructuras que integran a una central hidroeléctrica, consiste en aplicar las medidas necesarias para protegerlas contra el deterioro, debido a envejecimiento, agentes agresivos o acciones que causen detrimento y cuya ocurrencia pueda predecirse por medio de una inspección periódica. A continuación se describen las actividades básicas del mantenimiento civil preventivo teniendo en cuenta la variedad de elementos e instalaciones que conforman a una Central Hidroeléctrica.

#### 3.2. OBRAS DE CAPTACIÓN

##### 3.2.1. Presa derivadora

La prevención de fallas en estas obras se logra mediante la conservación de su estructura y la de sus obras auxiliares.

- En las presas derivadoras de materiales graduados se requiere una atención permanente para verificar el grado de erosión en sus taludes; la aparición de grietas; áreas húmedas, o filtraciones.

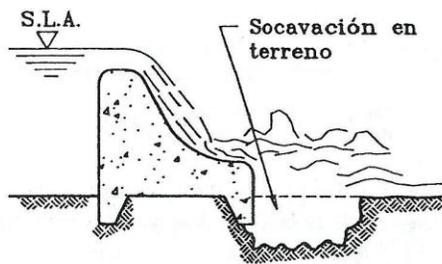
En ambos casos es preciso proteger el terreno al pie del paramento aguas debajo de la estructura vertedora de la presa para evitar la socavación del mismo y reducir la posibilidad de la inestabilidad en la presa.

##### Descarga sin revestimiento

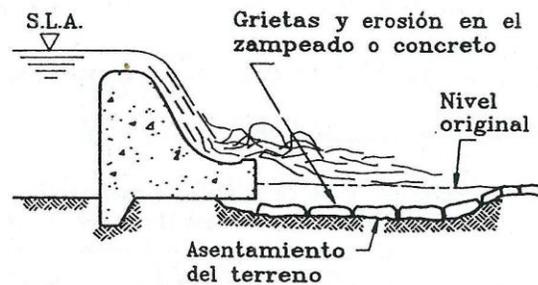
En la Figura 3.1 se proponen dos formas simples de protección al terreno en el lecho del cauce, éstas son revestimientos de corta longitud y de colocación sencilla sobre el área de interés. Antes de revestir el terreno se necesitarán los siguientes trabajos:

- Remover y limpiar todo el material vegetal, tierra y piedras sueltas del área afectada.
- Excavar el fondo hasta obtener una superficie ligeramente plana y con la profundidad necesaria, hasta suelo firme y sano; dejar las paredes de la excavación sensiblemente verticales y rectas para colocar un relleno firme.

- Retirar el material producto de la excavación.
- Si al excavar aparecen filtraciones de agua en el terreno de cimentación, desecar el área para evitar problemas a los trabajos de relleno. Antes de iniciar el relleno compactar el fondo de la excavación.
- Colocar el relleno con material seleccionado (de la excavación o de banco) y disponerlo en capas de 20 cm hasta el nivel requerido. Compactar cada capa con elementos mecánicos o manuales. Una vez concluido el relleno éste se protege con una capa de 30 ó 40 cm de espesor de piedra vaciada, en toda la longitud de la descarga y con un ancho de acuerdo a las observaciones del ingeniero supervisor. Otra protección se logra colocando dos o más estibas cruzadas de sacos de cemento. Ya colocados los sacos de cemento, estos se mojan para que endurezcan.



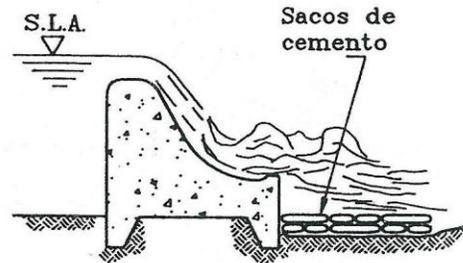
a) Daño por socavación del terreno.



b) Daños en el revestimiento (si existe).



c) Tipos de prevención contra la erosión del terreno.



**Figura 3.1. Protección del terreno al pie de una presa derivadora (CFE, 1991)**

### **Descargas con revestimiento de zampeado o concreto**

En presas donde el terreno al pie del paramento aguas abajo tiene protección con zampeado o concreto, el deterioro de ese revestimiento se trata como sigue:

- Para grietas o desprendimientos en revestimientos de zampeados de piedra véase la Tabla 3.1.

Otro problema en estos revestimientos se debe al asentamiento del terreno de desplante, en casos de poca magnitud se propone:

- Levantar y retirar el material del revestimiento dañado a una distancia mayor de 40 o 50 cm fuera del área afectada.
- Retirar el material de suelo suelto o saturado de agua.
- Excavar un cajón en el terreno de 30 a 60 cm de profundidad bajo el nivel de desplante y retirar el material de excavación.
- Colocar un relleno por cepas de 20 cm hasta el nivel de desplante (compactarlas en forma mecánica o manual).
- Revestir nuevamente, de acuerdo al material requerido. Prever una buena adherencia entre el revestimiento nuevo y el original.

**Tabla 3.1. Reparación de zampeados.**

A. GRIETAS
(Pequeñas, sin desfase aparente entre sus caras y sin asentamiento o abombamiento del zampeado)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpiar perfectamente ambos lados de la grieta (quitar la lama o musga)</li> <li>2. En función del ancho de su abertura pueden sellarse con compuestos epóxicos o mezclas de cemento Pórtland. Las limitaciones principales para la utilización de estos materiales son el costo y la posición del zampeado.</li> </ol>
B. DESPRENDIMIENTOS CON GRIETAS AMPLIAS O PEQUEÑAS
(Con deformación del zampeado por asentamientos, movimiento en laderas y/o por presión del agua infiltrada)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Quitar todo el zampeado afectado, hasta los límites del zampeado firme. Se requiere que las caras finales sean de forma irregular para lograr una junta adecuada</li> <li>2. Retirar todo el material removido y quitar todo el mortero viejo para que las caras sean sólo de piedra</li> <li>3. Preparar la superficie del terreno, de acuerdo a lo siguiente: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Si la causa del deterioro fue asentamiento del terreno, plano o de pendiente, se debe quitar la tierra floja y rellenar con tierra compactada.</li> <li>b) Si el problema fue por deslizamiento o desprendimiento de terreno en laderas quitar toda la parte fallada o suelta del terreno. Afinar uniformemente para dar nueva superficie de desplante.</li> </ol> </li> <li>4. Colocar el nuevo zampeado, considerando lo siguiente: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) En terreno plano o de poca pendiente pegar con mortero piedra a piedra o bien, rellenar toda el área con concreto ciclópeo utilizando y vaciando la misma piedra y el mortero.</li> <li>b) En terreno de laderas (pendientes fuertes) debe colocarse la piedra una a una, de abajo hacia arriba.</li> </ol> </li> </ol>
C. RECOMENDACIONES GENERALES
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Humedecer todas las caras y las piedras antes de ser colocada</li> <li>2. Utilizar piedra braza o cantera de tamaño mayor a 15 cm</li> <li>3. Utilizar mortero de cemento-arena (1:5)</li> <li>4. Rellenar con mortero todos los huecos, entre piedra y piedra o entre piedra y terreno</li> <li>5. Evitar juntas de mortero mayores a 3 o 4 cm de ancho</li> </ol>

### 3.2.2. Obra de toma

#### Estructura a pie de presa y en tanques de regulación

Los elementos de concreto de este tipo de obras están expuestos a la acción del agua (presión hidrostática) al permanecer casi siempre sumergidos, los más comunes son:

- Columnas y trabes
- Losas de fondo
- Muros y taludes de contención
- Revestimiento perimetral en canales de llamada y bocatomas
- Estructuras de guía y apoyo de las compuertas

Debido a lo anterior estos elementos sufren los siguientes deterioros:

- Agrietamiento y desintegración por la penetración y ataque de sustancias agresivas como sulfatos y bióxido de carbono.
- Porosidad y daño prematuro del concreto por los efectos químicos de lixiviación y por la reacción álcali-agregado. Esto reduce su resistencia.
- Erosión por el arrastre de partículas, la velocidad del agua y por impacto de cuerpos sólidos.
- Socavación por filtraciones a través de juntas frías.
- Corrosión del acero de refuerzo debido a altas concentraciones de cloruros y filtraciones.

Para evitar o disminuir los efectos anteriores, las acciones preventivas son:

- 1) Analizar el agua para verificar el contenido de sustancias nocivas.
- 2) Resanar grietas y descascaramiento.
- 3) Aplicar recubrimientos impermeabilizantes y protectores.

Las partes no sumergidas están sujetas a los efectos del intemperismo, que son:

- Desprendimientos superficiales que pueden llegar a descubrir el acero de refuerzo y facilitar su corrosión. Lo anterior se debe al efecto de secado de las partes húmedas, producido por las variaciones periódicas del nivel del agua. A este fenómeno se le conoce como “estrellamiento”.
- Agrietamientos debidos a esfuerzos de tensión y compresión adicionales a los de diseño, provocados por las dilataciones y contracciones del concreto en juntas mal diseñadas o por la falta de ellas. Esta condición se presenta por los cambios de temperatura.

### **3.2.3. Canal de llamada**

Por la disposición de algunas obras de toma se requiere de un canal que encauce el agua hacia ellas. El mantenimiento preventivo en estas obras consiste en:

- Efectuar mediciones de control topográfico para detectar movimientos en taludes y laderas.
- Realizar mediciones periódicas de batometría para determinar el volumen de azolve acumulado y el área a desazolvar, mediante la definición de secciones de control debidamente localizadas y referidas a mojoneras. Con base en lo anterior programar las actividades de desazolve.
- Detectar grietas y fallas que puedan provocar fracturas y desprendimientos en los revestimientos de los taludes (de concreto lanzado, losas de concreto hidráulico, muros de mampostería o zampeados). Lo anterior se puede producir por posibles movimientos de terreno, o excesiva filtración de agua en el mismo.

En taludes sin revestimiento las actividades preventivas más importantes son:

- Verificar la estabilidad del material del terreno.
- Limpiar todo el material suelto o propenso a derrumbarse hacia el canal o rejillas para evitar daños y obstrucciones en éstas y el incremento de azolve.
- Desazolvar cunetas y contracunetas (esta actividad debe efectuarse ante y durante la época de lluvias).
- Proteger el terreno de las laderas con vegetación de poca altura, zampeado o concreto lanzado.
- Prevenir caídos y derrumbes mediante la disposición de muros de retención al margen del canal.
- Ampliar la red de contracunetas y cunetas de drenaje pluvial (su sección de escurrimiento y su longitud).

### **3.3. OBRAS DE CONDUCCIÓN**

#### **3.3.1. Canales**

El mantenimiento preventivo de canales (abiertos o cerrados) y sus obras afines de conducción depende en gran medida de los materiales con los que están construidos o protegidos. Los problemas que se deben prevenir en cada caso:

### **Canales abiertos sin revestir**

Los problemas en este tipo de canales y su tratamiento dependen de las características del terreno donde están construidos. Los más comunes son:

1. Azolves. Se produce por la erosión de los taludes y la plantilla del canal y por el material arrastrado por el río que llega a entrar al canal por suspensión, afectando obras tales como: sifones, túneles y tanques de regulación. Este problema afecta al funcionamiento hidráulico, reduciendo la capacidad de conducción.
  - Para su prevención se deberá determinar la causa específica que provoca el azolve y tratarla según su naturaleza, por ejemplo: localizar puntos de “caídos” o el arrastre de suelo por escurrimientos de agua pluvial en las laderas, y verificar el grado de desgaste de los taludes y plantilla del canal.
2. Erosión. Provoca la pérdida de estabilidad del terreno de los taludes (en terraplén y en laderas) y de las bermas en ambas márgenes del canal.
  - En este caso se deberá comparar la velocidad en el cauce contra la máxima permisible de resistencia al arrastre del material de plantilla y paredes. También vigilar en forma constante la erosión y la estabilidad del terreno de los taludes y las bermas.
3. Filtraciones. Además de reducir el gasto, pueden llegar a provocar inestabilidad en el terreno y causar daños mayores al canal y otras obras.
  - El control de filtraciones pequeñas, a través de material granular, en la plantilla o taludes se eliminan mediante la aplicación de sellos impermeabilizantes de aceite quemado, breas, ceniza volátil, inyecciones de silicatos, cemento tipo I con puzolana, alquitrán o mezclas de resina. El suelo de la plantilla puede también compactarse mecánicamente.
4. Crecimiento de plantas en las márgenes, bordo libre y bermas.
  - Para evitar el ablandamiento y grietas en el terreno se deberá cortar la vegetación desde sus raíces.
5. Socavación. Se produce debido a las altas velocidades del agua, principalmente en las transiciones.
  - En este caso será necesario realizar un estudio del terreno para conocer su resistencia a la erosión, grado de intemperización y permeabilidad.

De acuerdo a la frecuencia y magnitud de los problemas anteriores se tendrá que considerar la posibilidad de revestir el canal.

### **Canales abiertos revestidos**

El material de revestimiento en la sección de los canales puede ser: plantilla de suelo-cemento, zampeado o concreto; taludes y muros de zampeado, concreto o mampostería. Los principales problemas que se presentan en estos elementos son:

- 1) Azolve. Se acumula principalmente en los tramos donde la baja velocidad del agua facilita la sedimentación de partículas.
- 2) Erosión del revestimiento. Es ocasionada por cuerpos flotantes, “caídos”, por el arrastre de partículas en flujos de alta velocidad y por saltos hidráulicos en cambios de pendiente, caídas, descargas o en estructuras disipadoras de energía.
- 3) Filtraciones. Provocadas por grietas en el revestimiento o juntas deterioradas.
- 4) Crecimiento de lama. Después de varios meses sin limpieza, en las paredes y en el fondo del canal crece una especie de vegetación acuática, que al paso del tiempo provoca grietas (por el crecimiento de sus raíces) y por consecuencia filtraciones.

El mantenimiento preventivo en canales revestidos no es difícil si se implementa un programa anual de actividades de acuerdo a las inspecciones y observaciones del ingeniero de mantenimiento. Dichas actividades son:

- Sellar las superficies de concreto con recubrimientos impermeabilizantes, aun cuando no exista causa o daño aparente en él.
- Resanar las grietas, juntas deterioradas, despostillamientos y la abrasión del concreto, para que no afecten el comportamiento de la estructura.

Medidas preventivas adicionales:

- Desazolver el canal de conducción aprovechando cada “libranza”, por cualquier medio que se disponga.
- En presas derivadoras controlar la entrada de azolve en la obra de toma mediante el lavado periódico del desarenador.
- Quitar todos los arbustos cercanos a los taludes del canal para que el crecimiento de sus raíces no pueda dañarlos. Mantener corta toda la vegetación de las laderas superiores para evitar la caída constante de ramaje, troncos u hojarasca dentro del canal.
- Limpiar todo indicio de crecimiento de vegetación en juntas y quitar el musgo o la lama pegada al revestimiento.

### 3.3.2. Conductos cerrados parcialmente llenos

#### Túneles

Los trabajos preventivos se relacionan con la buena conducción y estabilidad de su perímetro:

- El grado de deterioro del material de revestimiento y cada falla encontrada determinan la magnitud del mantenimiento.
- Asegurar las condiciones de estabilidad de los portales de entrada y salida del túnel y la estabilidad de los taludes para detectar oportunamente derrumbes que puedan obstaculizarlo. Retirar todo el material suelto o piedras con poco apoyo e indicar cualquier indicio de fallas y afloramientos de agua.
- Aplicar protección anticorrosiva y verificar la sujeción adecuada de las anclas y sus placas de apoyo, en portales.
- Desazolve y limpieza de piedras, troncos y cualquier objeto retenido en el interior del túnel.

#### Cajones de concreto

Las actividades de mantenimiento preventivo para este tipo de conductos son:

- Resanar y aplicar recubrimientos impermeabilizantes en grietas que provoquen humedad o pequeñas filtraciones.
- Inspeccionar las juntas constructivas con el fin de detectar deslizamientos entre los tramos del conducto y filtraciones que se puedan convertir en fugas de consideración.
- Determinar la magnitud de las filtraciones para solicitar una “libranza”, con el fin de efectuar las reparaciones.
- Retirar y limpiar todo el material de derrumbes, deslaves o árboles para determinar la magnitud de los daños al conducto.
- Asegurar la integridad de los cajones protegiendo las laderas y aplicando medidas de protección de taludes.
- Desazolver durante las “libranzas” en forma manual, utilizando palas y carretillas.
- Verificar después del desazolve el estado de la plantilla y muros, con objeto de detectar erosión, grietas y despostillamiento por impacto.

- Comprobar el funcionamiento de la rejilla a la entrada del conducto, para adecuar la separación más conveniente de los barrotes y evitar obstrucciones en el interior por ramas y troncos.
- Rellenar los huecos pequeños detectados abajo del conducto, para evitar una socavación mayor.

### **3.3.3. Sifones invertidos**

El mantenimiento preventivo para sifones de concreto es similar al que se expone en el inciso anterior. Adicionalmente se debe considerar lo siguiente:

- Controlar el alineamiento vertical y horizontal del conducto para detectar deformaciones o asentamientos.
- Establecer un programa de limpieza en el interior del sifón en función de la recurrencia de azolve. Verificar el cierre hermético de tapas en los registros y el sello en juntas de construcción y válvulas de desagüe.

## **3.4. TANQUES DE REGULACIÓN**

Su deterioro provoca filtraciones, que se reflejan en pérdidas de gasto. Para evitar lo anterior se deben considerar las siguientes medidas:

- Resanar pequeñas grietas en las superficies de concreto.
- Verificar las condiciones del material de sello entre las juntas de concreto.
- Retirar la lama y todo tipo de vegetación que se haya desarrollado en las paredes, pisos y juntas.
- Detectar daños en los elementos estructurales y programar su corrección.
- Accionar el desarenador periódicamente para evitar la acumulación de azolve.
- Aforar las filtraciones a través de taludes, bermas y fondo mediante la red de captación para comprobar su buen funcionamiento y conocer la magnitud de las pérdidas.
- Limpiar las cunetas de drenaje exterior para asegurar el desalojo de los escurrimientos pluviales.
- Comprobar el estado del sistema eléctrico e instalaciones de alumbrado (cambiar lámparas).

- Mantener los interruptores protegidos para que sean operados únicamente por personal interesado.
- Proteger la red de cables y dispositivos de la alimentación eléctrica dentro de trincheras.
- Comprobar la sujeción adecuada de postes y reponer pernos de anclaje deteriorados o faltantes. Evitar su uso como apoyo para otras maniobras que puedan deformarlos.
- Dar protección anticorrosiva a estructuras metálicas, tales como postes, escaleras, barandales, manerales y demás elementos.

### **3.5. POZOS DE OSCILACIÓN**

De acuerdo a su diseño pueden ser metálicos o de concreto, y por su localización se dividen en:

#### **Pozos subterráneos**

Las principales actividades de prevención de fallas en estas estructuras son:

- Vigilar la condición del revestimiento de las paredes, bóveda y plantilla (generalmente de concreto reforzado).
- Detectar grietas y degradación del concreto que puedan causar filtraciones.
- Mantener en buenas condiciones el sistema de alumbrado y alimentación de energía eléctrica.
- Comprobar el buen estado de rejillas, registros, escaleras, barandales y andadores.
- Dar protección anticorrosiva a estructuras metálicas.

#### **Pozos exteriores**

Para estos pozos se tienen actividades preventivas como:

- Verificar las condiciones del recubrimiento anticorrosivo y el estado de la estructura metálica.
- Revisar la rejilla de protección del brocal y la alambrada perimetral de malla ciclónica y postes de tubo galvanizado, verificando la protección anticorrosiva.
- Limpiar y deshierbar el área del brocal.

- Extraer durante las libranzas la basura y lirio acuático que pudiera haber en el interior.

### **3.6. TÚNEL DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS**

Esta estructura es el paso que comunica una casa de máquinas subterránea con el exterior. Debido al contraste de la visibilidad, el mantenimiento del sistema de iluminación es de vital importancia. Las actividades que se recomiendan son:

- Reemplazo de focos fundidos o balastras defectuosas, a la brevedad posible. Así mismo se deben reemplazar tomas y soportes de cables deteriorados por otros que sean resistentes a la humedad.
- Limpieza periódica de paredes, bóvedas, pisos, banquetas y chapeo de los elementos que lo necesiten.
- Aplicación de pintura anticorrosiva a los postes de los señalamientos, así como al soportaría de cables.
- Fumigación periódica para control de plagas.
- Evaluación de la estabilidad de la roca o el revestimiento interior para su amacice.
- Evaluación de las filtraciones para su canalización.

El drenaje de este túnel deberá funcionar correctamente, su limpieza se efectuará por lo menos dos veces al año: una antes de la temporada de lluvias y la otra, en la época del año que se considere más conveniente, de acuerdo con las inspecciones realizadas. Esta limpieza consiste en la remoción de cualquier material extraño que impida el libre escurrimiento del agua. Tiene por objeto lograr que en ningún caso se acumule azolve u otro obstáculo que obstruya el área de la sección transversal.

### **3.7. LUMBRERAS**

Generalmente verticales, comunican cables y ductos diversos desde una Casa de Máquinas subterránea hasta la superficie del terreno. En su interior están provistas con escaleras metálicas y soportaría para ductos y cables. Su mantenimiento preventivo consiste en lo siguiente:

- Tratamiento de filtraciones y limpieza de drenes.
- Limpieza de drenaje para evitar posibles estancamientos de agua.

- En el caso de lumbreras con alumbrado interior, garantizar su funcionamiento cuidando la fijación de lámparas y previendo el Reemplazo oportuno de las unidades deterioradas.
- Sellado de grietas y fisuras en los componentes de concreto.
- Reposición y anclaje de los soportes de los cables y escaleras metálicas y, en su caso, aplicación de pintura anticorrosiva.
- Fumigar periódicamente para el control de plagas, roedores, reptiles, murciélagos y otros animales propios de la región que se consideren peligrosos.

Es importante la colocación de letreros preventivos localizados ala entrada para informar al personal de los peligros potenciales y orientar sobre las medidas de seguridad mínimas necesarias. Dentro de éstas se pueden mencionar: uso de casco, botas y lámparas; colocación de señales en el exterior para indicar la presencia de personal en el interior de las mismas.

### **3.8. DESFOGUE**

El desfogue esta formado por dos tramos subsecuentes: el primero es un túnel que se conecta al tubo de aspiración; el segundo es un canal que descarga el agua al cauce original. El conjunto de las obras que constituyen el desfogue normalmente quedan cubiertas por el agua y para realizar cualquiera de las actividades de mantenimiento es necesario aprovechar los paros totales de la central hidroeléctrica.

Las actividades de mantenimiento preventivo que se realizan en los canales de desfogue son: Chapeo y limpieza de los taludes del canal, limpieza, pintado y/o reposición de las escalas para tomar los niveles de agua en el desfogue y retiro de maleza acuática.

### **3.9. CÁRCAMOS DE BOMBEO**

Para garantizar el buen funcionamiento de esta estructura es indispensable realizar las siguientes actividades:

- Dar tratamiento anticorrosivo a aquellos elementos metálicos que lo requieran por ejemplo rejillas, escaleras marinas, etc.
- Aplicar recubrimientos y reparar deterioros en elementos de concreto tales como tapas, muros y losas.
- Verificar el buen funcionamiento del equipo de bombeo y suministro de energía eléctrica, así como ajustar los soportes de dicha instalación.
- Remover el escombros y la basura que se acumule en el área.

### **3.10. MÉNSULAS, TRABE CARRIL Y GRÚA VIAJERA**

Desde el punto de vista del mantenimiento civil se recomiendan las siguientes actividades: Limpiar y dar protección anticorrosiva a los elementos que lo requieran, ajustar las conexiones, realizando el cambio de los elementos dañados y colocando la tortillería faltante, aplicar lubricantes para reducir la fricción, verificar el anclaje de los apoyos y los soportes de los rieles, revisión del tope de la trabe carril. Cuando el tope es de madera de mala calidad su vida útil es limitada, se recomienda la sustitución, por un tope de neopreno.

Los ganchos de grúa que se usan para sujetar cargas deben mantenerse siempre en la mejor condición para prevenir accidentes costosos y posibles pérdidas de vidas. Estos ganchos son fabricados, normalmente de acero aleado. Un gancho de grúa falla muy raramente por que generalmente está diseñado de manera muy conservadora. Pero aún la falla ocasional puede prevenirse, tomando unas cuantas precauciones sencillas:

Colocar las eslingas de manera que la carga siempre quede sobre el asiento del gancho y no sobre la punta del mismo.

Remplazar los ganchos que tengan estrías, estalladuras, desgaste o aberturas. Debido a la intensidad del trabajo desarrollada después de un uso considerable, los ganchos requieren normalización mediante la verificación de sus dimensiones.

### **3.11. CARCASA DE LA TURBINA Y TUBO DE ASPIRACIÓN**

La carcasa conforma la parte externa del cuerpo de la turbina conteniendo en su interior a los álabes. Debido a sus dimensiones y a su posición, está embebida en concreto y conecta a la tubería a presión con el tubo de aspiración. Cuando se tenga un paro total de la turbina debe confirmarse que la carcasa esté bien adherida al concreto para evitar vibraciones excesivas; esta revisión se realiza mediante una actividad específica que consiste en golpear con un martillo la carcasa para detectar posibles separaciones de sus paredes con el concreto. En caso de encontrar separación entre la carcasa y el concreto, se debe inyectar resina en las cavidades detectadas.

Esta estructura se compone de un tubo de acero embebido en el concreto, ubicado en la parte inferior de la turbina, permitiendo la salida de flujo proveniente del rodete. Su interior está sometido a grandes variaciones de presión, inclusive presiones negativas, que pueden inducir cavitación, flujo helicoidal y variaciones de velocidad que obligan a inspecciones de rutina específica.

El mantenimiento preventivo consiste en la inspección detallada del tubo de acero para detectar fisuras en el metal o en las soldaduras, inicios de erosiones y desgaste de las paredes producto de la cavitación y separaciones entre el tubo y el concreto. Estas inspecciones, así como las reparaciones correspondientes, requieren la intervención de equipo y personal especializado.

### **3.12. SISTEMA DE VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

Todos los sistemas de acondicionamiento de aire están formados por dos tipos de componentes:

1. Los manejadores de aire: ventilador, filtro y calefactor.
2. Los que corresponden al enfriamiento: compresor y su transmisión, serpentín de enfriamiento y serpentín de condensación o condensador.

Un sistema de aire acondicionado incluye además, compuertas para el control del volumen de aire y un sistema de distribución mediante ductos. Desde el punto de vista del ingeniero civil, el mantenimiento preventivo consiste en las siguientes actividades:

- Eliminación de asentamientos, vibraciones excesivas y reemplazo de tortillería.
- Sujetar los conductos de distribución de aire y sellar las zonas con fugas.
- Aplicación periódica de protección anticorrosiva en todos los componentes susceptibles de corrosión.
- Limpieza y pintura del difusor y de las rejillas de retorno.
- Reposición del aislamiento de los ductos.

### **3.13. INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA**

#### **Instalación hidráulica**

Está constituida por: tubería de suministro o de alimentación, cárcamo o cisterna, tubería de succión, bomba, tubería de descarga, tanque elevado o tinacos de almacenamiento, red de distribución y accesorios menores (válvulas, juntas, bridas, cambios de dirección y diámetro, bifurcaciones, dispositivos de alivio, etc.). Todos estos elementos requieren de una atención cuidadosa con el propósito de detectar la mínima manifestación de fallas o deterioro, para evitar oportunamente daños a otras instalaciones o bien que ocurra un accidente. Las acciones primordiales del mantenimiento preventivo en estas instalaciones corresponden al reemplazo oportuno de piezas deterioradas o dañadas por efectos mecánicos (golpe de ariete, vibraciones, etc.), o químicos (corrosión e incrustación) y las reparaciones detectadas en el programa de inspección periódica.

El mantenimiento preventivo en la cisterna y en los tinacos deberá orientarse al reemplazo de las válvulas de flotado o de esfera ya que, cualquier falla que se presente en la palanca del pistón o en la esfera, ocasiona el cierre defectuoso o incompleto del flujo de agua, dando como consecuencia derrames que pueden provocar serios daños o desperdicios de agua. El mantenimiento preventivo ha de extenderse también a las llaves de los lavabos,

fregaderos, regaderas y otras tomas, corrigiendo goteos, ya sea con el simple ajuste de la arandela que presiona la junta (o empaque) o con el cambio respectivo de esta, cuando se encuentre muy deteriorada.

Recomendaciones adicionales:

- Efectuar periódicamente, un chapeo a lo largo de la instalación de los tramos de tuberías exteriores.
- Efectuar anualmente un desazolve y limpieza de la captación de agua potable, incluyendo la cisterna y los tinacos.

### **Instalación sanitaria**

El agua utilizada en los servicios hidráulicos tiene que ser canalizada para su desalojo, hacia los sistemas de drenaje y alcantarillado. Por lo general en los sistemas de drenaje, para las descargas de las aguas negras y las bajadas de agua pluvial, se emplean tubos de PVC o en menor medida tubo de fierro fundido, estos se conectan a los registros de la planta baja para comunicarse al sistema de alcantarillado, en donde se utilizan tubos de concreto.

Como parte de la instalación sanitaria, se incluyen los diferentes muebles instalados en los baños, fregaderos y tarjas para la limpieza y el aseo. En los casos donde no exista sistema de alcantarillado será necesario incluir las fosas sépticas o los pozos de absorción. También dentro de las instalaciones sanitarias, se deberán incorporar los elementos utilizados en el control, y manejo de los desechos sólidos. La principal acción de mantenimiento preventivo de esta instalación, es la reparación de las bajadas de aguas pluviales, de las líneas de descarga de las aguas negras y de los elementos de descarga del agua utilizada en los muebles sanitarios (excusados, mingitorios, etc.). Estas reparaciones están enfocadas principalmente a resolver los siguientes problemas:

- Reparar fugas en las uniones de los tubos de las bajadas de aguas negras.
- Reparar y/o reponer los dispositivos para evitar el escape de gases (malos olores) en los colectores del interior de la Casa de Máquinas.
- Destapar la taponaduras en registros, coladeras, fosas sépticas, fregaderos, lavabos, etc.

A continuación se describen los procedimientos de reparación más comunes para solucionar los problemas mencionados anteriormente:

- Las fugas en las uniones de las tuberías de bajadas de aguas pluviales se corrigen rellenando la junta del tubo y la campana con algún material a base de betún; se requiere una limpieza previa.

- La corrección de las fugas de gases en los colectores, drenajes y muebles sanitarios se corrigen limpiando las obstrucciones que pudieran presentar los tubos instalados para ventilación; y en el caso de los colectores y drenajes, reponiendo los sellos de las tapas de los registros.
- Los reboses de agua residual en registros de drenaje y en coladeras pueden estar indicando un taponamiento de las tuberías ocasionado por el acumulamiento de desperdicios sólidos en un punto determinado de la línea. Esta falla se puede corregir, descargando agua a presión por medio de una manguera, a través del registro más próximo al taponamiento o bien empleando un desatascador mecánico.
- El atascamiento de los sifones de lavabos y fregaderos, se corrige vertiendo una porción de sosa para lavar con agua hirviendo haciéndola fluir, o al menos llenar totalmente la tubería. Esto permite remover tanto la grasa como los desperdicios que se hubiesen acumulado; también se puede introducir un alambre por la parte inferior del sifón para remover o extraer basura acumulada.

## CAPÍTULO 4

### MANTENIMIENTO CORRECTIVO

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las actividades y procedimientos requeridos para realizar un mantenimiento correctivo eficaz. En todos los casos, es necesario encontrar la causa de falla para garantizar su reparación a largo plazo. Las fallas o daños son producto de un proceso gradual de deterioro debido a las condiciones de servicio o bien, son originados por los efectos repentinos de un evento extraordinario. En los siguientes subcapítulos se expresan las recomendaciones pertinentes de acuerdo a cada tipo de elementos que componen a una Central Hidroeléctrica.

#### 4.2. OBRAS DE CAPTACIÓN

##### 4.2.1. Presa derivadora

Si el terreno al pie del paramento aguas debajo de una presa vertedora ocurre socavación debida a la caída de agua, el daño se corrige o se elimina con revestimientos de zampeado o losas de concreto o bien, con la disposición de elementos disipadores de energía en la rampa de descarga (Figura 4.1). Las actividades previas a la construcción de dichas protecciones son:

- Retirar el azolve, suelo orgánico, saturado o suelto.
- Colocar material de mejoramiento sobre el terreno (relleno impermeable) en casos de suelos de arcillas expansivas, lodo, turba, caliche, entre otros.
- Nivelar el suelo, rellenando las oquedades con concreto ciclópeo (en los casos necesarios) antes de colocar el relleno de mejoramiento o desplantar el revestimiento.
- Compactar el suelo o el relleno con equipo manual o mecánico.
- Trazar el área a proteger y llevar a cabo los trabajos de construcción del revestimiento, los que pueden ser:

##### **Revestimiento con zampeado**

Las piedras del zampeado se colocan de la siguiente forma:

- Picar (con barretas, cuñas o picos) la superficie de contacto con el paramento aguas debajo de la descarga para asegurar la adherencia con el nuevo mortero del zampeado.

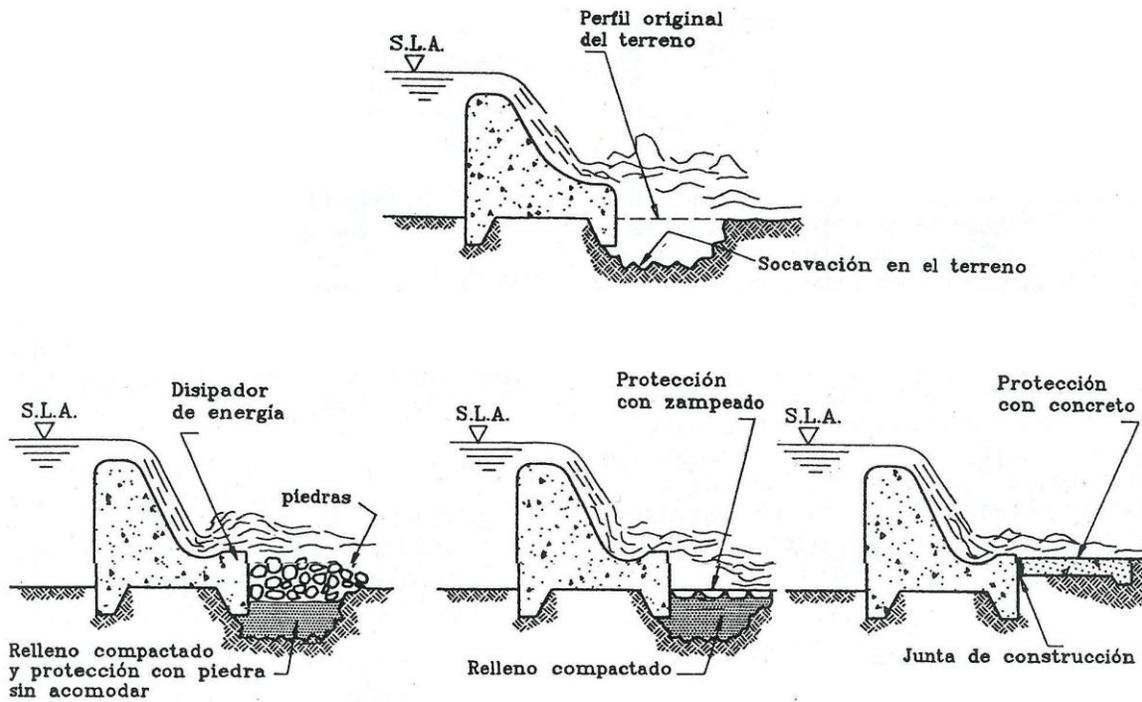
- Colocar reventones de hilo para nivelar y dar pendiente a la superficie del zampeado (2% como mínimo).
- Iniciar la colocación del zampeado. Pegar con mortero piedra a piedra o bien, vaciar el mortero en áreas pequeñas y colocar la piedra sobre él. Nivelar la superficie con un escantillón (regla de madera) apoyándose en los reventones.

El espesor del zampeado debe ser de 20 a 30 cm, dependiendo de las condiciones del terreno, y a juicio del ingeniero responsable.

### **Revestimiento con losas de concreto**

Sus trabajos de construcción son similares a la disposición de pavimentos y pisos rígidos de concreto hidráulico, como sigue:

- Preparar el terreno de desplante (limpiar, nivelar y compactar en caso necesario), adicionar un riego de impregnación con asfaltos rebajados y de fraguado medio. Este riego protege la superficie del terreno contra el deterioro por maniobras de construcción y da una buena impermeabilización contra las filtraciones del subsuelo.
- Determinar por diseño si las losas requieren acero de refuerzo, por los efectos de temperatura, peso propio y otras acciones.
- Colocar el concreto de las losas monolíticamente para evitar juntas frías que originen zonas permeables.
- Dar al concreto la calidad para incrementar su resistencia a la abrasión y a las sustancias provenientes del suelo, así como para incrementar su impermeabilidad.
- Pulir la superficie terminada del revestimiento y, en caso necesario, protegerla con algún tipo de recubrimiento impermeabilizante.
- Construir una junta de contracción entre la superficie de contacto de la losa de revestimiento y el dentellón de la rampa de descarga, para absorber los cambios volumétricos por temperatura y prevenir fallas.



**Figura 4.1. Daño y reparación del terreno al pie de una presa de derivación (CFE, 1991)**

#### 4.2.2. Obra de toma

##### Estructura a pie de presa y en tanques de regulación

La reparación del concreto en estas estructuras debe atenderse oportunamente para evitar daños graves que aumenten el riesgo de falla. Los elementos importantes donde se proponen actividades correctivas como la reparación de superficies erosionadas; de fracturas y despostillamientos por sobrecarga, impacto o sismo; la restitución del concreto que recubre el acero de refuerzo, y el sellado de las juntas frías, son:

- Columnas
- Muros y taludes de contención
- Estructuras de guía y apoyo de compuertas
- Estructuras de apoyo de mecanismos de operación

Después de toda reparación, programar la restitución general del recubrimiento anticorrosivo en todas las superficies metálicas de elementos tales como escaleras marinas, barandales, rejillas de la obra de toma, etc.

### **4.3. OBRAS DE CONDUCCIÓN**

#### **4.3.1. Canales**

La mayor parte de los trabajos correctivos en canales se ejecutan durante las libranzas, por lo tanto se deben programar junto con las actividades de mantenimiento que requieran otras obras del Sistema de Conducción.

##### **Canales abiertos sin revestir**

La erosión del fondo, taludes, bermas y bordos provocan su deslave y filtraciones que se traducen en pérdidas considerables de gasto. Las Figuras 4.2 y 4.3 muestran las obras que pueden construirse para reparar los tramos afectados y que son:

- Muros de contención de concreto reforzado o mampostería, diseñados para soportar el empuje del relleno, la presión hidrostática o ambos, se deben desplantar desde el terreno firme.
- Terraplenes para conformar los taludes del canal afectados o deslavados. Rellenar los tramos erosionados o deslavados colocando material impermeable.
- Revestimiento del fondo y los taludes, en los casos donde las filtraciones no provoquen inestabilidad, pero que impliquen pérdidas y erosión.

Los revestimientos pueden ser rellenos de material impermeable, zampeados o losas de concreto reforzado, para su disposición se requiere de:

1. Retirar el azolve, material suelto, piedras y materia vegetal, si existen.
2. Afinar el terreno o terraplén, considerando un espesor del revestimiento de 20 a 30 cm y la pendiente del lecho.
3. Rellenar oquedades con tierra compactada o concreto hidráulico anclado o terraplén con varilla de acero.
4. Sellar las grietas del terreno.
5. Conformar el fondo y los taludes del canal, compactándolos en forma manual o mecánica, para dar una superficie uniforme y la pendiente requerida.
6. Colocar el revestimiento.

Un revestimiento de concreto (simple o reforzado) se debe justificar si el grado de erosión y las filtraciones son de gran magnitud. Este revestimiento se puede hacer con losas de 10 cm de espesor, reforzada con varilla corrugada en ambas direcciones o malla electrosoldada.

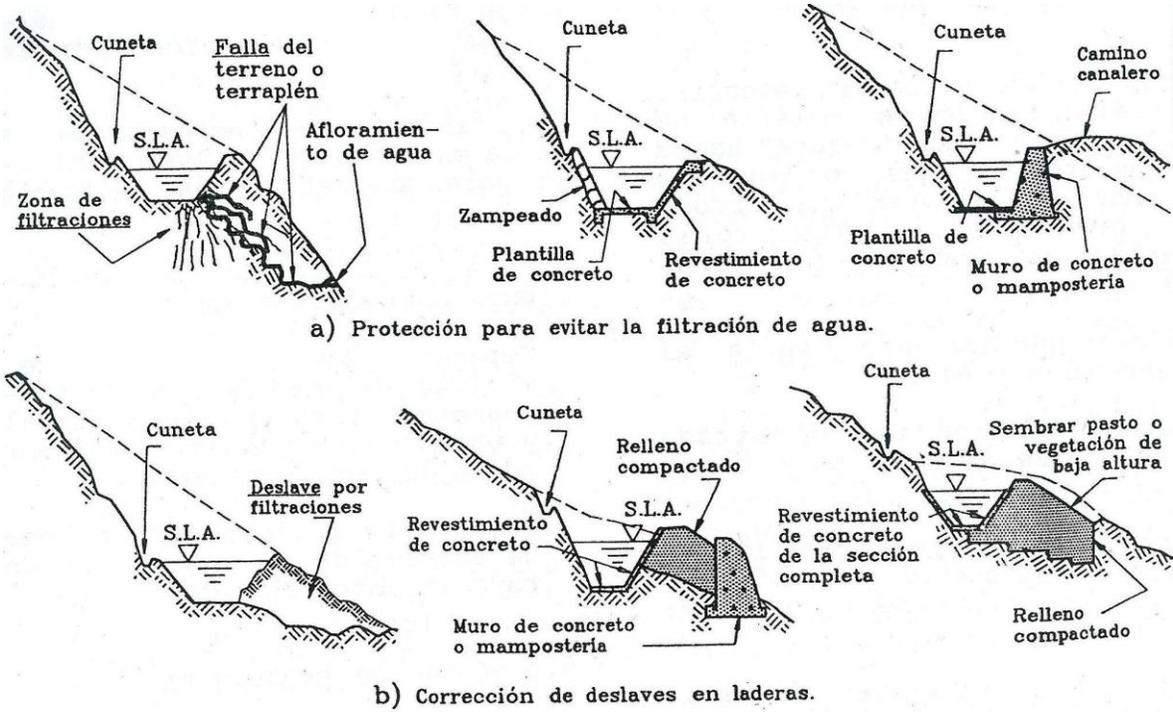


Figura 4.2. Protección de canales sin revestir (en laderas) (CFE, 1991)

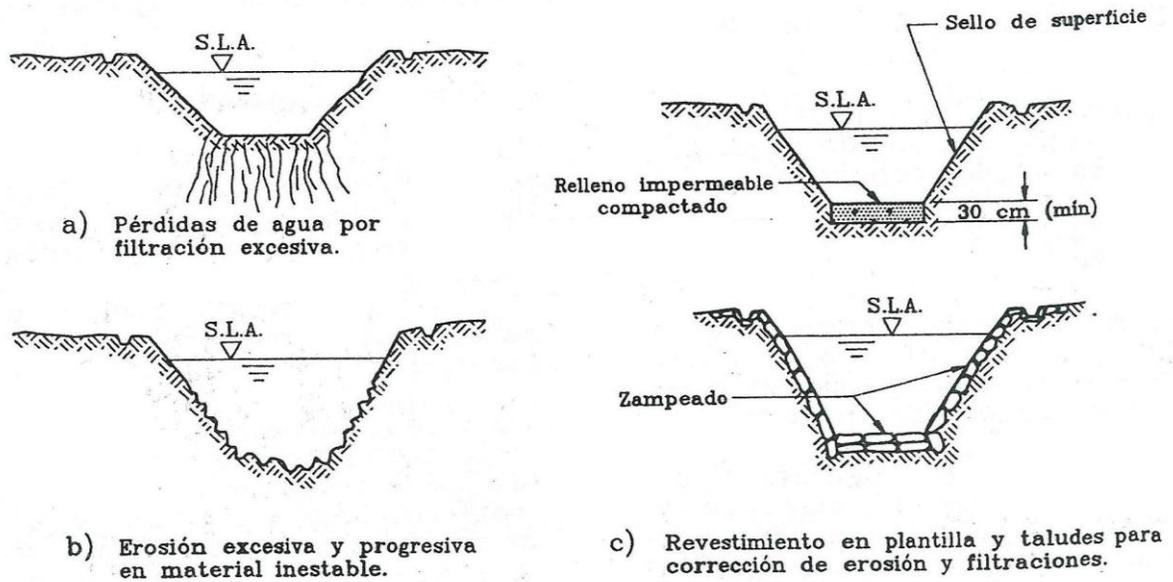


Figura 4.3. Reparación de canales sin revestir (CFE, 1991)

### Canales abiertos revestidos

Las actividades correctivas de reparación o reposición de su revestimiento se requieren por diversos problemas como son:

- Grietas en muros contenedores de mampostería provocadas por asentamiento y volteo debido a la presión hidrostática. Para su tratamiento véase la Tabla 4.1 y la Figura 4.4.
- Falta de sello por fracturas en el zampeado o en las losas de concreto y grietas en sus juntas, provocadas por el asentamiento o abombamiento del revestimiento.

Los trabajos para la reparación de fallas en el zampeado se describen en la Tabla 3.1. Las losas de concreto se reparan como sigue:

1. Eliminar todos los fragmentos flojos en la zona afectada (demoler y retirar).
2. Remover y retirar todo el material suelto.
3. Hacer una excavación hasta terreno sano, en forma de cajón, sin dañar el terreno de apoyo del concreto adyacente.
4. Rellenar por capas de 15 cm y compactar manualmente (con “bailarina”) hasta llegar al nivel de desplante de la losa adyacente.
5. Colocar y traslapar el acero de refuerzo. Si las varillas no se pueden traslapar lo suficiente, tendrán que soldarse.
6. Fijar la cimbra y colar el concreto nuevo.

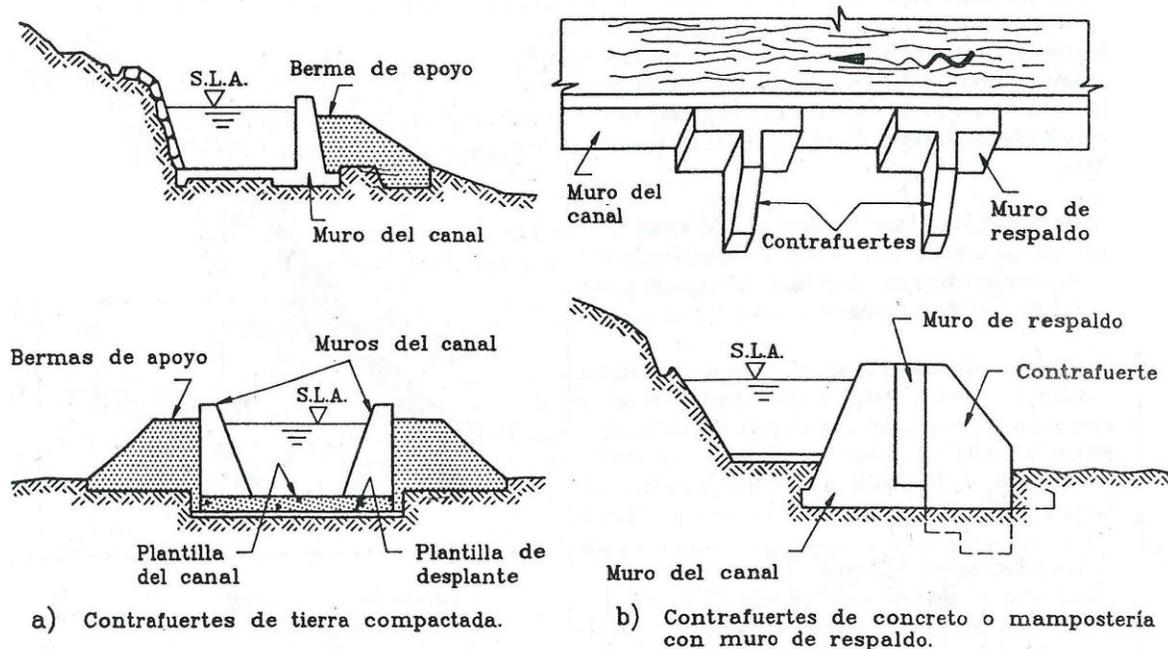


Figura 4.4. Estructuras para apoyo de muros de canales, contra el volteo (CFE, 1991)

**Tabla 4.1. Reparación de muros de mampostería.**

A. Por grietas (sin asentamiento del muro)
<p>1. Las grietas menores a 25 mm de abertura y sin desfasamiento entre sus caras se pueden resanar al procedimiento (A) Grietas (en zampeados) de la Tabla 3.1.</p> <p>2. En grietas mayores a 25 mm de abertura, o menores con desfasamiento entre sus caras, se recomienda:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Demoler ambos lados de la grieta. Quitar todo el mortero viejo, dejando a la vista únicamente la piedra.</li> <li>b) Limpiar todo el material removido y lavar con chorro de agua.</li> <li>c) Humedecer las caras y las piedras por colocar.</li> <li>d) Iniciar la reconstrucción del tramo nuevo, colocando la piedra en forma “cuatrapiada” y junteada con mortero (cemento-arena 1:5), llenando perfectamente todos los huecos.</li> <li>e) Las juntas no deben ser mayores a 3 cm ni estar rellenas con pedacería de piedra.</li> <li>f) Plomear adecuadamente el nuevo tramo, con respecto al trazo original del muro.</li> <li>g) Evitar el uso de piedras menores a 20 cm de tamaño tanto como sea posible.</li> </ol>
B. Por asentamiento o volteo
<p>1. Apuntalar todo el tramo fallado. Si no existen grietas, evaluar visualmente su estabilidad y recomendar: demolición parcial o total, construcción de contrafuertes, bermas o muros de apoyo (figura 4.4).</p> <p>2. Para la reconstrucción del tramo nuevo, considerar lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Revisar y determinar la causa del asentamiento (terreno flojo, filtración de agua en el desplante, socavación en el desplante, etc.).</li> <li>b) Retirar todo el material suelto y sellar las fisuras en el terreno o revestimiento de la plantillas.</li> <li>c) Excavar una zanja para el desplante del muro hasta encontrar terreno firme y sano.</li> <li>d) Colocar una plantilla de concreto ciclópeo, a nivel (escalonar si es necesario) de 10 a 15 cm de espesor.</li> <li>e) Desplantar la mampostería</li> </ol>

#### 4.3.2. Conductos cerrados parcialmente llenos

##### Túneles

Los aspectos de mayor importancia, que requieren mantenimiento correctivo se refiere a:

- Filtraciones a través de fracturas en la roca o grietas en el revestimiento.
- La estabilidad de la roca o de su revestimiento.

De lo anterior se deduce que los trabajos correctivos son:

- Corregir el origen de las filtraciones. Los procedimientos correctivos para evitarlas dependen del material de la pared del túnel (revestida o no revestida), del tamaño y número de grietas o fracturas encontradas en la roca o el revestimiento, y del servicio del túnel.

- Disponer anclajes o revestimientos parciales (o totales) para proteger a la roca.
- Reparar los desprendimientos de la pared anclando el refuerzo y el material nuevo.

### **Cajones de concreto**

Los trabajos correctivos que estos conductos requieren son:

- Cambiar tramos fracturados del conducto por impacto, asentamiento o sobrecarga (Figura 4.5a). En general el procedimiento es:
  1. Cortar en forma recta el tramo fracturado a cada lado de las grietas, hasta el concreto de buen estado.
  2. Preparar las caras cortadas y alinear el tramo nuevo hasta obtener un buen ajuste de las juntas constructivas para lograr una unión segura (Figuras 4.5b y 4.5d).
- Rellenar los tramos sin soporte, para evitar asentamiento del conducto, en la siguiente forma:
  1. Retirar (cortar) el tramo de conducto fallado, si éste es el caso.
  2. Limpiar el área afectada del terreno. Excavar una caja en el terreno hasta suelo firme.
  3. Colocar elementos de apoyo uniforme para sostener el conducto, si éste no está fallado (Figura 4.6).
  4. Rellenar la caja excavada con suelo-cemento, tierra compactada, concreto hidráulico o ciclópeo.
  5. Proteger el terreno con zampeados, en ambos lados del conducto, para evitar erosión (Figura 4.5c).
- Dar protección al conducto contra los derrumbes en las laderas superiores o deslaves del terreno de apoyo, disponiendo contracunetas y lavaderos, muros de protección y contención (Figura 4.7).

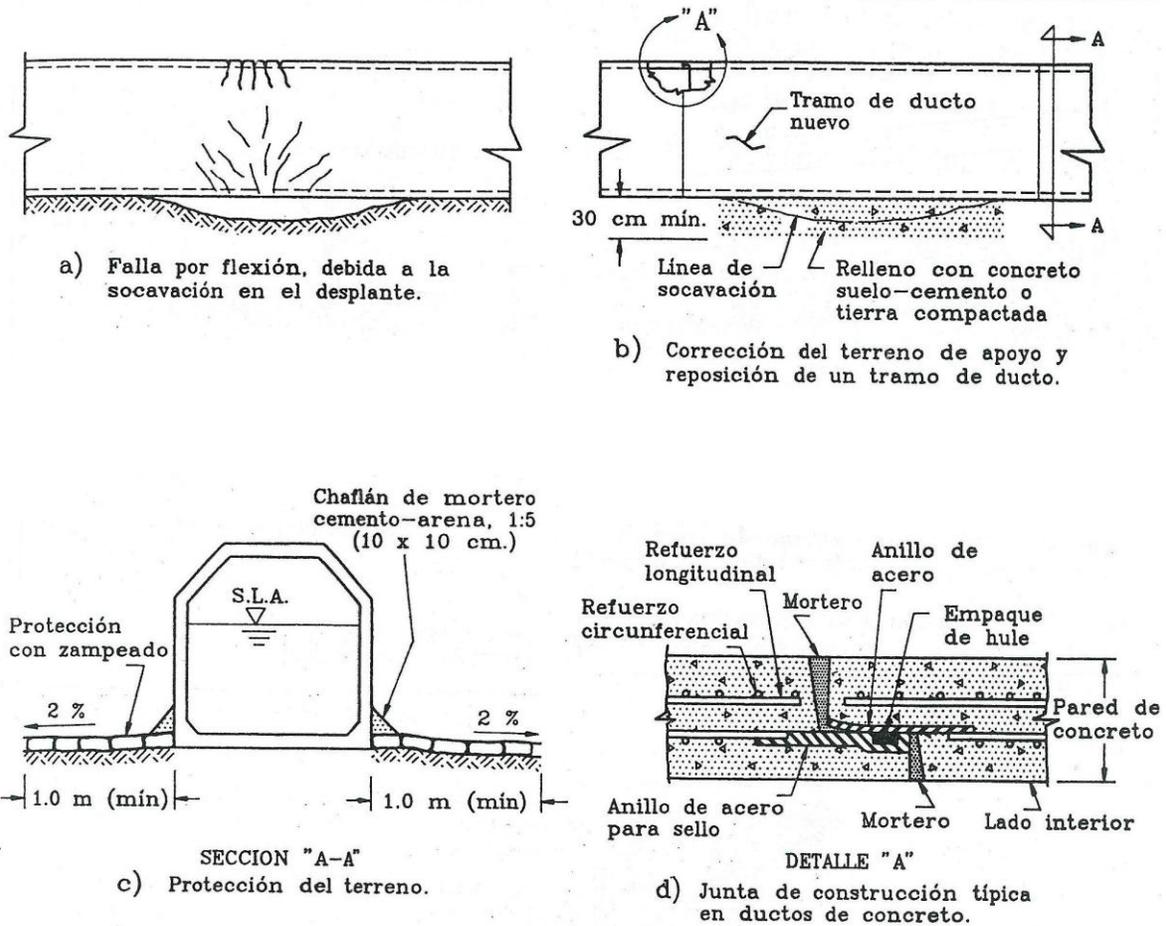


Figura 4.5. Reconstrucción de un tramo fallado de cajón de concreto (CFE, 1991)

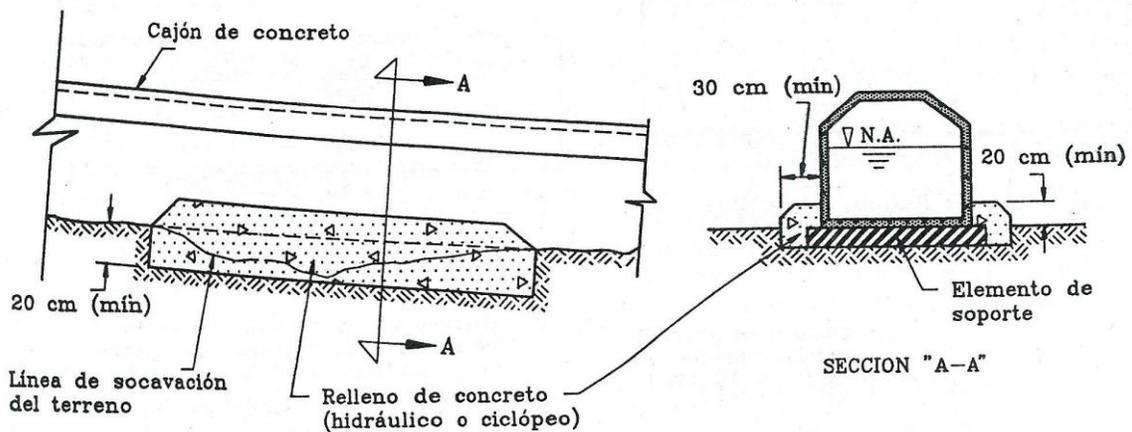
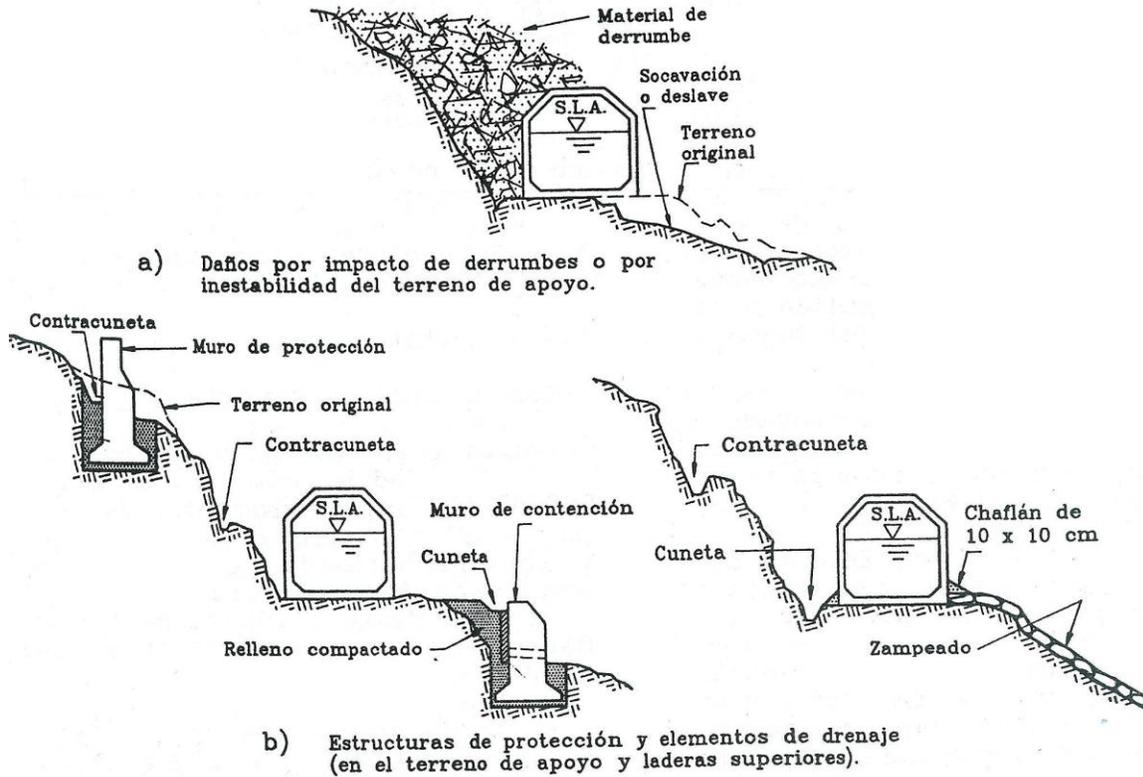


Figura 4.6. Reparación de la socavación del terreno de apoyo, para evitar la ruptura por flexión (CFE, 1991)



**Figura 4.7. Obras de protección contra acciones externas que provocan fallas a los cajones de concreto (CFE, 1991)**

#### 4.4. TANQUES DE REGULACIÓN

El primer trabajo correctivo necesario en este tipo de obra es su desazolve total, para lo que se requiere:

- Vaciar el tanque y suspender el suministro de agua.
- Desazolvar mediante el método que más conveniente de acuerdo al estado en que se encuentre el azolve en el tanque. El desazolvar con maquinaria es más rápido, sin embargo, para no dañar la losa de fondo, se recomienda evitar el uso de máquinas con orugas.

Después de los trabajos de desazolvar se inspecciona el revestimiento interior (losa de fondo y muros) y una vez evaluadas sus condiciones, se marcan las áreas que requieren reparación, indicándola en un croquis (incluir fotografías). También las losas pueden agrietarse, en este caso los trabajos correctivos son:

- Reparar el sello de las juntas entre las losas de concreto del fondo.
- Quitar las losas que presenten fracturas (rellenar los huecos en el terreno, donde sea necesario). Reconstruirlas y reforzarlas con acero (varilla o malla electrosoldada).
- Levantar las losas desalineadas y corregir su desplante. Colocar las que sean reutilizables o reponerlas con concreto nuevo.
- Construir juntas entre las losas, con un material que soporte los efectos producidos por las condiciones de servicio y temperatura.

#### **4.5. POZOS DE OSCILACIÓN**

Los trabajos correctivos de estas estructuras dependen de su disposición en el terreno, ya que ésta determina el tipo de material de construcción, por ejemplo:

##### **Pared de concreto**

Es importante evitar o reparar a tiempo daños como:

- Grietas y despostillamientos en el concreto. Las grietas de origen estructural deben ser evaluadas antes de su reparación.
- Cavidades por abrasión o cavitación en las paredes de la conexión con el conducto a presión.
- Abombamiento de la pared, se debe demoler la pared afectada y reconstruirla. El acero de refuerzo debe ser unido correctamente al refuerzo original.

##### **Pared metálica**

Los problemas a corregir en el cuerpo metálico se relacionan con la corrosión debida al ambiente húmedo, por lo que se requiere de:

- Dar protección anticorrosiva al cuerpo metálico exterior.
- Reparar picaduras o grietas en las placas de metal y las soldaduras. Estos daños son áreas críticas de corrosión.
- Reparar las placas dañadas por impacto o desprendidas. En estos casos se requiere cortar (con soplete de acetileno) el área afectada y soldar una nueva pieza metálica. Al terminar la reparación se limpia la superficie para aplicar un recubrimiento anticorrosivo.
- Inspeccionar la verticalidad del cuerpo, esto puede hacerse con un tránsito o teodolito.

- Dar una protección catódica a los elementos metálicos sumergidos permanentemente, durante las libranzas.

En los pozos exteriores protegidos con una malla de alambre, se necesitan trabajos correctivos por:

- Corrosión o deterioro de la malla y los elementos metálicos de apoyo. Cambiar los elementos dañados por otros bien protegidos.
- Flexión y deformación de los elementos de apoyo. Incluir más elementos para aumentar la resistencia de la estructura soporte.
- Acumulación de basura, ramas y troncos sobre la malla. Quitar los objetos caídos sobre la malla y reparar los daños.
- Desprendimiento de los anclajes perimetrales de la malla y sus soportes. Colocar más elementos de anclaje o reponer los dañados.
- Tensar la malla protectora, con el fin de evitar que se flexione.
- Considerar elementos de drenaje, para evitar el arrastre de objetos y basura al interior del pozo, mediante cunetas, contracunetas, entre otros.

#### **4.6. TÚNEL DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS**

El mantenimiento correctivo en esta área se realizará de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- Realizar las acciones correctivas necesarias para evitar los desprendimientos de material en el talud de la entrada y en las paredes de la bóveda. En algunos casos es común el uso de anclas para sujeción del macizo rocoso, en combinación con un recubrimiento a base de concreto lanzado. Esto requiere personal y equipo especializado.
- Realizar un tratamiento apropiado en la bóveda para corregir humedades y filtraciones excesivas.
- Reparación de fisuras y grietas en los elementos de concreto (portal, muros y banquetas).
- Reparación del piso del túnel.
- Reparación de alcantarillas y pozos de visita.

#### **4.7. LUMBRERAS**

Las actividades correctivas más importantes en las lumbreras son:

- Reparar grietas y desprendimientos del revestimiento del concreto.
- Dar tratamiento a las filtraciones.
- Proteger el brocal, mediante una caseta o tapa de cubierta (si no existe) para evitar la entrada de agua, objetos o materia de caídos, y aislarla de personas ajenas a las instalaciones.
- Reparar daños en escaleras de concreto o metálicas y sus barandales.
- Evaluar los daños en las compuertas o los desperfectos en válvulas (en lumbreras de inspección y mantenimiento de compuertas o válvulas) para programar y determinar el mantenimiento correctivo necesario.
- Colocar un revestimiento apropiado (aplanado de mortero o pared de concreto reforzado, colado o lanzado), en lumbreras sin revestimiento interior, para evitar caídos o filtraciones.

#### **4.8. TÚNEL DE DESFOGUE**

Este tipo de estructuras puede presentar deterioros que requieren de un mantenimiento correctivo y que esté relacionado con lo siguiente:

- Remoción y limpieza de las áreas de recubrimiento dañadas por los fenómenos de cavitación.
- Reposición del concreto de recubrimiento y/o la reposición de las placas de acero del recubrimiento.
- Reparación de fisuras y grietas que aparecen en los recubrimientos de piso y paredes del túnel.
- Tratamiento y sellado de filtraciones en paredes y bóvedas de los túneles.

Para cualquier tipo de reparación es necesario contar con personal, equipo y materiales especiales pues se trata de estructuras en contacto con agua o sumergidas.

#### 4.9. CÁRCAMOS DE BOMBEO

Algunas de las actividades del mantenimiento preventivo pueden pasar a ser parte de actividades correctivas, según la extensión del daño y el tratamiento aplicado. Por ejemplo un tratamiento anticorrosivo completo en las rejillas de protección de estas estructuras incluye limpieza de superficie, aplicación y acabado del recubrimiento. Otra actividad correctiva es el reemplazo parcial o total de una escalera marina que esté corroída, o de una rejilla, y que no garantice cumplir adecuadamente su función. La obra civil compuesta por muros, pisos, techos o losas requiere ser repuesta cuando exista destrucción parcial, total, o por filtraciones excesivas.

#### 4.10. TRABE CARRIL Y GRÚA VIAJERA

El mantenimiento correctivo para la grúa viajera deberá ser atendido por el área electromecánica correspondiente; en lo que respecta al área civil, debela ponerse especial cuidado en lo siguiente:

- Rediseñar e instalar los contravientos necesarios.
- Reponer la trabe carril o el elemento que lo requiera.
- Corregir desalineamientos.
- Reponer los topes para detener el rodamiento (Figura 4.8).
- Revisar las condiciones del drenaje y mantener limpia la zona del rodamiento.

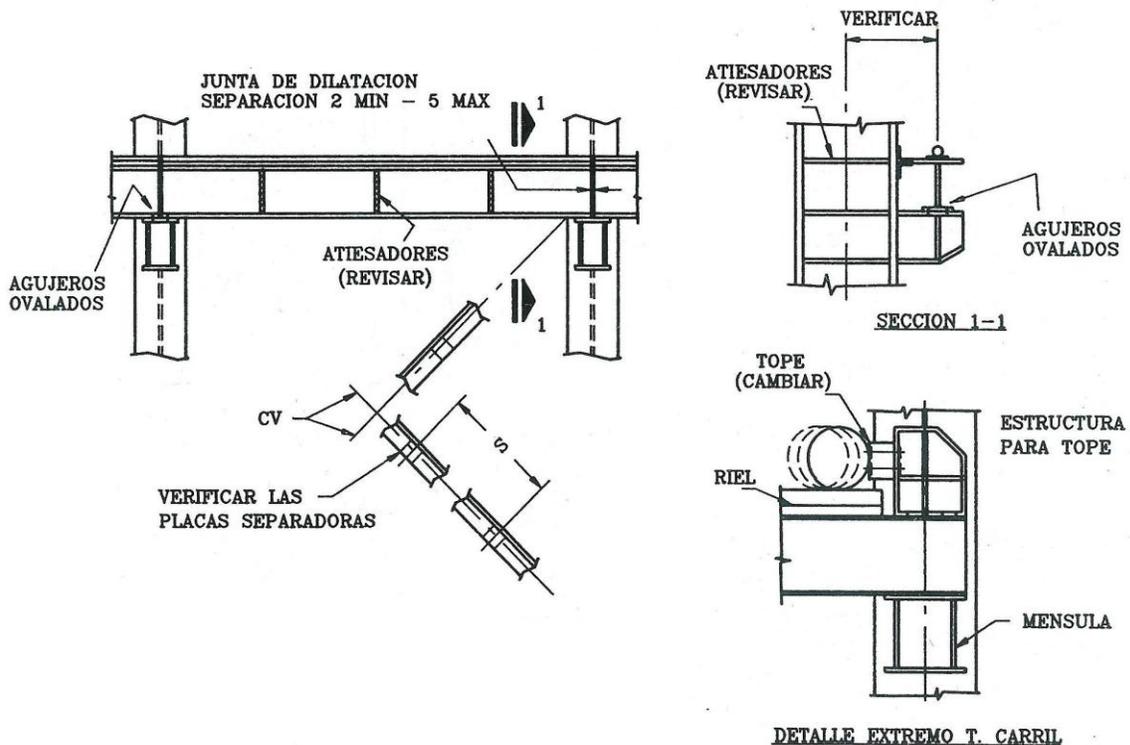


Figura 4.8. Mantenimiento de la trabe carril (CFE, 1991)

#### **4.11. CARCASA DE LA TURBINA Y TUBO DE ASPIRACIÓN**

La naturaleza vibratoria de la turbina puede causar que cualquier zona con falta de adherencia entre la carcasa y el concreto, no tratada con oportunidad, aumente indefectiblemente con el tiempo, y que incremente el riesgo de un daño estructural. Considerar una reparación urgente, de este tipo de problemas, inyectando resinas mediante el siguiente procedimiento:

- Desalojar el agua de la carcasa.
- Demarcar la zona despegada
- Barrenar en los extremos (superior e inferior) de la zona previamente definida con agujeros de diámetros menores de 1/4" (6.4 mm) y hacerles cuerda fina.
- Inyectar por el barreno ubicado en la parte inferior hasta que la resina aflore por el otro barreno. En caso de que no aflore la resina y no sea posible continuar inyectando, debe hacerse otro barreno intermedio hasta lograr llenar toda la zona demarcada.
- Tapar los barrenos con tornillos de cuerda fina y soldarlos a la carcasa; esmerilar el área para suavizar la superficie.
- Si la oquedad entre la lámina y el concreto es grande debe inyectarse lechada de cemento en lugar de resina.

Para el tubo de aspiración se recomiendan las siguientes actividades correctivas:

- Reparación de fisuras o picaduras en la lámina del tubo.
- Reparación de fisuras o picaduras en los cordones de soldadura del tubo.
- Inyección de resinas en las áreas donde se haya detectado desprendimiento entre el tubo y el concreto.
- Reparación de daños causados por cavitación: reemplazo de lámina o recubrimiento en zonas de desgaste considerable.

#### **4.12. SISTEMA DE VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

Este equipo es eminentemente mecánico, sin embargo el mantenimiento civil correctivo debe incluir lo siguiente:

- Ajuste y/o reposición del anclaje.
- Sellado adecuado entre los equipos y las paredes o techos.
- Ajuste de las anclas de los motores de aire.
- Reparación de tirantes sueltos en los ductos de aire.
- Reposición de camas o apoyos amortiguados.
- Evaluación de la capacidad del equipo, en condiciones normales o por ampliación.

### **4.13. INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA**

#### **Instalación hidráulica**

Las acciones correctivas para las instalaciones hidráulicas consisten en la reparación de las fallas detectadas en las inspecciones o mantenimiento preventivo, que por diversas circunstancias no pudieran corregirse con la oportunidad y facilidad requeridas. Por lo que será necesario tener que suspender, por un cierto periodo, el suministro de los servicios para efectuar las reparaciones. En el caso de los sistemas de tuberías los trabajos que comúnmente se realizan son: soldaduras, cambio de tramos de tubos corroídos o colapsados, cambio de conexiones, sustitución de juntas, conexiones y accesorios, arreglo o cambio de válvulas en las que normalmente se deterioran los asientos.

El mantenimiento correctivo también comprende el arreglo de las fallas en los reductores de presión, en los dispositivos de alivio y en las válvulas de seguridad y desagüe. Cuando se tengan que sustituir tuberías antes de instalar la nueva, éstas se limpiarán interiormente por inyecciones de aire a presión o vapor, para después enjuagarlas con agua. Cuando se reparen tuberías debe asegurarse que no entren en contacto entre si metales distintos ya que, con determinados metales como el cobre y el hierro galvanizado se establece una acción electrolytica que provoca corrosión.

La reparación de fugas en tuberías de PVC significa el cambio las mismas, ya que generalmente las juntas son cementadas o pegadas. El mantenimiento correctivo para el caso de las bombas de agua abarca el arreglo o cambio de válvulas, estopeño, bujes, impulsor, chumaceras y flechas, hasta el reembobinamiento del motor.

#### **Instalación sanitaria**

Las acciones del mantenimiento correctivo comprenden la corrosión, reposición y construcción de los tramos y elementos de drenaje y alcantarillado que presentan fallas. Comprenden además la reposición de muebles sanitarios rotos.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES**

El mantenimiento civil de la infraestructura muchas veces es subestimado, sin embargo la oportuna y correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento resulta en grandes ahorros de recursos, repercute directamente en la seguridad del personal y en el correcto desarrollo de actividades productivas dentro de la Central Hidroeléctrica sin mencionar la importancia de la producción de energía eléctrica para el bienestar y desarrollo social de las comunidades.

Dentro de las actividades descritas para el mantenimiento se recomienda poner especial énfasis en la inspección y mantenimiento preventivo, pues resulta relativamente menos costoso tanto en términos de recursos económicos como en recursos humanos, comparadas con el mantenimiento correctivo el cual se traduce en la necesidad de detener la generación hidroeléctrica lo cual resultan muy costoso.

De todas las obras civiles que conforman una central hidroeléctrica las más importantes desde el punto de vista de mantener una adecuada generación de energía, son las obras correspondientes al encause y conducción de agua hacia las turbinas y los caminos de acceso al recinto de trabajo tal como los caminos y/o túneles, el deterioro o falla de alguna de estas obras resulta inadmisibles, ya que sin agua no se puede generar energía eléctrica y sin vías de comunicación no hay quien pueda operar las máquinas generadoras.

## REFERENCIAS

CFE (1983), *Obras de toma para plantas hidroeléctricas*, Comisión Federal de Electricidad, México.

Gardea Villegas, H (1992), *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*, Trillas UNAM Facultad de Ingeniería, México.

Vega Roldan, O y Arreguín, C (1987), *Presas de almacenamiento y derivación*, UNAM Facultad de Ingeniería, México.

CFE (1983), *Cámaras de oscilación*, Comisión Federal de Electricidad, México.

CFE (1983), Especificaciones sobre la operación y mantenimiento de las tuberías forzadas y pozos de oscilación, *Especificaciones Generales para el Mantenimiento de Obras Civiles*, capítulo IX, Comisión Federal de Electricidad, México.

CFE (1990), *Especificaciones generales para el mantenimiento de obras civiles*, Comisión Federal de Electricidad, México.

González Mass, (1990), *Experiencias de mantenimiento en Centrales Hidroeléctricas*, Comisión Federal de Electricidad, México.

Morrow, L (1973), *Manual de mantenimiento industrial*, Compañía Editorial Continental, México.

Ávila Espinosa, R (1987), *Fundamentos del Mantenimiento*, Editorial Limusa, México.

CFE (1981), *Procedimiento para la operación y conservación de las instalaciones de ingeniería civil*, Comisión Federal de Electricidad, México.

CFE (1991), *Manual de Mantenimiento para Casa de Máquinas de Centrales Hidroeléctricas*, Comisión Federal de Electricidad, México.