



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727- 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

REVISIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DEL VERTEDOR DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE INFIERNILLO, MICH.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Carlos Daniel Jacuinde Morales

Raúl Mendoza Torres

Asesor:

I.C. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, 14 de Noviembre del 2014



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.

ÍNDICE.

Introducción.	1
Antecedentes.	1
Planteamiento del Problema.	2
Objetivo.	2
Pregunta de Investigación.	3
Justificación .	3
Marco de Referencia.	4
 Capítulo 1.- Hidráulica	
1.1. Conceptualización del término hidráulica.	6
1.2. Antecedentes de la hidráulica.	6
1.3. Hidráulica en México.	7
1.4. Propiedades de los fluidos.	8
1.4.1. El fluido como medio contínuo.	9
1.4.2. Mecánica de fluidos.	10
1.4.3. Temperatura.	11
1.4.4. Densidad.	11
1.4.5. Viscosidad.	14
1.4.6. Compresibilidad.	14
1.4.7. Presión de vaporización.	17
1.5. Ecuaciones fundamentales de la hidráulica.	19

1.5.1. Conservación de la materia (principio de continuidad).	20
1.5.2. Segunda ley de Newton (impulso y cantidad de movimiento).	20
1.5.3. Conservación de la energía (primera ley de la termodinámica).	21
1.6. Clasificación de los fluidos.	21
1.6.1. Flujo permanente y no permanente.	22
1.6.2. Flujo uniforme y no uniforme.	22
1.6.3. Flujo tridimensional, bidimensional y unidimensional.	23
1.6.4. Flujo laminar y turbulento.	24

Capítulo 2.- Centrales hidroeléctricas y su mantenimiento

2.1. Producción de energía por medio de la hidráulica.	25
2.2. Central hidroeléctrica.	26
2.2.1. Plantas sin almacenamiento.	26
2.2.2. Plantas de energía firme o base	27
2.2.3. Plantas para demanda máxima.	27
2.2.4. Almacenamiento por bombeo.	27
2.2.5. Principales centrales hidroeléctricas en México.	28
2.3. Represas.	28
2.4. Conceptualización del termino mantenimiento	35
2.4.1. Tipos de mantenimiento.	35

2.4.2. Tipos de programas de inspección.	36
2.4.2. Inspección de rutina general.	39
2.4.3. Inspección de rutina específica.	40
2.4.4. Inspecciones especiales.	41

Capítulo 3.- Vertedores

3.1. Objetivo de las obras de control y excedencias.	42
3.2. Definición del término vertedor.	43
3.3. Tipos de vertedores de excedencias.	46
3.3.1. Vertedores de caída libre.	46
3.3.2. Vertedores con tiro vertical.	47
3.3.3. Vertedores con descarga directa en canal.	47
3.3.4. Vertedor con canal lateral.	49
3.4. Sistema de obra de excedencias.	49
3.5. Canal de acceso o llamada.	51
3.6. Canal de descarga.	52
3.7. Estructura terminal o disipadora de energía.	53

Capítulo 4.- Macro y microlocalización

4.1 Generalidades.	56
--------------------	----

4.2 Macrolocalización.	57
4.3 Características topográficas.	57
4.4 Características geológicas.	59
4.5 Características hidrológicas.	60
4.6 Clima.	60
4.7 Edafología.	62
4.8 Población.	63
4.9 Microlocalización.	64
4.9.1 Campamento “El Infiernillo”.	66
4.9.1.1 Viviendas.	66
4.9.1.2 Vías terrestres.	67
4.9.1.3 Otros servicios del campamento.	69
4.9.2 Microlocalización de la obra en estudio.	70
Capítulo 5.- Metodología	
5.1 Definición de metodología.	73
5.2 Método científico.	73
5.2.1 Método matemático.	76

5.3 Enfoque de la investigación.	76
5.3.1 Alcance de la investigación.	77
5.4 Tipo de diseño de investigación.	78
5.4.1 Investigación transeccional.	79
5.5 Instrumentos de recopilación de datos.	79
5.6 Descripción del proceso de investigación.	80

Capítulo 6.- Análisis e interpretación de resultados

6.1 Generalidades.	81
6.2 Inspección y evaluación de daños.	86
6.3 Mantenimiento aplicado a las compuertas del vertedor.	87
6.3.1 Mantenimiento preventivo en las compuertas.	90
6.3.1.1 Mantenimiento aplicado al motor hidráulico.	91
6.3.1.2 Pruebas de apertura y cierre.	91
6.3.2 Mantenimiento correctivo en las compuertas.	92
6.4 Mantenimiento aplicado al túnel vertedor.	92
6.4.1 Mantenimiento preventivo de los túneles vertedores.	94
6.4.2 Inspección.	96

6.4.3 Tipos de daños ocasionados a los túneles vertedores.	96
6.4.3.1 Desprendimiento de concreto y varilla de acero.	96
6.4.3.2 Desprendimiento de concreto.	97
6.4.3.3 Erosión profunda.	98
6.4.4 Mantenimiento correctivo aplicado a los túneles vertedores.	99
6.4.4.1 Demolición.	99
6.4.4.2 Anclaje.	99
6.4.4.3 Colado de las nuevas losas.	100
6.5 Mantenimiento aplicado a la cubeta deflectora.	100
6.5.1 Mantenimiento preventivo.	101
6.5.2 Mantenimiento correctivo.	101
6.6 Conclusión de resultados.	101
Conclusión.	103
Bibliografía.	106

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Se sabe que una central hidroeléctrica es la estructura en la que se busca aprovechar la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda con la caída de agua del cauce.

“En general, estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como *salto geodésico*. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.” (es.wikipedia.org)

“La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.” (es.wikipedia.org)

Al consultar en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. se encontró que no se cuenta con otras tesis relacionadas con el tema de investigación.

Planteamiento del Problema

En esta investigación se revisará el proceso de mantenimiento de la obra de excedencias de la Central Hidroeléctrica “Infiernillo”, Michoacán. Para determinar si el proceso ejecutado es el ideal para el correcto funcionamiento de la obra de excedencias y así cumplir su objetivo.

Objetivo General:

Revisar la eficiencia del proceso de mantenimiento aplicado a la obra de excedencias de la Central Hidroeléctrica de Infiernillo.

Objetivos Particulares:

- 1) Conceptualizar el término Central Hidroeléctrica.
- 2) Determinar la estructura básica de una central hidroeléctrica.
- 3) Conocer la diferencia entre mantenimiento correctivo y preventivo.
- 4) Determinar la estructura básica de la obra de excedencias.
- 5) Conocer como se efectúa el proceso de mantenimiento de la obra de excedencias.
- 6) Conocer el funcionamiento de los elementos que componen la obra de excedencias.

Pregunta de Investigación:

¿Es ideal el proceso de mantenimiento de la obra de excedencias de la Central Hidroeléctrica de Infiernillo, Michoacán?

Preguntas Secundarias:

- 1) ¿En qué localidad está ubicada la Central Hidroeléctrica Infiernillo?
- 1) ¿Qué localidades son abastecidas por la central hidroeléctrica Infiernillo?
- 2) ¿Cómo es el proceso de mantenimiento de la obra de excedencias?
- 3) ¿Qué elementos conforman la obra de excedencias?
- 4) ¿Cuál es el volumen total del vaso de la Central?
- 5) ¿De qué materiales está compuesta la cortina?
- 6) ¿Qué tan eficiente es el proceso de mantenimiento actual de la obra de excedencias?

Justificación.

Esta revisión es tan importante como la necesidad de satisfacer eficientemente la demanda de energía que las comunidades solicitan, pues de esta central depende un gran número de personas y por lo tanto una gran producción de energía eléctrica.

Este proyecto beneficia a los lectores, pues les permitirá disponer de información sobre el tema de investigación. Así como a los alumnos de la Universidad Don Vasco A.C. pues podrán disponer de este trabajo y utilizarlo como apoyo académico.

También beneficia a las comunidades que son abastecidas de energía eléctrica producida en la Central Hidroeléctrica “Infiernillo”, pues aportará información que podrá mejorar la producción de la misma.

A su vez beneficia al autor pues le permite acreditar y cumplir con los requisitos para su titulación de la carrera de Ingeniería Civil.

Marco de Referencia

“La Presa Infiernillo construida por la Secretaría de Recursos Hidráulicos para la Comisión Federal de Electricidad, es parte del Sistema llamado Adolfo López Mateos,¹ es una presa ubicada en el cauce del Río Balsas entre los límites de los estados de Guerrero y Michoacán, México, cuenta con una central hidroeléctrica que tiene una capacidad de generar 1,120 megawatts de energía eléctrica, siendo la segunda generadora de electricidad en el país después de la Presa Chicoasén mediante este recurso renovable, tiene una capacidad de almacenar 9,340 hectómetros cúbicos de agua que crea un embalse que cubre una superficie aproximada de 755 Kilómetros cuadrados, que también forman parte de la Reserva de la Biósfera Zicuirán Infiernillo” (es.wikipedia.org).

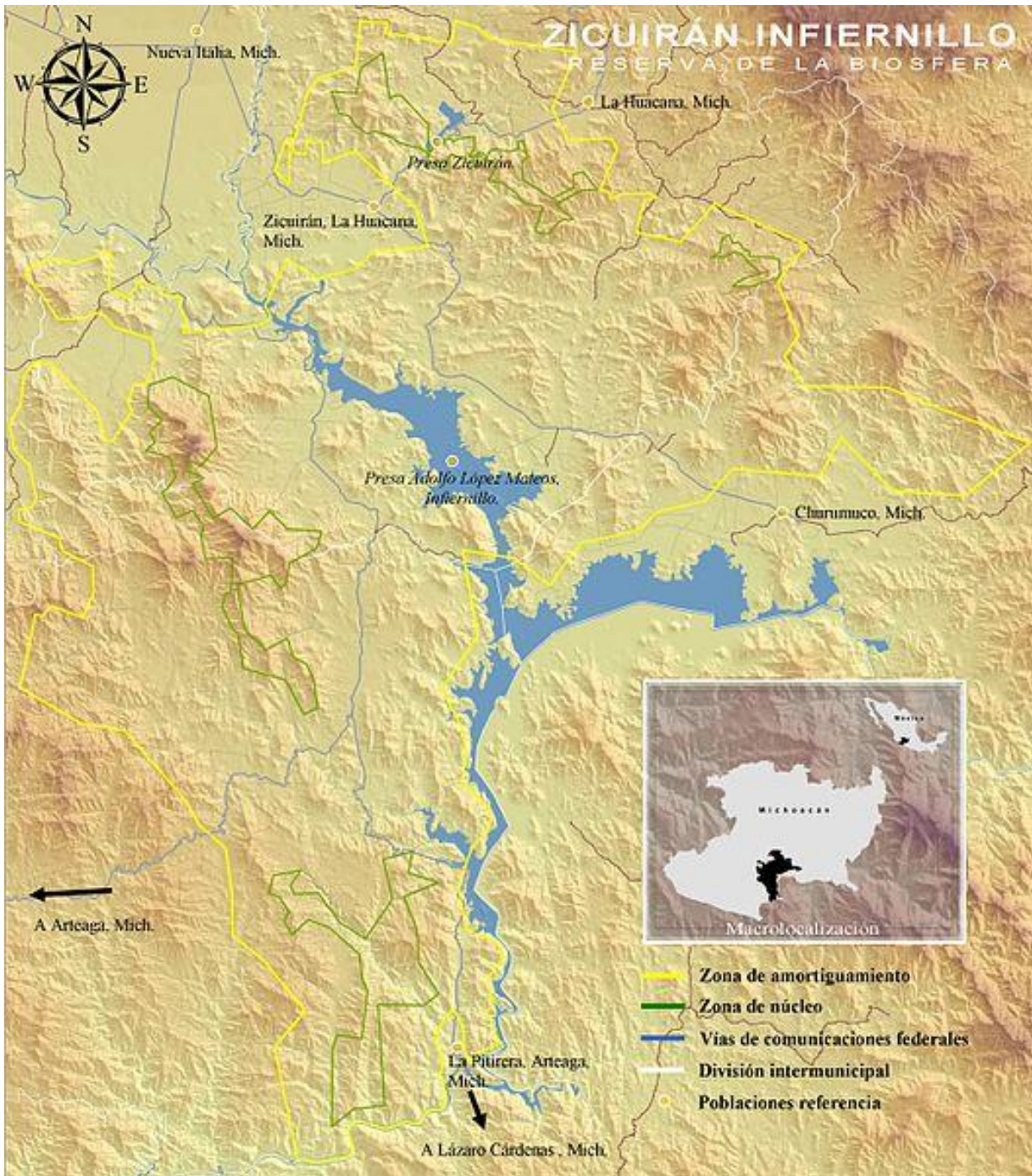


Imagen donde se muestra la ubicación de la Central Hidroeléctrica “El Infiernillo” en el estado de Michoacán.

Fuente: es.wikipedia.org/wiki/Presa_Infiernillo.

CAPÍTULO 1

HIDRÁULICA

En el presente capítulo se abordará el concepto de Hidráulica, así como una breve presentación de cómo ha ido evolucionando la misma, desde sus inicios hasta la actualidad, otro aspecto del cual tratará el primer capítulo será el conocer cuáles son las características hidrológicas con las que cuenta la República Mexicana, y por último se hablará acerca de las Centrales Hidroeléctricas del país y en específico de la que se encuentra ubicada en la localidad de Infiernillo, Michoacán.

1.1. Conceptualización del término Hidráulica.

Se denomina así, a la parte de la mecánica que se encarga de estudiar la parte teórica y práctica de los movimientos que están relacionados con el flujo del agua.

1.2. Antecedentes de la Hidráulica.

La hidráulica ha ido evolucionando conforme al paso del tiempo, se cuenta con una gran historia de sus comienzos que abarcan desde hace varios siglos, los primeros imperios en aplicar los criterios de esta ciencia fueron los Egipcios, los Griegos y los Romanos, todos ellos consiguieron un alto desarrollo en este tema, algunos ejemplos de esa época que aún se pueden atestiguar podemos encontrar las grandes obras de canalización, los alcantarillados, así como los acueductos.

Actualmente se siguen empleando los principios de siglos pasados, hay que destacar que en nuestros días se le da una gran importancia a la generación de

energía eléctrica por medio de la hidráulica, y por esta razón se ha impulsado de una manera muy importante todas las cuestiones relacionadas en este campo.

1.3. Hidráulica en México.

Es de gran importancia saber de las condiciones en las que se encuentra nuestro país en cuestiones hidráulicas, dentro de lo que cabe destacar que debido a que no existe distribución equitativa de los recursos naturales, en este caso el agua, se ve en la necesidad de construir grandes obras, las cuales tienen dos principales objetivos, el primero de ellos es satisfacer la demanda de agua requerida por la población para sus distintos usos, y el segundo se refiere a la protección contra las inundaciones que pueden llegar a ser muy peligrosas.

Se puede dividir a la República Mexicana en dos zonas, en relación a sus características meteorológicas que serían la Zona Árida y la Zona Húmeda, en la parte más seca, se han construido principalmente presas para riego, mientras tanto, en las partes donde se cuenta con un índice más elevado de precipitación se han construido con mayor prioridad presas para la generación de energía hidroeléctrica así como para el control de las avenidas.

La hidráulica de México está encargada de asegurarse de que cualquier ciudadano pueda contar con el servicio de agua potable, aunque no siempre sea así el caso, por lo tanto existen diversos problemas en el ámbito hidráulico y que deben ser vistos desde varios enfoques como lo son el económico , social y ambiental.

Los problemas de este tipo pueden llegar a ser realmente graves si no se le da un tratamiento adecuado a este líquido vital, ya que puede repercutir en temas de salud, por lo que es necesario tener un control más estricto sobre la calidad del agua.

México cuenta con un gran número de cuencas hidrológicas en su territorio, se dividen en regiones en relación con su ubicación geográfica, existen 6 Regiones Administrativas dentro de nuestro país que son Noroeste, Norte, Noreste, Lerma-Balsas, Valle de México y Sureste y que estas a su vez se subdividen en Regiones, Subregiones Hidrológicas y Cuencas Hidrológicas.

1.4. Propiedades de los fluidos.

En relación a las características físicas que existen en la naturaleza, los materiales se pueden clasificar en tres tipos: sólidos, líquidos y gaseosos, de los cuáles los últimos dos, entran en la clasificación de los fluidos.

La diferencia que existe entre los fluidos y los materiales sólidos es que los fluidos pueden cambiar constantemente su posición molecular, debido a que sus partículas se encuentran parcialmente separadas en el caso de los líquidos y totalmente separadas en los materiales gaseosos, todo lo anterior quiere decir que mientras un fluido se mantenga en reposo no pueden existir fuerzas tangenciales a ninguna superficie, a menos que éste se encuentre en movimiento, caso contrario de los sólidos que si permiten fuerzas tangenciales aún y cuando estén en reposo.

Los fluidos se dividen en dos partes, los sólidos y gaseosos, se considera que un líquido tiene un volumen definido, sin embargo, éste puede variar ligeramente por diversos factores, como por ejemplo, la presión y la temperatura, y al colocarlo dentro

de un recipiente, éste adquiere la forma del mismo y, a su vez, genera una superficie libre o superficie de contacto entre el mismo líquido y su vapor, mientras tanto no sucede lo mismo si en el recipiente se coloca un gas, puesto que éste tendería a expandirse hasta ocupar el mayor volumen posible, pero sin presentar una superficie libre, esta es la única manera en la cual un gas puede mantener un equilibrio estático.

La clasificación vista anteriormente, está basada en una propiedad de los fluidos llamada compresibilidad, esto quiere decir, que se analizan cuando el material está recibiendo esfuerzos de compresión, en general, todos los líquidos se pueden considerar que son incompresibles, mientras que en el caso de los gases, son muy compresibles ante la acción de presiones muy elevadas, aunque si los incrementos, ya sea de presión o temperatura son mínimos los gases también pueden ser considerados incompresibles, solo si se presentan éstas condiciones.

1.4.1. El fluido como medio continuo.

A pesar de las diferencias señaladas anteriormente, un fluido y un material sólido pueden ser analizados de una manera similar, debido a que si se omite su clasificación por su distribución molecular, se puede llegar a la conclusión de que ambos son medios que poseen una continuidad en sus propiedades y que pueden ser estudiados de la misma forma.

Si el análisis de los fluidos fuera revisado rigurosamente, este tendría que estudiarse el comportamiento prácticamente de todas sus partículas, sin embargo, dentro de la Ingeniería Civil, el principal interés se muestra en ciertos factores que

pueden determinar las condiciones del mismo, como lo son: la velocidad, presión, temperatura y densidad, y así de esta manera en lugar de que las partículas se estudien por separado, se toma al fluido como un medio continuo, en donde se supone que el material tiene una distribución continua, de todo lo que la compone, es decir que no tiene huecos o espacios vacíos.

1.4.2. Mecánica de fluidos.

Es la ciencia que se encarga de estudiar los principios fundamentales de la mecánica general que se aplican para el estudio del comportamiento de los fluidos, ya sea cuando están en movimiento o en reposo, estos principios son los de la Conservación de la Materia y la Energía, así como, las Leyes del Movimiento de Isaac Newton, éstas se estudian mediante un análisis matemático y la experimentación, y con el resultado de los estudios anteriores se puede llegar a predecir cuál será el comportamiento del fluido bajo ciertas condiciones, de una manera aproximada.

Desde los inicios el hombre se ha interesado por la Mecánica de Fluidos, esto se remonta a las primeras ocasiones en que tuvo la intención de llevar agua de un punto a otro, dichos conocimientos los obtuvo mediante tanteos y observaciones, así como de otros métodos empíricos, en los últimos años ha habido un gran avance tecnológico en cuanto a esta rama de la mecánica, ya que se ha mostrado un mayor interés a recientes fechas y del cual han surgido una serie de ciencias que se derivan de la Mecánica de Fluidos, aunque en la Ingeniería Civil, se enfoca más al estudio del movimiento de los líquidos.

1.4.3. Temperatura.

Se sabe que la temperatura es el efecto físico que se origina de la actividad molecular de un fluido por transferencia de calor, es decir que el fluido gane o pierda calor según sea el caso. Las escalas de medición se definen en términos de expansión volumétrica de ciertos líquidos, más común es el caso del mercurio.

Las escalas más utilizadas son la escala de temperatura Celsius y Grados Centígrados, la cual se estableció que el punto de congelación del agua corresponde a 0° (cero grados) y el punto de ebullición de la misma corresponde a los 100° (cien grados).

Cuando se habla de cero grados en cualquier escala, nos referimos a que la actividad molecular se detuvo y ya no permitió la transferencia de calor. La energía calorífica se mide en Joule dentro del sistema métrico absoluto y en BTU para el sistema inglés absoluto.

1.4.4. Densidad

Se sabe que la densidad es la cantidad de masa del fluido contenida en una unidad de volumen, desde un punto de vista matemático se definió la fórmula para la densidad en un punto como:

$$\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta M}{\Delta u} \right)$$

Estrechamente relacionado está el peso específico con la densidad, pues representa el peso del fluido por unidad de volumen. Ambas se relacionan mediante la ley:

$$\gamma = g\rho$$

En que “g” designa la aceleración de la gravedad, que resulta de aplicar la segunda ley de Newton a la unidad de volumen de fluido. Otra forma de cuantificar la densidad o el peso específico de un líquido se hace refiriéndolos al agua es decir:

$$\delta = \frac{\rho}{\rho_{agua}} = \frac{\gamma}{\gamma_{agua}}$$

Esta relación se conoce como densidad relativa y no tiene dimensiones.

Otro de los conceptos utilizados es el volumen específico o volumen ocupado por la unidad de masa; esto es, queda definido como el recíproco de la densidad.

$$v_s = \frac{1}{\rho}$$

La densidad de los líquidos depende de la temperatura y es prácticamente independiente de la presión, por lo que se consideran incompresibles, en cambio en los gases, varía con la temperatura y la presión que actúa en ellos según la ecuación de estado de los gases perfectos. En ambos casos el peso específico depende además de la aceleración de la gravedad local.

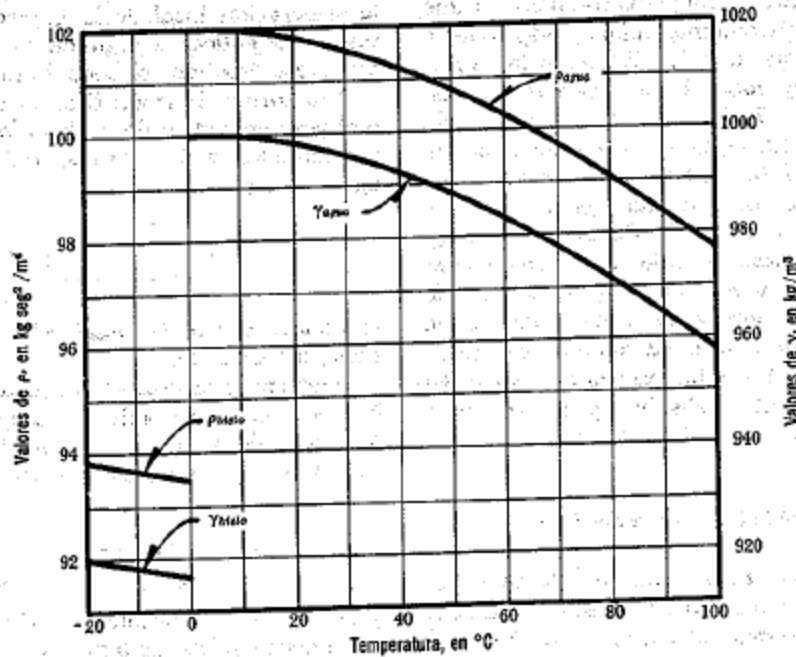


Figura 1.1. Densidad y peso específico del agua para temperaturas que se hallan entre 20 y 100°, a la presión atmosférica al nivel del mar.

Fuente: Manual de Obras civiles CFE;1982:pagina

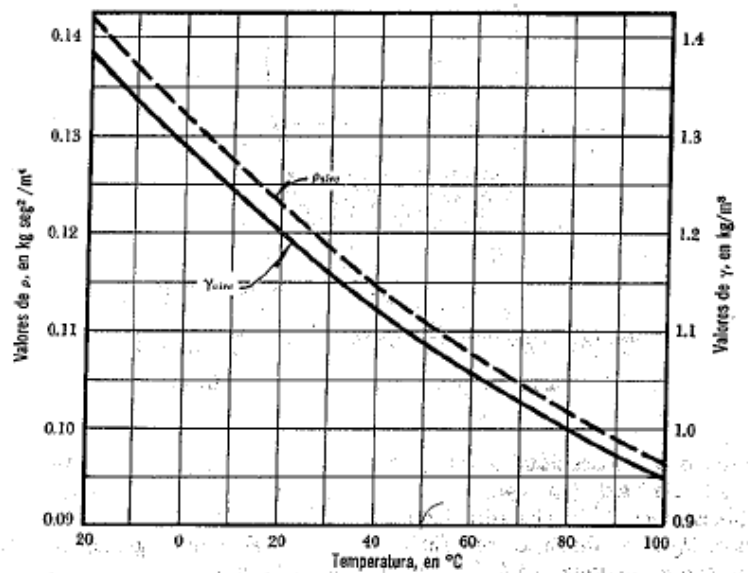


Figura 1.2. Densidad y peso específico del aire para temperaturas que se hallan entre 20 y 100°, a la presión atmosférica al nivel del mar.

Fuente: Manual de Obras civiles CFE;1982:pagina

1.4.5. Viscosidad.

El término de viscosidad se le da a la medida de la resistencia que un fluido presenta al fluir sobre una superficie, a su vez es el resultado de la interacción y cohesión o de sus moléculas.

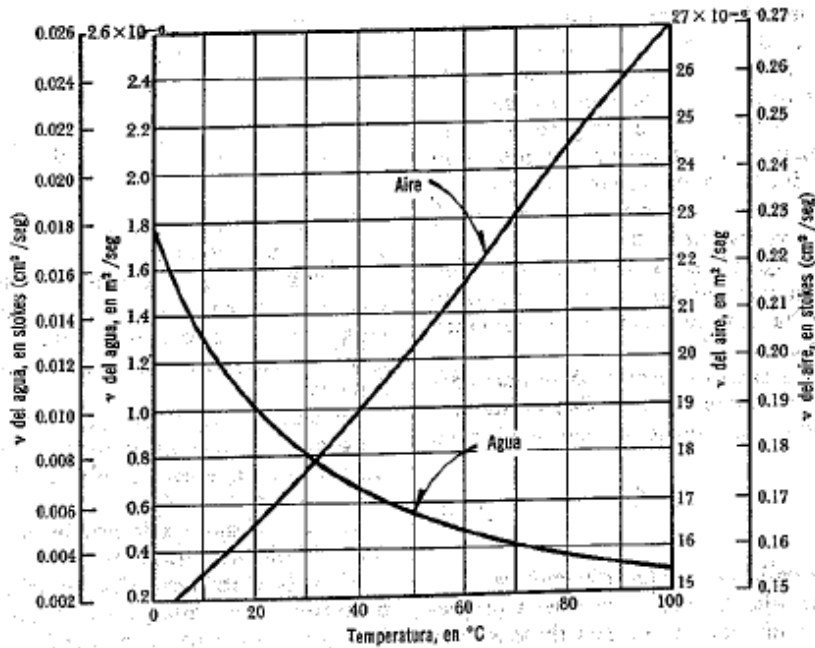


Figura 1.3. Viscosidad cinemática del agua y del aire a la presión atmosférica del nivel del mar.

Fuente: Manual de Obras civiles CFE;1982:pagina

1.4.6. Compresibilidad.

Se le conoce como compresibilidad de un fluido al cambio de volumen (v) y por consecuencia de su densidad, que es provocado por ser sometido a diferentes presiones.

Un factor importante a observar cuando se refiere a compresibilidad es el Módulo de Elasticidad Volumétrica del fluido (E_v), mismo que se define como el cambio el cambio de presión dividido entre el cambio asociado en el volumen, por unidad de volumen, siendo una medida directa de la compresibilidad del fluido.

Fórmula para Modulo de Elasticidad Volumétrica:

$$E_v = - \frac{dp}{dv/v} = + \frac{dp}{p}$$

El signo negativo de la Ecuación indica una disminución en el volumen (v) al aumentar la presión (p).

La mayoría de los fluidos poseen un módulo de elasticidad volumétrica relativamente grande que depende de la temperatura. Esto significa que ocurren variaciones pequeñas de volumen o de densidad inclusive para variaciones grandes de presión, a excepción de aquellos fenómenos en los que se producen incrementos violentos de presión y temperatura (golpe de ariete, flujos a gran velocidad, flujos con transferencia de calor). Lo anterior es particularmente cierto en los líquidos porque se consideran incompresibles.

Se sabe que el módulo de elasticidad volumétrica del agua varia principalmente con la temperatura, es aproximadamente 100 veces más compresible que el acero, en cambio para el aire el valor estándar resulta 20,000 veces aproximadamente más compresible que el agua.

Es común designar la compresibilidad como el recíproco del módulo de elasticidad volumétrica.

$$\beta = \frac{1}{E_v}$$

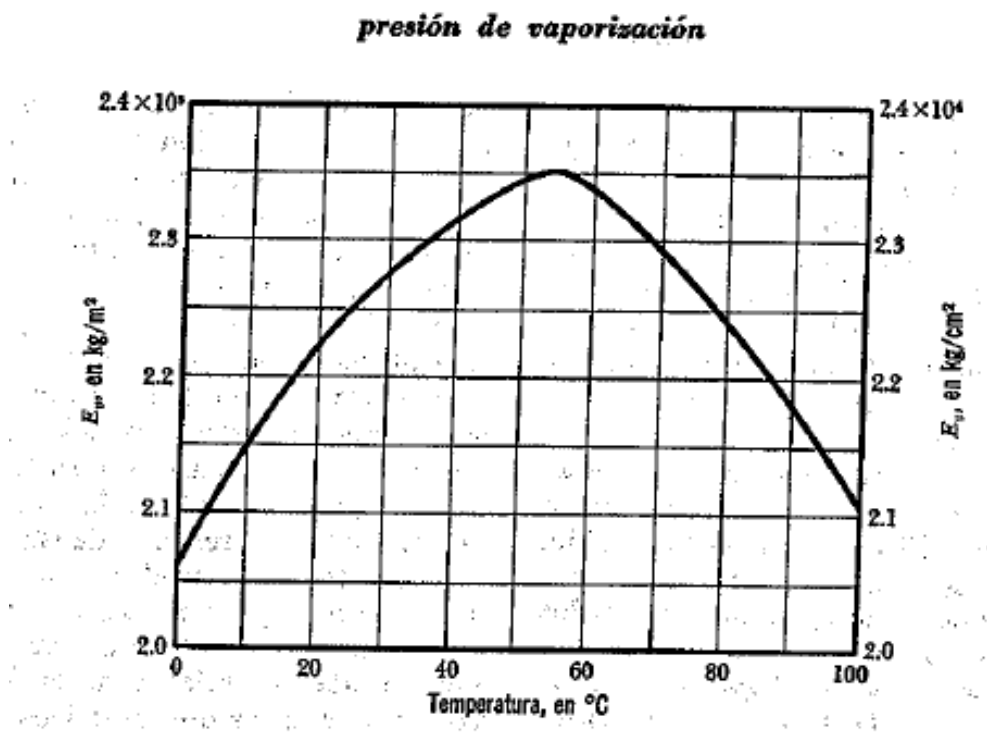


Figura 1.4 Módulo de elasticidad volumétrica de agua.

Fuente: Manual de Obras civiles CFE; 1982: pagina

1.4.7. Presión de Vaporización

Todos los materiales que se encuentran en estado líquido, tienden a evaporarse, al momento de cambiar de estado líquido a estado gaseoso, esto quiere decir que en la parte superficial de un cuerpo de agua, las partículas que se encuentran en contacto con el exterior, tienden a que algunas de sus moléculas escapen hacia el medio por encima de dicha superficie.

A pesar de que cierta cantidad de agua se evapora, se puede considerar que la superficie libre mantiene un nivel prácticamente constante, ya que algunas moléculas libres regresan al cuerpo de agua, es por esto que se supone que puede llegar a alcanzar un equilibrio, ya que se estima que el número de moléculas que salen es igual a las moléculas que regresan. En el caso de que el gas que se encuentre en el medio sea aire, no solo existiría el equilibrio ya mencionado, sino que también habría una presión parcial generada por el aire, la cual se suma a la presión que provoca el vapor del agua, al darse este equilibrio la temperatura que se da entre el líquido y el gas es prácticamente la misma, por lo tanto, la presión parcial del vapor es equivalente a la presión de vaporización del líquido a una cierta temperatura dada.

Las moléculas que se evaporan de la superficie libre del agua dan lugar a la presión de vaporización, y que su magnitud es la misma mediante la cual escapan dichas moléculas, cuando se presentan todos los casos anteriores se puede llegar a la conclusión de que el aire está saturado por el vapor, y cuando esto sucede a la presión de vaporización, se puede denominar también como presión de saturación, el fenómeno de la vaporización también puede presentarse en otra situación como lo

es la ebullición de un líquido, durante el cual escapan una cierta cantidad de moléculas las cuales forman el vapor, para después establecer un intercambio con las partículas del gas.

Para que la ebullición se pueda llevar a cabo se debe dar un equilibrio entre las moléculas mediante un incremento de temperatura, hasta lograr que se de la presión de vaporización, o ya sea por una reducción de la presión total ejercida en el interior del agua y , hasta que esta se iguale o sea menor a la presión de vaporización, ya en un hecho concreto o práctico se da cuando se tiene un escurrimiento y que tiene grandes pendientes o descensos de presión, por debajo de la presión atmosférica, un ejemplo sería el de las grandes caídas que se presentan en una central hidroeléctrica en la tubería de presión y que después llegan a estar en contacto con los alabes de las turbinas generadoras de energía, y que a pesar de las temperaturas bajas que se presentan la formación de vapor, a esta aparición y a las consecuencias que puede traer consigo se le conoce como Cavitación.

Un efecto semejante al de la ebullición, se puede dar si el agua contiene ciertos gases disueltos en su composición, si la presión que ejerce el líquido se ve reducida de una manera importante, los gases que se encuentran contenidos salen del mismo, pero en burbujas, por lo cual se requiere una disminución de la presión hasta que llegue a ser menor que el valor correspondiente a la ebullición , y por otra parte si se llega a dar un incremento en la presión del agua puede derivar la existencia de burbujas de aire o de otros gases que colapsan, pueden llegar a causar fuerzas de gran impacto.

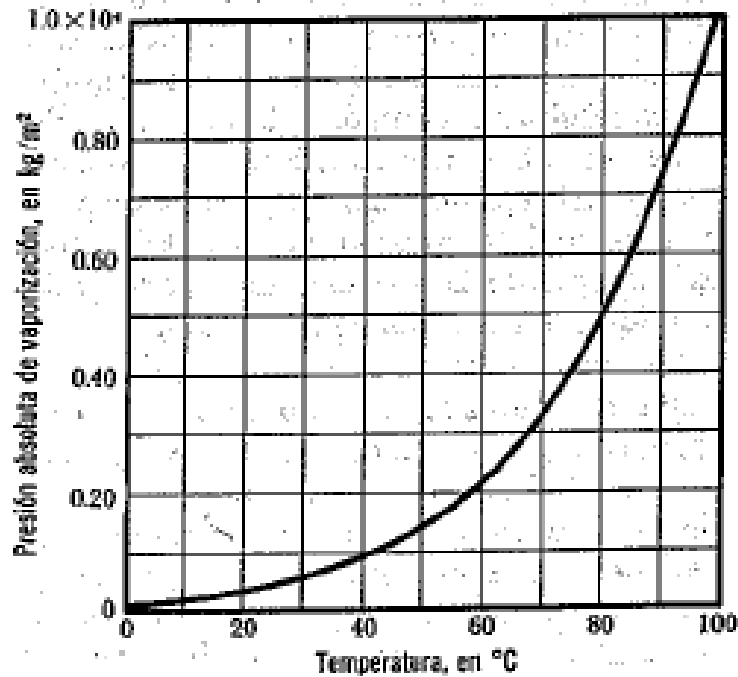


Figura 1.5. Presión absoluta de vaporización del agua.

Fuente: Manual de Obras civiles CFE;1982:pagina

1.5. Ecuaciones fundamentales de la hidráulica.

Para la mecánica de fluidos, los métodos utilizados para el análisis se encargan de determinar cuál es la capacidad que tiene un flujo para llevar cierto material, así como el mecanismo por el cual cambia sus propiedades al trasladarse de un punto a otro, por lo que se establece un axioma para que los fluidos puedan satisfacer los principios básicos de la mecánica del medio continuo, y por dicha razón a continuación se mencionará cuales son la ecuaciones principales dentro de la hidráulica:

1.5.1. Conservación de la Materia (Principio de Continuidad).

También es conocida como Transporte de Masa, es la que nos permite derivar la primera de estas ecuaciones fundamentales o de Continuidad, que posee algunas simplificaciones en relación al tipo de flujo que se esté analizando, o bien, de la hipótesis que estemos considerando. De acuerdo con este principio una cierta parte de la masa de un fluido, que en una unidad de tiempo entra a un volumen en específico dentro de un flujo, un porcentaje de la masa se queda dentro, mientras que la parte restante sale del volumen ya mencionado. En el caso de que el volumen en estudio tenga una magnitud y forma de manera constantes, o en otras palabras que tiene un volumen de control, se determina que el almacenaje no puede ser indefinido.

$$\frac{dp}{dt} + (\nabla)(p\vec{u}) = 0$$

1.5.2. Segunda Ley de Newton (Impulso y Cantidad de Movimiento).

La Ecuación de Cantidad de Movimiento en un cuerpo libre se deriva de la Segunda Ley de Newton. Se denomina como cantidad de movimiento de un elemento M, a la multiplicación de M por su velocidad (M*V), por consiguiente Newton en segunda Ley establece que:

”La suma vectorial de todas las fuerzas F que actúan sobre una masa de fluido, es igual a la rapidez del cambio del vector lineal cantidad de movimiento de la masa de fluido”, es decir:

$$F = \frac{d(Mv)}{dt}$$

1.5.3. Conservación de la Energía (Primera Ley de la Termodinámica).

En caso de que no se tomen en cuenta los efectos termodinámicos que se presentan en un flujo ni a la suma o pérdida de energía mecánica ocasionada por una fuente exterior, ya sea una bomba o turbina, existe la posibilidad de derivar las ecuaciones de movimiento, las cuales se pueden aplicar al flujo de los líquidos, partiendo de la Segunda Ley de Newton, para lo que se necesita considerar cuáles son las fuerzas que intervienen en la oposición al movimiento de las partículas del fluido, que puede ser considerada como un trabajo que realiza el fluido de forma mecánica que es equivalente a la energía disipada, al vencer las fuerzas a las que se hace mención anteriormente.

1.6. Clasificación de los fluidos.

Según Sotelo, sabemos que existen diferentes criterios para clasificar los tipos de flujos, mismos que pueden ser definidos como:

- Permanente o No Permanente
- Uniforme y No Uniforme
- Tridimensional, Bidimensional o Unidimensional
- Laminar o Turbulento
- Compresible e Incompresible
- Rotacional e Irrotacional

Aunque estos ya mencionados no son los únicos si son los más estudiados por la ingeniería, pero para efectos de nuestra investigación nos enfocaremos en los flujos: Laminar, Transición y Turbulento.

1.6.1. Flujo permanente y no permanente.

De acuerdo a las propiedades generales de un fluido y sus características mecánicas varían de un punto a otro dentro de su campo, pero se define Flujo No Permanente cuando en un punto determinado del flujo presenta variaciones de un instante a otro. Por el contrario cuando las características de dicho punto permanecen constantes entre diferentes instantes o cualquier instante este flujo será permanente o bien si las variaciones de las características son muy pequeñas con respecto a sus valores medios y estos no varían con el tiempo.

Este flujo permanente es más fácil de analizar que el flujo no permanente, esto por la complejidad que el tiempo como variable independiente otorga al estudio del flujo no permanente. Sin embargo en la practica el flujo permanente es la excepción más que la regla; aun así muchos problemas se pueden estudiar suponiendo que el flujo es permanente, aunque esté presente pequeñas fluctuaciones de velocidad u otras características con el tiempo, pero es necesario que el valor medio de cualquier característica permanezca constante sobre un intervalo razonable.

1.6.2. Flujo uniforme y no uniforme.

Se definió como flujo uniforme cuando el vector de velocidad es idéntico en cualquier punto del flujo y esto se expresa de la manera:

$$\partial v / \partial s = 0$$

Donde ∂_s es un desplazamiento en una dirección cualquiera.

Opuesto al flujo uniforme el flujo no uniforme presenta cambios en el vector de velocidad, pueden ser en la dirección del mismo o en direcciones transversales. Este tipo de no uniformidad siempre se encuentra cerca de fronteras sólidas y lo produce la viscosidad. Sin embargo en hidráulica se acepta normalmente la uniformidad y no uniformidad del flujo cuando se refiere a la variación de la velocidad media en la dirección general del movimiento.

Pueden así ocurrir las cuatro combinaciones diferentes entre los flujos antes mencionados.

1.6.3. Flujo tridimensional, bidimensional y unidimensional.

Se sabe que es tridimensional cuando sus características varían en el espacio, o sea que los gradientes del flujo existen en las tres direcciones, este es el caso más general de flujo.

Bidimensional es aquel que sus características son idénticas es decir que el flujo tiene gradiente de velocidad o de presión (o ambos) en dos direcciones exclusivamente. Y se define como unidimensional cuando sus características varían como funciones del tiempo y de una coordenada curvilínea en el espacio.

El flujo de un fluido real no puede ser completamente unidimensional debido al efecto de la viscosidad, ya que la velocidad en una frontera sólida es igual a cero.

1.6.4. Flujo laminar y turbulento.

Este tipo de flujo resulta de la viscosidad de un fluido y no habría distinción entre ambos en ausencia de la misma. El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas perfectamente definidas (No necesariamente paralelas).

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido.

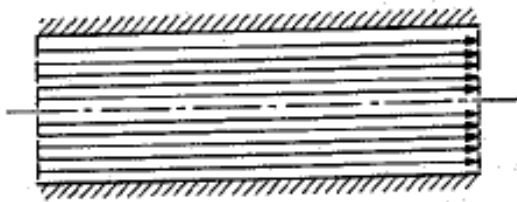


Figura 1.6. Esquema de flujo laminar.
Fuente: Manual de Obras civiles
CFE;1982:pagina

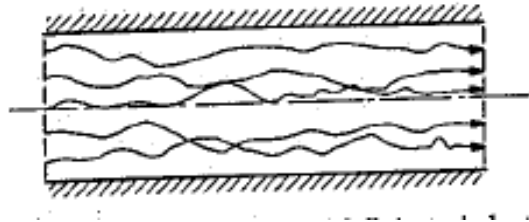


Figura 1.7. Esquema de flujo turbulento.
Fuente: Manual de Obras civiles
CFE;1982:pagina

CAPITULO 2

CENTRALES HIDROELECTRICAS Y SU MANTENIMIENTO

En este capítulo se abordaran diversos temas acerca de lo que es una central hidroeléctrica, la producción de energía por medio de estas obras, así como tipos de centrales que existen y finalmente se mencionaran las distintas centrales que se encuentran en el país.

2.1. Producción de energía por medio de la hidráulica.

Se sabe que la energía hidroeléctrica es una fuente de energía muy utilizada en el entorno mundial, esto por ser un recurso renovable y que no consume agua, esto quiere decir que al producirla no contamina el medio ambiente y no reduce la cantidad de agua de la naturaleza, únicamente aprovecha la energía potencial y cinética del agua. Actualmente este tipo de producción de energía es la fuente de abastecimiento de la mayoría de los países, pues gran parte de ellos han implementado este método de producción por sus nobles características con el medio ambiente y su eficiencia en producción.

La producción de esta energía se lleva a cabo mediante la construcción de estructuras que permiten el aprovechamiento de estas energías obteniéndolas de las corrientes de ríos o arroyos, estas estructuras son conocidas como Centrales Hidroeléctricas, la construcción de estas estructuras es muy compleja, pues implica un proceso constructivo el cual debe cumplir con normas de construcción, información suficiente para que este sea ejecutado por las autoridades del lugar y a su vez un proceso de cálculo y estudios de laboratorio que garanticen la eficiencia de

la estructura, su lapso de vida, su efectividad en producción de energía y un impacto ambiental menor.

Para expandir el conocimiento sobre la definición de central hidroeléctrica profundizaremos más sobre este tipo de estructuras en los siguientes apartados.

2.2. Central hidroeléctrica.

Como se menciona en el apartado anterior, esta estructura hidráulica es una edificación muy compleja, pues consta de una represa para desviar o almacenar agua de un río o arroyo, canales, túneles, conductos forzados de toma y un depósito de carga antes de la tubería forzada para llevar el agua a las turbinas; galería de descarga, túnel o Canal de desagüe para llevar las aguas corriente abajo; turbinas y gobernadores; generadores y excitadores; equipo como son dispositivos y reguladores de protección; un edificio para alojar la maquinaria y equipo; y transformadores, equipo de conmutación y líneas de transmisión para llevar la energía producida a centros de carga para su distribución a consumidores.

Las plantas hidroeléctricas se clasifican de acuerdo a la base de la capacidad del embalse y de su uso como plantas sin almacenamiento, plantas con carga hidráulica base, plantas con almacenamiento y plantas para demanda máxima o carga pico.

2.2.1. Plantas sin almacenamiento.

Esta variante no tiene almacenamiento, es decir la generación únicamente depende del caudal del río, este tipo de plantas o centrales se construyen para otros fines y la producción es accesorio.

2.2.2. Planta de energía firme o base.

Igualmente sin almacenamiento pero a diferencia de la anterior esta cuenta con un caudal mínimo capaz de abastecer la demanda de energía sin necesidad de instalaciones termoeléctricas adicionales.

“El costo de una planta de energía base puede compararse con el costo de la termoeléctrica que se necesita para abastecer la demanda si no hubiera generación hidráulica”.

2.2.3. Plantas para demanda máxima.

Las fluctuaciones en la demanda de una región requieren de instalaciones generadoras en las cuales su plena capacidad se utilice solo unas horas al día, en los periodos de máxima demanda de energía. “El factor de capacidad es el porcentaje de tiempo en que se usa la máxima capacidad de la planta o la relación entre la energía eléctrica promedio producida y la capacidad de la planta”.

Estas plantas son con almacenamiento y bombeo y plantas con almacenamiento.

2.2.4. Almacenamiento por bombeo.

Este tipo de almacenamiento nos permite es capaz de almacenar agua en cantidades muy elevadas para la generación de energía eléctrica, sobre todo en las fechas cuando existe un exceso en la capacidad de agua disponible, para poder utilizarse más adelante. Su funcionamiento comienza al bombear el agua desde un punto más bajo a uno de mayor altura con potencia termoeléctrica, o bien, con una

planta hidroeléctrica, esto se utiliza cuando la energía de demanda es baja. Y en el caso que se necesite la generación de energía, el agua que se encuentra almacenada corre a través de la tubería, y debido a las pérdidas por fricción dentro de la tubería de presión, y también por las pérdidas causadas por la eficiencia con la que cuentan las turbinas y las bombas, y de toda esta energía que es acumulada con el paso del agua, se puede recuperar solo aproximadamente dos terceras partes de la energía que produce.

2.2.5. Principales centrales hidroeléctricas en México.

La administración de las centrales hidroeléctricas y la generación de energía eléctrica en México se encuentra a cargo de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) dependiente de la Secretaría de Energía.

“Se sabe que para el año 2010 se generaron aproximadamente 36,748 megawatts en un total de 241,491 megawatts mediante este recurso renovable”.
(es.wikipedia.org/wiki/Presas_de_M%C3%A9xico, 2013)

2.3. Represas.

Estas construcciones también son llamadas cortinas y se pueden clasificar de acuerdo a su material con el que fueron construidos, o del método que fue empleado en su construcción, las clasificaciones principales son las represas de gravedad, de arco, de contrafuerte y de enrocamiento.

Represas o cortinas de gravedad: este tipo de construcciones se realizan principalmente de concreto o de mampostería, que se colocan para poder resistir las fuerzas que actúan sobre ella, la fuerza más importante de vencer es la hidrostática

del agua (F_1), su distribución debe ser en forma triangular, donde en la parte de la superficie su valor es cero, y en conforme vaya habiendo más profundidad su valor va incrementando, otra fuerza que tiene que vencer este tipo de represas es la presión de los sedimentos (F_2), que es causada por el material acumulado al fondo de la cortina, esta presión puede ser calculada mediante la Teoría de Rankine para la presión ejercida sobre el suelo, usando el peso de los sedimentos sumergidos.

La presión contra el hielo contra la cara de la cortina (F_3), ésta solo es utilizada en lugares con climas demasiado fríos, dónde se forma una capa de hielo en la superficie del embalse, y cuando la temperatura aumenta provoca una fuerza mayor en la parte superficial. Para los sitios que se encuentran en zonas sísmicas, se diseñan con una aceleración de $0.1g$, donde g es la aceleración debida a la gravedad, el efecto causado debido a estas dos fuerzas se representa en la figura 2.1. (F_4 y F_5).

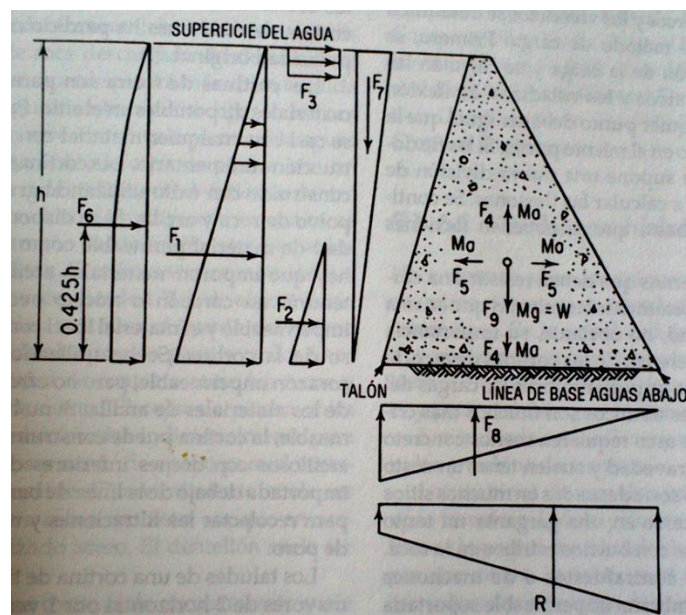


Figura 2.1. Fuerzas que actúan en una cortina de gravedad de concreto.

Fuente:

La siguiente fuerza es la de la inercia del agua contra la cara de la cortina (F6), que actúa aproximadamente a $0.425h$ por encima de la base. La fuerza que se debe al peso del agua sobre una cara inclinada (F7), las presas construidas de gravedad, por lo general, cuentan con una cara inclinada hacia aguas arriba, está hecha para facilitar su construcción. La fuerza ascendente (F8) que se presenta sobre la superficie de cualquier sección de la cortina, o bien, debajo de su base es ocasionada por la filtración del agua por los poros que puedan existir en ella, o ya sea, por un mal proceso constructivo de los cimientos, otra causa de esta presión puede ser que se hayan hecho mal las juntas de construcción. Y por último el peso de la cortina (F9) que actúa en el centroide del área de la sección transversal de la cortina.

La presión sobre los cimientos se puede conocer al sumar las fuerzas verticales y de los momentos en torno a cualquier punto que se desea conocer.

“La presión sobre los cimientos en el talón de la cortina debe ser de compresión por lo tanto, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la cortina debe quedar dentro del tercio medio de la base de la cortina”. (Frederick S. Merrit; 2006: 21.131)

Existen tres diferentes posibles modos básicos de falla de una cortina de gravedad y estos son cuando ocurre un desplazamiento horizontal, un volteo por giro en torno a la línea base aguas abajo y por falta de material de los cimientos.

“Los dos primeros dependen, en forma principal, de la sección de la cortina, mientras que el tercero depende tanto de la sección como del material de los cimientos”. (Merrit; 2006: 21.132)

Las cortinas de gravedad pueden ser construidas sobre cimientos de tierra, pero su altura en estos casos se limita a 65 pies (20 metros). Por su capacidad de dejar pasar grandes caudales de crecidas o avenidas sobre la cresta sin daños ha sido la razón principal de su uso, el costo inicial y de mantenimiento suele ser mayor al de las cortinas de tierra o de enrocamiento de altura y longitud de cresta.

Cortina de Arco

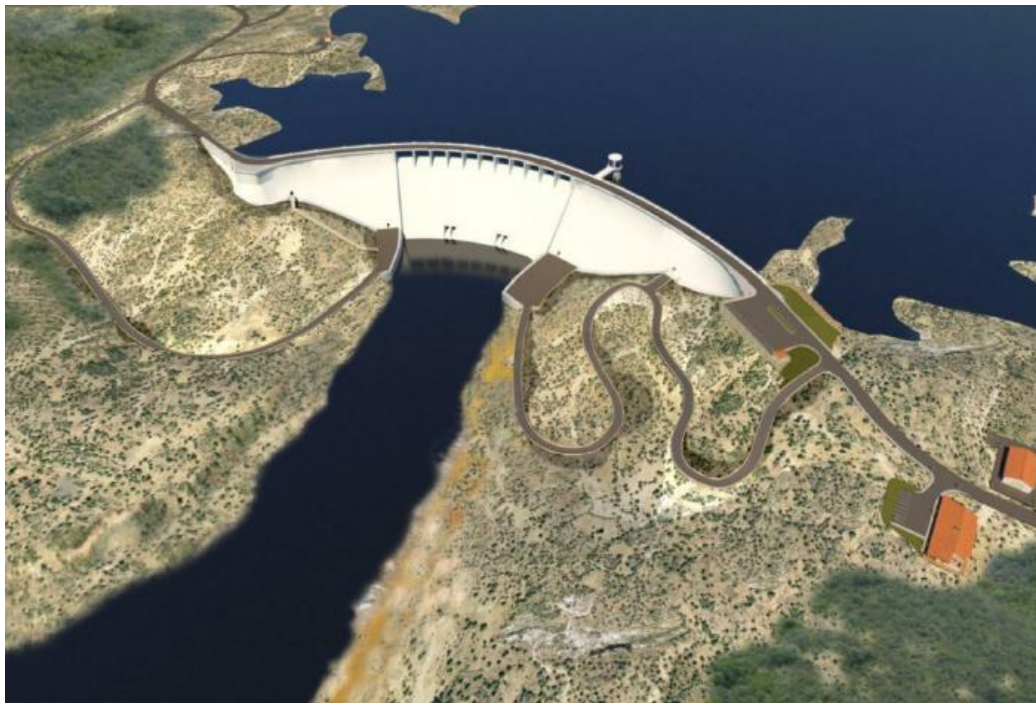


Imagen 2.1. Vista aérea de la cortina en arco de una presa.

Fuente: www.acuaes.com

Otro tipo de cortina es la cortina de arco, estas son presas de concreto que soportan la fuerza del agua por medio de la acción del arco. “Los esfuerzos en una cortina de arco se pueden determinar con computadoras por el método de elemento finito o por un método aproximado en el que la fuerza del agua se divide entre los elementos: una serie de arcos horizontales que van de estribo a estribo y una serie de voladizos verticales que están fijos en la cimentación. La distribución de carga entre los arcos y voladizos se determina por tanteos con el método de carga. Primero, se supone una división de la carga y se calculan las deflexiones de los arcos y voladizos. La flexión de un arco en cualquier punto debe ser igual que la flexión del voladizo en el mismo punto. Si las flexiones son iguales, se supone una nueva división de carga y se vuelven a calcular las flexiones. Se continua este proceso hasta que se obtiene flexiones iguales”. (Merrit; 2006: 21.132)

En una cortina de arco las fuerzas externas que deben resistir una cortina de arco son básicamente las mismas que en una cortina de gravedad, pero su importancia relativa es muy diferente. En las cortinas de arco la supresión no es de vital importancia, pero en este tipo de cortinas las cargas de hielo y los esfuerzos térmicos son mucho más críticos.

Estas presas requieren menos concreto que las presas de gravedad mencionadas anteriormente y suelen tener un costo inicial más bajo. Este tipo de presa no es adecuado en muchos sitios porque deben ubicarse en una garganta estrecha, y deben ser soportadas con buenos estribos.

Otro tipo de de cortinas que son muy utilizadas son las de contrafuertes o de machones, están compuestas de una membrana impermeable que a su vez está sujeta por medio de una serie de contrafuertes en ángulos rectos con respecto al eje de la cortina. Dentro de este tipo de cortinas, existe una gran diversidad de formas para llevar a cabo su realización, sin embargo, las opciones que son más consideradas son la de losa plana y arco múltiple. La principal diferencia que se encuentra entre estos dos tipos, es la membrana de retención de agua, ya que cuando estamos en el caso de la cortina de losa plana se aplica una losa de concreto apoyada sobre machones, mientras tanto, en las de arco múltiple, la membrana que se utiliza es una serie de arcos de concreto. Ésta última opción requiere de una menor cantidad de acero de refuerzo y puede haber una separación mayor entre los machones o contrafuertes, aunque un punto negativo de esta alternativa, es que la cimbra que se utiliza tiene un costo más elevado que en el de la cortina de losa plana.

En la cara de la cortina de contrafuertes hacia aguas arriba normalmente cuenta con una inclinación de 45° . El peso provocado por el agua, es muy necesario para el muro de la cortina, debido a que lo ayuda a evitar que un deslizamiento o volteo puedan ocurrir sobre él. De hecho las fuerzas actuantes de que se ejercen sobre una cortina de contrafuertes son las mismas que en una cortina de gravedad, así como los modos de falla y el diseño estructural también es más crítico, aunque es importante mencionar que tendrán que soportar una mayor cantidad de carga vertical de agua y las subpresiones que intervienen son menores.

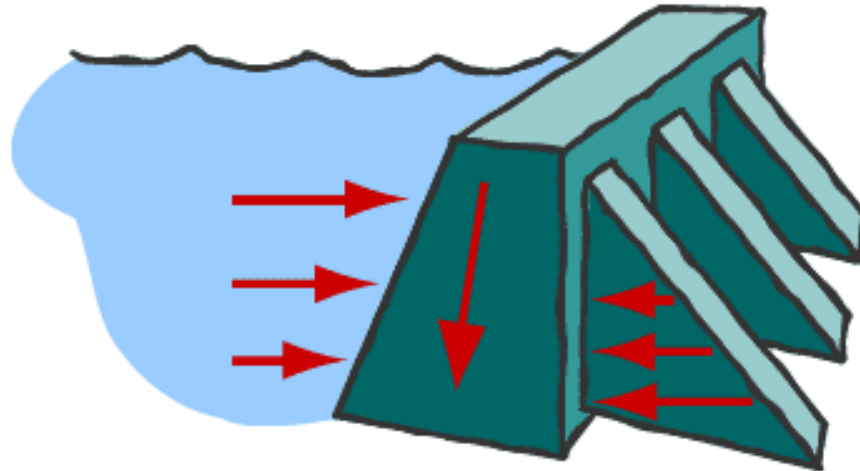


Figura 2.2. Cortina de contrafuertes.

Fuente: www.pbs.org

Las cortinas de tierra se emplean principalmente para reducir los gastos que se llevarán a cabo en la obra, porque los materiales con los que será construida esta cortina son extraídos del lugar de la obra o de un lugar cercano, y es muy común que se construyan con material rudimentario. Los principales materiales implementados en este tipo de cortinas son: gravas, arenas, limos, polvo de roca y arcillas. En caso de que se disponga de una gran cantidad de material permeable como lo son las gravas y las arenas y hay que traer material que sea arcilloso, de esta forma el núcleo de la cortina será impermeable, mientras que el resto estará ocupado por el material del sitio. En ciertos casos el concreto ha sido utilizado como el corazón de la cortina, aunque no tiene las mismas características que las arcillas en cuanto a su flexibilidad, ya que el concreto se considera un material frágil. Y cuando no se cuenta con material permeable se puede optar por construirse a base

de materiales arcillosos con drenes de grava y arena en la parte inferior para que el agua que llegue a penetrar la cortina tenga una vía de escape.

Los taludes para una cortina de tierra son, la mayoría de las veces de 2 metros de ancho y 1 metro de altura, el criterio que utiliza es la estabilidad de taludes contra una falla por deslizamiento, y la estabilidad bajo la acción de algún evento sísmico puede llegar a ser demasiado crítico, esto, debido a los cambios de presión a los que se ve sometido el suelo en el momento de algún movimiento de las placas tectónicas, y el resultado puede ser una deformación provocada por el esfuerzo cortante.

2.4. Conceptualización del término mantenimiento.

Es el conjunto de actividades cuyos objetivos son preservar la integridad y el funcionamiento de las obras, equipos e instalaciones; optimizar (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.

2.4.1. Tipos de mantenimiento.

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 remplazo, parcial o total, de las obras.

La tabla 2.1 que se muestra incluye algunas de las recomendaciones, para poder lograr un desarrollo eficaz y eficiente en su aplicación.

El objetivo principal de las inspecciones periódicas que se le realizan a las obras es poder evaluar si su funcionamiento y su capacidad estructural son las óptimas para poder tener un gasto seguro, que se requiere para poder generar energía eléctrica. Una inspección consiste en llevar a cabo un examen de forma visual para determinar cuál es el estado en el que se encuentran las estructuras, estas revisiones también nos pueden indicar si es necesario hacer una inspección más profunda, las cuales incluyen ciertos estudios analíticos, pruebas de campo, así como apoyo de laboratorio, y después de realizar estos estudios, se revisan los resultados obtenidos, y de esta manera determinar si es necesario efectuar cierto tipo de medida, ya sea preventiva, o bien, correctiva.

La tabla que se muestra incluye algunas de las recomendaciones, para poder lograr un desarrollo eficaz y eficiente en su aplicación

2.4.2. Tipos de programas de inspección.

Existen tres tipos básicos para realizar las inspecciones, las cuales son: de rutina general, de rutina específica y especial, ahora se mostrará una tabla que nos indica los conceptos que deberán ser tomados en cuenta para las revisiones.

1.- Un buen mantenimiento cuesta; pero un pobre mantenimiento cuesta más.
2.- Lo que se ve bien puede estar bien; lo que se ve mal siempre está mal.
3.- No siempre es obvio el origen del problema. Representelo en forma grafica simple y determine sus consecuencias.
4.- Primero estudie los parámetros principales que afecten a la operación y a la producción.
5.- Evite riesgos, es preferible escuchar y analizar recomendaciones. Entienda el problema, no se defienda mientras tanto.
6.- Primero resuelva el problema; investigue las causas de su origen.
7.- Aplique los recursos necesarios y suficientes, sin omitir alguna acción.
8.- Defina los alcances de la solución final. Las soluciones temporales pueden ser adecuadas en función de los planes futuros o en caso de emergencia.
9.- Evite problemas legales o perjuicios a propiedades ajenas.
10.- Cuidado con los vendedores, proveedores y contratistas fraudulentos.
11.- Documente las fallas, decisiones, instrucciones dadas o recibidas, resultados y recomendaciones.

Tabla 2.1. Recomendaciones para un mantenimiento eficaz.

Fuente: Guerrero, 1993: 1

El objetivo principal de las inspecciones periódicas que se le realizan a las obras es poder evaluar si su funcionamiento y su capacidad estructural son las óptimas para poder tener un gasto seguro, que se requiere para poder generar energía eléctrica. Una inspección consiste en llevar a cabo un examen de forma

visual para determinar cuál es el estado en el que se encuentran las estructuras, estas revisiones también nos pueden indicar si es necesario hacer una inspección más profunda, las cuales incluyen ciertos estudios analíticos, pruebas de campo, así como apoyo de laboratorio, y después de realizar estos estudios, se revisan los resultados obtenidos, y de esta manera determinar si es necesario efectuar cierto tipo de medida, ya sea preventiva, o bien, correctiva.

La tabla que se muestra incluye algunas de las recomendaciones, para poder lograr un desarrollo eficaz y eficiente en su aplicación

Existen tres tipos básicos para realizar las inspecciones, las cuales son: de rutina general, de rutina específica y especial, ahora se mostrará una tabla que nos indica los conceptos que deberán ser tomados en cuenta para las revisiones.

CONCEPTOS	INSPECCIONES		
	DE RUTINA GENERAL	DE RUTINA ESPECIFICA	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 Depto. Civil y el Superintendente de la central.	Jefe del Departamento Civil o Superintendente de la central.	Especialistas (internos y externos) y personal de la CFE necesario.

4.- Equipo necesario	Bitacora, plomada, linterna, casco, flexómetro, nivel de mano y otros que se consideren necesarios.	Guías de inspección, planos o croquis (en planta y perfil) para localización de los componentes del sistema de conducción, martillo, plomada, cámara fotográfica, grietómetro, nivel de mano, flexómetro, cincel, binoculares, desarenadores, linterna, lentes, cuerdas y cinturón de seguridad.	Equipo especial para hacer mediciones de campo, grabadora portátil, todos los accesorios de las inspecciones de rutina específica y una cuadrilla de trabajo (1 oficial y 2 peones).
5.- Informe	Verbal y escrito, al Jefe de Departamento Civil o al Supte. De la central.	Verbal y escrito, al Supte. De la central y al Supte. Regional Civil to Civil Regional.	Escrito dirigido al Supte. De la central y a la autoridad superior de la CFE.
6.- Formato	Según formato normalizado en cada área.	Según los formatos usuales y guías propuestas en el Apéndice A.4	A juicio de los especialistas (se sugiere aplicar el formato del Apéndice A.5)

Tabla 2.2. Resumen de conceptos relativos a las inspecciones periódicas

Fuente: Guerrero, 1993: 1-2

2.4.2 Inspección de rutina general

Se le conoce así por ser un examen visual que se realiza en forma periódica en todo el sistema. Estas inspecciones nos dan una idea constante de la apariencia general y del funcionamiento de cada elemento del sistema o de cada parte de un elemento específico y nos permiten identificar la presencia de anomalías o funcionamientos inadecuados con la oportunidad de ser corregidos a tiempo y así mismo evitar un daño permanente o un funcionamiento deficiente del sistema.

Una vez que la inspección de rutina general concluye y se informan las diferentes anomalías o fallas, el departamento de ingeniería civil será el encargado de atender las condiciones peligrosas detectadas, esto con la finalidad de tomar las medidas pertinentes y evitar cualquier problema.

2.4.3 Inspección de rutina específica

Este tipo de inspección se diferencia de la inspección de rutina general por ser un proceso de inspección enfocado a la búsqueda detallada de evidencias de deterioro y fallas, mismas que muestran inseguridad en el comportamiento estructural y funcional de un componente.

En los sistemas de conducción estas inspecciones se realizan a intervalos regulares de tiempo, establecidos de acuerdo a factores como la importancia del sistema, antigüedad y potencial de riesgo de las instalaciones.

Estas inspecciones se deben realizar tomando en cuenta la información registrada desde la última inspección, principalmente para las instalaciones que presentan fallas recurrentes y de riesgo tanto para el personal como para la obra misma. Apoyarse de registros pasados ayuda a llevar la relación de fallas que se han presentado e indicara el comportamiento de las instalaciones en periodos de tiempo grandes y brindara mayor información para la solución y corrección de los problemas.

2.4.4 Inspecciones especiales

Este tipo de inspección como su nombre lo indica se realizan inmediatamente después de sucesos y casos especiales, tal es el caso de fenómenos que afecten el funcionamiento cotidiano de los sistemas, obras o estructuras como son los sismos, huracanes, incendios, inundaciones, etc.

Son realizadas con el fin de evaluar la capacidad de servicio de un elemento o la aparición de patrones especiales que indiquen un comportamiento no esperado, aun cuando no exista daño visible. Asimismo son importantes para evaluar la magnitud de los daños y la prioridad de las reparaciones de un componente, si la reparación es posible.

Para la ejecución de este tipo de inspección es necesaria la participación de personal especializado y experimentado. “Los resultados de realizar las inspecciones descritas son: vigilar el comportamiento estructural de las instalaciones y el funcionamiento de los equipos y dispositivos; tomar las medidas pertinentes y oportunas para efectuar cambios o reparaciones, y en caso extremo, realizar la demolición y/o la reposición total o parcial de una estructura (o componente). Considerar en cada nueva inspección aquellas observaciones críticas reportadas en las inspecciones previas realizadas durante el servicio ordinario”. (Comisión Federal de Electricidad; 1993: 1-1)

CAPÍTULO 3

VERTEDORES

En el presente capítulo se abordará el tema relacionado con los vertedores, su definición, cómo y para qué funcionan, cuales son los tipos de vertedores que existen, así como de todo el sistema que comprenden las obras de excedencia, desde sus definiciones, y descripción de sus características, como también su principal objetivo.

3.1. Objetivo de las obras de control y excedencias

Se le conoce como obra de excedencias a las estructuras que han sido diseñadas con el propósito de permitir la expulsión de volúmenes de agua excedentes de las presas ya sean de almacenamiento o derivación, dichas obras son parte fundamental de las presas pues es de total importancia controlar los cambios y aumentos de volúmenes que podrían perjudicar el correcto funcionamiento de la presa. Estas obras se ponen en acción cuando el vaso se encuentra lleno o hasta el nivel de conservación o máximo de operación.

Se sabe que las obras de excedencias son un tipo de válvula de seguridad, pero aun así se sabe que ha habido muchas fallas de presas debido a insuficiente capacidad de descarga o a defectos de diseño de la propia obra. Es por eso que se establece una relación entre la avenida de diseño, las características del vaso y el programa de operación de la propia obra, quedando expresada de la siguiente manera:

$$V_E = V_S + \Delta V_a$$

$$V_S = V_E - \Delta V_a$$

Donde:

V_E =Volumen de entrada al vaso en cierta unidad de tiempo

V_S =Volumen de salida del vaso en la misma unidad de tiempo

ΔV_a =Variación del volumen almacenado en el vaso en la misma unidad de tiempo.

El ingeniero proyectista debe tener mucho cuidado al valuar la seguridad de una obra de excedencias en una presa de tierra o tierra y enrocamiento pues si por una operación deficiente o por la presencia de una avenida mayor que la supuesta el nivel de agua sobrepasa la elevación de la corona de la cortina causando graves consecuencias tanto para la presa como para la vida de personas y bienes materiales que puedan estar ubicados aguas debajo de la misma, no así en presas de cortina de concreto, pues en estas las consecuencias pueden ser menores.

3.2 Definición del término vertedor.

Se conoce como vertedor al conducto por el cual se le da salida al agua de una presa cuando se tiene una gran avenida que provoca un incremento en el nivel del agua y se trata de evitar que pueda llegar a salir por encima de la cortina o por cualquier otro lugar del vaso.

Se dice que la forma más fácil de proyectar una obra de excedencias es la de suponerla como un vertedor de cresta fija, coincidiendo con el nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) o de operación como aparece en la figura.

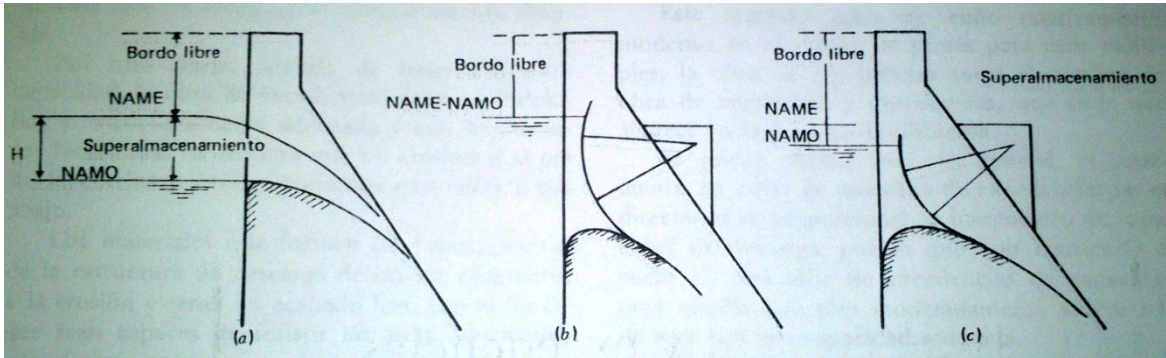


Figura 3.1. Sección de un vertedor de cresta fija

Fuente:

En la figura se ilustra en el caso (a) la sección de un vertedor de excedencias, de cresta fija, donde la avenida de diseño entra al vaso cuando el agua está en NAMO y alcanza el nivel más alto en NAME, coincidente con la descarga máxima del vertedor, con una carga H .

Este gasto máximo de descarga será menor que el pico de la avenida debido a que ha sido retenido, temporalmente, cierto volumen de agua almacenado entre NAMO y NAME que se conoce como superalmacenamiento o capacidad de retenidas C_r .

En el caso (b) se ha colocado una compuerta de control sobre la cresta del vertedor y el NAMO coincide con el NAME. En estas condiciones se puede controlar el gasto de entrada al vaso con el gasto de salida y por lo tanto no varía el

nivel de agua, este tipo de caso puede ser aprovechado en plantas hidroeléctricas pues se utiliza el volumen C_r y la carga H en producción adicional de fuerza motriz.

En el caso (c) se muestra un caso intermedio, en estos el NAME se obtiene con las compuertas completamente abiertas.

Los materiales para revestir las estructuras de excedencias deben ser resistentes a la erosión y tener un acabado liso, con el fin de que tengan la capacidad de resistir altas velocidades que muy frecuentemente se presentan en ellas, así como para evitar fenómenos de cavitación y presiones diferenciales en las caras del revestimiento, de ser necesario se deberá prever la construcción de algún dispositivo para disipar la energía cinética del agua en el extremo inferior de la descarga.

Otro aspecto a considerar en el diseño de las obras de excedencias es con que tanta frecuencia funcionara, es decir la cantidad de veces por año que trabaje, aspecto que interviene en la geometría del cimacio y en la previsión de futuras reparaciones, si fuesen necesarias.

Por ejemplo en presa derivadoras la capacidad del vaso es muy pequeña y por consiguiente, también la regulación del flujo, el trabajo de la obra de excedencias será muy frecuente, casi constante.

Se puede afirmar que una obra de excedencias de capacidad muy amplia será solo moderadamente mayor a la de otra de capacidad reducida, es por esto que hoy en día se proyectan obras de excedencias con capacidades de descarga amplia, sobre todo cuando los datos hidrológicos abarquen periodos relativamente cortos y la presa se encuentre localizada en una cuenca expuesta a fenómenos meteorológicos

que puedan provocar escurrimientos de gran magnitud y aguas arriba de zonas densamente poblada en donde la seguridad de la misma debe ser total.

3.3. Tipos de vertedores de excedencias.

Dentro de los vertedores utilizados para dar salida al agua excedente en una presa, existen varios tipos de ellos que se muestran a continuación, como lo son: vertedores de caída libre, vertedores con tiro vertical, vertedores con descarga directa en canal y el vertedor de canal lateral, enseguida se describirán cada uno de ellos:

3.3.1. Vertedores de caída libre

Este tipo de vertedores normalmente están relacionados con los contrafuertes, y también con las cortinas de tipo de arco, la utilización también dependerá en ver si las condiciones del vaso y de la cortina en específico fueron llevadas de manera correcta, o que no sean favorables o propicios para poder llevar por buen camino el curso del agua comenzando por la parte superior de la cortina, hasta llegar a la parte inferior de ella, también se tendrá que hacer una revisión de todo el material que se encuentra en la cimentación de la cortina, que en la mayoría de los casos es construida de roca y se debe de verificar que dicho material sea capaz de poder resistir los efectos producidos por el agua, como puede ser la erosión, en caso de que el material tenga la capacidad para soportarla, se podrá dejar que el agua caiga de manera libre, pero en caso de lo contrario se deberá diseñar algún cierto tipo de estructura que se encargue de reducir o disipar la energía cinética con la que cuenta el agua, y tratar de amortiguar su impacto con la superficie, esto nos traerá grandes

beneficios, ya que se tendrá una mayor seguridad en lo que respecta a la cortina en caso de que se presente el caso de que se deba desalojar la excedencia de agua de la presa, se realizara de una manera más segura.

3.3.2. Vertedores con tiro vertical.

Los vertedores de este tipo se caracterizan principalmente por varias situaciones como por ejemplo, en la mayoría de los casos se cuenta con una entrada que recepciona el agua que se encuentra en el vaso, y que posteriormente se dirige a una especie de embudo, que a su vez se encuentra conectado con un túnel, dicho túnel cuenta con una estructura disipadora de energía que es utilizada para evitar que la fuerza con la que sale el agua pueda llegar a provocar algunos daños.

También son muy recomendables para cuando se tiene una presa “encañonada”, es decir, que tiene una forma parecida al cauce de un río que cuenta con las paredes laterales demasiado cercanas, o bien que el gasto no sea muy grande, una recomendación que debemos de seguir detallada y periódicamente es la revisión de la entrada al túnel para cerciorarnos de que no se encuentre algún objeto obstruyendo y evitando el paso normal del flujo de agua.

3.3.3. Vertedores con descarga directa en canal.

Estas obras en las cuales la descarga del agua de excedencias se realiza de una manera directa hacia un canal, o sea, que no se cuenta con una estructura disipadora de energía, se recomienda o se lleva a cabo mayormente en ciertos

casos, como lo pueden ser cuando se tiene una cortina de tipo de enrocamiento, o bien, ya sea una cortina de concreto, en el caso de que se haya determinado que no es la mejor opción de que sean vertedoras de agua.

En el caso de se tuviera una presa con una cortina de tierra o de tierra y enrocamiento, este método no sería el más recomendable ya que, en todo momento, la cortina se verá sometida a grandes esfuerzos, sobre todo de asentamientos, una vez que se haya concluido la construcción de la obra, los efectos provocados por dichos asentamientos podrían provocarnos daños muy severos, que en un momento determinado podrían llegar a ocasionar algunas fallas en la cortina, así como movimientos verticales y agrietamientos dentro de la misma, de igual manera podrían presentarse en el canal de descarga.

Se sabe que al construir vertedores de este tipo el agua que fluye puede alcanzar velocidades demasiado altas, que normalmente oscilan entre los 40 y 50 m/s, estas velocidades por supuesto que dependen de algunos factores, que principalmente se remiten a dos principalmente, que son la pendiente que le podrá dar mayor o menor velocidad con respecto al ángulo que tenga, y el otro es la rugosidad de las paredes, el cual dependiendo de qué tanta sea la fricción que hace impedir de una manera más fácil el flujo del agua, con las velocidades ya mencionadas cualquier error en el proceso constructivo puede tener grandes repercusiones, como algún desalineamiento, que gracias a las grandes presiones hidrostáticas puede llegar a ocurrir una falla, debido a esto, es la razón por la cual se encuentran principalmente en las laderas o en los lugares que se consideren más

apropiados, cabe mencionar que todos estos sitios deberán estar localizados únicamente sobre el terreno natural.

3.3.4. Vertedor con canal lateral.

Este tipo de vertedores, como su nombre nos lo indica, trata de construir un canal a un costado en forma paralela al vaso de almacenamiento, el análisis para estos vertedores en cuanto a la pérdida de energía, se diseña para que ésta se elimine por medio de turbulencias que serán ocasionadas al salir del eje de la corriente del vaso hacia el canal colector, y la pendiente tendrá que ser lo necesariamente inclinada para que pueda poder descargarse sobre él.

Los elementos que componen principalmente a estas obras hidráulicas son principalmente: el acceso que es el lugar por el cual ingresa el agua al canal lateral; el cual es el encargado de recibir las excedencias del vaso; el deflector, su tarea principal es disipar la energía cinética del agua, y generalmente están contruidos con cortinas de tierra o tierra y enrocamiento, son recomendables también en casos de que se tengan grandes avenidas, y por consecuente grandes gastos.

3.4. Sistema de obra de excedencias

Se le conoce así por ser un conjunto de elementos que lo componen, el objetivo principal del sistema de excedencias es controlar las descargas de agua que se han considerado excedentes para la capacidad de almacenamiento del vaso de la presa. El sistema debe tener las características físicas y mecánicas que le permitan descargar los volúmenes de agua excedentes.



Imagen 3.1. Vista panorámica del vaso y el sistema de obra de excedencias a un costado.

Fuente: Propia



Imagen 3.2. Vista panorámica del sistema de obra de excedencias y a un costado la obra de toma.

Fuente: Propia

Otro factor determinante es la localización de la obra de excedencias, pues esta debe estar ubicada en un punto estratégico que permita ser operada sin causar daños a otros elementos o componentes que constituyen la presa como lo son: el talud de la cortina o la cortina en sí, la casa de maquinas así como su obra de desfogue, ni cualquier otra estructura.

La superficie y zona de contacto de la obra de excedencias debe tener la capacidad de resistir los efectos ocasionados debido al paso del agua y su velocidad, dado que el principal efecto es la erosión a gran escala, que daña los túneles a tal grado de dejarlos inoperables.

3.5. Canal de acceso ó llamada

Se le denomina así al conducto o canal que sirve para captar el agua del vaso, para después conducirla a la estructura de control, el uso de este elemento depende del tipo de obra de excedencias y su localización, esto determina si es o no necesario el canal de acceso, pues en presas con cortina vertedora no es necesario la construcción de este elemento, mientras que las presas con vertedores ubicados sobre las laderas son indispensables.

Se requiere que las velocidades de entrada, la curvatura del canal así como las transiciones deben ser graduales, es decir que no presenten cambios bruscos, un factor determinante es la longitud del canal, ya que su construcción implica un costo considerable, se procura que siempre se presente una distribución uniforme del flujo en toda la sección de la estructura de control.



Imagen 3.3. Vista del canal de acceso de la obra de excedencias.

Fuente: Propia

3.6. Canal de descarga

Se le conoce así a los conductos que dirigen los volúmenes liberados por la estructura de control o sistema de excedencias hacia el río, aguas abajo. Los principales conductos de descarga más utilizados son: canales a cielo abierto, conductos a través o bajo la cortina y túneles a través de las laderas, estos últimos los empleados en la C.H. Infiernillo.

Es de suma importancia que los conductos estén revestidos con materiales resistentes a la socavación y erosión, y ser estructuralmente adecuados para resistir empujes, así como las cargas dinámicas y presiones a las que están sometidos.

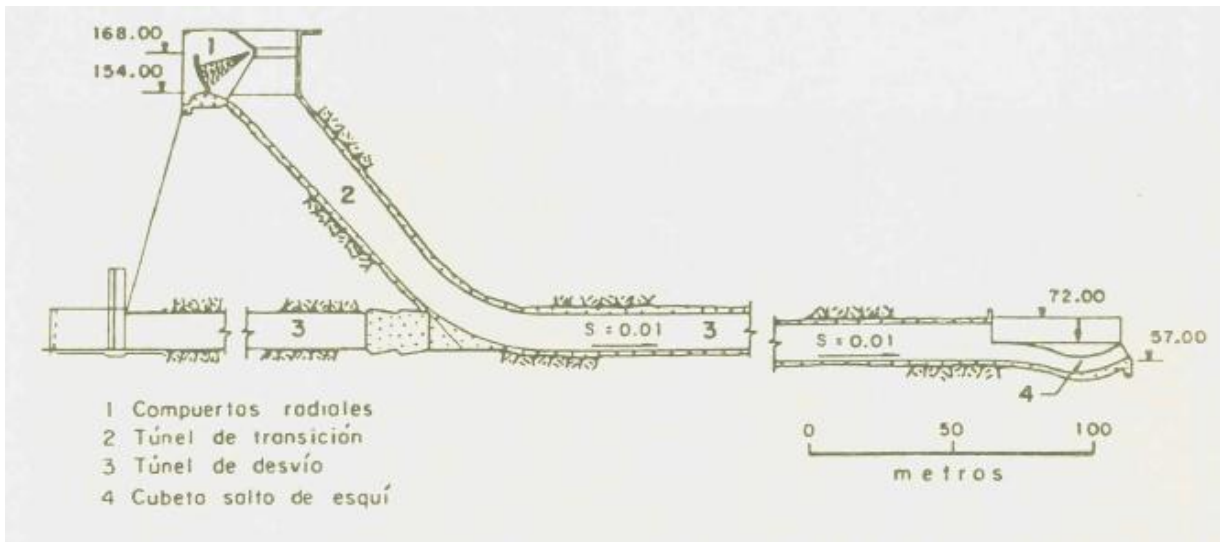


Figura 3.2. Vista del perfil de un vertedor en túnel, presa “El Infiernillo”.

Fuente: Manual de obras civiles CFE, 1981, 2.10.7

3.7. Estructura terminal o disipadora de energía

Es aquella estructura ubicada al final de los túneles vertedores, tiene por función disipar un alto porcentaje de la energía que posee el agua al llegar a esta etapa, con el fin de evitar la posibilidad de daños estructurales. Comúnmente se emplean tanques amortiguadores y cubetas de lanzamiento, el primer tipo para disipar la energía reduciendo y el segundo tipo para lanzar el agua hacia adelante para lograr el mismo objetivo. La C.H. Infiernillo cuenta con cubetas deflectoras que provocan un fenómeno denominado “Salto de esquí”.

Esta estructura está construida del mismo material empleado para revestir los túneles vertedores, ya que se ve sometida a las mismas acciones, una vez que se efectúa el salto de esquí el agua es reincorporada al cauce natural, ubicado aguas debajo de la presa.



Imagen 3.4. Vista de la cubeta deflectora de la obra de excedencias.

Fuente: Propia



Imagen 3.5. Vista lateral de la cubeta deflectora de la obra de excedencias.

Fuente: Propia



Imagen 3.6. Vista de la cubeta deflectora en operación, efecto salto de esquí.

Fuente: Departamento de obra civil C.F.E.



Imagen 3.7. Vista lateral de la cubeta deflectora en operación, efecto salto de esquí.

Fuente: Departamento de obra civil C.F.E.

CAPITULO 4

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACION

El objetivo del presente capítulo, es dar a conocer la ubicación precisa de la obra a revisar, se hablara del entorno geográfico regional, ubicación específica de la zona en estudio así como características y datos que permitirán conocer la situación actual y entorno de la región en la que se llevara a cabo este proyecto de revisión al proceso de mantenimiento. Como se menciona anteriormente, la investigación se enfoca en la obra de excedencias de la central hidroeléctrica “El Infiernillo”, por tal motivo es necesario abordar los temas que permitan conocer las instalaciones de la misma.

4.1. Generalidades.

De acuerdo con información tomada del software Google Earth y basado en la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la localidad de Infiernillo, se localiza en la parte sureste del municipio de Arteaga, a 106kms de la cabecera municipal, que a su vez dicho municipio se ubica en la parte sur del estado de Michoacán. En las coordenadas 18°16'56" latitud y 101°54'05" longitud, a una altura de 75 metros sobre el nivel del mar.

Infiernillo limita al norte con la localidad de El Atuto, al este con la Presa José María Morelos, al sur con la localidad de Buenavista y al oeste con la lagunita. Así mismo el Río Balsas forma parte del límite entre los estados de Michoacán y Guerrero.

4.2. Macrolocalización

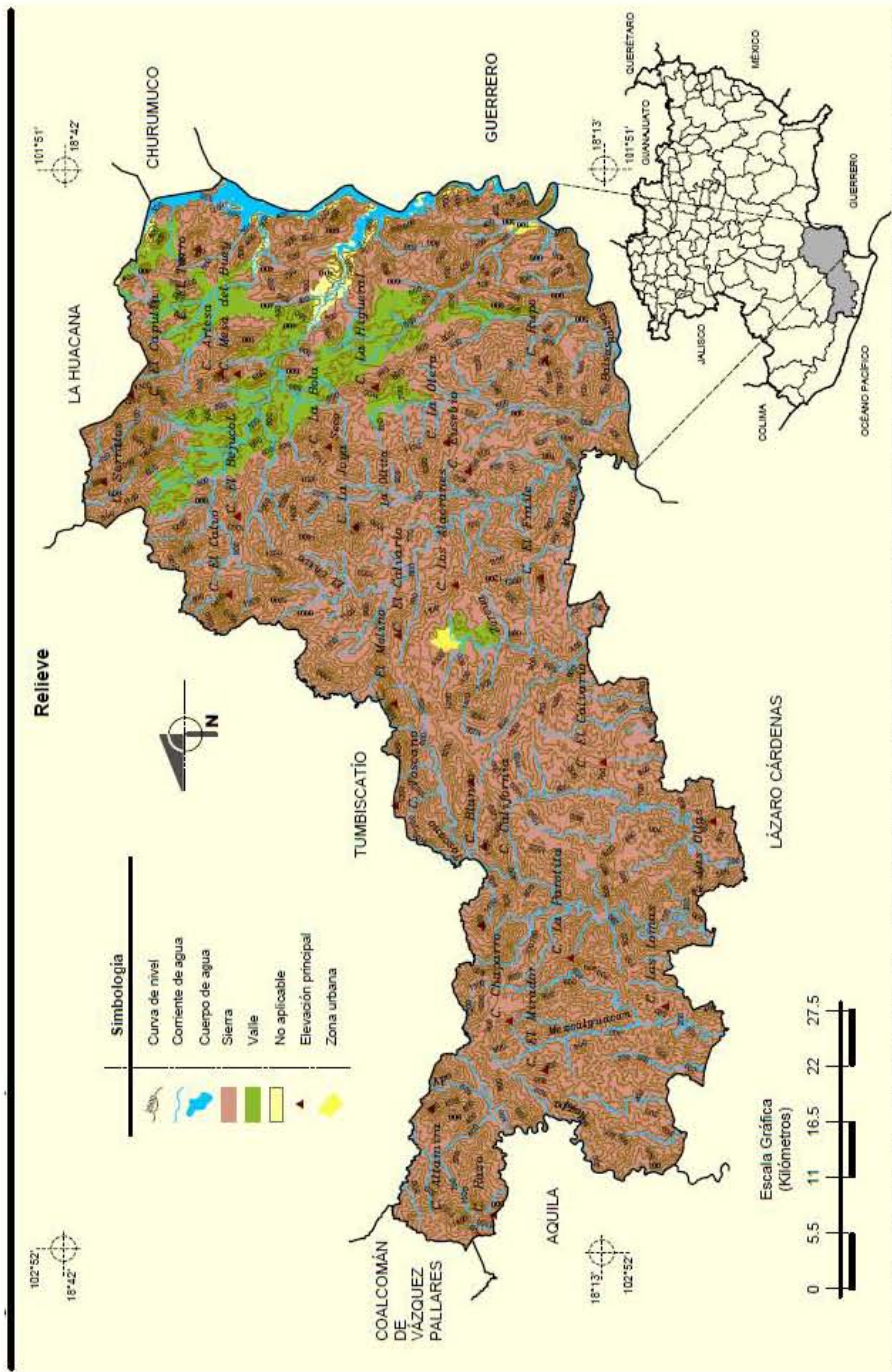


Imagen 4.1. Vista digital satelital de la ubicación de la C.H. Infiernillo

Fuente: Google earth 2013

4.3. Características topográficas

La localidad de Infiernillo está ubicada sobre una cadena montañosa denominada Sierra Madre del Sur, por lo tanto se presentan altos relieves que permiten el escurrimiento de aguas provenientes de lluvia y ríos principalmente, mismos relieves que fueron utilizados para la construcción de la “Central Hidroeléctrica de Infiernillo, Michoacán.”

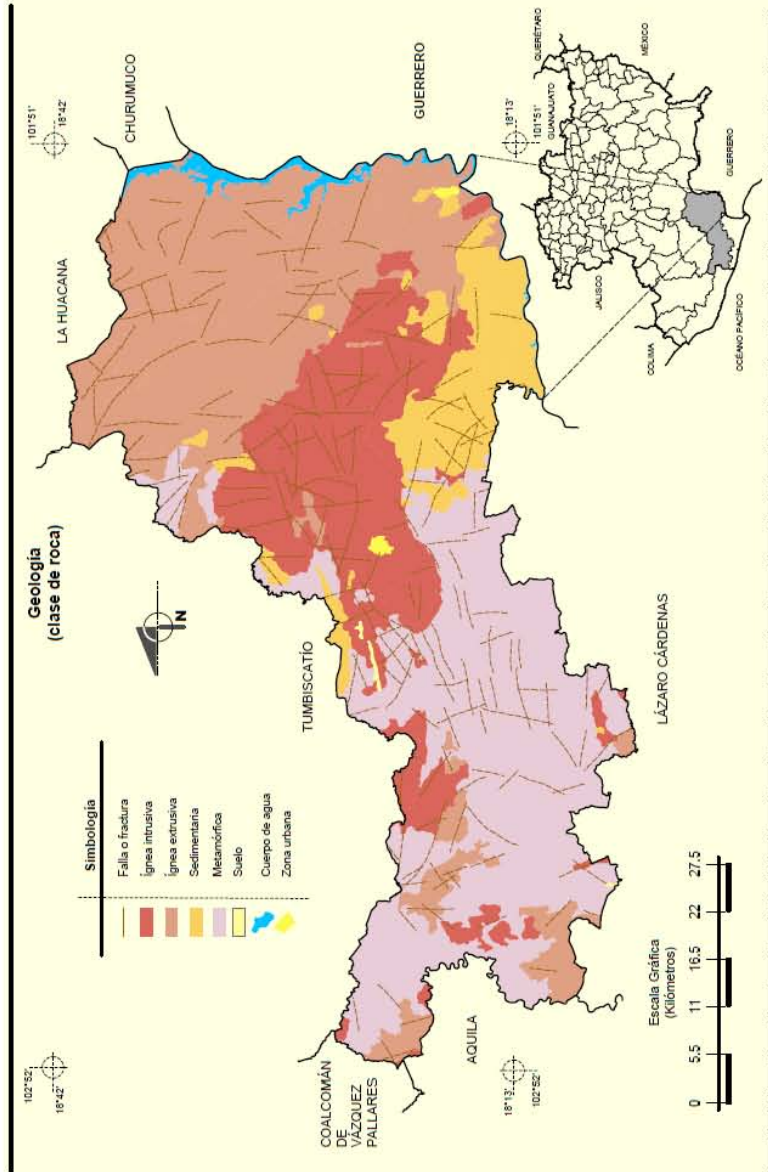


Mapa de los relieves de la región en estudio.

Fuente: INEGI

4.4. Características geológicas

El suelo se conforma en su mayoría de rocas ígneas, así como metamórficas y sedimentarias.



Mapa de la geología de la región en estudio.

Fuente: INEGI

4.5. Características hidrológicas

La zona en estudio se ubica en la Región Hidrológica No 18, “Río Balsas”, esta región consta con una de las corrientes más importantes de México, conocido también como Atoyac, Grande o Mezcala. Esta zona hidrológica nace en la confluencia de dos Ríos el Atoyac y el Mixteco, mas adelante confluye con el Río Amuco, mas los aportes del Cutzamala que está ubicado a 4km aproximadamente al noreste de Ciudad Altamirano, la cual se encuentra a una altitud de 249 msnm. A partir de esta zona el cauce del río funciona como límite entre los estados de Michoacán y Guerrero y se le denomina Río Balsas hasta su desembocadura.

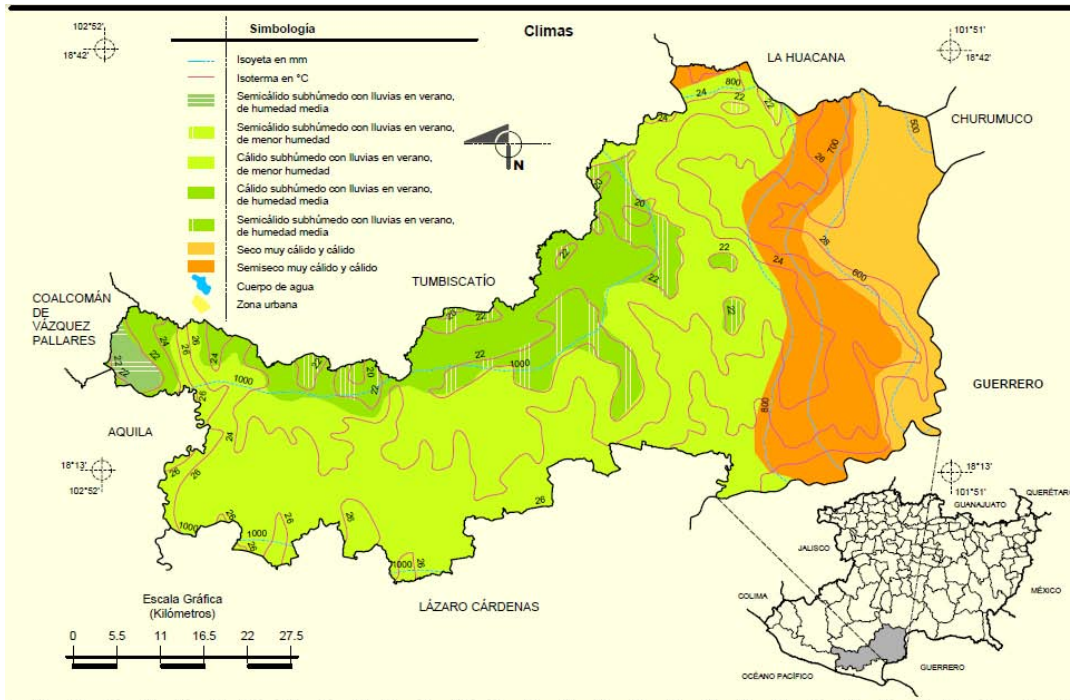
“La cuenca del Río Balsas es conocida también como “Depresión del Balsas”; en ella hay altitudes que no sobrepasan los 600 metros y llegan a tener en su parte occidental altitudes cercanas a los 200 metros. Su litología y estructuras es muy variada y compleja, esta región hidrológica en territorio Michoacano, comprende dos cuencas íntegramente, y parciales de otras cuatro.” (INEGI, Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán: 42)

Por sus características geológicas, la región cuenta con el cauce del Río Balsas, que inicia aproximadamente a unos 15kms aguas arriba del poblado de Zirándaro, el cual abarca más de la mitad de la presa “El Infiernillo” y que concluye en la desembocadura del Balsas, esto en la Bahía de Petacalco.

4.6. Clima

El clima es muy variado en la región, pues se ve influenciado por aspectos naturales que provocan variantes climatológicas, factores como las grandes diferencias altimétricas que en esta zona van desde el nivel del mar (en las llanuras costeras), hasta 2,800 metros (en las sierras), debido a esto se originan condiciones de temperatura que pueden ser desde cálidas hasta templadas, el clima varía en función de la altitud, mientras más cercano a la costa se encuentre más húmedo se presenta el clima y conforme se avanza al norte del estado este pasa a ser seco. Por la barrera que constituye la Sierra Madre, esto quiere decir que la cadena montañosa bloquea los vientos provenientes de la costa, lo que produce sequía en el clima.

La región de Infiernillo presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, semiseco muy cálido y cálido, seco muy cálido y cálido, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, va desde 18° hasta los 30°C.

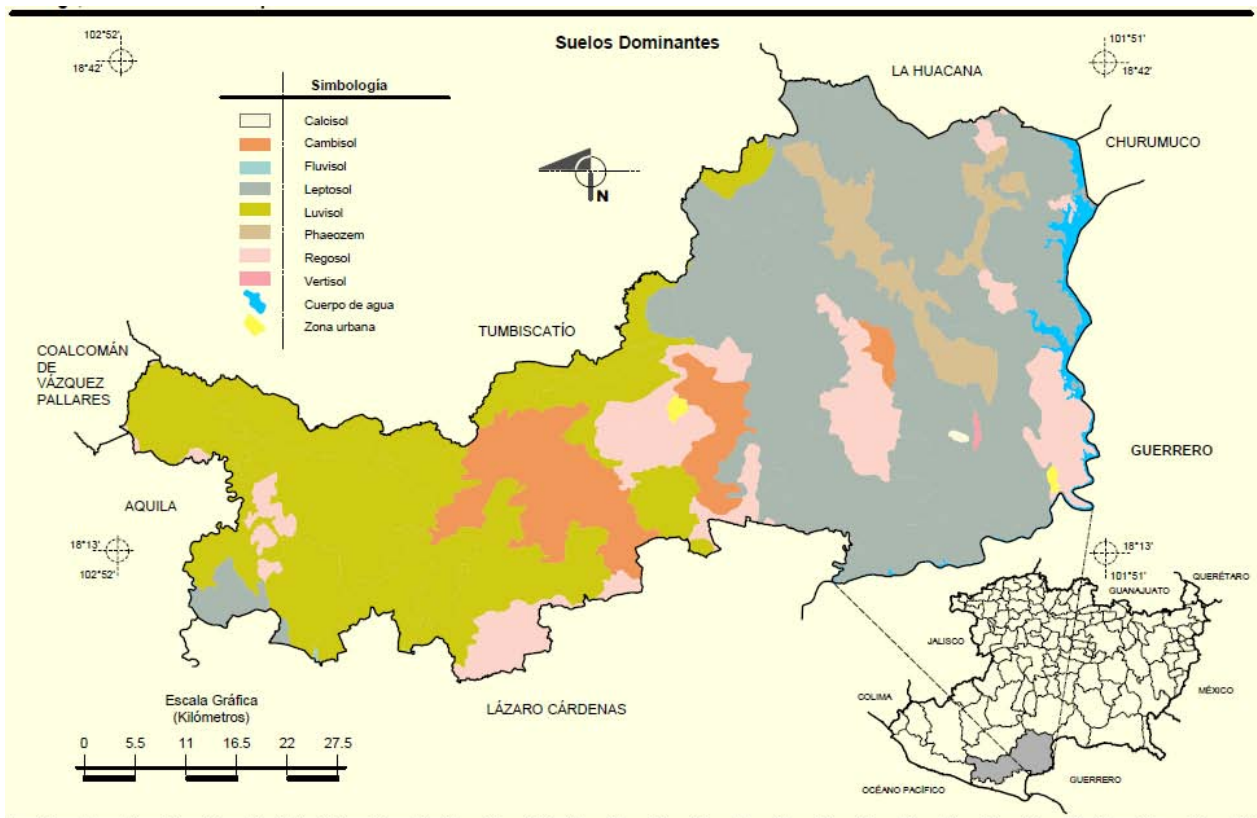


Mapa de los climas de la región en estudio.

Fuente: INEGI

4.7. Edafología

Según la Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en lo que refiere a la edafología de la zona, se sabe que el suelo dominante se compone de diferentes elementos como son, Leptosol, Luvisol, Regosol, Cambisol, Phaeozem, Vertisol, Calcisol y Fluvisol.



Mapa de los suelos dominantes de la región en estudio.

Fuente: INEGI

4.8. Población

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el año 2000 la localidad de Infiernillo contaba con 2,660 habitantes, de los cuales 51.13% eran del sexo femenino, mientras que el 48.87% eran del sexo masculino. Durante el

periodo 1995 – 2000 hubo una tasa de crecimiento del 4.3%. Esta localidad se encuentra dividida en tres partes principales: La Colonia, La Pitirela y el Campamento de La Comisión Federal de Electricidad, dichas regiones muestran significativamente las diferentes clases económicas y sociales, esto se debe principalmente a que en las instalaciones de la C.F.E. cuentan con todos los servicios necesarios mientras que en las otras dos regiones no cuentan con ellos.

Hablando específicamente de la Central Hidroeléctrica Infiernillo, laboran trabajadores sindicalizados y de confianza, dichos empleados no son originarios de la localidad, sino que provienen de distintas ciudades de la región Centro- Occidente, es decir el conjunto de los estados: Michoacán, Jalisco y Nayarit, esta es la forma en que se denomina a la región dentro de la Comisión Federal de Electricidad, cabe mencionar que cierta minoría son empleados originarios de la localidad de Infiernillo.

Las principales actividades desarrolladas en esta zona son principalmente dos:

- Laborar en la Central Hidroeléctrica “Infiernillo”.
- La pesca.

Entre algunas otras actividades se encuentran el comercio en pequeña escala, venta de alimentos, en su mayoría alimentos provenientes del mar, mismos que los pescadores han extraído.

4.9. Microlocalización



Imagen 4.2. Vista del relieve montañoso de la región, foto desde la carretera.

Fuente: propia

Por su relieve montañoso la región presenta desniveles considerables, mismos que favorecen la existencia de causes e inundaciones en las vías terrestres, por tal motivo el gobierno de México ha implementado un sistema de carreteras y puentes que permiten una comunicación entre comunidades y ciudades considerablemente más eficiente, permitiendo que los viajeros ahorren tiempo en el transcurso a su destino, así como otorgándoles caminos más seguros y mejor diseñados.



Imagen 4.3. Vista de una de las carreteras que cuenta con uno de los puentes mismos que conforman el sistema de vías terrestres.

Fuente: propia



Imagen 4.4. Vista de la estructura metálica de un puente, tomada desde el interior del mismo.

Fuente: propia

4.9.1. Campamento “El infiernillo”

Se le nombro así al conjunto habitacional que la Comisión Federal de Electricidad edifico cerca de la C.H. Infiernillo, el objetivo de este era hospedar al personal que laboraría en la central, ingenieros eléctricos y civiles, personal de mantenimiento, seguridad física, intendencia, así como las familias de ellos.

4.9.1.1. Viviendas

Era necesario contar con todos los servicios básicos que una comunidad necesita, pero más aun eran necesarias casas con servicios de agua potable, energía eléctrica, televisión, cocina, gas, entre otros. Así como también era necesario contar con habitaciones que hospedaran a personal que estaría de visita en la central por motivos laborales.



Imagen 4.5. Vista exterior de las habitaciones de visitas.

Fuente: propia

4.9.1.2. Vías terrestres

El campamento cuenta con un sistema de vías terrestres que permite el fácil acceso del personal a las diferentes áreas e instalaciones del mismo, diseñado para el flujo ideal de vehículos que las personas emplean día a día, cuenta con una red hidráulica que mantiene las calles libres de inundaciones, sistemas de topes y reglamento de tráfico que controla y mantiene seguras a las personas de accidentes por excesos de velocidad o malos conductores.

La implementación de elementos como áreas verdes, alumbrado público, señalamientos, contenedores de basura, entre otros, favorece al confort de las personas que habitan el complejo habitacional.



Imagen 4.6. Vista exterior de las calles que conforman el campamento.

Fuente: propia

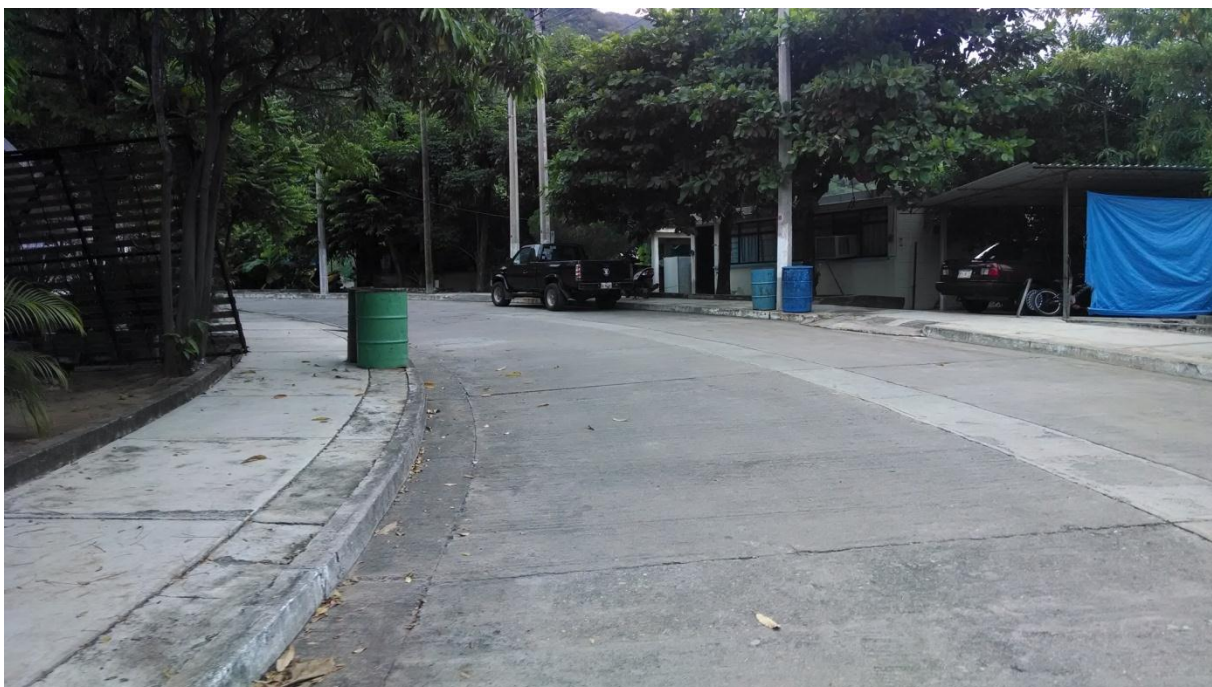


Imagen 4.7. Vista exterior de las calles que conforman el campamento, así como algunos de los vehículos que trafican por ellas y los contenedores de basura del campamento.

Fuente: propia

Parte muy importante de la C.F.E. es la cultura ambiental y el respeto, es decir, el contribuir al medio ambiente limpio es un valor básico en cada uno de sus empleados, es por esto que los reglamentos del campamento incluyen la limpieza del mismo, inculcando a sus habitantes a la separación de la basura, así como el reciclado de materiales.

4.9.1.3. Otros servicios del campamento

Con la intención de mejorar la calidad de vida de los habitantes del campamento, la CFE implemento servicios que beneficiaran el desarrollo de su comunidad, tal es el caso de servicios como: instalaciones deportivas entre ellas canchas para practicar los deportes de voleibol, futbol, beisbol, basquetbol y alberca, instalaciones educativas como primaria y kínder para las futuras generaciones, comedor y un mini supermercado.



Imagen 4.7. Vista de la cancha de beisbol y futbol del campamento.

Fuente: propia



Imagen 4.7. Vista de la alberca del campamento.

Fuente: propia

4.9.2. Microlocalización de la obra en estudio

La distribución de la C.H. Infiernillo es muy compleja, por tal motivo se abordara específicamente la localización de la obra de excedencias.

La obra en estudio como se menciona es el sistema de obra de excedencias, ubicado en un costado del vaso, edificado superficial y subterráneamente, es decir los canales de acceso se encuentran en contacto con la superficie del agua almacenada, mientras que los túneles vertedores se ubican dentro de la montaña, cruzando todo su espesor hasta conectar con el cauce natural aguas abajo.



Imagen 4.8. Vista de la cortina de materiales graduados en la C.H. Infiernillo.

Fuente: propia



Imagen 4.8. Vista desde la corona de la cortina, desde donde se puede observar el campamento.

Fuente: propia



Imagen 4.9. Vista panorámica desde la corona de la cortina hacia el vaso, obra de excedencias y obra de toma de la presa de izquierda a derecha.

Fuente: propia



Imagen 4.10. Vista de la brecha que conduce hacia la estructura terminal, al costado cauce natural de descarga.

Fuente: propia



Imagen 4.11. Vista satelital de la C.H. Infiernillo.

Fuente: Google earth

CAPITULO 5

METODOLOGÍA

En este capítulo se tratara el tema de la metodología como un proceso conformado por pasos orientados a cumplir una meta, se abordaran temas como la definición general, el método matemático, tipos de diseño de investigación, descripción del proceso de investigación entre otros temas referentes al tema.

5.1. Definición de metodología

El concepto metodología (proveniente del griego) se refiere a una serie de pasos o a un procedimiento que se utiliza para llegar a una meta o fin, que en este caso aplica para una investigación de carácter científico, en otras palabras este concepto también se puede definir como la elección de un método para realizar algún objetivo o tarea.

5.2. Método científico

Se entiende como Método científico al procedimiento utilizado para descubrir las condiciones en que se presenta algún suceso o sucesos en específico, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de riguroso razonamiento y observación empírica.

Lo importante y fundamental del método científico es el determinar el procedimiento para demostrar que un enunciado es así, partiendo de una interpretación objetiva. El método científico rechaza o elimina todo procedimiento que trate de manipular la realidad de una forma caprichosa, tratando de imponer ya sea

prejuicios, creencias o deseos que no se ajusten a un control adecuado de la realidad y de los problemas que se están investigando.

Los elementos fundamentales del método científico son los conceptos y las hipótesis.

Los conceptos son abstracciones creadas a partir de impresiones o percepciones de los sentidos y experiencias, un concepto no se debe considerar como fenómenos en sí, pues el concepto no es el fenómeno. El proceso de conceptualización consiste en abstraer y generalizar impresiones de los sentidos. Esto es función del pensamiento.

Los conceptos deben ser comunicables, es decir que deben ser construidos de manera que se conozca todas sus características. Por lo tanto todo estudiante deberá poseer un vocabulario científico que sea adecuado para la comprensión de los conceptos propios de su campo de estudio.

Las hipótesis es lo que nos indica que estamos buscando, es una proposición que puede ser puesta a prueba para determinar su validez. Las hipótesis tienen que ser conceptualmente claras, es decir los conceptos deben estar claramente definidos, ninguna hipótesis debe llevar a juicios morales, todas las operaciones y predicciones deben estar bien expresadas, en una forma específica y no general, por último el teórico debe conocer cuáles son las técnicas disponibles para someter su hipótesis a prueba.

En el método científico se da el pensamiento reflexivo y en este a su vez se dan cinco etapas para resolver problemas.

Percepción de una dificultad: El individuo se encuentra con algún problema que lo preocupa o no puede explicar un acontecimiento inesperado.

Identificación y definición de la dificultad: El individuo realiza observaciones que le permiten definir su dificultad con más precisión.

Soluciones propuestas: El individuo formula posibles soluciones a cerca de posibles soluciones del problema.

Deducción de las consecuencias de las soluciones propuestas: El individuo llega a la conclusión de que si cada hipótesis es verdadera le siguen ciertas consecuencias.

Verificación de la hipótesis mediante la acción: El individuo pone a prueba cada una de las hipótesis.

Las características del método son:

Es factico: tiene una referencia empírica.

Trasciende los hechos: va más allá de las apariencias.

Verificación empírica: Se vale de la verificación empírica para formular respuesta.

Auto correctivo: va rechazando o ajustando las propias conclusiones,

Formulaciones de tipo general: La cosa en particular o el hecho singular interesa en la medida en que este es un miembro de una clase o caso de una ley.

Es objetivo: La objetividad no solo es lograr el objeto, sino evitar la distorsión del sujeto.

Los investigadores emplean el método científico para resolver diversos tipos de problemas. Este método es usado para lograr nuevos conocimientos.

5.2.1. Método matemático

El método matemático es empleado sin darnos cuentas de que aplicamos un procedimiento científico, comparamos cantidades para obtener nociones de importancia, valor económico y capacidad.

Otra forma usual es la comparación. Es decir en las se tratan temas de cambios graduales, referencias de tiempo, análisis de unos factores por otros, se está aplicando el método comparativo.

5.3. Enfoque de la investigación

Dentro de los procesos de investigación, como uno de los primeros pasos para llevarla a cabo es saber cuál es el rumbo que la daremos al estudio, en el cual existen dos tipos de enfoque hacia los cuales nos podemos dirigir, que son el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo, y que a continuación se definirán cada uno de ellos:

Enfoque cuantitativo: “Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.”

Enfoque cualitativo: “Utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación”

Después de conocer los significados de cada uno de estos enfoques, podemos determinar que en la presente investigación abordaremos el enfoque cuantitativo, las principales características de este método son por ejemplo que son secuenciales y probatorios, es decir, que los pasos que se van desarrollando deben de tener un cierto orden, sin saltar pasos , se va adentrando poco a poco dentro de la investigación planteando preguntas de investigación, para luego establecer alguna serie de hipótesis que posteriormente se trataran de verificar mediante pruebas reales.

La investigación presente se basa en los principios del enfoque cuantitativo, debido a que en él se analizarán estudios e hipótesis ya realizadas, para después, en base al análisis y la observación definir cuáles son los problemas existentes, y de esta manera, a través de métodos numéricos poder darles solución a dichos problemas

5.3.1. Alcance de la investigación

Ya habiendo definido con que enfoque se trabajará, en este caso el cuantitativo, el siguiente paso es elegir qué tipo de alcance tendrá esta investigación, los cuales se dividen en cuatro tipos, que son: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. El alcance descriptivo es el que se llevara a cabo en esta investigación, y su principal objetivo es: “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.”

La razón por la que se utilizará este tipo de alcance, se debe a que se observará y se analizará los fenómenos que se puedan presentar, sin adentrarse a saber cuál es la causa o motivo que lo provoca y determinar cuál es la relación que existe, simplemente se tratará de mencionar las características que posee, así como sus propiedades.

5.4. Tipo de diseño de investigación

El siguiente paso, consiste ahora en determinar cuál es el tipo de diseño en el que se basará esta investigación, para esto primero se mencionará el significado de diseño que se define como: “plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación”, en otras palabras, es por cual camino o rumbo es por el que le queremos dar cauce a la investigación y establecer de qué manera nos haremos llegar la información.

Dentro de los tipos de diseño de investigación que se conocen, se clasifican en dos principalmente, estamos hablando del diseño no experimental y el experimental, el primero de ellos se define de la siguiente forma: “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”, y a su vez dentro de este tipo de diseño nos encontramos con una segunda clasificación que se refiere si son del tipo transversal o transeccional y que se seleccionara un poco más adelante, mientras que un diseño experimental está basado en hacer pruebas manipuladas intencionalmente para poder observar qué reacción puede tener el objeto en estudio y llegar a una conclusión de resultados.

Esta investigación es de carácter no experimental, ya que el trabajo tendrá como objetivo principal el observar, analizar, evaluar, así como determinar cuáles son las acciones que se deberán tomar para poder solucionar el problema establecido, y no se tratará de implementar alguna nueva técnica o método para su resolución o hacer pruebas distintas a las ya realizadas.

5.4.1. Investigación transeccional

Como se había mencionado anteriormente, un diseño no experimental se puede clasificar en dos tipos, que son el transversal o transeccional y el longitudinal, y el caso que aplica para esta ocasión es el primero de ellos, o sea, el transversal o transeccional, que una de sus principales características es que son: “investigaciones que recopilan datos en un momento único”, esto quiere decir que la investigación se hace en un momento determinado para poder conocer cuál es la situación en que se encuentra, o cuál es su estado en la actualidad y determinar qué es lo que está causando que algún fenómeno esté actuando sobre lo que estamos analizando.

Para este caso se utiliza una investigación, de la ya mencionada, las causas son porque se realizara en un tiempo determinado solamente, posteriormente se revisara y analizará los resultados, para después llegar a una conclusión y solucionar el problema.

5.5. Instrumentos de recopilación de datos

Autocad: Software de computadora que nos auxilia en la elaboración y diseño de dibujos en dos y tres dimensiones, mismos que pueden ser del tipo estructural, hidráulico, arquitectónico y entre otros. Por sus capacidades de edición es uno de los

programas más utilizados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales, entre otros.

Microsoft Excel: Software de computadora basado en una hoja de cálculo que nos facilita la elaboración de cálculos de diversos tipos, ahorrando gran cantidad de tiempo por su capacidad para procesar formulas de cualquier grado y realizar grandes operaciones matemáticas y a su vez nos permite gestionar listas y bases de datos.

Microsoft Word: Software de computadora que nos permite procesar textos en formato de hojas de diferentes tamaños, brindando una gran facilidad en la elaboración de documentos y nos permite diseñar la presentación de cada hoja y así lograr una mejor calidad en nuestros documentos.

5.6. Descripción del proceso de investigación

Para la elaboración de esta investigación se realizó un proceso necesario para llegar a los resultados que se pretendía obtener desde el inicio de la misma. Se comenzó por el reconocimiento del sitio, valorando las características como son: condiciones climatológicas del lugar, las características principales de la presa como lo son la capacidad de almacenamiento del vaso de esta, los niveles de agua contenida, condiciones a las que se ve sometido el vertedor, procedimientos de mantenimiento empleados anteriormente, así como la revisión general del proceso de construcción, con la finalidad de idealizar el estado actual del vertedor, para elegir la opción más adecuada del proceso de mantenimiento y lograr una mayor eficiencia en su funcionalidad.

CAPÍTULO 6

CALCULO, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

A continuación se profundizará en el proceso de mantenimiento de los vertedores de la C.H. Infiernillo, Michoacán. Con el objetivo de explicar en qué consiste el proceso y determinar si es el adecuado, de no ser así se buscarán posibles alternativas para mejorarlo.

6.1. Generalidades

El proceso del mantenimiento de los vertedores depende directamente del periodo de uso y el gasto que se descarga por medio de estos, que a su vez varía de acuerdo a la cantidad de agua que recibe por las aportaciones provenientes de escurrimientos por lluvia que la cuenca hidrológica del Rio Balsas capta, comprendida por los estados de Michoacán, Guerrero, Jalisco, Estado de México y Tlaxcala, agregando a esto vertido de cuerpos de almacenamiento localizados aguas arriba que descargan en el rio mencionado. Estas condiciones definen el tiempo que se va a operar el vertedor, si este es usado por periodos prolongados el daño de la estructura será mayor, pero si es usado durante menos tiempo los daños serán menores de tal manera que no requiera un mantenimiento correctivo inmediato.

Según el historial de la C.F.E. se ha visto en la necesidad de operar los vertedores en cuatro ocasiones (1984,1998, 2005, 2010) y la más reciente ocurrida en el presente año (Septiembre del 2013), registrándose como el fenómeno más crítico que se ha presentado en la central, debido a la presencia de dos fenómenos

meteorológicos denominados “Ingrid” y “Manuel”, mismos que afectaron tanto las costas del Golfo de México como del Océano Pacífico, debido a esto se alcanzaron niveles récord en los registros que ya se tenían, alcanzando el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) de la presa y obligando la operación de las compuertas para iniciar el vertido a través de los túneles.

El mantenimiento que se le aplica al sistema de obras de excedencias, mismo compuesto por compuertas de acero en la entrada, túneles vertedores de roca revestidos de concreto, y cubeta deflectora de concreto en la salida, es variable pues presentan diferentes tipos de desgaste como lo son la oxidación en las compuertas, la erosión por la presión del agua principalmente en el codo del túnel que tiene una inclinación de 45°- 50° y en la cubeta deflectora en la salida del túnel.



Imagen 6.1.1. Vista de la estructura de entrada de los vertedores (izquierda) y Obra de toma con rejillas naranjas (derecha).

Fuente: Propia.

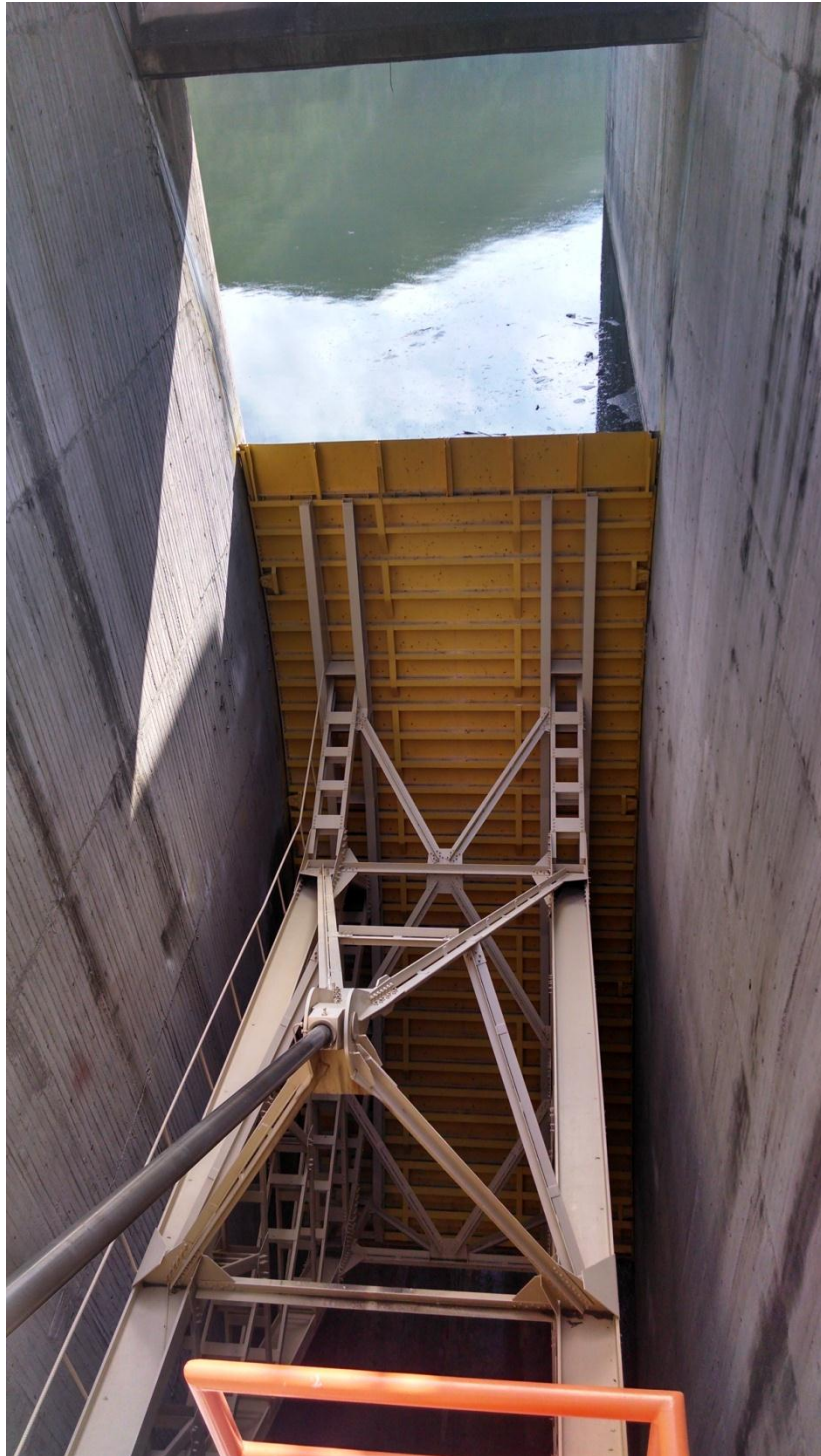


Imagen 6.1.2. Vista de una de las compuertas de un túnel vertedor.

Fuente: Propia.



Imagen 6.1.3. Vista de las 3 secciones de las compuertas del vertedor No 4.

Fuente: Propia.



Imagen 6.1.4. Vista del interior del codo del túnel vertedor de concreto.

Fuente Propia.



Imagen 6.1.5. Vista del túnel vertedor de concreto con daños por la última vez que se usó.

Fuente Propia.



Imagen 6.1.6. Vista interna del codo del túnel vertedor.

Fuente Propia.

6.2. Inspección y Evaluación de daños

Antes de iniciar con el proceso de mantenimiento es necesario ejecutar una inspección y evaluación de los daños ocasionados al verter agua por el sistema de excedencias. El proceso se elabora en diferentes etapas, iniciando con los tres diferentes tipos de inspección, que son: de rutina general, de rutina específica y especial.

Inspección de rutina general: Es un examen visual que se enfoca en la apariencia de las instalaciones, se realiza mensual o bimestralmente, la intención de esta inspección es conocer el estado en el que se encuentran los elementos de la obra de excedencias, así como saber el comportamiento que estas tengan, si este es correcto o si presenta deficiencias mismas que deberán ser corregidas. Permite identificar anomalías anticipadamente y prevenir daños permanentes.

Inspección de rutina específica: Este tipo se realiza dos veces por año, la primera inspección anual sirve para determinar el presupuesto anual de mantenimiento y la segunda se lleva a cabo antes de la época de lluvias, en estas se hace una inspección más detallada de todos los elementos del sistema de excedencias, como lo son compuertas, túneles y deflectores de los diferentes túneles. En esta inspección se busca evidencias de deterioro y fallas que puedan representar un riesgo para la estructura, funcionalidad y el personal.

Inspección de rutina especial: Este caso es utilizado después de operarse el sistema de excedencias por haberse presentado un evento extraordinario como lo fueron los ciclones “Ingrid” y “Manuel” en el 2013. Esta inspección tiene como principal propósito localizar los daños y determinar la gravedad de estos, así como determinar la prioridad de los daños a reparar, a su vez evalúa la capacidad de

servicio y las condiciones en las que se encuentra algún elemento, es necesario emplear personal y equipo especializado como lo son buzos, equipo para el sondeo de las compuertas, herramientas particulares según se requieran.

6.3. Mantenimiento aplicado a las compuertas del vertedor

Como se mencionó anteriormente, el sistema de excedencias de la C.H. Infiernillo está compuesto por diferentes elementos que trabajan para su correcto funcionamiento, uno de estos elementos son las compuertas de los túneles que impiden el paso del agua al interior de estos, controlan los derrames por avenidas sobre la cresta de vertedores así como la regulación del nivel de la presa, en esta central hidroeléctrica tienen la particularidad de apertura radial de abanico ascendente, es decir, abren hacia arriba del nivel de aguas, construidas con perfiles estructurales y láminas metálicas de forma curvas, cubiertas con epóxico, pueden tener o no guías de deslizamiento. Son impulsadas por motores de gatos hidráulicos que permiten su apertura, estos son operados desde un centro de mando que permite su total control.



Imagen 6.3.1. Vista de la sección de la compuerta tipo abanico y su estructura metálica.

Fuente: Propia.



Imagen 6.3.2. Vista del motor hidráulico que impulsa la compuerta y el brazo que la conecta.

Fuente: Propia



Imagen 6.3.3. Vista del medidor que indica el nivel de apertura de la compuerta

Fuente: Propia

pues es cuando se presentan niveles más bajos en la presa, lo que permite realizar este mantenimiento de una manera rápida y eficiente con el menor de los riesgos.

El acero que compone la compuerta está sometido a grandes empujes, por tal motivo es de suma importancia verificar que las soldaduras, uniones, anclajes y tornillos estén correctamente elaborados, en el estudio de estos elementos se emplea un dispositivo ultrasónico que permite identificar y localizar donde se encuentran las fallas, porosidades o malas conexiones entre estos elementos metálicos que pongan en riesgo la resistencia de una unión soldada.

6.3.1.1. Mantenimiento aplicado al motor hidráulico

En lo que refiere al motor hidráulico, también es cubierto con sustancia epóxica anticorrosiva que lo proteja contra la humedad del lugar, el brazo hidráulico requiere la aplicación de grasa a lo largo de su sección, esto con el fin de tenerlo lubricado adecuadamente y permitir el movimiento sin fricción y la correcta apertura de la compuerta.

6.3.1.2. Pruebas de apertura y cierre

Son las pruebas que monitorean el correcto cierre y apertura de las compuertas, en la C.H. Infiernillo se ejecutan antes de la temporada de lluvias. En estas pruebas se operan las nueve compuertas con el objetivo de confirmar un correcto funcionamiento y que estén en condiciones operables para la temporada de lluvias.

Se abren totalmente, su máxima apertura de 15 metros, posteriormente se cierra totalmente cada una de las compuertas para comprobar su funcionamiento, posteriormente se abren y se cierran totalmente las nueve compuertas simultáneamente, de esta forma se ha probado la parte eléctrica conformada por el

control de mando y la caseta de operación y la parte mecánica del sistema de compuertas conformado por los motores hidráulicos.

6.3.2. Mantenimiento correctivo en las compuertas

Este proceso de mantenimiento es primeramente clasificado según la magnitud de los daños, leve o moderado y severo o crítico. En la C.H. Infiernillo no se han presentado casos de daños severos, pues el mantenimiento preventivo ha sido aplicado adecuadamente impidiendo que se presentaran. Sin embargo se han presentado daños leves como presencia de oxidación en la sección de la compuerta que está en contacto con el agua, por tal motivo se vio la necesidad de emplear un mantenimiento correctivo leve conocido como “Sand Blast” (golpe de arena), que consiste en someter la sección, bajo un tratamiento en el cual se lanza arena fina con aire comprimido y que funciona como pulido del acero, eliminando la capa de oxidación en el elemento de acero y dejando únicamente el acero puro, por su efecto erosivo no se debe abusar de este método, pues sumado a la erosión de la oxidación y del tratamiento “Samblasteo” se provoca una reducción en la sección del perfil metálico, dejándolo vulnerable a los grandes empujes que soporta.

6.4. Mantenimiento aplicado al túnel vertedor

Los túneles vertedores son una obra de conducción de alta resistencia, encargados de encausar el agua que se necesita verter por exceder el nivel máximo de aguas extraordinarias, están contruidos en estratos rocosos y se revisten de concreto armado para soportar las altas presiones que el agua obtiene por el empuje del vaso y en la caída al interior del túnel vertedor.



Imagen 6.4.1. Vista de la entrada al túnel vertedor.

Fuente: Propia

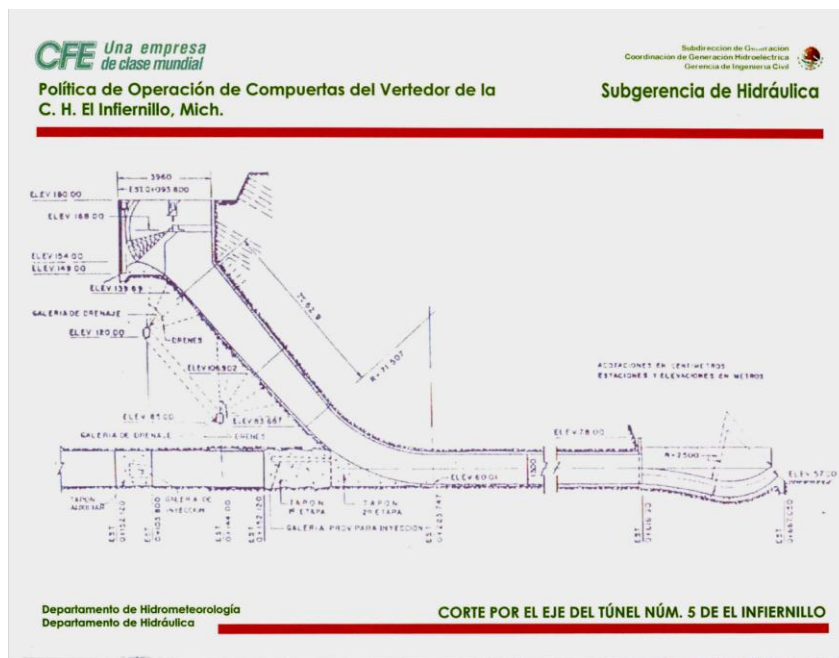


Imagen 6.4.3. Vista de perfil del túnel vertedor N°5.

Fuente Comisión Federal de Electricidad

6.4.1. Mantenimiento preventivo de los túneles vertedores

Como se menciona, el mantenimiento preventivo de las obras y elementos de la C.H. Infiernillo es aquel que se ejecuta para evitar un deterioro del elemento, pero

en el caso de los túneles vertedores por su complicado acceso este proceso es más simple, consiste en impedir que el agua se filtre a través de las guías de las compuertas, esto con el objetivo de evitar la presencia de agua en el interior de los túneles, misma que provoca por su filtración en el concreto la corrosión del acero presente en el concreto armado.

Dicho mantenimiento es denominado “calafateo” y se ejecuta posteriormente a la inspección de rutina especial, en este se utilizan materiales como estopa y colchoneta para sellar los espacios entre compuerta y guías de desplazamiento, el proceso es una tarea compleja en la cual participan personal especializado como son los buzos, encargados de sumergirse bajo el agua que está en contacto con la sección de la compuerta, una vez ahí, primeramente realizan una inspección del tipo especial, para conocer el estado y comportamiento del elemento y determinar la gravedad de las filtraciones y a su vez el material que se requiere para su “calafateo”.

Una vez determinado esto se prosigue a sellar los huecos con los materiales mencionados, la presión del agua ejercida sobre la compuerta es un factor importante en el proceso, pues favorece en la correcta colocación de colchonetas y estopa, logrando que estos materiales penetren los huecos y queden sellados.

El proceso de “calafateo” es también requerido para el mantenimiento correctivo del túnel, pues al ejecutar este, se busca la seguridad del personal que trabajara en el interior, así como facilitar y agilizar los avances de obras requeridos, logrando la ausencia de humedad se consigue un fraguado del concreto controlado por lo tanto permite garantizar la calidad de la obra.



Imagen 6.4.1.1. Vista de una de las compuertas del túnel calafateada.

Fuente: Propia

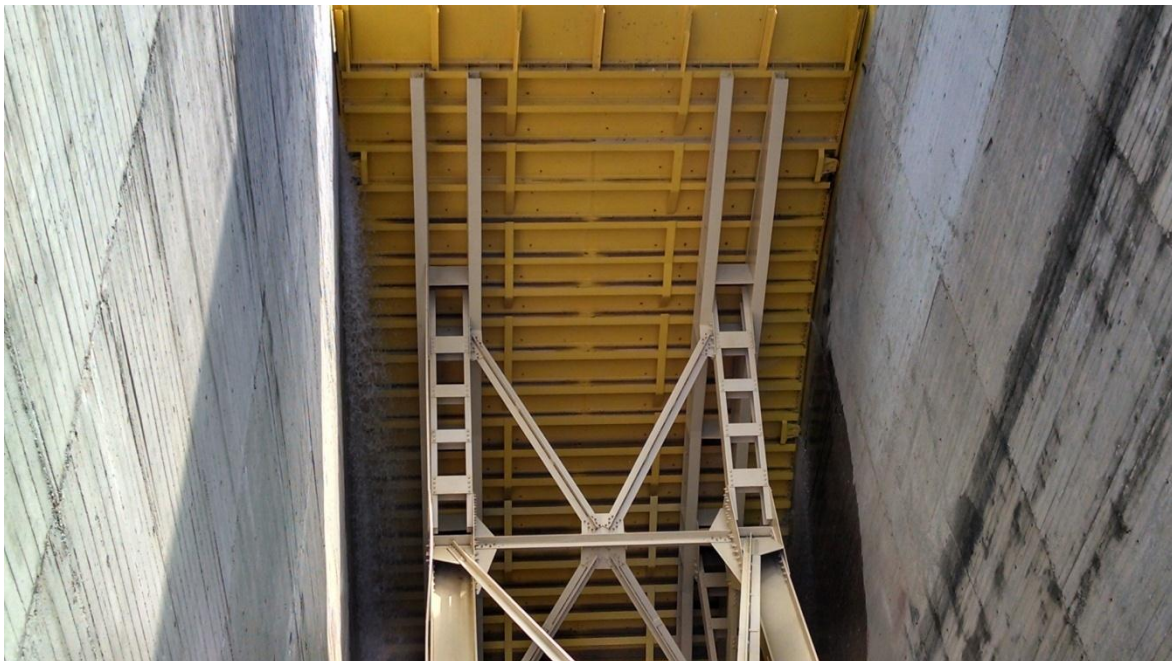


Imagen 6.4.1.2. Vista de las filtraciones laterales de agua en una compuerta antes de ser calafateada.

Fuente: Propia

6.4.2. Inspección

Previo al proceso de mantenimiento correctivo se realiza una inspección de rutina especial, en esta se debe acceder a los túneles vertedores, el objetivo es determinar y cuantificar los daños que se ocasionaron debido a la operación de los túneles. En este proceso participa personal especializado como son buzos, ingenieros civiles encargados de cuantificar volúmenes de daños, asistente de topografía y personal encargado de la seguridad, pues es un proceso de alto riesgo y para disminuirlo se realiza dicha inspección en periodos de estiaje, es decir cuando el nivel del vaso de la presa esta en los niveles más bajos, esto con el objetivo de no tener la necesidad de operar los vertedores y garantizar la seguridad del personal encargado de la ejecución de la inspección especial.

Una vez concluida la inspección, se evalúan los resultados y se determina la magnitud de los daños, el equipo encargado de la inspección presenta su reporte de daños, incluyendo reporte fotográfico.

6.4.3. Tipos de daños ocasionados a los túneles vertedores

Como se mencionó anteriormente, al operar la obra de excedencias la presión del agua vertida produce graves daños en diferentes secciones del túnel, desprendiendo el revestimiento del concreto de una forma diferencial, es decir, se pueden presentar daños graves en una sección del túnel mientras que en otras secciones se presentan daños de menor magnitud.

6.4.3.1. Desprendimiento de concreto y varilla de acero

La sección más crítica del túnel es el codo, pues este presenta un cambio de pendiente muy pronunciado, provocando el golpe al concreto más grave comparado con otras secciones del túnel. Los daños pueden ser tan graves que provoquen el corte y desprendimiento de las varillas.



Imagen 6.4.2.1. Vista de un desprendimiento de concreto y varilla en el interior del túnel.

Fuente: Propia

6.4.3.2. Desprendimiento de concreto

En otros casos los daños de la erosión son menores y solo producen erosión en las paredes del túnel, consumiendo el recubrimiento de concreto y dejando expuesto el acero sin llegar a desprenderlo.



Imagen 6.4.2.2. Vista de los efectos de la erosión del agua, acero expuesto.

Fuente: Propia.

6.4.3.3. Erosión profunda

Otro de los casos más graves que se han presentado es la socavación profunda, desplazando el concreto y el acero, llegando hasta los estratos rocosos, anteriormente el terreno natural de la obra.



Imagen 6.4.2.3. Vista de la socavación profunda, dejando el terreno natural de roca expuesto.

Fuente: Propia.

6.4.4. Mantenimiento correctivo aplicado a los túneles vertedores

Una vez obtenidos tanto los reportes como los cálculos de daños en los que se incluyen aéreas, cortes y volúmenes de daños, así como las profundidades y niveles a los que estos alcanzaron, se prosigue a elaborar el presupuesto para el mantenimiento correctivo de la obra, es decir reconstruir las paredes de los túneles, en este proceso se incluyen los trabajos de demolición, acarreo de materiales y escombros, anclaje, armado y colado de las nuevas paredes de los túneles.

6.4.4.1. Demolición

Este proceso consiste en romper por métodos mecánicos el material de las capas superficiales de las paredes del túnel que fueron dañadas, se emplea una retroexcavadora con martillo para remover el material, el objetivo es penetrar el concreto hasta llegar a capas sanas con acero intacto, es decir que no han sido dañadas, para poder anclar el acero nuevo con varillas ya existentes y que se encuentran en condiciones de servicio.

6.4.4.2. Anclaje

Es necesario barrenar, es decir perforar el concreto abriendo cavidades que permitan la entrada de las varillas nuevas y que sean ancladas, en este proceso se originan huecos o vacíos los cuales se deben sellar para que el concreto cumpla su función estructural y evitar fallas, los huecos son de dimensiones pequeñas, por lo tanto el concreto no tiene la capacidad de penetrar y sellar en su totalidad, por tal motivo se recurre al empleo de material especial, en este caso se utiliza un mortero epóxico autonivelante expansivo, mejor conocido como "Grout", este tiene la capacidad de resistir hasta 500kg/cm^2 , dicho material posee propiedades como una

consistencia fluida que le permite penetrar en los vacíos totalmente y por su propiedad de expansión sellarlos completamente.

6.4.4.3. Colado de las nuevas losas

La principal tarea del acero es dar una mayor estabilidad a las paredes que soportarán las altas presiones del agua, una vez anclado el acero nuevo con el viejo se prosigue con el colado de la nueva losa armada que constituirá la pared del túnel. Las losas de concreto tienen un grosor aproximadamente de un metro, debido a esto se requiere emplear varillas con diámetros desde tres cuartos de pulgada hasta una pulgada, esto permite que el túnel funcione estructuralmente para soportar las fuerzas y presiones a las que será sometido.

Las losas del túnel están construidas con concreto de alta resistencia ($f'c=350\text{kg/cm}^2$), pues como ya se mencionó su función estructural es soportar las cargas y presiones que se originan por la fricción del agua vertida en la operación de la obra de excedencias, el proceso de colado es el ordinario.

6.5. Mantenimiento aplicado a la cubeta deflectora

Como se mencionó anteriormente la cubeta deflectora o estructura terminal, tiene la misión de disipar la energía que el agua tiene al momento de ser vertida, esto con la finalidad de causar la menor cantidad de daño al sistema de excedencias en su etapa terminal.

En la C.H. Infiernillo la cubeta deflectora recibe los volúmenes de agua vertidos por los túneles vertedores y ocasiona el “salto de esquí”, debido a esta acción la cubeta se ve erosionada en gran magnitud, a tal grado de perder su cuerpo de concreto como sucede en el interior de los túneles vertedores.

6.5.1. Mantenimiento preventivo.

Como mantenimiento preventivo aplicado a la estructura terminal se empleó una sección de acero que proteja los bordes de la cubeta, con la intención de reducir y retardar la erosión en esta zona, pues es la más débil de la cubeta.

6.5.2. Mantenimiento correctivo.

Como consecuencia de la erosión, la cubeta pierde un porcentaje de su cuerpo de concreto, así como las secciones de acero que cubren los bordes, por tal motivo es necesario reconstruir el concreto destruido, empleando el mismo procedimiento usado en los túneles vertedores, calculando volúmenes y áreas con las distancias de los daños, permitiendo conocer el material que se requiere para su reconstrucción, el concreto utilizado tiene la misma resistencia ($f'c=350\text{kg/cm}^2$).

6.6. Conclusiones de resultados

A continuación se presenta una tabla con los diferentes elementos estructurales que conforman el sistema de obra de excedencias, el mantenimiento preventivo y correctivo que se emplea en ellos, intervalos de tiempo entre mantenimientos y una propuesta para mejorar el proceso de mantenimiento con el objetivo de mejorar la funcionalidad de la obra de excedencias.

ELEMENTO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	PERIODOS DE MANTENIMIENTO	PROPUESTA DE MEJORA
1.- Compuertas	Epóxico A7	Sandblast	7 a 8 años	Periodo de mantenimiento de 4 a 6 años.
2.- Motor hidráulico	Epóxico A7	Operación y lubricación	7 a 8 años	Periodo de mantenimiento de 4 a 6 años.
3.- Túnel vertedor	Calafateo de compuertas	Reconstrucción de las paredes dañadas	Después de cada operación	Es el ideal
4.- Cubeta deflectora	Secciones de acero en los bordes de la cubeta	Reconstrucción del concreto y reinstalación de las secciones de acero	Después de cada operación	Es el ideal

CONCLUSIÓN

Al final de esta investigación, después de todos los capítulos y temas anteriores, se llega a la etapa de las conclusiones en dónde estarán resumidas las partes y elementos más importantes que se abordaron a lo largo de esta investigación.

Se llegó a la conclusión de que un vertedor es un elemento que conforma a una central hidroeléctrica, pero más precisamente de la obra de excedencias, cuyo objetivo es controlar por medio de sus compuertas el nivel de agua que se almacena en el vaso de la presa.

La obra de excedencias es un conjunto de elementos, es decir, un sistema que trabaja en conjunto para poder verter el agua que supere el nivel del NAMO (Nivel de Aguas Máximas de Operación), las partes que lo componen son: compuertas, túneles vertedores y cubeta deflectora, cada uno con una función muy importante que cumplir.

Compuertas: las compuertas analizadas en esta investigación son del tipo radiales y su principal función es la regulación del nivel de agua de la presa, este dispositivo es operado mediante un control de mando que a su vez es el que activa tanto su apertura como su cierre a través de una serie de gatos hidráulicos, que hacen de esta maniobra, un trabajo de calidad y eficiencia en un corto período de tiempo.

Túneles vertedores: los túneles son los encargados de conducir el agua vertida, hacia un canal de salida, en este caso se encuentran bajo un cerro de roca, y

son revestidos con planchas de concreto reforzado de alta resistencia para poder soportar las fuerzas que genera el agua que pasa por este sitio.

Cubeta deflectora: este es el último elemento que conforma el sistema de obra de excedencias, su principal función es disipar la energía que posee el agua vertida, por medio de la generación de un salto de esquí, el cual evitará que existan socavaciones cerca de los túneles vertedores y conducirá el agua hacia un canal donde seguirá su curso.

Otro de los temas más importantes de esta investigación es la del mantenimiento aplicado al sistema de obra de excedencias para que se encuentre en óptimas condiciones, y de esta manera lograr la mayor eficiencia posible, el mantenimiento se puede dividir en dos diferentes tipos, que se clasifican de acuerdo al tipo de inspección, así como a los trabajos realizados, y que se describen a continuación:

Mantenimiento preventivo: este tipo de mantenimiento se dedica a realizar inspecciones, análisis de la información obtenida de los estudios, así como su diagnóstico y el trabajo de prevención que sean requeridos.

Mantenimiento correctivo: este se refiere principalmente a hacer inspecciones pero de una manera más específica, asimismo se encarga de llevar a cabo las reparaciones necesarias, y dependiendo de la magnitud del daño, se determinará si se ocupa un reemplazo parcial o total de algún elemento.

De acuerdo a la investigación que se realizó y se describió previamente, se pudo llegar a la resolución de la pregunta de investigación que se planeó al inicio,

que se formuló de la siguiente manera: ¿Es ideal el proceso de mantenimiento de la obra de excedencias de la Central Hidroeléctrica de Infiernillo, Michoacán?, cuya respuesta, está resuelta en el capítulo de Análisis e interpretación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Manual de diseño de Obras Civiles. (1981)

Comisión Federal de Electricidad

Manual de Mantenimiento de Obras Civiles

Comisión Federal de Electricidad

S. Merrit, Federick y Colaboradores. (2008)

Manual del Ingeniero Civil, Tomo II.

Ed. McGraw-Hill, 3ra Edición en español.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)

El Proceso de Investigación Científica.

Ed. Limusa, México.