

## 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 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.