



# **UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

**Escuela de Ingeniería Civil**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE ADJUDICACIÓN Y  
EJECUCIÓN DE UN TRATAMIENTO ANTICORROSIVO  
DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN DE LAS UNIDADES No.  
3 Y 4 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “LA VILLITA”.**

Tesis

que para obtener el título de Ingeniero Civil

Presenta:

**Hugo Alejandro Salgado Solís**

Asesor:

**Ing. Anastacio Blanco Simiano**

Uruapan, Michoacán, a 04 de Noviembre de 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **A Dios.**

*Por haberme dado su infinita bondad y amor, permitiéndome concluir esta fase, otorgándome la salud para lograr este importante objetivo.*

## **A mi padre (Q.E.P.D)**

*Por los ejemplos de formación, perseverancia y constancia que lo caracterizaron y que me infundo en mi vida, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor, todo esto te lo debo a ti.*

## **A mi madre**

*A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por creer en mí, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona con valores, pero más que nada, por su amor, cariño, confianza y formación.*

## **A mi esposa**

*Tu ayuda fue fundamental, has estado conmigo en los momentos felices y en los más turbulentos. Este proyecto culmina con el esfuerzo en el cual estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Te lo agradezco mucho amor y una vez más cumplimos el objetivo.*

## **A mi hijo**

*Tu cariño y tus risas son mi felicidad, por lo cual me esfuerzo en la búsqueda de lo mejor para ti. A tu corta edad me has enseñado entre muchas cosas a encontrar el lado dulce de esta vida y comprender a tus abuelos y darme la dicha de escucharte decir papa.*

### ***A mis hermanos***

*Aunque la mayoría de las veces parece que estemos en batalla, hay momentos que la guerra cesa y nos unimos y apoyamos en el logro de nuestros objetivos. Gracias por ayudar en mi formación, en los bellos momentos y en la culminación de este proyecto.*

### ***A mi asesor***

*Durante la realización de mi proyecto, usted fue mi guía en todo momento, con su ayuda logré un excelente trabajo el cual se lo debo a usted, muchas gracias.*

### ***A mi compadre***

*Por ser ese apoyo constante, por tus enseñanzas que me han ayudado a ser mejor persona y a mi desarrollo profesionalmente.*

# ÍNDICE

## Introducción.

Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo: .....	2
Pregunta de investigación.....	3
Justificación.....	4

## Capítulo 1 Centrales Hidroeléctricas.

1.1 Generalidades.....	5
1.2 Antecedentes.....	6
1.3 Funcionamiento Hidrológico.....	10
1.4 Presas.....	11
1.4.1 Presas de derivación.....	12
1.4.1.1 Canales de conducción.....	12
1.4.1.2 Compuerta de admisión al canal.....	13
1.4.1.3 Limnígrafos.....	13
1.4.1.4 Toma de conducción a superficie libre.....	14
1.4.1.5 Estructura colectora.....	14
1.4.1.6 Tanque de reposo.....	15
1.4.1.7 Desarenadores del canal.....	16
1.4.1.8 Camino canalero.....	17
1.4.2 Presas de embalse.....	17
1.4.2.1 Clasificación de presas de embalse.....	18
1.4.2.1.1 Presas de tierra.....	19
1.4.2.1.2 Presas de enrocamiento.....	20
1.4.2.1.3 Presas de tierra y enrocamiento.....	22
1.4.2.1.4 Presas de hormigón armado.....	22
1.4.2.2 Vaso de almacenamiento.....	23
1.4.2.3 Obras de desvío.....	24
1.4.2.4 Obras de excedencia.....	24
1.4.2.5 Obras de toma.....	25

1.4.2.6 Turbinas.....	26
1.4.2.7 Pozos de oscilación.....	28
1.4.2.8 Tuberías de presión. ....	28
1.4.2.9 Válvulas de aire. ....	30
1.4.2.10 Válvulas de alivio.....	30
1.4.2.11 Compuertas obra de toma. ....	31
1.5 Mantenimiento a centrales hidroeléctricas. ....	31
1.5.1 Mantenimiento de obras civiles a casa de máquinas.....	32
1.5.2 Inspección y evaluación.....	34
1.5.2.1 Inspección de rutina general. ....	34
1.5.2.2 Inspecciones de rutina específica. ....	35
1.5.2.3 Inspecciones especiales.....	35
1.5.3 Mantenimiento preventivo.....	36
1.5.3.1 Elementos de concreto. ....	36
1.5.3.1.1 Columnas, trabes, losas y muros.....	36
1.5.3.2 Elementos de acero. ....	37
1.5.4 Mantenimiento correctivo.....	39
1.5.4.1 Elementos de concreto. ....	39
1.5.4.2 Elementos de acero.....	40

## **Capítulo 2 Tratamientos anticorrosivos.**

2.1 Fundamentos de corrosión.....	42
2.2 Proceso de la corrosión.....	44
2.3. Principios electroquímicos de la corrosión. ....	46
2.4 Métodos para el control de la corrosión.....	48
2.4.1 Uso de aleaciones resistentes.....	48
2.4.2 Protección catódica. ....	50
2.4.2.1 Protección catódica de corriente impresa. ....	50
2.4.2.2 Protección catódica con ánodos de sacrificio.....	51
2.4.3 Protección anódica.....	52
2.4.4 Alteración del medio.....	53
2.4.5 Uso de materiales no metálicos.....	53
2.4.6 Diseño.....	53

2.4.7 Purificación del metal .....	54
2.4.8 Tratamientos anticorrosivos.....	54
2.5 Proceso para aplicación de tratamientos anticorrosivos. ....	56
2.5.1 Preparación de Superficies.....	56
2.5.1.1 Limpieza con solventes.....	57
2.5.1.2 Limpieza con detergentes.....	59
2.5.1.3 Limpieza con agua. ....	59
2.5.2.1 Preparación manual. ....	59
2.5.2.2 Preparación motorizada.....	60
2.5.2.3 Preparación con abrasivos a presión. ....	60
2.5.2.4 Preparación con agua a presión. ....	65
2.5.2.5 Preparación con agua a ultra presión.....	65
2.5.2.5 Preparación con agua a ultra presión con abrasivos. ....	65
2.5.2.6 Preparación química. ....	66
2.5.3 Selección de superficie patrón. ....	66
2.5.4 Procedimiento de preparación de superficies. ....	68
2.5.5 Aplicación de recubrimientos.....	69
2.5.6 Selección de métodos para la aplicación de recubrimientos.....	69
2.5.7 Condiciones para la aplicación.....	71
2.5.8 Almacenamiento. ....	72
2.6 Control de calidad.....	73
2.6.1 Control de calidad en el producto.....	73
2.6.1.1 Muestreo. ....	73
2.6.1.2 Pruebas de aceptación. ....	74
2.6.1.3 Aceptación o rechazo.....	74
2.6.2 Control de calidad en la aplicación de Sistemas de Recubrimientos. ....	74
2.6.2.1 Aceptación o rechazo.....	76
2.6.3 Supervisión de la aplicación de los recubrimientos. ....	77
2.6.4 Material y equipo. ....	77
2.6.5 Supervisión de la aplicación de primario, intermedio y acabado. ....	78
2.6.5.1 Aceptación o rechazo.....	86
2.7 Supervisión Posterior Periódica. ....	87

### **Capítulo 3 Macro y microlocalización.**

3.1 Generalidades.....	88
3.1.1 Objetivo.....	89
3.1.2 Alcance de proyecto.....	89
3.2 Resumen ejecutivo.....	89
3.3 Entorno geográfico.....	90
3.3.1 Macro localización.....	90
3.3.2. Micro localización.....	91
3.4 Geología regional y de la zona de estudio.....	92
3.4.1 Geología de empotramientos.....	94
3.4.2 Geología del vertedor.....	95
3.5 Hidrología.....	96
3.6 Reporte fotográfico.....	98
3.6.1 Descripción de la presa.....	98
3.6.1.1 Cortina.....	99
3.6.1.2 Instrumentación de la cortina.....	102
3.6.1.3 Obra de excedencias.....	103
3.6.1.4 Casa de máquinas y subestación.....	106
3.6.1.5 Obra de toma para generación de energía eléctrica.....	107
3.7 Inspección física de la estructura.....	109
3.8 Alternativas de solución.....	109

### **Capítulo 4 Metodología y análisis de resultados.**

4.1 Método empleado.....	110
4.1.1 Método matemático.....	111
4.2 Enfoque de la investigación.....	112
4.2.1 Alcance de la investigación.....	113
4.3 Diseño de la investigación.....	113
4.3.1 Investigación Transeccional o Transversal.....	114
4.4 Instrumentos de recopilación de datos.....	114
4.5 Descripción de la investigación.....	115

## **Capítulo 5 Cálculo, análisis e interpretación de resultados.**

5.1 Generalidades.....	116
5.2 Inspección.....	118
5.3 Mantenimiento interior.....	120
5.4 Procedimiento para el Mantenimiento de Sistemas de Recubrimientos Anticorrosivos. .....	121
5.5 Inspección dentro de la tubería.....	123
5.6 Especificaciones de trabajo.....	125
5.6.1 Características de los materiales y equipo.....	128
5.6.2 Conceptos de trabajo.....	129
5.6.2.1 Preparación de la superficie a metal blanco (CFE-PAB).....	129
5.6.2.1.1 Descripción.....	129
5.6.2.1.2 Disposiciones particulares.....	129
5.6.2.2 Aplicación de acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27).....	130
5.6.2.2.1 Descripción.....	130
5.6.2.2.2 Disposiciones particulares.....	130
5.6.3 Programa de obra.....	132
5.7 Convocatoria y dictamen.....	134
5.7.1 Invitación.....	135
5.7.2 Visita al Sitio y Junta de Aclaraciones.....	135
5.7.3 Acto de Presentación y Apertura de Proposiciones.....	135
5.7.4 Evaluación.....	136
5.7.5 Resultado.....	136
5.8 Procedimiento constructivo.....	137
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>146</b>

## **ANEXOS**

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Se entiende como corrosión al deterioro que sufren los metales a consecuencia de un ataque electroquímico en su entorno, la velocidad con que ocurre este fenómeno se debe a algunos factores como la temperatura, la salinidad del medio y las propiedades de los materiales en cuestión, entre ellos puede mencionarse los procesos de desgaste por fricción, erosión o por diversos factores mecánicos, por lo que se debe de implementar un método de retrasar este proceso para poder prolongar la vida de las estructuras metálicas

Los primeros metales empleados fueron los que fácilmente pueden reducirse al estado elemental, o bien los que se encuentran en estado natural; por esta condición estos metales no pasan fácilmente al estado combinado y en consecuencia, su corrosión no ocasiona notables problemas. Con la introducción del uso del hierro, se alcanza la verdadera magnitud del problema de la corrosión.

Un recubrimiento anticorrosivo es un material que se aplica sobre una superficie, con la finalidad de aislarla y protegerla de la acción de un proceso de degradación llamada de la corrosión, aislándola del medio ambiente que la rodea.

Se realizó una investigación en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C., donde no se encontraron tesis que tengan una relación directa con el tema de "Recubrimientos Anticorrosivo". Por lo que la presente investigación será la primera en la rama de recubrimientos anticorrosivos.

## **Planteamiento del problema.**

La Central Hidroeléctrica José María Morelos “La Villita”, se encuentra en una zona climática cálido subhúmedo, de acuerdo con la clasificación de zonas climáticas de CFE D8500-01, el cual se refiere a un clima tropical, con temperatura media mayor de 26° C en verano y (22 a 26) ° C en invierno. Tiene lluvias todo el año con precipitaciones pluviales de (2000 a 4000) mm en invierno y mayores a 4000 mm en verano. Lo cual ocasiona con frecuencia problemas de corrosión en las estructuras metálicas, por lo que mediante un mantenimiento preventivo se ve la necesidad de realizar una licitación de tratamientos anticorrosivos, para así poder prevenir el deterioro de las estructuras metálicas en la central, cuidando que los tratamientos se adapten a las necesidades de cada instalación así como su prioridad tomando en cuenta que sea o más económico posible y que cumpla con las normas establecidas por la CFE.

## **Objetivo.**

En la presente investigación se plantea como propósito principal el siguiente:

## **Objetivo general.**

Realizar el análisis detallado y describir la metodología para llevar a cabo el proceso de Adjudicación y ejecución para el Tratamiento Anticorrosivo de la Tubería de Presión de las Unidades No. 3 y 4 de la Central Hidroeléctrica “La Villita”.

Así mismo se presentan los objetivos específicos que se han de lograr con este trabajo de investigación:

**Objetivos específicos.**

- 1) Definir qué es la corrosión.
- 2) Definir los métodos para el control de la corrosión.
- 3) Mencionar cual es el método más común para el control de la corrosión.
- 4) Mostrar el procedimiento de Licitación de acuerdo a la normatividad, aplicable a la CFE.

**Pregunta de investigación.**

Los recubrimientos anticorrosivos son fundamentales para prolongar la vida útil de las estructuras metálicas, las cuales son fundamentales para el correcto funcionamiento de las centrales ya que se puede observar el gran uso de metales en las centrales como lo es en casa de máquinas, vertedores, subestación etc. Ante esto surge la siguiente duda:

¿Cuál es la metodología para llevar a cabo la licitación para ejecutar el tratamiento anticorrosivo en la tubería de presión de Unidades No. 3 y 4 para la Central Hidroeléctrica La Villita, tomando en cuenta la función operativa de la estructura, su ubicación y los agentes agresivos que la afectan y aceleran la corrosión, de acuerdo con las normas de CFE?

## **Justificación.**

Debe de considerarse que una parte fundamental para el desarrollo de un país es la generación de energía eléctrica, por lo que las centrales hidroeléctricas son una pieza esencial del país; sin embargo las centrales deben de tener un mantenimiento para prevenir incidentes que puedan afectarlas y posteriormente lleguen a la falla provocando una alta demanda de energía eléctrica o en algunos casos inundaciones; es por ello la importancia del estudio sobre este tema ya que se darán a conocer las diferentes normas, especificaciones y técnicas que maneja la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para obtener proyectos seguros, económicos y eficientes para poner satisfacer las necesidades dichas centrales.

El principal beneficio de esta investigación es que se brindará seguridad a la central hidroeléctrica, asegurando así su correcto funcionamiento, para en caso de presentarse algún desastre se pueda garantizar la seguridad de la presa, por lo tanto la población que se encuentre aguas abajo de esta, así como a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco, ya que es la primera en tratamiento anticorrosivo, por lo que la comunidad estudiantil será igualmente beneficiada, al investigador y a todos aquellos alumnos y personas que estén interesados en conocer el proceso que se lleva a cabo para poder realizar un tratamiento anticorrosivo.

# CAPÍTULO 1

## CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

En el presente capítulo se describirá el concepto básico de una central hidroeléctrica, su funcionamiento y evolución a lo largo de la historia, así como las obras auxiliares con las que esta debe de contar para poder tener un funcionamiento adecuado.

### 1.1 Generalidades.

De acuerdo con la CFE-Introducción a Centrales Hidroeléctricas (1995), se puede definir a una Central Eléctrica como el conjunto de equipos, máquinas y elementos de control, de protección, de maniobra, etc., cuyo fin principal es la producción de la energía eléctrica. En realidad, el nombre de Central Eléctrica es la abreviatura de “Central Generadora de Energía Eléctrica”, lo que se debe tener en cuenta para evitar confusiones.

“Se puede definir a una Central Hidroeléctrica (C.H.) como el conjunto de elementos destinados a utilizar la energía potencial del agua para transformarla en energía eléctrica”. (CFE-Introducción a Centrales Hidroeléctricas- Sección II; 1995:1).

Para poder realizar la generación de energía eléctrica las Centrales Hidroeléctricas, aprovechan el agua que proviene de los ríos a los que se interrumpe su curso para almacenarla en gran volumen y transportarla posteriormente mediante canales, túneles y tuberías y poder utilizar la energía de la caída formada entre el

embalse y la turbina, elemento básico de una C.H., para la generación de energía eléctrica que es una de las funciones principales de la C.F.E.

La energía hidráulica potencial existente en el salto de agua comprendido entre el nivel de la obra de toma y el de salida del agua en las turbinas (desfogue), sufre una serie de transformaciones a través de las obras de conducción y de las máquinas de generación eléctrica, como sigue:

- a) En energía cinética de traslación, en la conducción forzada que lleva el agua a las turbinas.
- b) En energía mecánica, por rotación de los órganos móviles de las turbinas.
- c) En energía eléctrica, en los alternadores (generadores) mediante la acción del campo giratorio sobre la armadura.

Según la página electrónica ([www.cfe.gob](http://www.cfe.gob)), la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 35.6 millones de clientes al mes de marzo del año 2015, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

## **1.2 Antecedentes.**

De acuerdo con la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976), el diseño y la construcción de presas en nuestro país ha sido acorde con la evolución de la tecnología y disponibilidad de equipo de construcción, en las diferentes épocas en que ésta actividad se ha llevado a cabo. Durante la época de la Colonia y el primer

siglo de México Independiente, el tipo predominante de presas es el de mampostería, un diseño completamente empírico.

A continuación se hará mención de los datos más relevantes de las Presas de México:

De acuerdo con ([www.cfe.gob](http://www.cfe.gob)), la generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil "La Americana". Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública.

Para 1889, operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica. Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México.

En el año de 1916, fue terminada la presa La Boquilla, en el río Conchos, Chihuahua. Es de concreto, con una altura de 70 m, la mayor del mundo en su época. En el año 1926, se construye la presa Calles; de tipo arco. Esta se construyó en el estado de Aguascalientes con una altura de 64 m, y longitud de corona de 283 m.

En el año de 1935, se inicia la construcción de una serie de presas muy importantes. Se tiene por ejemplo, la presa Álvaro Obregón (Palomas), construida en San Luis Potosí, con sección homogénea, de 32 m de altura y 344 m de longitud. En ese mismo año se construye la Presa Cointzio en el estado de Michoacán, de tierra con 46 m de altura y 300 m de longitud. En la construcción del terraplén de esta obra se emplea por primera vez un rodillo pata de cabra y se inicia el control de las terracerías usando la prueba Proctor.

Por más de cuarenta años, empresas privadas extranjeras instalaron pequeñas hidroeléctricas y comercializaron el producto en territorio mexicano.

El 14 de agosto de 1937, el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas del Río creó, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937).

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades.

Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xía (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora).

El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

En 1960, el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica. Por lo que en esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, como la presa Manuel M. Diéguez (Santa Rosa) en 1964, en el estado de Jalisco, con una altura de 114 m y 150 m de longitud, en ese mismo año se inicia la construcción de las Centrales Infiernillo y Temascal.

En 1969, entró en funcionamiento la presa de Malpaso en el estado de Chiapas, en 1973, La Villita, en Michoacán, 1975, La Angostura y en 1983, Chicoasén que es actualmente la más grande del país, ambas en el estado de Chiapas, en 1992, Aguamilpa-Solidaridad, en Nayarit, en 1993, Valentín Gómez Farías (Agua Prieta), en Jalisco, en 2007, Leonardo Rodríguez Alcaine (El Cajón), en Nayarit y en 2012, Ing. Alfredo Elías Ayub (La Yesca), en Jalisco, que es la última que se ha construido en México.

Actualmente se encuentra en ejecución el Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces, en el estado de Jalisco, el cual dió inicio en el año 2015.

### 1.3 Funcionamiento Hidrológico.

De acuerdo con la CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995), el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas, puede obtenerse según las condiciones del terreno como sigue:

- a) Por instalaciones en el propio cauce del río.
- b) Por instalación de un canal de conducción.
- c) Por instalación de canales y tuberías.
- d) Por instalación de vasos de almacenamiento.

Para poder generar la energía eléctrica el principio básico y fundamental de un desarrollo hidroeléctrico es el siguiente:

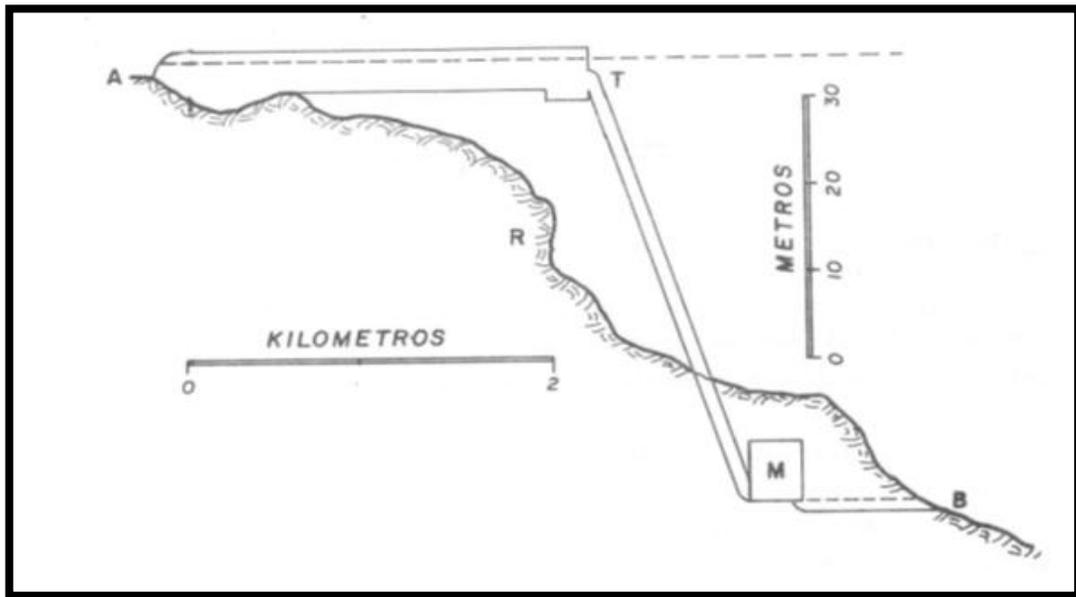


Figura 1.1. Esquema de generación eléctrica.

Fuente: CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995).

La figura No. 1.1., muestra el perfil de un río (R) que será utilizado para generación entre los puntos A y B, y el perfil de un grupo de instalaciones especiales para llevar el agua de A hasta B, pasando por el vaso de almacenamiento o tanque T y la máquina (turbina) M.

El agua que baja por R, va perdiendo continuamente su energía potencial sin ningún provecho, mientras la que llega a T por el canal de alimentación AT casi no ha disminuido su nivel ni su potencial.

De T a M el agua está contenida dentro de un tubo de acero y conforme disminuye la elevación del perfil del terreno aumenta su presión, por lo cual no hay más pérdida de energía que la ocasionada en la tubería y sus auxiliares por fricción, adherencia, cambios de velocidad, etc.

En M se transforma la energía de presión del agua en energía mecánica primero y energía eléctrica después, mediante una turbina y un generador y de M es llevada el agua por el canal de desfogue MB hasta el punto B, de donde sigue su ruta natural.

#### **1.4 Presas.**

De acuerdo con el autor CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995), se llama presa en general a una construcción que se levanta en el lecho del río para interrumpir su paso, y su función es producir una elevación del agua que permite su derivación, o bien, su almacenamiento para regular el caudal del río.

Por el objeto para el que están construidas, las presas se dividen en:

- a) Presas de derivación.
- b) Presas de embalse.

#### **1.4.1 Presas de derivación.**

“Las presas de derivación se construyen para elevar el nivel del agua, contribuyendo a crear el salto y siendo efecto secundario el almacenamiento del agua cuando lo requieran las necesidades de consumo” (CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas- Sección IV;1995:1).

Normalmente están disponibles para que el agua derrame por encima de ellas mediante vertedores.

Esta presa siempre es de gran sección, del tipo de gravedad, casi siempre sumergida y como la corona está diseñada para dar paso a las aguas excedentes que no entran a la conducción, el parámetro de aguas abajo debe estar calculado para amortiguar debidamente la energía cinética del derrame y evitar erosiones al pie de la presa.

##### **1.4.1.1 Canales de conducción.**

“Es un conducto abierto, de sección semicircular, rectangular o trapezoidal cuya longitud puede ser de varios kilómetros sin causar por ello una pérdida considerable de energía, ya que su pendiente es apenas perceptible y que lleva el

agua del río al tanque de reposo o vaso de almacenamiento según el caso” (CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas-Sección III; 1995:1)

El canal de conducción se utilizará para llevar el agua desde la presa derivadora hasta las turbinas de la Central. Para que estas puedan utilizar eficazmente la mayor parte del salto, conviene destinar un valor muy pequeño de este a la circulación del agua en el canal, por lo que deben construirse con una pendiente pequeña, la indispensable para mantener en el agua una cierta velocidad de circulación. Cuando solamente conducen al agua por una superficie inclinada, se denominan conducciones libres y cuando limitan y guían el movimiento de agua a presión, se designan como conducciones forzadas

#### **1.4.1.2 Compuerta de admisión al canal.**

Tiene por objeto aumentar o disminuir el caudal según lo indiquen las conveniencias del sistema, como son las variaciones de la demanda de carga y fluctuaciones del caudal del río, especialmente en época de avenidas. Las compuertas se utilizan para cerrar las conducciones de agua (canal y tuberías), así como para regular el caudal de agua en dichas conducciones.

En los aprovechamientos hidroeléctricos, la compuertas se instalan en las tomas de agua, en las descargas de fondo, en los canales de derivación, etc.

#### **1.4.1.3 Limnígrafos.**

Los limnígrafos son sencillos y poco costosos, pero deben leerse con bastante frecuencia para lograr una buena información del hidrograma. Son aparatos que

registran el movimiento vertical del agua en una hoja graficada (hidrograma) y cuya base elemental es la de un flotador con contrapeso colocado sobre la superficie del agua conectado a una pluma por medio de un cable de acero, la cual trabaja sobre el papel.

Poseen además, mecanismos de relojería colocados en un cilindro o chimenea para que la hoja de papel avance cada hora, día, semana, mes, según la frecuencia de la información requerida.

Los limnógrafos se instalan generalmente en una caseta de protección localizada sobre un pozo. Este sirve para proteger al flotador y los cables de contrapeso de cuerpos flotantes así como de las fluctuaciones debidas a las ondas superficiales de la corriente.

#### **1.4.1.4 Toma de conducción a superficie libre.**

“Debido a la poca capacidad del embalse en las presas derivadoras a las cuales se conecta este tipo de toma, el sedimento arrastrado por el río llena rápidamente la zona próxima a la cortina, con tendencia inmediata a entrar en la toma”. (CFE-Manual de diseño de obras civiles-Obras de toma para Plantas Hidroelectricas;2.2.7)

#### **1.4.1.5 Estructura colectora.**

Es la parte de la obra de toma que tiene como finalidad captar todo el material de arrastre de fondo que entra a la toma, además sirve para atrapar una buena parte

del material en suspensión ya que se propician velocidades bajas en el recinto. La estructura colectora se compone de:

**a) Umbral de entrada y canal de acceso.**

Su función es retener el material más grueso que transporta la corriente de fondo.

**b) Rejillas.**

Las rejillas son obstáculos adicionales al paso del material sólido, desde niveles más altos; su finalidad es doble: permitir el paso del agua y tratar de detener la mayor cantidad de material sólido.

**1.4.1.6 Tanque de reposo.**

Se trata de un depósito en forma rectangular, ovalada, circular, trapezoidal, etc., que se interpone entre el extremo más bajo del canal y la entrada a los tubos forzados.

Para cumplir con el objetivo de su construcción, debe satisfacer las condiciones siguientes:

1. Debe ser lo bastante ancho y profundo para que la velocidad del agua baje hasta 0.25 m/seg. o a un valor menor que el de arrastre de materiales si éstos son muy finos.
2. Debe ser lo bastante largo para que una partícula en suspensión tenga tiempo de caer hasta el fondo del tanque, aunque se encuentre en el espejo del canal al

desembocar este, y en un lugar donde la velocidad todavía sea baja para que el agua no la levante y lo arrastre de nuevo.

3. Debe ser suficientemente amplio en la parte central para que las arenas depositadas durante un periodo de operación continuo no reduzcan apreciablemente el área transversal, y se produzca un aumento de velocidad.

4. Debe estar provisto de algún dispositivo que permita la limpieza y evacuación del vaso.

5. Debe tener la capacidad volumétrica suficiente para suministrar el déficit de agua que ocurre cuando las máquinas absorben momentáneamente un caudal mayor que el conducido en ese instante por el canal, sin que el nivel del tanque descienda debajo de la marca de inseguridad que indica peligro de descubrir las bocas de los tubos y de que entre aire por ellos.

6. Conviene que exista un vertedor lateral para dar salida al agua en caso de cierre de las compuertas de las turbinas, debido a pérdida de carga y para evitar que el canal baje de velocidad y se dificulte su adaptación al régimen normal posterior.

#### **1.4.1.7 Desarenadores del canal.**

Según lo escrito por la CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles sistemas de conducción, los desarenadores están dispuestos en una conducción a superficie libre con el fin de evitar que el material de azolve provoque pérdidas del gasto o que pueda llegar hasta las unidades generadoras y las dañe.

#### **1.4.1.8 Camino Canalero.**

De acuerdo con la CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas, como requisito fundamental de los aprovechamientos hidráulicos para hacer accesibles sus diversas partes, se debe de contar con caminos transitables durante todo el año, que permitan recorrer las conducciones y captaciones, pozos de oscilación, cajas de presión, etc., y todas las instalaciones hidráulicas cuya construcción y conservación es costosa.

Es conveniente señalar la importancia de caminos de acceso a las rampas de la tubería de presión para permitir la vigilancia de ellas, sus machones, silletas, juntas, etc., así como para la instalación de equipos apropiados para la pintura y desincrustación de las tuberías.

#### **1.4.2 Presas de embalse.**

“Las presas de embalse tienen como fin principal el almacenamiento de agua para regular el caudal del río, siendo de efecto secundario la elevación del nivel del agua para producir altura de salto”. (CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas; 1995: IV-2)

Por lo general, no están dispuestas para que las aguas viertan por encima, sino que tienen construcciones laterales llamadas vertedores de superficie para devolver el agua excedente al cauce aguas debajo de la presa, cuando se ha llenado el embalse.

Estas construcciones son más sólidas debido a que tienen que soportar mayores presiones de agua y por lo general son de mayor altura.

#### **1.4.2.1 Clasificación de presas de embalse.**

Por el material de que están construidas, las presas pueden clasificarse en

1. Presas construidas por materiales incoherentes que se mantienen unidos por su peso, consiguiéndose la impermeabilidad por apelmazamiento del material mediante apisonamiento, sedimentación, etc., o también por una pantalla construida junto al parámetro de aguas arriba o en el interior de la presa.

Pueden clasificarse en:

- a) Presas en tierra.
  - b) Presas en enrocamiento.
  - c) Presas mixtas de tierra y enrocamiento.
2. Presas construidas por materiales coherentes que a la vez proporcionan impermeabilidad y resistencia al conjunto.

En este grupo se distinguen:

- a) Presas de sillería.
- b) Presas de mampostería.
- c) Presas de hormigón armado.

#### 1.4.2.1.1 Presas de tierra.

Las presas de tierra, diques y terraplenes son construcciones de lo más comunes en obras hidráulicas, utilizando toda clase de materiales, desde las arcillas hasta gravas. Las presas de tierra constituyen frecuentemente la solución más económica y satisfactoria sobre suelos de tierra y a veces también sobre roca.

Con la denominación de presas de tierra se designa en general a los diques de relleno, sea por sedimentación hidráulica, con o sin núcleo central impermeabilizante, de tierra y grava transportadas, de roca o mixtos.

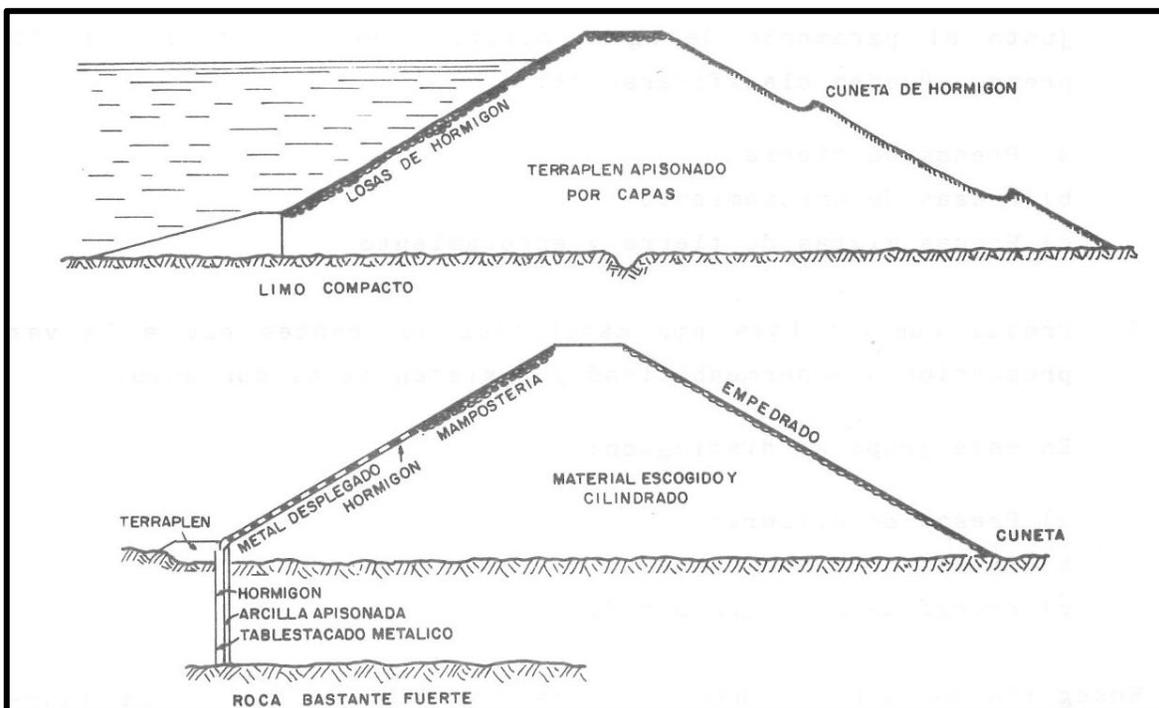


Figura 1.2 Presas de tierra.

Fuente: CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995).

La presa de tierra con núcleo en su forma más generalizada, es con un muro estanco rígido o un núcleo central arcilloso impermeable.

El muro central, generalmente delgado (2 ó 3 m. según la altura), debe subir hasta el nivel máximo previsto en el embalse, el cual estará a 2 ó 3 m. de la corona del relleno. Normalmente ese relleno está constituido por tres partes, en sentido transversal desde el lado de aguas arriba, perfectamente diferenciadas pero íntimamente unidas como sigue:

1. Relleno de material mezclado de poca permeabilidad o casi impermeable, entre el talud mojado de relleno y el núcleo, colocado en capas apisonadas de 25 a 30 cm.
2. El núcleo impermeable.
3. Un relleno exterior de material grueso y permeable, cuyo objeto es facilitar el escurrimiento a las infiltraciones posibles y dar estabilidad al peso del conjunto.

#### **1.4.2.1.2 Presas de enrocamiento.**

Siguiendo con el autor CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995), las presas de enrocamiento se caracterizan por la colocación de piedras partidas para formar la parte resistente del dique, necesaria para contrarrestar la presión del agua almacenada y otros esfuerzos ejercidos fuera o dentro de la estructura. La impermeabilidad se consigue con membranas estancas en el paramento aguas arriba, unidas a un muro prolongado dentro de la cimentación.

La sección transversal de las presas de enrocamiento, consideradas como un término medio entre las de gravedad y las de tierra, puede observarse en la figura No. 1.3.

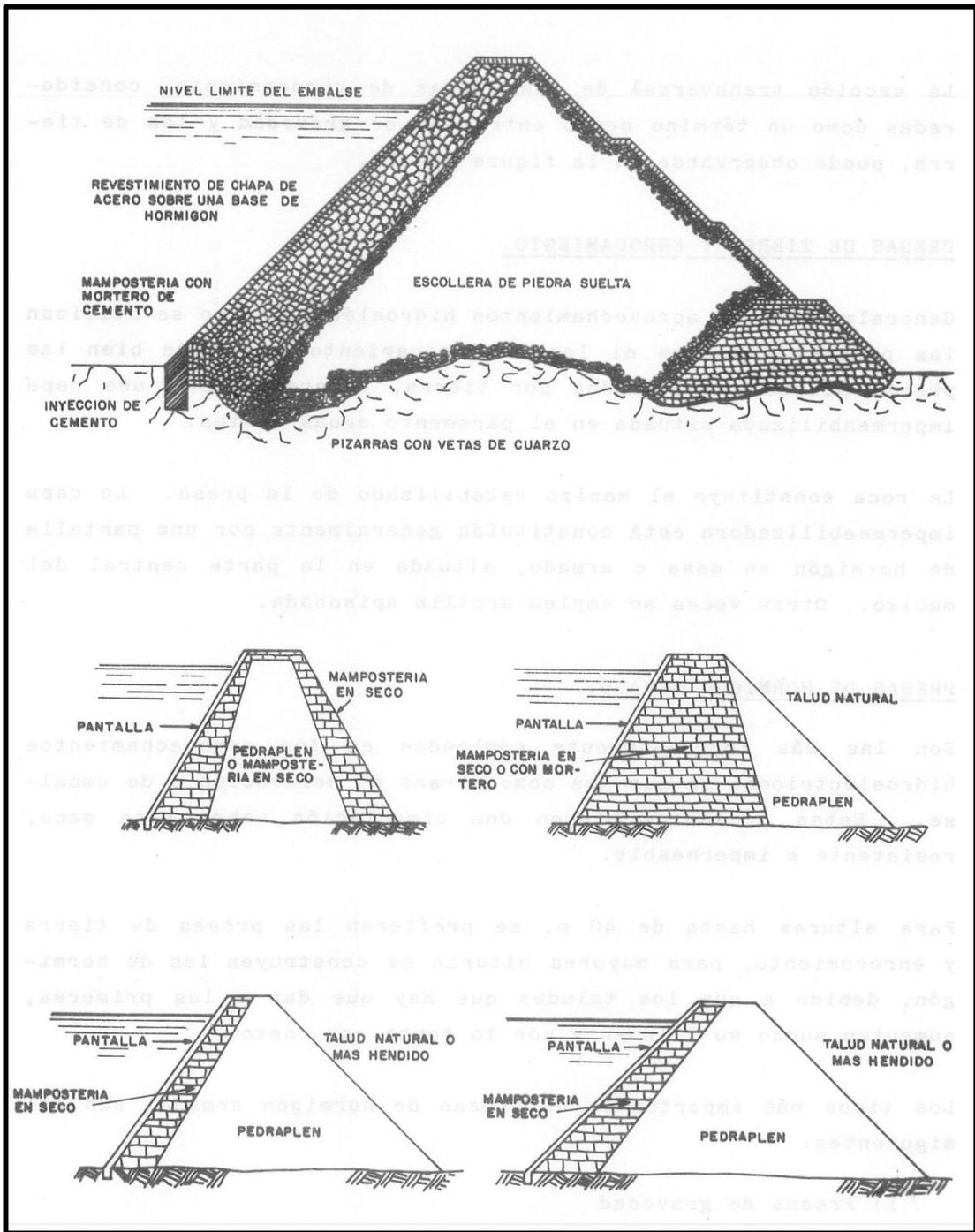


Figura 1.3 Presas de enrocamiento.

Fuente: CFE-Introducción a centrales hidroeléctricas (1995).

#### **1.4.2.1.3 Presas de tierra y enrocamiento.**

Generalmente para aprovechamientos hidroeléctricos no se utilizan las presas de tierra ni las de enrocamiento, sino más bien las presas mixtas constituidas por tierra, enrocamiento y una capa impermeabilizada situada en el paramento aguas arriba. La roca constituye el macizo estabilizado de la presa. La capa impermeabilizadora está constituida generalmente por una pantalla de hormigón en masa armado, situada en la parte central del macizo. Otras veces se emplea arcilla apisonada.

#### **1.4.2.1.4 Presas de hormigón armado.**

Son las más frecuentemente empleadas en los aprovechamientos hidroeléctricos, ya que sea como presas de derivación o de embalse. Estas presas requieren una cimentación sobre roca sana, resistente e impermeable.

Para alturas hasta de 40 m. se prefieren las presas de tierra y enrocamiento, para mayores alturas se construyen las de hormigón, debido a que los taludes que hay que dar a las primeras, aumentan mucho su volumen y por lo tanto, su costo. Los tipos más importantes de presas de hormigón armado, son los siguientes:

1. Presas de gravedad.
2. Presas de arco sencillo.
3. Presas de arcos múltiples.
4. Presas de contrafuertes.

- a) Presas de gravedad.- En las presas de gravedad, los esfuerzos a que se hallan sometidas debido principalmente a la presión del agua sobre el paramento de aguas arriba, se resisten por el propio peso de la presa.
- b) Presas de arco sencillo.- En las presas de arco sencillo, por las circunstancias especiales del perfil transversal del cauce donde están situadas y por la planta curva de la presa, resisten como si fuera una bóveda, transmitiendo las cargas a los estribos; también se les llama presas de bóveda sencilla.
- c) Presas de arcos múltiples.-En estas presas, el perfil transversal queda dividido en varios vanos que se cierran por medio de bóvedas.
- d) Presas de contrafuertes.-Estas presas han sido consecuencia de estudios realizados para reducir el volumen de material empleado en las presas de gravedad. Una presa de este tipo está formada por una pantalla sustentada por contrafuertes; en el lado de aguas arriba, la pantalla puede ser vertical o inclinada.

#### **1.4.2.2 Vaso de almacenamiento.**

Según lo escrito por la CFE-Manual de diseño de obras civiles (1980), un vaso de almacenamiento cumple con una función de regularización, estos nos permite almacenar los volúmenes que escurren en exceso para que puedan aprovecharse cuando los escurrimientos sean escasos.

### **1.4.2.3 Obras de desvío.**

Las estructuras principales, que constituyen a una presa son las siguientes: el embalse o vaso, la cortina o dique principal. Diques secundarios, la obra de excedencias, la obra de toma y la obra de desvío. Todas estas estructuras a excepción de la última son definitivas que en general es provisional y que se utiliza durante la construcción de la presa.

Una obra de desvío como su nombre lo indica, sirve para desviar el flujo del agua de un río que en un momento dado escurren por determinado sitio, con la finalidad de proporcionar la construcción de cortinas para presas de almacenamiento o derivación.

Los tipos más comunes de obras de desvío tomando en cuenta la frecuencia de empleo son: los canales a cielo abierto, túneles, conductos aislados metálicos o de concreto abiertos o cerrados, conductos abiertos o cerrados a través de la cortina y conductos de otros materiales como madera, plástico, etc.

### **1.4.2.4 Obras de excedencia.**

Las obras de excedencias o vertedores tienen como función la de controlar la descarga de los volúmenes de agua que se han considerado excedentes de la capacidad útil en un vaso almacenador. La obra de excedencias debe de tener la capacidad hidráulica suficiente y su descarga estar localizada de tal forma que no dañe ni el talud de aguas debajo de la cortina, ni el desfogue de la casa de máquinas ni cualquier otra estructura adyacente.

“Se denomina vertedor de servicio, aquella estructura que sirve para descargar con mayor frecuencia y desde los niveles altos de una presa los volúmenes excedentes”. (CFE-Manual de diseño de obras civiles; 1980: 2.10.1)

El vertedor es un elemento indispensable para la defensa del canal, limitando el nivel de la superficie del agua mediante crestas vertedoras que comienzan a derramar tan pronto el agua llega a la corona. Para que estos vertedores sean efectivos, han de ser colocados perpendicularmente a la dirección de la corriente y si esto no es posible, se instalarán en forma lateral y con buena longitud.

#### **1.4.2.5 Obras de toma.**

Las obras de toma tienen la función de permitir y controlar la extracción del agua de una presa o de un río, en la cantidad y momento en que se requiera y conducirla a la planta hidroeléctrica.

Los elementos indispensables de una obra de toma deben diseñarse de tal manera que cumplan con los propósitos siguientes:

- a) Regular y conducir el gasto necesario en la casa de máquinas a fin de satisfacer las demandas de energía eléctrica.
- b) Asegurar con pequeñas pérdidas de energía, el gasto en la conducción para un intervalo predeterminado de niveles del embalse o río.
- c) Evitar la entrada de basuras, escombros u otros materiales flotantes a la conducción, que puedan dañar las turbinas o elementos de cierre.
- d) Prevenir, o al menos reducir, el azolvamiento de la conducción, fundamentalmente cuando esta es a superficie libre.

#### 1.4.2.6 Turbinas.

De acuerdo con lo indicado en la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), las máquinas hidráulicas tienen como finalidad transformar energía hidráulica en mecánica o viceversa. Este objetivo se puede lograr a través de turbomáquinas, como turbinas y bombas centrífugas.

Una turbomáquina se puede considerar como todo aquel dispositivo en el cual se intercambia energía entre un fluido que se encuentra continuamente fluyendo y una o más ruedas móviles de álabes.

Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes. Las turbinas se pueden clasificar de la siguiente manera:

**a) Turbina Kaplan.-** Son uno de los tipos más eficientes de turbinas de agua de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice del motor de un barco, y deben su nombre a su inventor, el austriaco Viktor Kaplan. Se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen la forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables, se dice que la turbina es una turbina Kaplan verdadera; si solo son regulables los álabes del rodete, se dice que la turbina es una turbina Semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan son de admisión axial, mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.

Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas, que son solidarias a unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.

Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rodete como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes.

b) **Turbina Francis.-** Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica en centrales hidroeléctricas.

c) **Turbina Pelton.-** La turbina Pelton es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbomáquina motora, de flujo radial, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, en su mayoría, con una larga tubería llamada *galería de presión* para transportar al

fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de 1500 metros. Al final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectoras, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

#### **1.4.2.7 Pozos de oscilación.**

Según lo escrito por el Manual de Diseño de Obras Civiles-Máquinas hidráulicas (1982), un pozo de oscilación es en esencia un pozo vertical o inclinado, abierto por la parte superior y localizado en el trayecto de la tubería lo más cerca posible de las turbinas. Cuando se produce un golpe de ariete positivo en la tubería junto a la turbina, encuentra menos resistencia a vencer en el pozo y actúa sobre el agua de ésta elevando su nivel, produciéndose una desaceleración del agua en la tubería.

Por el contrario, cuando se produce un golpe de ariete negativo, baja el nivel del agua en el pozo, originándose una aceleración del agua en la tubería. Es decir, que el pozo de oscilación actúa como un muelle mecánico evitando las variaciones bruscas de presión en la tubería.

#### **1.4.2.8 Tuberías de presión.**

En las instalaciones hidroeléctricas, las tuberías de presión tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de presión a las turbinas, cuando por causa del salto se transforma la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara,

en energía potencial de presión, que tiene junto a la turbina y al final de la conducción forzada.

Las tuberías de presión o tuberías forzadas pueden construirse con materiales diversos, pero conviene en todo caso que el material reúna las condiciones mínimas siguientes:

- a) Debe ser capaz de resistir por sí mismo o con auxilio de otros materiales y en forma satisfactoria, los esfuerzos debidos a la presión hidrostática, golpe de ariete y flexión del tubo sobre sus apoyos, dentro de ciertos límites.
- b) Debe ser suficientemente elástico para soportar, sin romperse, los cambios bruscos de presión. Además, la elasticidad del material ayuda a reducir la violencia de los golpes de ariete.
- c) Debe ser impermeable para evitar fugas de agua, sobre todo con presiones elevadas.
- d) Debe resistir a la acción corrosiva de los gases disueltos en el agua a presión, o ácidos o bases que contiene el agua que pasa por campos de café, ingenios, fábricas, etc.
- e) Debe dar facilidades para efectuar uniones, tanto más perfectas cuanto más alta sea la presión interior.
- f) Debe resistir a la compresión que proviene de la dilatación por cambios de temperatura, peso propio del tubo durante el transporte o trabajo del tubo como viga apoyada en sus soportes definitivos.

Los materiales más comunes para la construcción de tuberías forzadas son: Concreto y acero, aunque también se han construido de madera, arcilla vitrificada y asbesto cemento.

#### **1.4.2.9 Válvulas de aire.**

Éstas son de admisión o de escape, según sea la disposición de la tubería. En los codos verticales pronunciados de vértice saliente, el aire se acumula en éste formando una bolsa de aire a presión que estorba el flujo del agua. Para evitar estas pérdidas se instalan sobre el codo de una válvula de escape.

Puede ocurrir también en codos entrantes o de cambio de pendiente de mayor a menor, que durante una conexión instantánea descarga el agua de la tubería inferior arrastre la del ramal superior y haga el vacío en éste, dando lugar al colapso de la tubería. Por lo tanto, la válvula debe permitir el escape o de la admisión de aire cuando las presiones internas lo exijan.

#### **1.4.2.10 Válvulas de alivio.**

En general para conducciones forzadas de longitud menores a 300 m. no es necesario disponer de un tanque de compensación de presión al final de la conducción. Sin embargo, para mayor seguridad en el sistema y mayor rendimiento en la regulación, es conveniente añadir a cada turbina una válvula de alivio, cuya capacidad no debe ser menor del 70% de la descarga de la turbina controlada hidráulicamente y dotada de un codo de desvío con una válvula operada eléctrica o hidráulicamente, y el manual para permitir su apertura o cierre.

#### **1.4.2.11 Compuertas obra de toma.**

Son compuertas que soportan grandes presiones, instaladas en tanques de regulación o directamente en los vasos de almacenamiento, alimentan las tuberías de presión de las turbinas hidráulicas. Estas compuertas que son de gran sección, llevan instaladas a los lados del tablero unos dispositivos de rodamiento que permite reducir el esfuerzo necesario para el accionamiento de la compuerta.

#### **1.5 Mantenimiento a centrales hidroeléctricas.**

De acuerdo con la CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles a Casa de máquinas (1993), para la producción y suministro de energía eléctrica en la República Mexicana, la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) cuenta, además de otros medios el empleo de las centrales hidroeléctricas, las cuales desde sus inicios los ingenieros y técnicos encargados de su operación han realizado las labores de mantenimiento y mejoras al conjunto de obras e instalaciones que integran las casas de máquinas de dichas centrales con el propósito fundamental de lograr que el servicio de producción y suministro de energía eléctrica sea altamente seguro, confiable y económico.

Consecuentemente, las actividades de mantenimiento son importantes ya que el deterioro de las obras civiles en muchos casos afecta la capacidad de generación y la vida útil de la central.

Según lo escrito por la CFE- Manual de mantenimiento de obras civiles sistemas de conducción (1993), puede definirse el mantenimiento como 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. Se puede clasificar de la siguiente manera:

- 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

### **1.5.1 Mantenimiento de obras civiles a casa de máquinas.**

“La casa de máquinas es la estructura que aloja en su interior los equipos que generan la energía eléctrica, así como otros auxiliares necesarios para la operación, control y protección de los equipos principales” (CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles a Casa de máquinas; 1993: 3).

De acuerdo con la disposición del terreno, las casas de máquinas pueden ser de dos tipos: superficiales y subterráneas. Las primeras se construyen al pie de la presa, expuestas al medio ambiente y las subterráneas se construyen en el interior de la montaña.

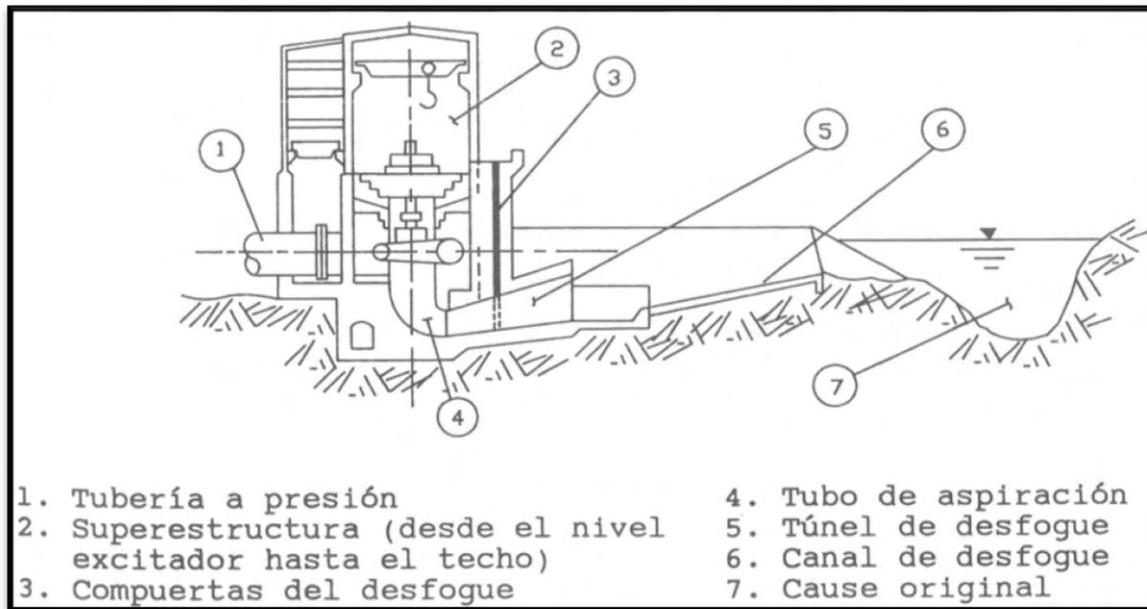


Fig 1.4 Casa de máquinas superficial.

Fuente: CFE-Manual de mantenimiento casa de máquinas (1993).

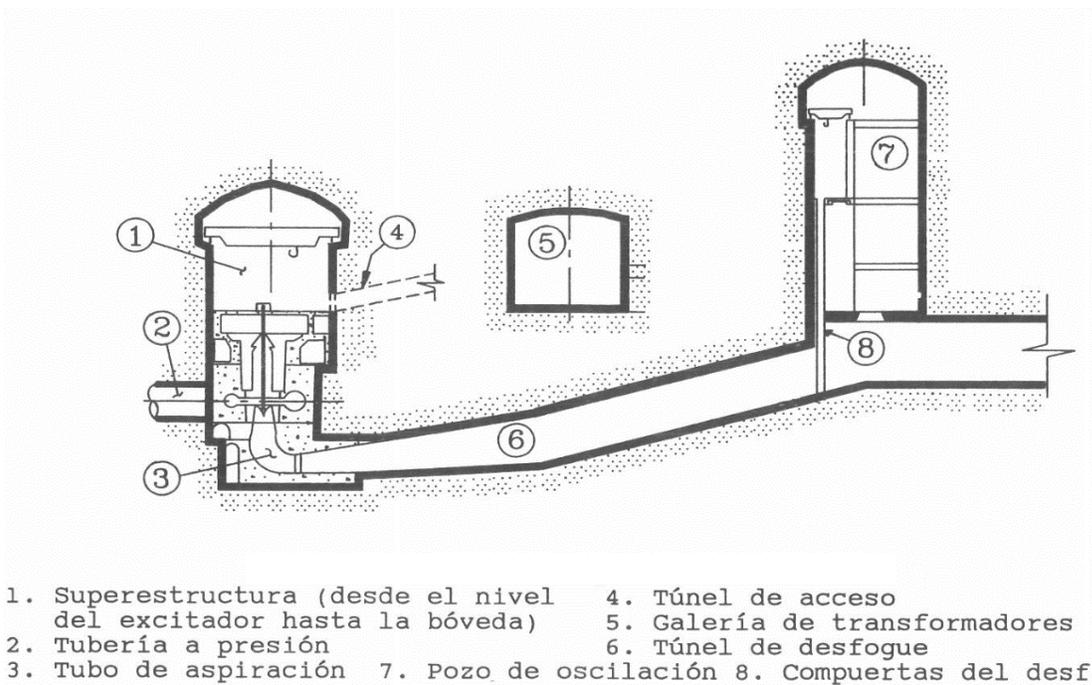


Fig. 1.5 Casa de máquinas subterráneas.

Fuente: CFE-Manual de mantenimiento casa de máquinas (1993).

### **1.5.2 Inspección y evaluación.**

El propósito principal de los programas de inspección periódica de las instalaciones y obras civiles de Casa de Máquinas es evaluar su capacidad estructural su capacidad estructural y funcional para asegurar la protección de la vida humana, del equipo y la continuidad del servicio.

En general, las inspecciones consisten en exámenes visuales en el sitio para juzgar el estado de las estructuras y, si es necesario, efectuar una inspección más profunda. Los resultados de estos estudios mostraran si es necesario efectuar algún tipo de medida preventiva o correctiva.

Hay tres tipos de inspección: de rutina general, de rutina específica y especial.

#### **1.5.2.1 Inspección de rutina general.**

Consiste en un examen visual que realiza el personal de mantenimiento civil de la central. Este tipo de inspección proporciona una idea de la apariencia general y de funcionamiento de las estructuras y permite identificar con oportunidad cualquier anomalía que aparezca.

Entre los aspectos que se deben recibir más atención están: filtraciones, asentamientos diferenciales, agrietamientos, corrosión, vibraciones, deflexiones, pandeo, conexiones y anclajes. Las observaciones hechas a lo largo del recorrido de la casa de máquinas deben de quedar asentados en una bitácora o informe diario, y en caso de detectar condiciones inusuales o peligrosas, deben comunicar inmediatamente al jefe del área de ingeniería civil para su atención.

### **1.5.2.2 Inspecciones de rutina específica.**

Estas inspecciones se realizan a intervalos regulares definidos de acuerdo con la importancia y de antigüedad de la casa de máquinas y su potencial de riesgo. Una inspección de rutina específica es una búsqueda detallada de evidencias de deterioro y comportamientos inseguros de cada una de las estructuras componentes. Este tipo de inspección debe incluir una revisión y evaluación previa a la información sobre el comportamiento registrado desde la última inspección y, en general, aquellos comportamientos de elementos o instalaciones que representen un riesgo para el personal, para el equipo y para la continuidad del servicio.

### **1.5.2.3 Inspecciones especiales.**

Estas se realizan inmediatamente después de eventos extraordinarios (como sismos, huracanes, inundaciones) o de la aparición de patrones de comportamiento especiales no esperados. Estas inspecciones se llevan a cabo con el fin de determinar la magnitud de los daños, si los hay, y la prioridad de las reparaciones. Es necesaria la participación de personal especializado y debe contarse con todos los reportes previos que se hayan generado y que se consideren importantes.

Esta inspección permitirá tomar las decisiones adecuadas para su revisión estructural, reparación o reposición, en caso de que el daño no sea reparable.

### **1.5.3 Mantenimiento preventivo.**

Siguiendo de cerca (CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles a Casa de máquinas; 1993: 3), el mantenimiento preventivo para las estructuras que conforman una Casa de Máquinas, consiste en aplicar las medidas necesarias para poder protegerlas contra el deterioro, debido al envejecimiento o agentes agresivos.

#### **1.5.3.1 Elementos de concreto.**

Si una estructura o elemento de concreto está bien diseñado y construido, la probabilidad de que se deteriore de forma prematura en condiciones ordinarias de servicio (sin considerar eventos extraordinarios): a) la calidad original propia del concreto; b) la severidad de las condiciones de exposición y servicio, y c) la adecuación que en cada caso existe entre estos dos últimos factores.

##### **1.5.3.1.1 Columnas, trabes, losas y muros.**

Una forma de proteger estos elementos es a base de aplanados. Se utilizan principalmente sobre superficies de muros, losas, columnas y trabes para una mejor protección contra el intemperismo y/o agentes agresivos.

Otras medidas preventivas que se pueden realizar sobre estos elementos estructurales son:

- a) Sellado de fisuras y grietas
- b) Reparar desprendimientos de concreto que dejen al descubierto el acero de refuerzo.

### 1.5.3.2 Elementos de acero.

El tratamiento anticorrosivo se puede considerar como una medida preventiva principal que se debe de llevar a cabo de manera periódica sobre todo en los elementos de acero. A continuación se mencionan otras actividades específicas para mantener en buen estado los elementos de acero.

a) Columnas, trabes, contravientos y largueros

- Protección anticorrosiva.
- Verificar la sujeción de todos los elementos estructurales en lo que respecta a tornillos remaches y soldadura, reponiendo los elementos faltantes o en mal estado

b) Techos de lámina.

- El mantenimiento referente a la impermeabilización de techos

c) Ménsulas, trabe carril y grúa viajera.

- Limpiar y dar protección anticorrosiva a los elementos que lo requieran.
- Ajustar las conexiones, realizando el cambio de los elementos dañados y colocando la tornillería faltante.
- Verificar el anclaje de los apoyos y los soportes de los rieles.
- Revisar la dimensión según el CRANE HANDBOOK, sección VI y el alineamiento AISC, sección 1.13.
- Verificar la separación  $s$ , entre las placas:

$S = 80 r$  en tensión

$S = 40 r$  en compresión

Donde  $r$  = radio de giro del contraviento

- Revisión del tope de la trabe carril. Cuando el tope es de madera de mala calidad su vida es limitada, se recomienda la sustitución, por un tope de neopreno.

La revisión del funcionamiento de la grúa debe ser realizada por el departamento eléctrico y mecánico en lo referente a: alimentación eléctrica, aislamiento, frenos, mecanismos de seguridad, engranes, cables, control de viajes, cojinetes, lubricación, etc.

d) Puertas, ventanas y fachadas de lámina.

- Verificación sistemática del buen funcionamiento de puertas
- Limpieza de puertas y ventanas
- Tratamiento anticorrosivo en puertas, ventanas y fachadas.
- Engrasado de los mecanismos de aperturas de puertas y ventanas.
- Cambio de los empaques de vinil en las ventanas.
- Inyectar silicón alrededor de la cancelería para evitar filtraciones de lluvias.
- Reparar o reponer la sujeción de las láminas de fachadas.

e) Carcasa de la turbina.

La carcasa conforma la parte externa del cuerpo de la turbina conteniendo en su interior los alabes. Debido a sus dimensiones y posición, esta embebida en concreto y conecta a la tubería de presión con el tubo de aspiración cuando se tenga un paro total de la turbina, debe confirmarse que la carcasa este bien adherida al concreto para evitar las vibraciones excesivas; esta revisión se realiza mediante una actividad específica que consiste en golpear con un martillo la carcasa para detectar

posibles separaciones de sus partes de concreto. En caso de encontrar separaciones entre la carcasa y el concreto se debe inyectar resina en las cavidades encontradas.

#### **1.5.4 Mantenimiento correctivo.**

“Un mantenimiento correctivo integral y eficaz considera la eliminación de los problemas, sus causas y los posibles efectos posteriores, y obliga a la atención oportuna por parte del personal responsable del mismo”. (CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles sistemas de conducción; 3-1:1993)

A continuación se describen algunas actividades y procedimientos que se deben llevar a cabo para realizar un mantenimiento correctivo eficaz, haciendo énfasis en los elementos de concreto y acero.

##### **1.5.4.1 Elementos de concreto.**

Según lo escrito por la CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles concreto (1993), para que el mantenimiento de las estructuras de concreto en servicio se realice de manera integral, es necesario que cuando se manifieste un daño o deterioro se investigue su origen, con el fin de no solo corregir el efecto si no también su causa, en la medida que ello sea posible.

El deterioro del concreto puede ser el resultado de un proceso gradual, o la consecuencia de acciones que provocan el deterioro más o menos repentino.

El éxito de un mantenimiento correctivo depende del cumplimiento de una serie de condiciones, entre las que destacan:

- a) Descubrimiento oportuno del deterioro, antes de que pueda afectar seriamente la estructura.

- b) Identificación acertada de la causa del deterioro, para procurar su anulación de sus efectos.
- c) Determinación precisa de la importancia y extensión del deterioro, y su influencia en el comportamiento de la estructura. En caso necesario, hacer la evaluación experimental de la estructura, apoyándose en pruebas no destructivas.
- d) Decisión acertada en cuanto a si basta con restaurar el concreto deteriorado, si es necesario hacer modificaciones a la estructura para evitar que se repita el daño o incluso, si se justifica hacer la demolición y reposición total o parcial de la estructura.
- e) Selección de los materiales y del método idóneo para el mantenimiento correctivo de la estructura.
- f) Ejecución esmerada del trabajo y supervisión del mismo en todos sus detalles.
- g) Revaluación minuciosa de la estructura y de las nuevas condiciones en que presta servicio después de su reparación.

#### **1.5.4.2 Elementos de acero.**

De acuerdo la CFE-Manual de mantenimiento de obras civiles a casa de máquinas (1993), este tipo de mantenimiento tiene por objeto evaluar y recomendar detalles constructivos de reparación a estructuras metálicas dañadas en las Casas de Maquinas de Centrales Hidroeléctricas. Las condiciones generales del sitio y los planos de diseño, fabricación y montaje de la estructura dañada forman parte de estas recomendaciones.

Cualquier procedimiento o detalle indicado en esta sección deberá complementarse con las recomendaciones y solicitudes sísmicas y de viento del reglamento de construcciones vigente en el lugar, también puede recurrirse al Manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad.

El contratista deberá proveer los materiales adecuados e implementar un procedimiento de mantenimiento correctivo teniendo en cuenta dichas recomendaciones.

## CAPÍTULO 2

### TRATAMIENTO ANTICORROSIVO.

En el presente capítulo se darán a conocer los fundamentos de la corrosión y los métodos de control para atenuarla, así mismo la clasificación de los tratamientos y la forma correcta de su aplicación.

#### 2.1 Fundamentos de corrosión.

De acuerdo con Lara (2004), se puede definir la corrosión como el deterioro que sufren los metales o pérdidas de sus propiedades, por la interacción con el medio (suelo, agua, lluvia, sol, bacterias, etc.), mediante una reacción electroquímica o química.

Para poder comprender el por qué ocurre la corrosión, se puede apoyar en una ley natural, la cual señala lo siguiente: todos los cuerpos tienden a estar en su estado menor de energía, es en forma de óxido, hidróxido, sulfato o cloruro de fierro, lo que se conoce como mineral, tal como se encuentra en la naturaleza. Al mineral para convertirlo en metal, en este caso el fierro, es necesario aplicarle una cantidad de energía.

En la gráfica siguiente se muestra la energía necesaria para el paso de un mineral a metal, donde  $G$  es la energía libre (llamada Gibbs) o entalpía libre a temperatura y presión constante.

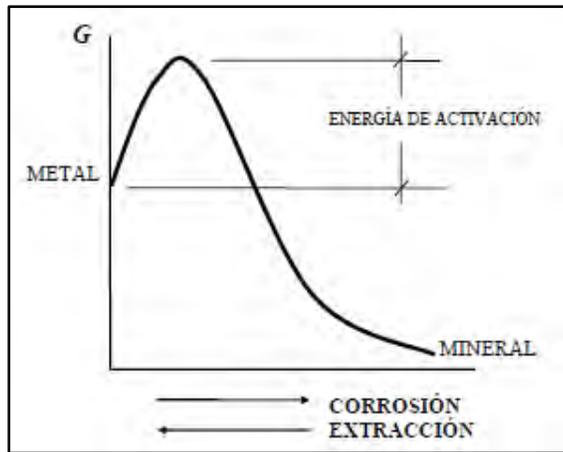


Figura 2.1 Energía libre para pasar de mineral a metal.

Fuente: Lara: 2004.

En la figura 2.1, se observa que se tiene que suministrar una energía adicional, para convertir el mineral a metal; a esta energía se le conoce como energía de activación. De manera inversa, para pasar del metal a mineral, también se requiere suministrar la misma cantidad de energía de activación, por lo que la oxidación del hierro no ocurre espontáneamente.

La tendencia natural del metal será la de regresar a su estado de menor energía, o sea, a mineral. Este es un fenómeno que no se puede evitar, pero sí controlar o retardarlo con base al tiempo de vida útil que requerimos para una estructura. Lo anterior ayuda a explicar porque el oro resiste más a la corrosión que el hierro, esto se debe a que el estado natural o de menor energía del oro es como metal, mientras que el hierro es como mineral. De ahí se deriva que unos metales tengan más tendencia a la corrosión que otros.

“Profundizando en el concepto de mayor a menor energía contenida en los metales, es importante resaltar que existen desde el punto de vista de la corrosión, dos aspectos fundamentales que operan mancomunados, éstos son el “termodinámico” o de estabilidad en la naturaleza y el “cinético” que se refiere al mecanismo y la velocidad con que operan los procesos. El termodinámico es indicador de una cierta energía potencial acumulada, misma que puede liberarse a muy diversas velocidades, continua o discontinuamente y sin perder de vista, que siempre por naturaleza tiene la tendencia a un equilibrio, hasta llegar al mínimo estado de energía. El cinético, se refiere a cómo suceden los eventos del proceso de corrosión, a qué velocidad se lleva el intercambio de energía y en ocasiones, cuando se le analiza profundamente, en la formación y crecimiento de los productos de corrosión o limitantes del proceso”. (Lara; 2004: 2)

## **2.2 Proceso de la corrosión.**

De acuerdo con lo indicado en la página electrónica [www.prepa.unam.mx](http://www.prepa.unam.mx) (2015), la corrosión se puede definir como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno, la velocidad a la que tiene lugar se debe a algunos factores como la temperatura, la salinidad del medio y las propiedades de los materiales en cuestión, entre ellos puede mencionarse los procesos de desgaste por fricción, por erosión o por diversos factores mecánicos.

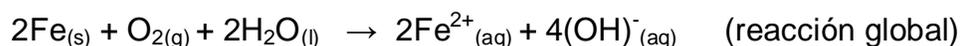
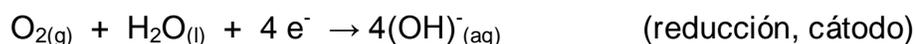
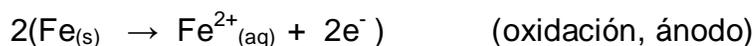
Cabe mencionar que una característica importante de los procesos de corrosión es que los eventos ocurren espontáneamente en la naturaleza, en términos termodinámicos, esto equivale a decir que la variación de energía libre de la reacción global es menor que cero.

La corrosión ordinaria, es un proceso redox por el cual los metales se oxidan por medio del oxígeno  $O_2$ , en presencia de humedad. El oxígeno en estado gaseoso es un agente oxidante, y la mayoría de los metales tienen potenciales de reducción menores que este, por lo tanto son fácilmente oxidantes. Se sabe que la oxidación de los metales tiene lugar más fácilmente en puntos donde se genera mayor tensión. Así, un clavo de acero, que en su mayor parte es hierro, se corroe primero en la punta y en la cabeza, pero un clavo doblado se corroe más fácilmente en el recodo.

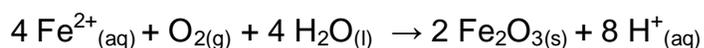
Un punto de tensión en un objeto de acero actúa como ánodo donde el hierro se oxida a iones  $Fe^{2+}$  y se forman hendiduras. Los electrones producidos fluyen a través del clavo hacia las áreas expuestas al  $O_2$ . Estas actúan como un cátodo donde  $O_{2(g)}$  se reduce a iones hidróxido,  $(OH)^-$ .



Al mismo tiempo, los iones  $Fe^{2+}$  migran a través de la superficie húmeda. La reacción global se obtiene ajustando la transferencia electrónica y sumando las dos semirreacciones:



Los iones  $\text{Fe}^{2+}$  pueden migrar desde el ánodo a través de la disolución hacia la región catódica, donde se combinan con los iones  $(\text{OH})^-$  para formar óxido de hierro (II). El hierro se oxida aún más por el  $\text{O}_{2(\text{g})}$  hasta el estado de oxidación  $3^+$ , formándose el óxido de hierro (III) o también llamado herrumbre  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{s})}$ , de color rojo.



Algunos de los procesos más familiares de corrosión son la herrumbre del hierro y el acero y la formación de pátina verde en el cobre y sus aleaciones bronce y latón. No siempre que se presenta la oxidación de un metal existe corrosión, ya que en algunos casos el óxido formado es resistente y forma una capa gruesa de óxido que impide que el resto del material continúe oxidándose. Este fenómeno es común en materiales de aluminio, zinc y magnesio.

### **2.3. Principios electroquímicos de la corrosión.**

Según lo escrito en la página electrónica [www.descom.jmc.utfsm.cl](http://www.descom.jmc.utfsm.cl) (2015), siempre que la corrosión esté originada por reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos. Otros factores, como el esfuerzo mecánico y la erosión también, pueden contribuir al deterioro.

La mayor parte de la corrosión de los materiales concierne al ataque químico de los metales, el cual ocurre principalmente por ataque electroquímico, ya que los

metales tienen electrones libres que son capaces de establecer pilas electroquímicas dentro de los mismos. Las reacciones electroquímicas exigen un electrolito conductor, cuyo soporte es habitualmente el agua. De aquí que en ocasiones se le denomine "corrosión acuosa". Muchos metales sufren corrosión en mayor o menor grado por el agua y la atmósfera. Los metales también pueden ser corroídos por ataque químico directo procedente de soluciones químicas.

Otro tipo de degradación de los metales que sucede por reacción química con el medio, es lo que se conoce como "corrosión seca", que constituye en ocasiones una degradación importante de los metales especialmente cuando va acompañado de altas temperaturas.

Algunos aspectos importantes sobre las reacciones de oxidación-reducción en las semipilas son los siguientes:

**1. Reacción de oxidación.** La reacción de oxidación, es aquella por la cual los metales forman iones que pasan a solución acuosa, recibe el nombre de reacción anódica, y las regiones locales en la superficie de los metales donde la reacción de oxidación tiene lugar reciben el nombre de ánodos locales. En la reacción anódica, se producen electrones, los cuales permanecen en el metal, y los átomos del metal forman cationes.

**2. Reacción de reducción.** La reacción de reducción es en la cual un metal o un no metal ve reducida su carga de valencia, la cual recibe el nombre de reacción catódica. Las regiones locales en la superficie del metal donde los iones metálicos o no metálicos ven reducida su carga de valencia reciben el nombre de cátodos locales. En la reacción catódica hay un consumo de electrones.

**3. Reacción de corrosión electroquímica.** Las reacciones de corrosión electroquímica involucran reacciones de oxidación que producen electrones y reacciones de reducción que los consumen. Ambas reacciones de oxidación y reducción deben ocurrir al mismo tiempo y a la misma velocidad global para evitar una concentración de carga eléctrica en el metal.

#### **2.4 Métodos para el control de la corrosión.**

De acuerdo con Lara (2004), la corrosión no se puede evitar ni eliminar, si no solamente la podemos atenuar y controlar. Los métodos utilizados para atenuar la corrosión son los siguientes:

- Uso de aleaciones más resistentes.
- Protección catódica
- Protección anódica
- Alteración del medio
- Uso de materiales no metálicos
- Diseño
- Purificación del metal
- Tratamiento anticorrosivo

##### **2.4.1 Uso de aleaciones resistentes.**

Para poder conocer la aleación más resistente a la corrosión, es necesario conocer el medio en el que va a estar expuesta dicha aleación, así como su temperatura, velocidad de flujo, tipo de proceso continuo o intermitente y agentes

abrasivos. A continuación se muestra una tabla con las aleaciones resistentes más usadas en la construcción, con la resistencia que tienen de acuerdo al tipo de medio.

Aleaciones Resistentes	
Acero inoxidable	Resistente para ácido nítrico
Níquel y sus aleaciones	Resistente para soluciones cáusticas
Monel	Resistente para ácido fluorhídrico
Plomo	Resistente para ácido sulfúrico diluido
Aluminio	Resistente para la exposición atmosférica no agresiva
Estaño	Resistente para agua destilada
Titanio	Resistente para soluciones oxidantes concentradas y calientes
Acero al carbón	Resistente para ácido sulfúrico concentrado

Tabla 2.1. Tipos de aleaciones resistentes.

Fuente: Lara; 2004.

MATERIAL	Velocidades de corrosión típicos, mdd (mg/dm <sup>2</sup> x día)		
	0,3 m/s	1,2 m/s	8,2 m/s
ACERO AL CARBÓN	34	72	254
HIERRO FUNDIDO	45	---	270
BRONCE SILICÓN	1	2	345
ADMIRALTY	2	20	170
BRONCE HIDRÁULICO	4	1	339
BRONCE G	7	2	280
BRONCE ALUMINIO (10% AL)	5	---	236
BRONCE ALUMINIO	2	---	105
Cu -Ni 90 -10 ( 0, 8 % Fe )	5	---	99
Cu -Ni 70 -30 ( 0,05 % Fe )	2	---	199
Cu -Ni 70 -30 ( 0,5 % Fe )	< 1	< 1	39
MONEL	< 1	< 1	4
ACERO INOXIDABLE	1	0	< 1
HASTELLOY C	1	---	3
TITANIO	0	---	0

Tabla 2.2 Velocidades de corrosión tipos en agua de mar a diferentes velocidades para varias aleaciones.

Fuente: Lara; 2004.

### **2.4.2 Protección catódica.**

La protección catódica es método para el control de la corrosión y consiste en suministrar electrones a una estructura, de tal manera que se comporte como cátodo. Se aplica par estructuras metálicas en contacto íntimo y continuo con algún electrolito como lo es el agua mar y suelos.

Para que un sistema de protección catódica funcione, es necesario de cuatro componentes: electrolito, cátodo (estructura a proteger), ánodo y una conexión eléctrica entre el cátodo y el ánodo.

La protección catódica puede ser de dos formas:

- a) Mediante un rectificador de corriente directa llamado sistema de protección catódica con corriente impresa.
- b) Mediante un metal más electronegativo, llamado sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio.

#### **2.4.2.1 Protección catódica de corriente impresa.**

La protección catódica con corriente impresa, se utiliza cuando se cuenta con una fuente de energía eléctrica cercana a la estructura por proteger. En C.F.E. este tipo de protección se usa en: obras de toma, condensadores, tuberías, intercambiadores de calor, muelles, y fondos de tanques en centrales termoeléctricas.

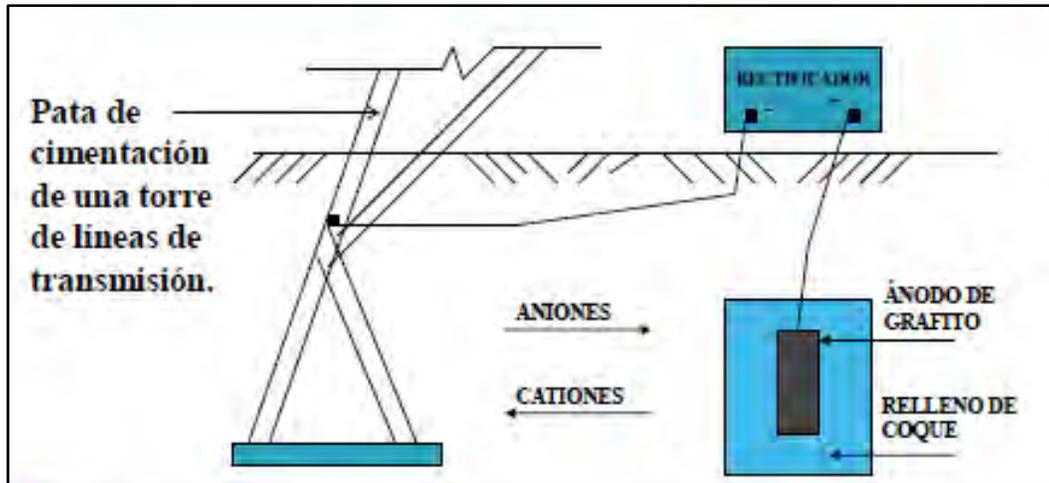


Figura 2.2 Protección catódica con corriente impresa.

Fuente: Lara; 2004.

#### 2.4.2.2 Protección catódica con ánodos de sacrificio.

La protección catódica con ánodos de sacrificio se recomienda cuando no se cuenta con una fuente de energía eléctrica cercana a la estructura a proteger. Tal como es el caso de cimentaciones de torres de líneas de transmisión o estructuras que requieran de poca corriente de protección.

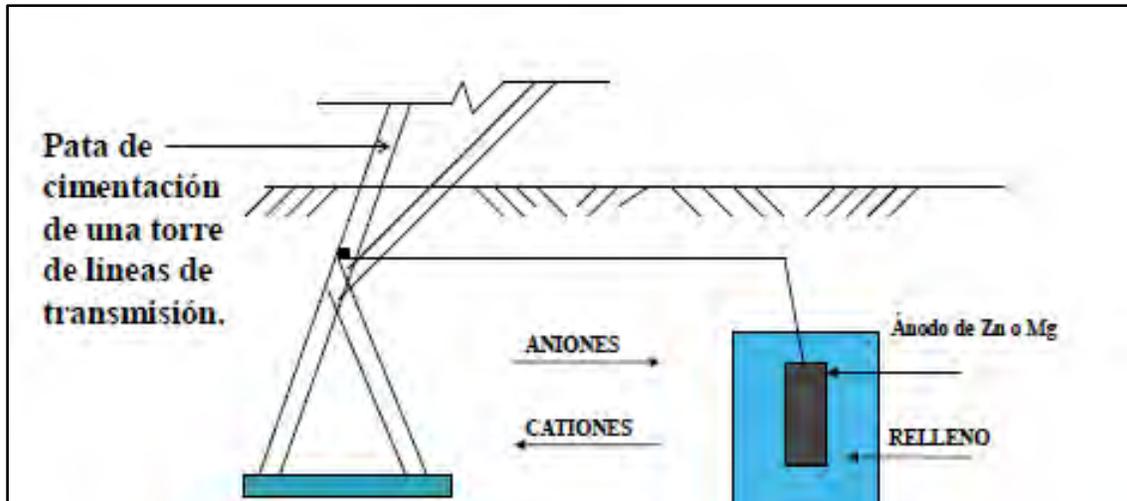


Figura 2.3 Protección catódica con ánodos de sacrificio.

Fuente: Lara; 2004.

### 2.4.3 Protección anódica.

Este método para aquellos metales que pueden ser pasivos en el medio en el que están expuestos. Por ejemplo acero al carbón en ácido sulfúrico concentrado. Se basa en mantener al metal en la zona pasiva de la curva anódica por medio de un potencioestado (mantener el potencial constante), usando un rectificador automático que opere con respecto al potencial medido con un electrodo de referencia conectando el polo positivo del rectificador al metal a proteger y el polo negativo a un cátodo auxiliar. Si no se pudiera sostener el potencial en la zona pasiva, este método puede resultar contraproducente. Este método no se utiliza en la CFE.

#### **2.4.4 Alteración del medio.**

Este método es ampliamente usado, sobre todo en partes de equipos de difícil acceso y cuando no se puede usar otros métodos para el control de la corrosión.

El medio se puede alterar cambiando el pH, la velocidad del flujo, la temperatura, la concentración, eliminando el oxígeno disuelto por medios mecánicos o químicos, o agregando inhibidores de corrosión.

#### **2.4.5 Uso de materiales no metálicos.**

Partiendo de que la corrosión se presenta solamente en los metales, el uso de materiales no metálicos evita la corrosión, esto no significa que estos materiales no puedan sufrir degradación o envejecimiento. Los materiales no metálicos más usados son los siguientes: Hules naturales o sintéticos, plásticos solos o reforzados, cerámicos, el grafito y la madera.

#### **2.4.6 Diseño.**

Generalmente es más económico realizar un buen diseño para disminuir los efectos de la corrosión, por lo que es recomendable contemplar lo siguiente:

- Evitar pares galvánicos.
- Evitar que se acumule la humedad.
- Disminuir el mantenimiento por corrosión.
- Diseño adecuado para facilitar la aplicación de recubrimientos.
- Evitar la concentración de esfuerzos.
- Evitar cavidades.

#### 2.4.7 Purificación del metal.

Este método tiene muy poca aplicación ya que rara vez se llegan a usar metales puros, sin embargo es una posibilidad para evitar la corrosión, debido a que mientras más puro sea el metal se pudiera evitar la corrosión. Como ejemplo en la siguiente tabla se muestra la velocidad de corrosión del aluminio respecto a la pureza.

% Pureza aluminio	Velocidad de corrosión relativa
99,998	1
99,97	1 000
99,2	30 000

Tabla 2.3 Velocidad de acuerdo a la pureza del aluminio.

Fuente: Lara (2004).

#### 2.4.8 Tratamientos anticorrosivos.

Este método es el más común para el control de la corrosión y se basa en crear una barrera sólida entre el metal a proteger con el medio que lo rodea.

Como su función es formar una barrera para poder aislar al metal del medio corrosivo, generalmente su resistencia eléctrica es alta para el caso de los tratamientos anticorrosivos orgánicos, con el fin de retardar el fenómeno electroquímico de la corrosión. Esta barrera además de funcionar como inhibidora de la corrosión, puede usarse para embellecer, como aislamiento térmico, antillana, decorativa, antivegetativa (biocida), de señalamiento, antiderrape, para dar protección catódica o mayor resistencia mecánica y química.

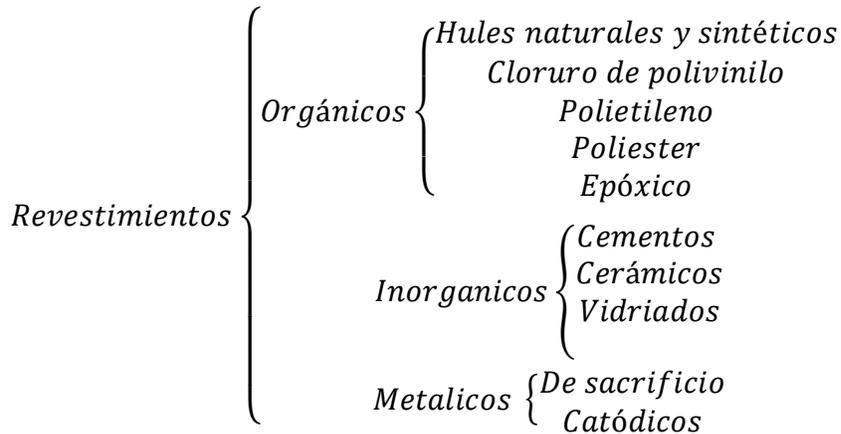
Según lo indicado en la especificación CFE-D8500-01, los recubrimientos anticorrosivos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Por su espesor en:

- a) Recubrimientos: espesor seco menor a 1 000  $\mu\text{m}$ .
- b) Revestimientos: espesor seco mayor de 1 000  $\mu\text{m}$ .

Por su composición química:





## 2.5 Proceso para aplicación de tratamientos anticorrosivos.

Como se mencionó en el capítulo anterior el método más empleado de los tratamientos anticorrosivos, son los recubrimientos. Los cuales consisten en una barrera que protegen al metal del medio que los rodea.

Para llevar a cabo este tratamiento es necesario de llevar a cabo un proceso para su correcta aplicación de acuerdo con la Especificación CFE-D8500, es necesario establecer la adecuada selección, preparación de superficies y aplicación de los recubrimientos anticorrosivos en las instalaciones y equipos de CFE, considerando la seguridad y la economía.

### 2.5.1 Preparación de Superficies.

La vida de los recubrimientos anticorrosivos depende principalmente de la preparación que tenga la superficie inmediatamente antes de su aplicación. Desde la etapa de su fabricación, las superficies metálicas adquieren sustancias

contaminantes, las cuales debilitan la adherencia de los recubrimientos y reduce su vida útil, por lo que es necesario removerlos antes de aplicar los recubrimientos.

Antes de iniciar con la limpieza y preparación de las superficies a recubrir, se debe verificar que no existan hendiduras, salpicaduras de soldadura, soldaduras sin esmerilar ni filos o aristas. El grado de limpieza requerida en esta función del tipo de recubrimiento seleccionado y de las condiciones originales de la superficie.

#### **2.5.1.1 Limpieza con solventes.**

Esta limpieza consiste en la remoción de grasas, aceites, polvos y sustancias contaminantes sueltas, realizada mediante el uso de solventes, cuya selección debe hacerse de acuerdo a su menor toxicidad, inflamabilidad y explosividad tomando en cuenta la temperatura del medio ambiente como se muestra en la tabla 2.4. Es además un método auxiliar en la preparación de superficies, no elimina óxidos, recubrimientos ni escamas de laminación adherida o floja. El uso de solventes debe de considerarse peligroso y debe de utilizarse en condiciones tales que evite que sus concentraciones rebasen las permisibles indicadas en la tabla 2.4.

Nombre del solvente	Concentración máxima permisible en el aire mg/dm <sup>3</sup> (1)	Límite de explosividad % en volumen (2)	Temperatura de inflamación en copa cerrada (Tag) °C (4)	Toxicidad
Metil isobutilcentona (MIC)	100	1.34	25	Causa irritación a los ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, náuseas. El contacto repetido en la piel ocasiona resequedad e irritación primaria. Debe manipularse en áreas bien ventiladas.
Percloroetileno (tetracloro-etileno)	100(5)	No explosivo (3)	No inflamable (3)	Causa dermatitis de contacto, depresión del sistema nervioso central e irritación de mucosas oculares y de vías respiratorias.
Tricloroetileno	100 (5)	No explosivo (3)	No inflamable (3)	Causa dermatitis, narcosis y anestesia.
Xileno (xilol)	200	1.0	27	Produce dermatitis por contactos repetidos y frecuentes.
Gas nafta (derivados de alquitrán de hulla)	200	0.9 (5)	38	Causa dermatitis.
Tolueno (toluol)	200	1.3	40	En concentraciones mayores a la permisible ocasiona dificultades en la coordinación, dolor de cabeza, náuseas, pérdida de apetito, mal sabor de boca, lasitud hasta ocasionar anemia, leucopenias y aumento del tamaño del hígado.
Alcohol isopropílico	400	2.5	53	Causa irritación en los ojos, vías respiratorias, dermatitis por contacto por acción repetida y narcosis.
Gas nafta (derivado del petróleo)	500	1.2	-7	Para conocer su toxicidad es indispensable saber cuáles son los ingredientes de las mezclas. En general ocasiona por ingestión: gastritis, vómito, diarrea, y somnolencia. Causa narcosis.
Acetona	1 000	2.15	25	Causa irritación de mucosas oculares y respiratorias, dolor de cabeza, sensación general de opresión y somnolencia en exposiciones excesivas. En contacto prolongado con la piel puede irritarla.

Tabla 2.4. Toxicidad de los solventes recomendados para limpieza de superficies.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01 (2012).

### **2.5.1.2 Limpieza con detergentes.**

Consiste en la remoción de grasa, aceite polvo y sustancias contaminantes que se encuentren sueltas, que se realiza empleando soluciones de detergentes o jabones. Es un método auxiliar en la preparación de superficies y no elimina óxidos, recubrimientos, ni escamas de laminación adheridos. Este método es menos toxico y contaminante pero más lento que el método de limpieza con solventes. Se debe de considerar que el uso de este método genera superficies resbalosas.

### **2.5.1.3 Limpieza con agua.**

Consiste sólo en remoción de lodo, polvo, sales y sustancias contaminantes sueltas, realizada mediante el empleo de agua y utensilios (trapo, cepillo, estropajo, fibra, lija) o un chorro de agua que puede ser de baja presión menor a 34 MPa o de alta presión de 34 MPa a 70 MPa.

Este limpieza es un método auxiliar en la preparación de superficies, no elimina grasas, grasa, aceites, óxidos, recubrimientos ni escamas de laminación adheridos. Es el método más recomendado para la eliminación de lodo previo a la preparación de superficies.

### **2.5.2.1 Preparación manual.**

Consiste en la remoción de sustancias contaminantes y/o recubrimientos, mediante el uso de herramientas y materiales que son operados manualmente.

Como regla general la preparación manual solo puede llevarse a cabo en los siguientes casos:

- a) Cuando no se dispone de abrasivos a presión.

- b) Cuando no se dispone de equipo mecánico para la preparación motorizada.
- c) Cuando las superficies sean inaccesibles a los otros métodos de preparación de superficies.
- d) Cuando la naturaleza y magnitud de trabajo sea tal, que resulte incosteable la utilización de algún otro método.
- e) Cuando así lo requiere el mantenimiento.

La preparación manual no remueve totalmente los óxidos, contaminantes y recubrimientos firmemente adheridos siendo además un método lento.

#### **2.5.2.2 Preparación motorizada.**

Es el método en el que utilizan herramientas eléctricas y/o neumáticas, con instrumentación de desbaste e impacto acoplados, para la remoción de sustancias contaminantes y/o recubrimientos. Este procedimiento no elimina los contaminantes fuertemente adheridos a la superficie metálica, pero se realiza más rápido que la preparación manual. En general produce un perfil de anclaje bajo, debido a su tendencia a pulir las superficies.

#### **2.5.2.3 Preparación con abrasivos a presión.**

Este método de preparación consiste en la proyección a alta velocidad de partículas abrasivas (comúnmente arena sílica) contra la superficie a preparar.

Es el método más recomendado y rápido de los métodos de preparación de superficies, según el grado de preparación especificado, remueve casi todas las sustancias contaminantes y algunas veces el metal firme, dejando casi siempre el perfil

de anclaje, requerido para el primario recomendado, pudiéndose alcanzar cuatro grados:

- a) Ráfaga.- La superficie queda de color de las sustancias contaminantes fuertemente adheridas, eliminando las sustancias contaminantes flojas. Del 10% al 66% de las superficies debe estar libre de todo residuo.
- b) Comercial.- La superficie queda con la rugosidad específica, de color similar al del abrasivo con apariencia no uniforme y libre de sustancias contaminantes flojas. Del 67% al 94% de la superficie debe estar libre de todo residuo.
- c) Metal casi blanco.- La superficie queda con la rugosidad específica, de apariencia no uniforme pudiéndose presentar ligeras sobras, vetas o decoloraciones. Del 95% al 99% de la superficie debe estar libre de todo residuo.
- d) Metal blanco.- La superficie queda con la rugosidad específica, de apariencia no uniforme, libre de sustancias contaminantes, oxidación visible, o de cualquier sustancia extraña. El color de la superficie puede variar de un gris a un blanco metálico, dependiendo del abrasivo utilizado.

En la preparación de superficies con abrasivos a presión pueden utilizarse materiales como: arena sílica, granalla de acero, munición de acero, coque, polímero, óxido de aluminio o cualquier otro, que cumpla con lo indicado en tabla 2.5, el equipo utilizado en la preparación de superficies con abrasivos a presión será el indicado en la tabla 2.6 y en la figura 2.4.

Material abrasivo		Máximo tamaño de partículas en (mm) NMX-B-231 (US Sieves)	Promedio de la altura del perfil de anclaje en ( $\mu\text{m}$ ) a 686 kPa	Lugar de aplicación	Características
Arena sílica	Muy fina	0,2 (80)	25	Fábrica o Campo.	Seca, silicosa, cuarzoza. No contaminada con sales, aceite y grasa. Puede usarse arena de mar siempre y cuando esté bien lavada y seca.
	Fina	0,4 (40)	38		
	Media	1,0 (18)	50		
	Gruesa	1,6 (12)	75		
Granalla de acero G	80	0,4 (40)	25	Fábrica o campo en interior de equipos.	Seca, sin óxido no contaminada con aceite ni grasa.
	50	0,7 (25)	38		
	40	1,0 (18)	50		
	25	1,2 (16)	75		
	16	1,7 (12)	100		
Munición de acero S <sup>(1)</sup>	110	0,7 (25)	25	Fábrica o campo en interior de equipos.	Seca, sin óxido no contaminada con aceite ni grasa.
	170	0,85 (20)	38		
	230	1,0 (18)	50		
	330	1,2 (16)	75		
	390	1,4 (14)	100		
Granalla de óxido de aluminio	100	-	25	Fábrica o campo en interior de equipos.	Seca, no contaminada con aceite ni grasa y que no contenga aluminio metálico.
	50	-	38		
	16	-	50		
	6	-	75 a 100		
Escoria de fundición de cobre	3 060	-	25 a 38	Fábrica o campo.	Seca, no contaminada con aceite ni grasa y que no contenga cobre metálico.
	2 040	-	50		
	1 240	-	75 a 100		

Tabla 2.5. Materiales recomendados en la preparación con abrasivos a presión.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01 (2012).

Equipo		Características
Equipo necesario para el suministro de aire	Compresor de aire	- Gasto continuo mínimo de 7,0 m <sup>3</sup> /min de aire a una presión de 686 kPa mínima
	Manguera para aire	- Vinilo o neopreno. Diámetro interior nominal 3,175 cm para una longitud máxima de 15 m. Debe soportar una presión mínima de 1030 kPa
	Válvulas	- De compuerta, con control remoto neumático
	Regulador de presión	- Para una presión mínima de 686 kPa
	Filtros	- Uno como separador de humedad y otro de aceite y grasa
	Cinta para sellar	- Politetrafluoretileno. (Teflón)
Equipo para el suministro de abrasivo	Alimentador de abrasivo	- Deben tener la capacidad adecuada a la magnitud del trabajo a desarrollar
	Válvula reguladora	- Generalmente integrada al alimentador de abrasivo
	Manguera	- Con foro antiestático, con conexiones tipo externo de rápido ensamble. Debe ser la adecuada al tipo de compresor y su Longitud debe ser tal que proporcione una presión mínima en la boquilla de 669 kPa el diámetro interior mínimo debe ser de 3,175 cm. Para facilidad de manejo, los últimos 3 m pueden ser de 2,54 cm de diámetro interior
	Boquilla	- Tipo venturi, con un diámetro interior a la salida de 0,95 cm y construida de carburo de tungsteno
Equipo para seguridad de los operadores	Purificador de aire	- Para suministrar un gasto mínimo de 625 dm <sup>3</sup> /m por persona
	Escafandra de seguridad	- Debe cubrir por completo la cabeza del operador y debe contar con alimentación de aire
	Guantes	- De neopreno. (CFE H0000-17)
	Mascarillas filtro	- Con cartucho para polvos (CFE H0000-33)
	Gafas protectoras	- CFE H0000-09
Equipo complementario	Cámara fotográfica	- Digital de 5 mega pixeles mínimo
	Manómetro de aguja	- Para un intervalo de (0 a 1373) kPa
	Medidor de humedad relativa (Higrómetro o psicrómetro)	- Portátil, escala mínima de 30 a 90 %
	Cribas clasificadoras de abrasivos	- Véase tabla 4
	Brochas y cepillos	
	Patrones visuales de perfil de anclaje	- De 25 µm, 50 µm, 75 µm y 100 µm como mínimo.
	Cinta de replica para perfil de anclaje	- De 50 µm de espesor.
	Micrómetro	- Con escala de 0 µm a 250 µm como mínimo.
	Termómetro de Superficie	- Con escala 0 a 100 °C mínimo y con imán con exactitud de ± 1 °C
	Termómetro ambiental	- Con escala 0 a 100 °C mínimo con exactitud de ± 1 °C

Tabla 2.6. Equipo recomendado en la preparación de superficies con abrasivo a presión.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01 (2012)

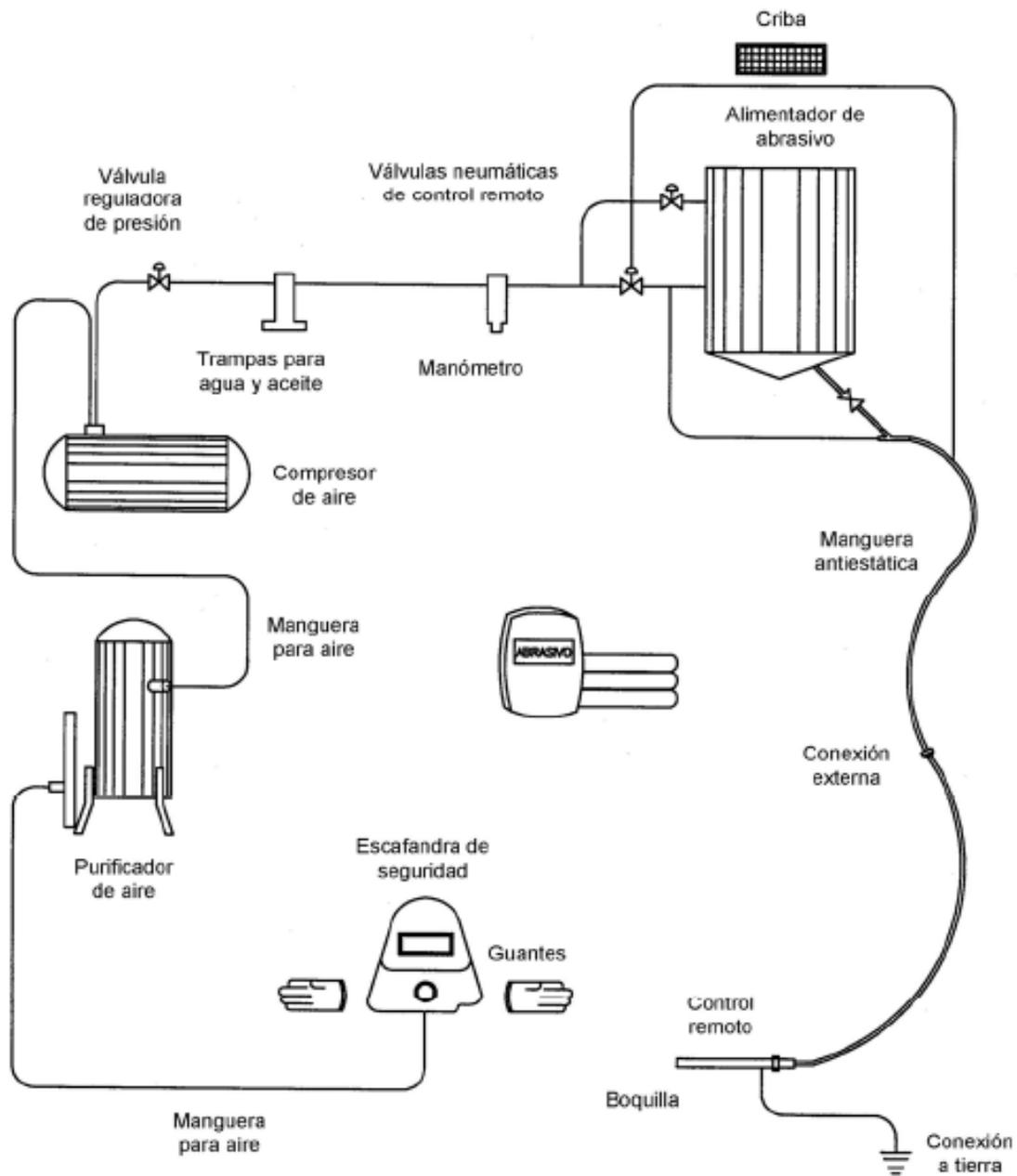


Figura 2.4 Equipo recomendado en la preparación de superficies con abrasivo a presión.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01 (2012).

#### **2.5.2.4 Preparación con agua a presión.**

Este método de preparación de superficie, consiste en un chorro de agua que puede ser a alta presión, entre 70 MPa a 170 MPa, eliminando óxido suelto, escama de laminación floja y polvo. Este procedimiento no remueve recubrimientos bien adheridos, ni óxido penetrado. El grado de preparación es similar al de la preparación motorizada, excepto que este no pule la superficie, es más rápido que el motorizado y no genera superficie de anclaje.

#### **2.5.2.5 Preparación con agua a ultra presión.**

Esta preparación consiste en golpear la superficie mediante chorro de agua a presión, mayor a 170 MPa, normalmente de 206 MPa a 241 MPa, eliminando óxido suelto, escamas de laminación floja y polvo. El grado de preparación con este método es similar al de la preparación motorizada, excepto que este no pule la superficie, es más rápido que el motorizado y no modifica el perfil de anclaje existente en la superficie del sustrato; además no genera polvo. Este procedimiento es recomendable para trabajos de mantenimiento.

#### **2.5.2.5 Preparación con agua a ultra presión con abrasivos.**

Consiste en golpear la superficie mediante un chorro de agua presión, mayor a 170 MPa, normalmente de 206 MPa a 241 MPa, adicionando partículas abrasivas, eliminando óxido suelto, escama de laminación floja y polvo. Este método de preparación tiene la característica de formar un perfil de anclaje sobre la superficie, generando un mínimo de polvo, principalmente cuando las condiciones de trabajo son espacios confinados o que la generación de polvo sea

un inconveniente, pudiéndose alcanzar los mismos 4 grados que se pueden obtener mediante el uso de abrasivos a presión en seco.

#### **2.5.2.6 Preparación química.**

Es un método de preparación de superficie que consiste en la aplicación de soluciones ácidas con el objeto de eliminar las sustancias contaminantes. Se recomienda exclusivamente este método de preparación en líneas de producción de artículos metálicos, como mordentador de concreto, preparación de galvanizado y en algunos casos especiales de mantenimiento, debido a los riesgos inherentes y que da un perfil de anclaje poco profundo.

Este tipo de preparación no debe de efectuarse por aspersion, para seguridad del personal, así como para evitar el deterioro de los equipos. En caso de salpicaduras o derrames de ácido, seguir las recomendaciones indicadas en la ficha de seguridad del equipo que se esté empleando. En lugares cerrados debe proveerse ventilación adecuada, minimizar la concentración del hidrógeno formado en la preparación, ya que este es irritante y explosivo. Por lo que no se debe fumar o utilizar algún tipo de herramienta que pueda producir chispas.

#### **2.5.3 Selección de superficie patrón.**

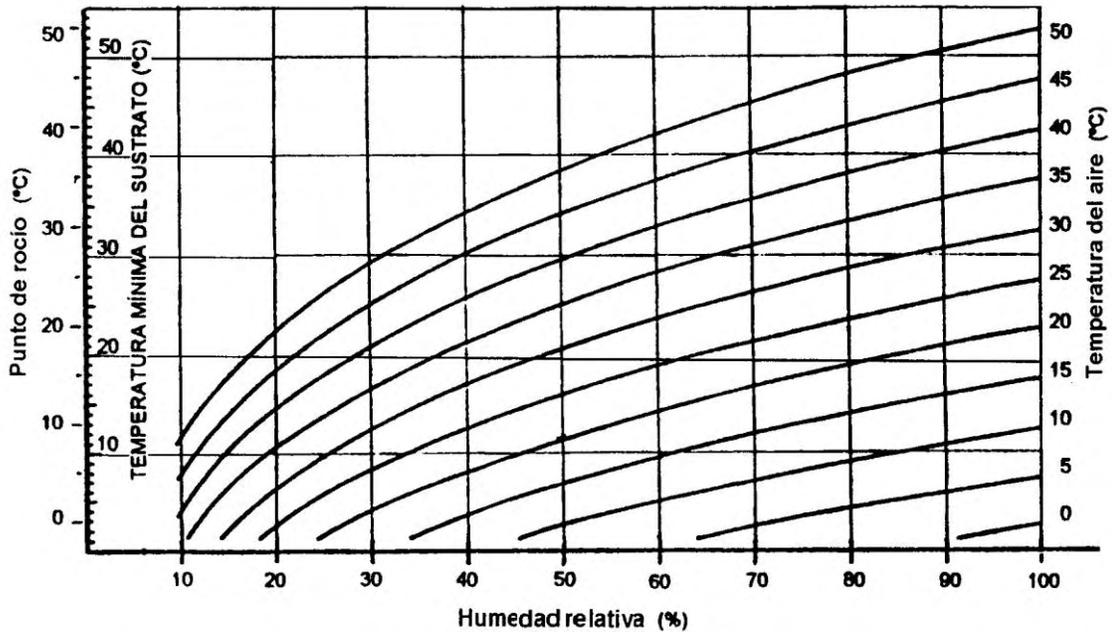
Para la selección de la superficie patrón primeramente se debe examinar las superficies para poder determinar las sustancias contaminantes a eliminar, una vez conocidas las superficies que serán tratadas, el supervisor de CFE y el proveedor seleccionaran un área representativa de las condiciones generales de cada zona de obra, así como el tamaño de dicha área.

Primeramente se debe de realizar la limpieza previa, para eliminar las grasas y aceites, ya sea con solventes y/o detergentes. Seguido de la limpieza se procede con realizar la preparación de la superficie con alguno de los métodos descritos en los párrafos anteriores.

Se establecerán dichas áreas como superficies patrón para cada una de las zonas consideradas. Estas áreas se conservaran mediante recubrimientos transparentes.

Se deben tomar fotografías antes y después de la preparación como referencia para posteriores aclaraciones.

Para el caso de preparación con abrasivos a presión se debe medir la humedad relativa, temperatura del sustrato y temperatura del aire. La humedad relativa que debe prevalecer cuando se efectuó esta preparación debe ser de 80% como máximo y la temperatura del sustrato debe estar a 3°C como mínimo por encima de la temperatura del rocío (ver gráfica 2.1).



Grafica 2.1. Determinación de temperatura del sustrato y punto de rocío, partiendo de temperatura del aire y humedad relativa.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01(2012).

Determinación de temperatura mínima del sustrato y punto de rocío, partiendo de la temperatura del aire y humedad relativa.

Si las condiciones no se cumplen una vez iniciada la preparación debe suspenderse y reiniciarse hasta que la condición de humedad relativa o temperatura del sustrato cumplan.

#### 2.5.4 Procedimiento de preparación de superficies.

De acuerdo con la especificación CFE D8500-01 primeramente se debe de limitar el área de trabajo, y verificar que el operario revise y utilice el equipo de seguridad adecuado.

Para eliminar las grasas y aceites se debe de realizar la limpieza, la cual se elegirá de acuerdo a la preparación que se vaya a realizar. Posteriormente se debe realizar una preparación la cual se elegirá de acuerdo a las condiciones de cada superficie por tratar.

Eliminar el exceso de polvo de la superficie recién preparada. Las superficies preparadas deben de recubrirse en las 4 h siguientes, o antes de que aparezca la corrosión que se observe a simple vista, dependiendo de la agresividad del ambiente.

#### **2.5.5 Aplicación de recubrimientos.**

Una vez realizada tanto la limpieza, así como la preparación de la superficie por recubrir, se procede a realizar la aplicación del recubrimiento anticorrosivo, el cual de acuerdo con la especificación CFE-D8500-01 debe de llevarse bajo ciertos parámetros que a continuación serán mencionados.

#### **2.5.6 Selección de métodos para la aplicación de recubrimientos.**

Los métodos de aplicación de recubrimientos más utilizados en campo se indican en la tabla 2.7:

Nombre del método de aplicación		Designación	Recomendación
Con brocha		CFE-AB	Se recomienda usarlo cuando se requiere una gran humectación de la superficie o para retocar cavidades, soldaduras, orillas, lugares con cierta profundidad o inaccesibles a otros métodos de aplicación
Con espátula		CFE-AE	Se recomienda para recubrimientos o revestimientos 100% sólidos o muy viscosos.
Con rodillo		CFE-AR	Se recomienda cuando no sea posible usar el método de aspersión, en superficies planas (pisos, muros y techos), cercas de alambre, y enrejados. Requiere poco equipo, es más rápido que con brocha
Por aspersión	Con aire	CFE-CA	Es el más recomendable para recubrir cualquier superficie, excepto en la que se requiera: gran humectación, retocar
	Sin aire	CFE-SA	

Tabla 2.7. Procedimiento de aplicación de recubrimientos.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01(2012).

Para seleccionar el método de aplicación adecuado, deben de considerarse los factores siguientes:

- a) Tipo de recubrimiento.
- b) Forma, tamaño y tipo de superficies.
- c) Ambiente.
- d) Velocidad de aplicación.
- e) Mano de obra especializada.
- f) Espesor requerido de la capa.
- g) Textura requerida.

- h) Facilidad de aplicación.
- i) Seguridad del personal.
- j) Equipo requerido.
- k) Costo y tiempo.

En la mayoría de los casos se ve la necesidad de usar varios métodos de aplicación.

### **2.5.7 Condiciones para la aplicación.**

El proceso de aplicación debe de efectuarse sobre una superficie y/o recubrimiento seco, preparado de acuerdo a lo señalado por la especificación CFE-D8500-01, se debe procurar que no estén expuestos a la lluvia, tolvánicas, niebla roció, brisa, nieve, ni cuando la temperatura de la superficie y/o recubrimiento sea menor de 7°C o mayor de 50°C, excepto los recubrimientos de tipo látex (vinílico, vinil-acrílico, hule clorado) y epóxicos, los cuales no se deben aplicar cuando la temperatura sea menor de 10°C o mayor de 50°C.

No se debe de aplicar ningún recubrimiento, cuando se espere que la temperatura de la superficie o del recubrimiento baje hasta 0 °C antes de que el último haya alcanzado el secado duro, ni cuando la humedad relativa del aire sea mayor del 85% o que la temperatura del sustrato sea menor de 3 °C por encima de la temperatura del roció, en caso de ser con aspersion no se debe de aplicar cuando la velocidad del viento sea mayor de 24 km/h.

### **2.5.8 Almacenamiento.**

Los recipientes con recubrimientos no deben de quedar expuestos a la lluvia y a la acción directa de los rayos del sol o cualquier otra fuente de calor. No estibar sobre pisos mojados, la temperatura del almacén debe estar entre 15°C y 30°C. Se debe de verificar las fechas de caducidad. El almacén debe de tener una ventilación adecuada, tener equipo contra incendio e instalación eléctrica tipo industrial a prueba de explosión.

Para un acondicionamiento adecuado se deben de seguir los siguientes incisos según lo indicado en la especificación CFE-D8500-01:

- a) Leer cuidadosamente las instrucciones del proveedor del recubrimiento verificando que la fecha de caducidad no haya vencido.
- b) Destapar el recipiente y pasar una parte del mismo a otro recipiente limpio de mayor volumen, de tal manera que permita una libre agitación en el recipiente original sin derrames.
- c) Agitar el contenido del recipiente original con una paleta de madera u otro medio adecuado, hasta lograr que todos los sólidos adheridos a las paredes y el fondo se reincorporen en forma homogénea.
- d) Transvasar con agitación continua la mezcla original de uno a otro recipiente y viceversa varias veces hasta lograr una mezcla homogénea.
- e) Si el recubrimiento es de dos componentes, estos deben mezclarse hasta obtener una mezcla homogénea, respetando la proporción y el tiempo de vida útil de la mezcla indicada por el proveedor.

- f) Filtrar el recubrimiento pasándolo a través de una manta de cielo o una malla equivalente a fin de eliminar natas, grumos, pintura seca o cualquier material extraño, de tal manera que el filtrado quede en el recipiente grande.
- g) Ajustar de acuerdo con las instrucciones del proveedor la viscosidad del recubrimiento con el adelgazador apropiado para su correcta aplicación.

## **2.6 Control de calidad.**

Para asegurar la calidad de los sistemas de recubrimientos anticorrosivos, se debe de aplicar las condiciones siguientes:

- a) Control de calidad del producto.
- b) Control de calidad en la aplicación de sistema de recubrimientos.
- c) Supervisión posterior periódica.

### **2.6.1 Control de calidad en el producto.**

#### **2.6.1.1 Muestreo.**

El proveedor debe de notificar a la Gerencia del LAPEM de CFE en el plazo establecido previo a la aplicación, para efectuar el control de calidad del producto correspondiente.

### **2.6.1.2 Pruebas de aceptación.**

Debe de verificarse mediante análisis de un laboratorio acreditado o en el laboratorio del fabricante con atestiguamiento y muestreo de LAPEM que cada lote cumpla con lo indicado en la especificación CFE L0000-15, para selección del color y con la CFE D8500-02 para la selección del sistema de recubrimientos en los conceptos siguientes: % de pigmentos, % de vehículo, sólidos totales en volumen, sólidos totales en masa, densidad viscosidad, tiempo de secado al tacto, tiempo de secado duro y cuando aplique, fineza de molido, partículas gruesas, agua libre, resistencia al impacto, brillo, dureza, flexibilidad, adherencia, flujo en plato inclinado y retención en malla, lo anterior en es indicado mas no limitado.

### **2.6.1.3 Aceptación o rechazo.**

Se realiza la aceptación del lote, cuando este cumple con lo establecido en las especificaciones CFE L0000-15 y CFE D8500-02. Caso contrario se rechaza.

## **2.6.2 Control de calidad en la aplicación de Sistemas de Recubrimientos.**

### **Preparación de superficies**

Se deben acordar con el proveedor, los programas de trabajo para la preparación de superficies y aplicación del recubrimiento, atendiendo a las condiciones ambientales locales.

Debe verificarse que los trabajos se realicen de acuerdo la especificación CFE D8500-01, vigilando que.

- a) Se conserve en buen estado los patrones de referencia locales de preparación de superficie durante los trabajos.
- b) Se compruebe al inicio de la jornada como mínimo, el estado de los materiales y equipos utilizados, desechando aquellos que no cumplan eficientemente con su función.

Se acepta la limpieza de superficies cuando no se aprecien en ellas sustancias grasosas, polvos y otros contaminantes similares. La comprobación de lo anterior, se hace frotando un trapo blanco limpio y mojado sobre la superficie, cualquier suciedad observada en el trapo es causa de rechazo. Debe de verificarse que las partes de difícil acceso como las esquinas, juntas y hendiduras estén limpias.

Cuando la limpieza es con agua, se aceptara como limpia cuando no se aprecien en ellas polvo, sales y lodo.

En las superficies rechazadas debe de repetirse el proceso de limpieza.

Se acepta la preparación cuando tenga una superficie comparable a la superficie patrón de acuerdo con la selección de superficie patrón mencionada en los párrafos anteriores.

Para la preparación con abrasivos a presión se deben de verificar los materiales de acuerdo con las condiciones siguientes:

- a) Verificar al inicio y a la mitad de la jornada que el aire de suministro a los trabajadores este exento de contaminantes que puedan ocasionar problemas en su salud. Para ello se debe contar con un sistema de purificación de aire mediante filtros de carbón activado.

- b) En lo que refiere al aire a presión para la preparación de superficies, verificar su limpieza al inicio y a la mitad de la jornada por medio del procedimiento siguiente: soplear directamente sobre un trapo limpio blanco durante un minuto y observar si en la tela dejó traza visible de sustancias grasosas, polvo o humedad en cuyo caso deben realizarse las acciones necesarias para evitar el o los contaminantes.
- c) Verificar al inicio de cada jornada la pureza del abrasivo, tomando un puño de abrasivo y colocarlo en un recipiente transparente que contenga aproximadamente 250 ml de agua desmineralizada y agitarlo, esperar a que se asiente el abrasivo y observar que el agua no presente turbiedad, partículas diferentes al abrasivo, ni presencia de aceite en la superficie. La conductividad del agua no debe variar al agregar el abrasivo.
- d) No se permite reutilizar la arena cuando se emplee como abrasivo.

#### **2.6.2.1 Aceptación o rechazo.**

- a) Inspeccionar visualmente la superficie, revisando con más cuidado las irregularidades de la misma, tales como cavidades, soldaduras, esquinas aristas y área corroídas en exceso. Se acepta cuando tenga una apariencia comparable con la superficie patrón.
- b) Una vez preparada la superficie, medir el perfil de anclaje con la lámpara comparadora o cinta de réplica, el cual no debe ser menor a 25  $\mu\text{m}$ , o bien un tercio del espesor seco del sistema completo por aplicar, pero

no mayor que el espesor seco primario. Si no cumple con lo establecido se rechaza.

En las superficies rechazadas se debe de repetir el proceso de preparación indicado.

El proveedor o contratista debe informar al supervisor de CFE el resultado de la preparación de superficie.

### **2.6.3 Supervisión de la aplicación de los recubrimientos.**

Se debe verificar que los trabajos se realicen de acuerdo a los procedimientos descritos anteriormente en la presente investigación e indicados en la especificación CFE D8500-01. Así como comprobar al inicio de cada jornada como mínimo el estado de los materiales y equipos utilizados desechando y sustituyendo aquellos que presenten desgastes excesivos, pérdida de propiedades o que estén fuera de especificación de CFE.

### **2.6.4 Material y equipo.**

El material a utilizar para la supervisión de la aplicación de los recubrimientos será el siguiente:

- a) Medidor de espesor húmedo de 0 a 2000  $\mu\text{m}$ .
- b) Medidor de espesor seco de 0 a 1000  $\mu\text{m}$  mínimo con una exactitud máxima de 10%.
- c) Peine de ranuras de 1 mm de separación entre navajas para espesores hasta 50  $\mu\text{m}$  y de 2 mm de separación para espesores de (50 a 125)  $\mu\text{m}$

y de 3 mm de separación para espesores de (125 a 300)  $\mu\text{m}$  y hoja de rasurar bien afilada y que tenga un ángulo de corte entre 15° y 30°.

- d) Detector de poros de 9V para espesores menores de 300  $\mu\text{m}$  y 67 V entre (300 y 500)  $\mu\text{m}$ .
- e) Detector de poros de chispa con alta tensión para espesores mayores de 500  $\mu\text{m}$
- f) Un termómetro de superficie y otro de inmersión con  $\pm 1$  % de exactitud, con escala mínima de (0 a 120)° C.
- g) Cinta adhesiva transparente de 25 mm de ancho.
- h) Medidor de humedad relativa portátil con escala de 30 a 90 % como mínimo.
- i) Regla metálica graduada.

Se requiere que estos equipos cuenten con la calibración vigente certificada.

#### **2.6.5 Supervisión de la aplicación de primario, intermedio y acabado.**

Se debe de verificar que el primario, intermedio y acabado cumplan con las siguientes condiciones, de no ser así deberá ser rechazado:

- a) Verificar que se efectuó el acondicionamiento adecuado.
- b) Verificar que la temperatura de la superficie, del recubrimiento, así como la humedad relativa estén dentro de los límites adecuados.

- c) Verificar que antes de la aplicación de cada capa de recubrimiento, las superficies se encuentren limpias y libres de sustancias contaminadas sueltas.
- d) Verificar que el tiempo transcurrido entre la preparación de las superficies y la aplicación de la primera capa de recubrimiento no sea mayor de 4 h, para superficies preparadas con abrasivos a presión; para los otros tipos de preparaciones, debe ser dentro de la misma jornada de trabajo.
- e) Verificar que el aplicador realice mediciones periódicas de espesor húmedo, debiendo estas concordar con lo especificado.

Para conocer el valor del espesor húmedo recomendado, aplicar la tabla 2.8 o la siguiente ecuación:

$$H = \frac{s(100 + D)}{V}$$

V= % de sólidos en volumen.

H= espesor húmedo en  $\mu\text{m}$ .

S= espesor seco en  $\mu\text{m}$ .

D= % de dilución.

Porcentaje de sólidos en volumen	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Esesor seco (µm)	Esesor húmedo(µm)									
25	25	28	31	36	42	50	63	83	125	250
50	50	56	63	71	83	100	125	167	250	500
75	75	83	94	107	125	150	188	250	375	750
100	100	111	125	143	167	200	250	333	500	1000
125	125	139	156	179	208	250	313	417	625	1250
150	150	167	188	214	250	300	375	500	750	1500
175	175	194	219	250	292	350	438	583	875	1750
200	200	222	250	286	333	400	500	667	1000	2000
225	225	250	281	321	375	450	563	750	1125	2250
250	250	278	313	357	417	500	625	833	1250	2500
275	275	306	344	393	458	550	688	917	1375	2750
300	300	333	375	429	500	600	750	1000	1500	3000

Tabla 2.8. Calculo del porcentaje de sólidos en volumen.

Fuente: CFE-D8500-01(2012).

- f) Determinar el tiempo de secado duro.
- g) Verificar que se respete el tiempo mínimo que debe transcurrir entre la aplicación de cada capa de acuerdo a lo indicado por el proveedor del recubrimiento.
- h) Inspeccionar la apariencia de cada capa verificando que sea uniforme y que no se presente alguno de los defectos indicados en la tabla 2.9.

<b>Defecto</b>	<b>Causa</b>	<b>Corrección</b>
Ampollamiento	Solvente atrapado; superficie contaminada con sal, aceite o humedad; o exceso de corriente de protección catódica.	Ventilación en áreas encerradas para acelerar la liberación del solvente; adecuada limpieza o preparación de la superficie; niveles adecuados de protección catódica.
Arrugamiento	Demasiado espesor y/o clima muy caluroso, especialmente con recubrimientos a base de aceite.	Raspe lo rugoso y aplique una capa delgada de recubrimiento; evite exposición intensa a la luz del sol.
Brillo desigual	Espesor de la película no uniforme; humedad en la película; cambio de temperatura durante el curado; o recubrimiento aplicado sobre un recubrimiento blando o sin secar.	Dejar secar y aplique otra capa de acabado bajo condiciones adecuadas de humedad.
Caleo	Degradación de la resina del recubrimiento, dejando residuos sueltos; especialmente se presenta en recubrimientos delgados, epóxicos y sustratos donde polvo se remueve frecuentemente.	Eliminar el polvo suelto y aplicar un recubrimiento final que sea resistente al caleo.
Cáscara de naranja	Recubrimiento muy viscoso; pistola de aspersión muy cercana al sustrato; evaporación del solvente demasiado rápido; o presión del aire muy baja para una adecuada atomización.	Antes de que seque elimine con cepillo, el exceso de pintura y modifique las condiciones de la aspersión. Después de que ha secado prepare la superficie y vuélvase a recubrir.
Cráteres	Bolsas de aire atrapado en películas húmedas durante la aspersión.	Desvanezca el acabado y aplique capas adicionales de recubrimiento.
Cristalizado	Temperatura del sustrato mayor a la que soporta el recubrimiento aplicado.	Quitar el recubrimiento y aplicador uno que resista esa temperatura.
Cuartheaduras	Flexibilidad del recubrimiento limitado; capa muy gruesa; o aplicado a alta temperatura.	Prepare la superficie eliminando el recubrimiento desprendido y vuélvase a recubrir.
Daño por vegetales	Cirrópodos, etc., penetrando recubrimientos blandos; la masa de los vegetales pela el recubrimiento con mala adherencia.	Elimine y reemplace el recubrimiento con una o más capas de recubrimiento flexible o elástico, utilice recubrimientos antivegetativos.
Decoloración	Degradación por la luz ultravioleta, o humedad detrás del recubrimiento.	Recubra de nuevo y evite fuentes posibles de humedad.
Desprendimiento	Incompatibilidad entre recubrimientos; sustrato con caleo o polvo; contratación del o los recubrimientos durante el curado o por intemperismo.	Prepare la superficie eliminando el recubrimiento desprendido y vuélvase a recubrir.
Erosión	Daño físico por abrasión	Proteja el recubrimiento con un acerca; repare las partes erosionadas con algún recubrimiento resistente a la abrasión.

<b>Defecto</b>	<b>Causa</b>	<b>Corrección</b>
Escurrimiento	Pistola de aspersión muy cercana al sustrato; exceso de recubrimiento; o superficie demasiado dura o pulida para sostener a la pintura.	Antes de que seque, cepille el exceso de pintura y modifique las condiciones de aspersión. Después de que se ha secado, prepare la superficie y vuélvase a recubrir.
Grietas	Encogimiento; flexibilidad limitada; espesor muy grueso (especialmente no recubrimientos ricos en cinc); o aplicación/curado a muy altas temperaturas.	Prepare la superficie nuevamente eliminando completamente el recubrimiento y vuélvase a recubrir.
Herrumbre	Formación de productos de corrosión donde el acero está expuesto, que transminan y levantan al recubrimiento.	Detección a tiempo de defectos con el detector de poros y corregirlos; uso de primarios con pigmentos inhibidores.
Manchado	Lavado prematuro del recubrimiento; uso de limpiadores no aprobados; salpicadura de solventes o sustancias agresivas.	Lijese el área afectada y vuélvase a recubrir.
Moho	Crecimiento de microorganismos, especialmente en humedad, recubrimientos en sombra, desfigurándolos y degradándolos.	Limpie y aplique una capa de acabado.
Ojos de pescado	Aplicación sobre aceite, suciedad, silicón o recubrimiento incompatible.	Prepare la superficie; aplique con brocha una capa y posteriormente el acabado.
Puntos de alfiler	Insuficiente atomización del recubrimiento; atomización gruesa; o pigmento asentado.	Si no se ha secado, cepille el recubrimiento y aplique una capa adicional. Si ya secó, aplique una capa adicional.
Ruborización	Condensación de agua en alta humedad relativa con evaporación rápida o adelgazador desbalanceado en aplicación por aspersión.	Prepare la superficie y vuélvase a recubrir con un retardador adicionado al adelgazador y que la humedad relativa sea menor a 80 %.
Sangrado	Solventes orgánicos en recubrimientos sin secar o asfaltos frescos disuelven material bituminoso y causa que emigre a través del recubrimiento.	Utilice recubrimientos de latex sobre materiales bituminosos; deje a los asfaltos secar 21 días naturales antes de aplicar el recubrimiento.
Sobrerociado	Las partículas que llegan a la superficie no tienen un buen nivel de humectación debido a una rápida evaporación del solvente; o partículas de pintura caen fuera del patrón de la aspersión.	Antes de que seque, elimine con cepillo el sobrerociado siguiendo un frotado con solvente. Después de que ha secado, prepare la superficie y vuélvase a recubrir.
Telarañas	Evaporación muy rápida del solvente. Es más común en lacas de rápida evaporación como son vinílicas y hules clorados.	Utilice un solvente de menor velocidad de evaporación y aplique cuando la temperatura ambiente baje. Si ya secó, prepare la superficie y vuélvase a recubrir.

Tabla 2.9. Fallas en los recubrimientos y recomendaciones para corregirlas.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01(2012).

- i) Medir el espesor seco primario, intermedio y cavado de acuerdo a los lineamientos siguientes:
- Para superficies extensas (tanques, paredes y tuberías de gran diámetro) una medición cada 2 m<sup>2</sup>.
  - Para piezas pequeñas (herrajes, interruptores, bombas y tuberías pequeñas) tres mediciones por cada pieza.
  - Para perfiles laminados (Angulo, vigas H y otros) una, edición por cada cara, por cada 2 m de longitud, considerando las soldaduras como caras adicionales.
  - Cuando se trate de tuberías, los puntos de medición deben ser como se indica en la siguiente figura:

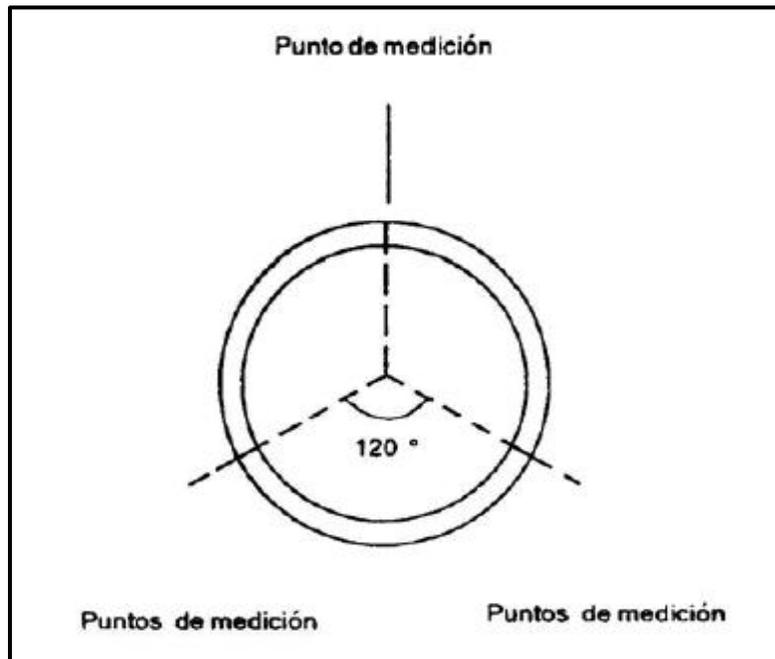


Figura 2.5 Puntos de medición en tuberías.

Fuente: Especificación CFE-D8500-01(2012).

- Cuando se detecten espesores fuera de lo especificado se debe aumentar el número de mediciones hasta delimitar el área rechazada, para su corrección.
- Cuando se observen áreas con espesores fuera de lo especificado se pueden hacer mediciones en otros puntos.
- j) Seleccionar los puntos de prueba al azar, en función del área total recubierta, del tipo de estructura y equipo a inspeccionar, la adherencia del sistema completo o del primario según sea el caso.

Para realizar la prueba de adherencia se debe de realizar un corte cuadrículado cuya separación y número de cortes por lado.

En todos los casos se debe cortar un pedazo aproximadamente de 75 mm de longitud de una cinta adhesiva, y el centro de la cinta colocarla en la zona de cortes y en el caso de corte en “x”, debe de colocarse en la dirección de los ángulos pequeños. Con ayuda de un borrador, se debe frotar la cinta hasta que se adhiera bien a la superficie; esto se notará con el cambio de color de la cinta.

En un intervalo de 60 a 120 segundos después de haber aplicado la cinta, se debe retirar jalándola rápidamente a un ángulo lo más cercano a 180°.

Posteriormente se debe inspeccionar el área de corte evaluando el recubrimiento desprendido y clasificar la prueba de adherencia de acuerdo a la tabla siguiente donde A corresponde al corte “x” y B corresponde al corte cuadrículado.

<b>Clasificación</b>	<b>Concepto</b>
5 A	Sin desprendimiento.
5B	Sin desprendimiento.
4 A	Trazas desprendidas o remoción a lo largo del corte.
4B	Pequeñas hojuelas del recubrimiento en las intersecciones menores del 5% del área afectada.
3 A	Desprendimiento a lo largo de las incisiones para hasta 1.6 mm en cualquier lado.
3 B	Pequeñas hojuelas del recubrimiento se desprenden a lo largo de los cortes y puntos de intersección, el área afectada es del 5 al 15%.
2 A	Desprendimiento a lo largo de las incisiones para hasta 3.2 mm en cualquier lado.
2 B	Pequeñas hojuelas del recubrimiento se desprenden a lo largo de los cortes y puntos de intersección, el área afectada es del 15 al 35%.
1 A	Eliminación del recubrimiento en la mayoría del área de la "x" bajo la cinta adhesiva.
1 B	Pequeñas hojuelas del recubrimiento, se desprende a lo largo de los cortes y puntos de intersección, el área es del 35 al 65%.
0 A	Eliminación del recubrimiento más allá de la "x".
0 B	El área desprendida es mayor a 65%.

Tabla 2.10. Clasificación de la prueba de adherencia.

Fuente: CFE-D8500-01(2012).

Es importante que esta prueba se efectúe cuando menos después de 7 días de haberse realizado la aplicación del recubrimiento.

- k) Para el caso de sistemas de recubrimientos en contacto continuo con el agua, en el interior de tanque y exterior de tuberías enterradas, se deben buscar poros frecuentemente de aristas, esquinas y lugares pocos accesibles con el detector de poros

#### **2.6.5.1 Aceptación o rechazo.**

Para poder aceptar un trabajo de recubrimientos anticorrosivos se deben cumplir las siguientes condiciones.

- a) El valor mínimo puntual aceptable de espesor del recubrimiento debe ser superior al 75% del valor promedio especificado.
- b) El número de mediciones con valores de espesor seco arriba de lo especificado debe ser mayor que el número de mediciones con valores abajo del promedio aceptable de espesores secos del recubrimiento.
- c) El valor máximo debe ser el 125% del valor especificado. En caso de ser mayor queda a criterio del supervisor de CFE.
- d) El valor máximo puntual aceptable de espesor seco del recubrimiento, queda a criterio del supervisor de CFE de acuerdo al tipo de recubrimiento aplicado.
- e) Para la prueba de adherencia, en caso de que la calificación sea menor de 4 se debe rechazar el sistema de recubrimiento para superficies nuevas y para mantenimiento, la clasificación no debe ser menor a tres.

## **2.7 Supervisión Posterior Periódica.**

Antes o a la par con la supervisión, deben recopilarse los registros en la bitácora de la obra, o además documentos que ayuden a identificar el tipo genérico de los recubrimientos existentes, condiciones de aplicación, preparación de superficies, número de capas y edad del sistema de recubrimiento.

Debe seleccionarse las áreas de supervisión en las instalaciones de la central, considerando un área por cada tipo de recubrimiento y exposición ambiental.

La evaluación deberá de realizarse cada 12 meses. Y en cada área se deben buscar los defectos siguientes:

- a) Ampollas.
- b) Grietas y surcos.
- c) Levantamientos o escamas.
- d) Áreas sin pintura y oxidación.
- e) Rayones o daños mecánicos.

Si en la evaluación se detectan más del 20% de defectos del área seleccionada, se debe recubrir de nuevo toda la superficie. Si es menor al 20% se deben reparar los defectos.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.**

En el presente capítulo se desarrollará todo lo referente al sitio donde se encuentra el proyecto en cuestión, partiendo de su localización geográfica, geología, hidrología y cada una de sus características en particular.

#### **3.1 Generalidades.**

La presa José María Morelos, C. H. “La Villita”, cuenta con un programa de mantenimientos correctivos y preventivos anualizado, el cual es elaborado a partir de las inspecciones de las estructuras por parte de área técnica de especialidad.

Derivado de las revisiones antes mencionadas se detectó que las estructuras de acero son las que más requieren de un mantenimiento constante, ya que la presa se encuentra ubicada en una zona de clima subhúmedo, cerca de la costa que aceleran la corrosión y degradación en los metales.

La construcción de esta presa estuvo a cargo de la Comisión del Río Balsas dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.R.H.), con la finalidad de aprovechar las aguas del río Balsas en la generación de energía eléctrica, riego y además control de avenidas. Consiste básicamente en una cortina de roca con eje ligeramente cóncavo hacia aguas abajo. Una obra de excedencia localizada en la margen derecha, del tipo de vertedor provista de 7 compuertas radiales. Dos túneles en la margen derecha para desvío durante la construcción y posteriormente para aprovecharlos para las tomas de la planta hidroeléctrica. Dos tomas de riego en ambas márgenes. La planta hidroeléctrica

que está situada al pie de la cortina, fue construida por la Comisión Federal de Electricidad en el año 1973.

### **3.1.1 Objetivo.**

Describir y analizar la metodología para aplicación de los tratamientos anticorrosivos aplicados para mantenimiento preventivo y correctivo de una Central Hidroeléctrica.

### **3.1.2 Alcance de proyecto.**

En el presente proyecto se pretende analizar el proceso y desarrollo de una licitación de obra pública para la aplicación de tratamientos anticorrosivos, así como la asignación de fallo a la propuesta con las condiciones técnicas, económicas y legales más solventes hasta el finiquito de los trabajos.

## **3.2 Resumen ejecutivo.**

Para realizar esta investigación es necesario conocer la zona de estudio por lo que se realizó la investigación de campo, así como también la Ley y Reglamento de Obras Públicas y normas correspondientes para la aplicación de tratamientos anticorrosivos.

Algunas de las estructuras de acero de la C. H. La Villita presentan formación de escamas de corrosión como es el caso de la tubería de presión N° 2 para las unidades N° 3 y 4, por lo cual se determina la necesidad de llevar a cabo una licitación pública para realizar los trabajos de aplicación de un nuevo recubrimiento anticorrosivo.

### 3.3 Entorno geográfico.

#### 3.3.1 Macro localización.

La zona de estudio se encuentra ubicada en los límites del Estado de Michoacán y el estado de Guerrero, de acuerdo con la página de internet (lasa.ciga.unam.mx), el estado de Michoacán de Ocampo se localiza en la Región Centro Occidente de la República Mexicana, entre los meridianos 17° 54' 34" y 20° 23' 37" de latitud Norte; y los paralelos 100° 03' 23" y 103° 44' 09" de longitud Oeste. Está integrado por 113 municipios y cuenta con una superficie total de 58,643.63 km<sup>2</sup>, que representa el 3% de la nacional. Su litoral se extiende a lo largo de 210.5 km de longitud sobre el Océano Pacífico.

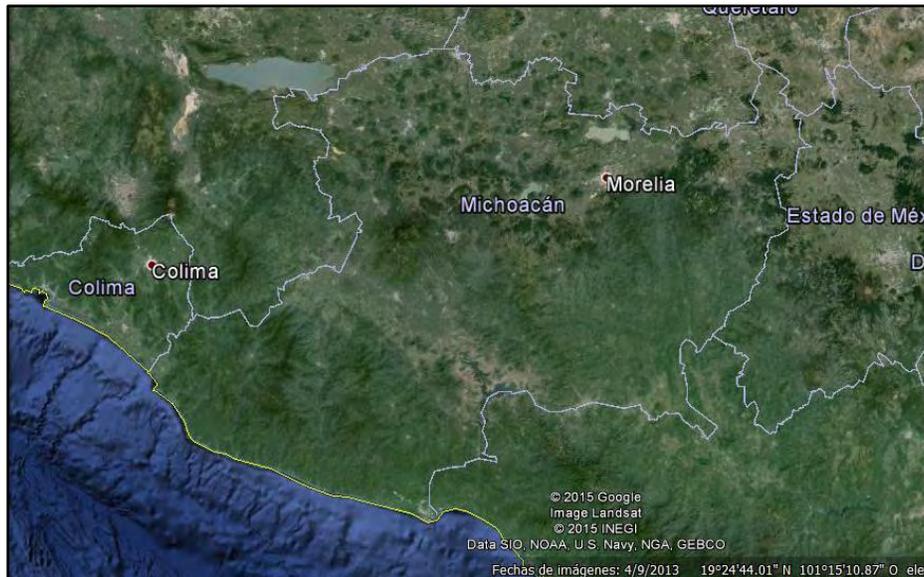


Imagen 3.1.- Foto satelital del Estado de Michoacán.

Fuente: Google Earth 2015.

Según la página de internet ([ww.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)), el estado de Guerrero pertenece a la Zona Pacífico Sur de la República Mexicana, sobre el litoral del océano Pacífico y se ubica entre los 16°18´ y 18°48´ de latitud norte y los 98°03´ y 102°12´ de longitud oeste. La geomorfología del estado es una de las más accidentadas y complejas de México; su relieve es atravesado por la Sierra Madre del Sur y las Sierras del Norte. Tiene una superficie territorial de 64.281 km<sup>2</sup> en la cual viven poco más de tres millones de personas.



Imagen 3.2 Ubicación del Estado de Guerrero.

Fuente: [www.travelbymexico.com](http://www.travelbymexico.com).

### 3.3.2. Micro localización.

La Central Hidroeléctrica La Villita, se localiza sobre el río Balsas, aproximadamente a 170 km al sur de Apatzingán, 55 km agua debajo de la presa Infiernillo y 13 km aguas arriba de la desembocadura del río Balsas en el Océano

Pacífico, en las coordenadas geográficas 18° 03' 40" de latitud norte y 102° 11' 15" de longitud oeste. En la boquilla, el río sirve como límite a los Estados de Guerrero y Michoacán, quedando a la margen izquierda el municipio de la Unión, Guerrero, y en la margen derecha el de Lázaro Cárdenas, Michoacán, en las coordenadas 18°02'52.4" latitud norte y 102°10'49.4" longitud oeste y una altura de 100 m.s.n.m.

La forma de llegar a la central hidroeléctrica es por la carretera Federal No. 37 Uruapan-Playa Azul, mediante una desviación de 20 km, a partir de la población La Mira, Michoacán, pasando por la población de La Orilla o también por la supercarretera 37 D pasando por el poblado de Infiernillo y Feliciano, Guerrero.

### **3.4 Geología regional y de la zona de estudio.**

De acuerdo con [www.sismos.gob.mx](http://www.sismos.gob.mx), en Mexico, se identifican cuatro zonas sísmicas generales, las cuales fueron establecidas con base a los registros de sismicidad histórica. Las cuales se puede observar en la imagen 3.3, donde:

- A- Bajo.
- B- Medio.
- C- Alto.
- D- Muy alto.

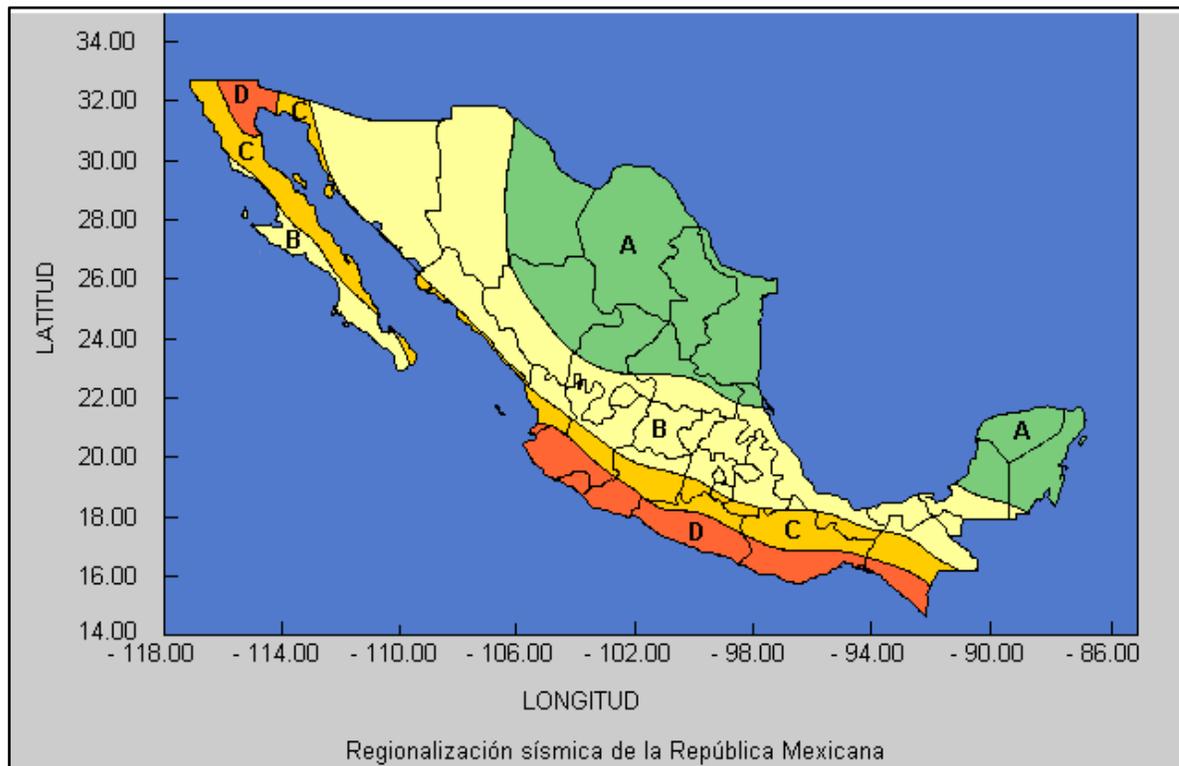


Imagen 3.3 Regiones Sísmicas en México.

Fuente: [www.sismos.gob](http://www.sismos.gob).

Por lo que de acuerdo a la figura 3.3 la presa se localiza en una zona sísmica tipo D, la cual es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Según lo escrito por Hernández Romero (2006), fisiográficamente la presa se encuentra enclavada en los límites de una planicie costera del Pacífico, en la vertiente occidental de la Sierra Madre del Sur, que se formó por las orogenias

ocurridas desde fines del Cretácico, a principios del Cenozoico. El subsuelo en la zona de la presa está constituido por rocas intrusivas y metamórficas: granitos, pizarra y esquistos, pertenecientes al periodo Paleozoico y por lutitas, areniscas calcáreas, margas y calizas del Mesozoico. El Terciario está representado por derrame ígneo, sedimentos continentales e instructivos granodioríticos del terciario y el Cuaternario por aluviones.

El conjunto de rocas metamórficas, volcánicas e intrusivas ha sufrido esfuerzos tectónicos, manifestados por plegamientos y dislocaciones, estas últimas de importancia en sus desplazamientos, formando una estructura de bloques características de la región. En algunas áreas y coronando prominencias, hay depósitos de aluviones que descansan indistintamente sobre la serie volcánica o bajo activa erosión era finales del Terciario una planicie aluvial; sin embargo en el proceso fisiográfico general de esta zona costera que por movimientos tectónicos diferenciales entre bloques ha sufrido modificaciones orográficas, predomina el de un descenso regional con la relación al nivel del mar. En general la región está cruzada por un sistema de fallas geográficas.

#### **3.4.1 Geología de empotramientos.**

La cortina descansa en la sección del cauce, sobre potentes acarreos aluviales de gravas y arenas que alcanzan hasta 75 m de espesor, en las laderas está cimentada sobre rocas volcánicas andesíticas alteradas y parcialmente metaforizadas por los efectos de una intrusión granodiorítica. Las rocas volcánicas muestran pseudoestratificación, estando plegadas de tal manera que en el sitio, forman el flanco suroeste de un anticlinal dirigido de NE a SW. El

espesor de las andesitas es variable y se presentan con intercalaciones de brechas andesíticas masivas y capillas de tobas. La estructura en capas señalada está cortada por una familia bien definida de fracturas tectónicas que prolongándose a profundidad, buzan con echados que varían de 45° a 60° hacia el noroeste, conservando en toda el área un rumbo general de NE a SW.

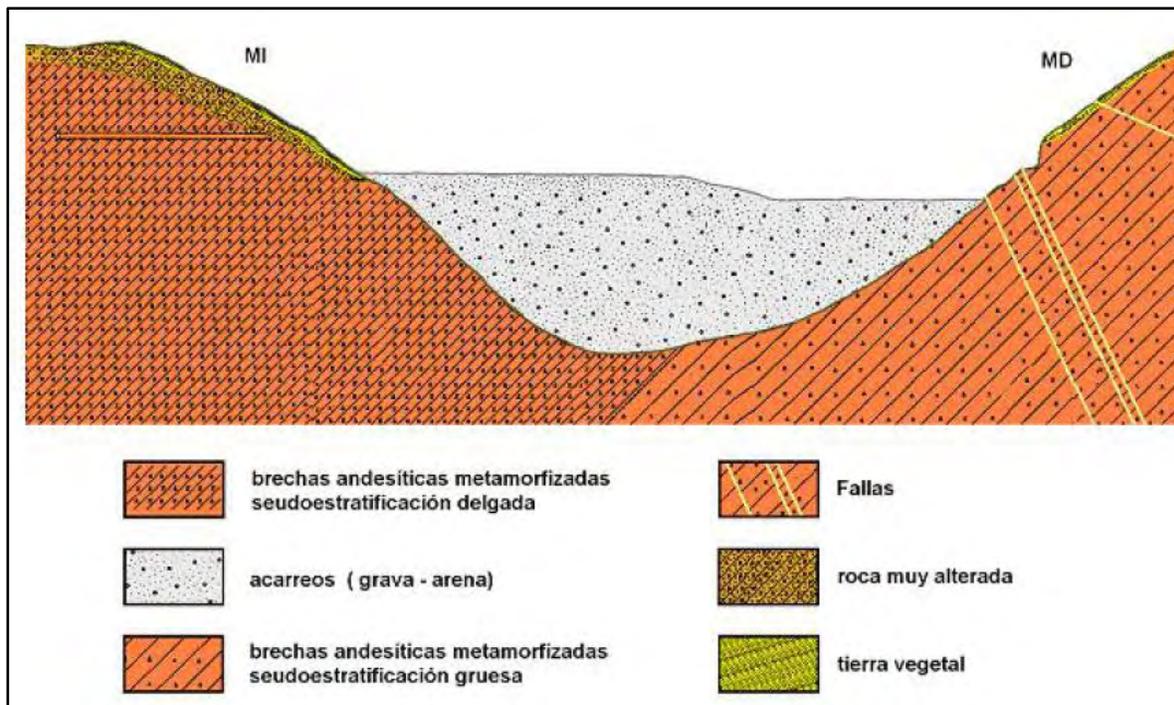


Figura 3.1 Geología de los empotramientos de la cortina.

Fuente: Hernández Romero (2006).

### 3.4.2 Geología del vertedor.

El vertedor está desplantado en un cuerpo de andesitas que está afectado en la parte superior del empotramiento derecho por la presencia de dos grandes fallas que buzcan con 45° hacia este empotramiento y hacia aguas arriba.

La falla inferior separa el cuerpo de andesitas de una cuña formada por una toba de grano fino muy fracturado. La falla superior separa a esta cuña del granito que aflora en el oeste.

Avenida de diseño. 13 886 m<sup>3</sup>/seg.

Longitud de la cresta 98 m.

Capacidad máxima de descarga 13 886 m<sup>3</sup>/seg.

### **3.5 Hidrología.**

Se puede definir a la Hidrología General como la ciencia que trata los procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos de agua en las áreas continentales de la tierra y en las diversas fases del ciclo hidrológico.

La zona de estudio se pertenece la Región Hidrológica No. 18, según clasificación de la CONAGUA. Cubre un área de 108 000 km<sup>2</sup> y comprende extensiones de los estados de Oaxaca, Puebla, México, Morelos, Michoacán, Guerrero, Jalisco, Tlaxcala y una porción del Distrito Federal. Tiene su nacimiento a grandes altitudes en las estribaciones del Nevado de Toluca, Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Malinche, y en su desembocadura en el Océano Pacífico forma el límite entre los Estados de Michoacán y Guerrero.



Imagen 3.4 Regiones Hidrológicas de México.

Fuente: [www.conagua.gob](http://www.conagua.gob)

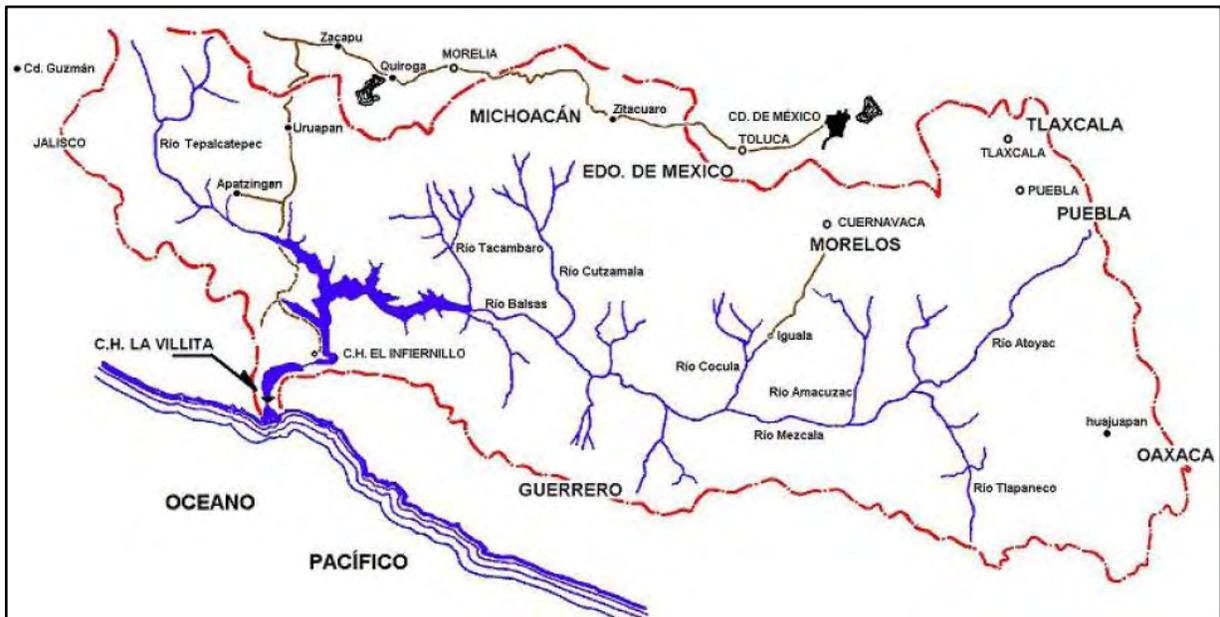


Figura 3.2 Hidrografía del río Balsas.

Fuente: Hernández Romero (2006).

A continuación en la tabla 3.1 se describen los niveles de control de la Presa José Ma. Morelos (C. H. La Villita).

<b>ELEVACIÓN (Metros sobre el nivel del mar)</b>	<b>NIVEL DE CONTROL</b>
<b>56.73</b>	<b>NAME</b>
<b>51.20</b>	<b>NAMO</b>
<b>41.73</b>	<b>NAMinO</b>

Tabla 3.1 Niveles de control del embalse.

Fuente: Hernández Romero (2006).

### **3.6 Reporte fotográfico.**

A continuación se mostrarán fotografías de los datos más relevantes de la Central Hidroeléctrica La Villita Presa José Ma. Morelos.

#### **3.6.1 Descripción de la presa.**

La presa está formada por las siguientes estructuras civiles:

- 1) Cortina.
- 2) Obra de toma.
- 3) Casa de máquinas.
- 4) Pozos de oscilación.
- 5 y 6) Obras de toma para riego.
- 7) Obra de toma para generación eléctrica.



Figura 3.3 Ubicación de las estructuras civiles

Fuente: Hernández Romero (2006).

#### 3.6.1.1 Cortina.

La corona de la cortina se encuentra a la elevación 60 m y tiene una longitud aproximada de 420 m en su eje longitudinal, el cual es ligeramente curvo tal como se puede apreciar en la fotografía 3.2. El ancho de la corona es de 14 m.

La cortina es tipo de roca con corazón impermeable central angosto y simétrico, provisto en ambos lados de filtros selectos de arena, zonas de transición de grava y arena, respaldados permeables formados con enrocamiento y chapas de roca selecta para protección contra oleaje y erosión por lluvia y apoyado en el cauce en los rellenos aluviales de gravas y arenas.

En virtud de estar localizada la obra en una región del país de gran actividad sísmica, se consideró necesario que la pantalla de concreto en su contacto con el desplante de la cortina pudiera resistir desplazamientos importantes impuestos por esfuerzo cortante sin ser dañado en sus condiciones de impermeabilidad; a la vez se consideró la necesidad de que el gradiente hidráulico en esta parte vital de su estructura tuviera como máximo un valor de 4 o 5.

Para esta doble finalidad, fue necesario consolidar e impermeabilizar los aluviones de grava y arena del cauce del río en que se apoya la cortina, en una faja aguas arriba de 6.0 m y aguas abajo del dentellón de 6.0 mediante el inyectado de lechada estabilizada con una profundidad de 25.0 m.

En el tramo del cauce de la margen izquierda, donde estuvo alojado el túnel de desvío final y en donde el cauce se profundizó a la elevación 0.00 m, fue necesario habilitar una plataforma de trabajo, mediante el relleno a volteo, a fondo perdido, de grava y una plataforma de trabajo, mediante el relleno a volteo, a fondo perdido, de grava y arena hasta la elevación, 7.00 m, en que llegaba el nivel de agua, la plataforma posteriormente fue consolidada dentro de las trazas del corazón impermeable, realizando inyecciones de lechada estabilizada y completada posteriormente hasta la elevación 15.00 m.

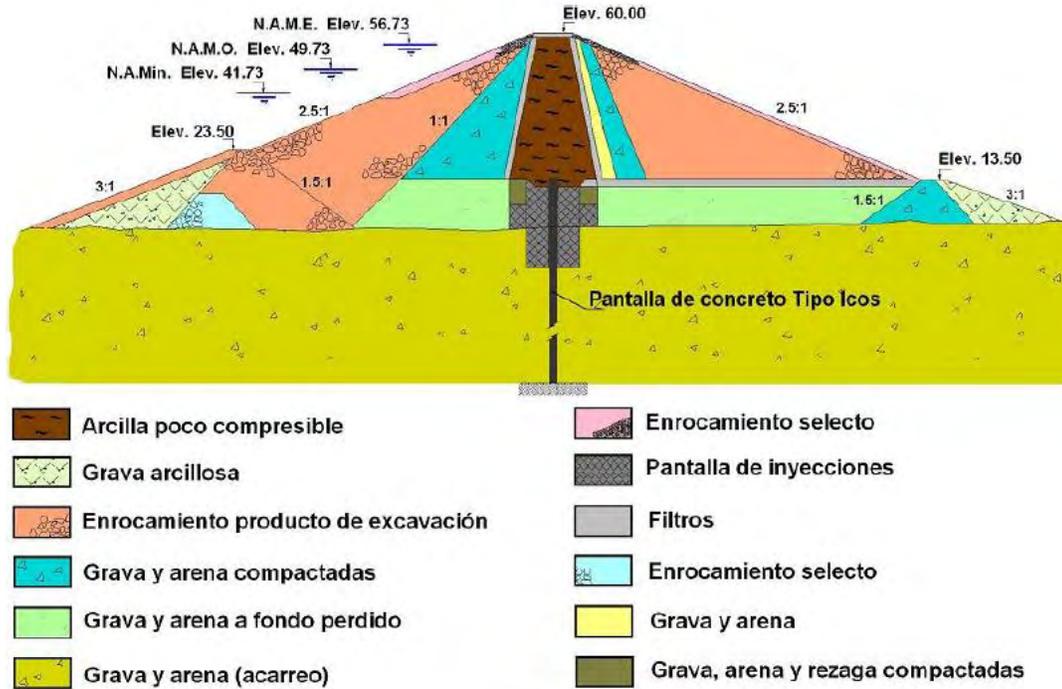


Figura 3.4 Sección transversal máxima de la presa.

Fuente:



Fotografía 3.1 Vista aérea de C.H. La Villita Presa José Ma. Morelos.

Fuente: Propia.



Fotografía 3.2 Cortina de la Presa José Ma. Morelos vista desde margen derecha.

Fuente: Hernández Romero (2006).

#### **3.6.1.2 Instrumentación de la cortina.**

Para observar el comportamiento de la cortina y especialmente la pantalla profunda de concreto a través del tiempo y comprobar su funcionamiento, fue instalado en colaboración entre la Comisión del Río Balsas y la Comisión Federal de Electricidad aparatos de medición dentro del cuerpo de la cortina en la pantalla de concreto y en los acarrees del río, que consisten esencialmente en:

1.- Piezómetros: Instrumentación de apoyo para observar los niveles piezométricos y freáticos del agua, en el cuerpo de la cortina y en los acarrees de grava y arena; estos últimos se instalaron aguas arriba y agua debajo de la pantalla de concreto ICOS.

2.- Inclínómetros: Instrumentación de apoyo para detectar movimientos horizontales en dos direcciones perpendiculares y movimientos verticales, instalados dentro de la pantalla de concreto, en el cuerpo de la cortina y en los acarrees de agua arriba y aguas abajo.

3.- Celdas de presión: Instrumentación de apoyo para valorar las presiones totales en el corazón impermeables y en los respaldo.

4.- En la ladera de la margen izquierda, se tienen instalados inclinómetros y extensómetros, para detectar desplazamientos de los posibles movimientos incipientes, que podían presentarse en los planos fracturas.

#### **3.6.1.3 Obra de excedencias.**

El vertedor u obra de excedencias se ubica en la margen derecha del río, la cresta vertedora está a la elevación 39,85 m y tiene una longitud efectiva de descarga 98 m, la cual está controlada por 7 compuertas tipo radial de 14 m de ancho y 10,50 m de alto (fotos 3.3 y 3.4). Adicionalmente cuenta con seis pilas de 3 m de espesor, lo que da una longitud total de 116 m.

El cimacio queda definido por un perfil Creager hasta la elevación 34,46 m, de donde continua con una recta de talud 1,33:1, hasta alcanzar el fondo del tanque en la estación 0+028,23 en la elevación 23,25 m. El cimacio está provisto de dentellones tanto aguas arriba como aguas abajo, para empotramiento en la roca de desplante (Fig. 3.5).

El tanque amortiguador tiene una longitud de 54 m, con plantilla en la elevación 23,25 m. Los muros del tanque tienen un talud de 0,25:1 y van revestidos hasta la elevación 49,55. El tanque termina en la estación 0+082,23, en donde inicia





Fotografía 3.3 Obra de excedencias.

Fuente: Propia.



Fotografía 3.4 Vista aérea de Obra de excedencias.

Fuente: Propia.

#### **3.6.1.4 Casa de máquinas y subestación.**

Se localiza al pie de la cortina, en la margen derecha del río. La estructura es a base de concreto reforzado hasta el piso de excitadores, y a partir de esta con estructuras metálicas. Aloja en su interior cuatro turbinas tipo Francis de eje vertical.

La Central Generadora cuenta con una subestación elevadora de 13.8 a 230 kV formada por 4 transformadores trifásicos de 80 MVA, conectados a cada generador y a esta tensión se conectan tres buses transferibles de donde salen dos líneas a la subestación Pitirera para enlazar con la Central de Infiernillo y dos líneas al consorcio Industrial Sicartsa.



Fotografía 3.5 Casa de máquinas.

Fuente: Propia.



Fotografía 3.6 Transformadores trifásicos.

Fuente: Propia

#### **3.6.1.5 Obra de toma para generación de energía eléctrica.**

Consiste básicamente en el aprovechamiento de los dos túneles de desvío localizados en la margen derecha, revestidos de concreto simple con diámetro interior de 10.5 m, provistos de estructuras de entrada para alojar rejillas, lumbreras en la parte media donde se alojan 4 compuertas de emergencia. Los trabajos correspondientes a la planta hidroeléctrica estuvieron a cargo de la Comisión Federal de Electricidad. Y consta de las siguientes obras:

a) Estructura de entrada: De concreto reforzado, con alturas en el túnel No. 1 de 46 m y en el No. 2 de 41 m, de sección exterior hexagonal de 17 m e interior circular de 10.50 m de diámetro y cubierta su parte superior mediante una cúpula de concreto. Se ligan en su parte inferior a los túneles por codos a 90, donde se instalaron compuertas para desvío.

b) Rejillas: Instaladas en la parte superior de las estructuras de entrada, constituidas por marcos de perfiles laminados de acero estructural, con soleras espaciadas a 10 cm.

c) Túneles: De eje recto en planta, sección circular de 10.50 m de diámetro interior con revestimiento de concreto de 75 cm de espesor, excavados en andesitas fracturadas. Cada uno con longitud aproximada de 280 m y pendiente de 0.002. A partir de la estación 0+152 inicia la tubería de acero con diámetro interior de 10 m, el cual varía gradualmente hasta 8.5 m en la zona del tanque de oscilación (Est. 0+187.00). A partir de la estación 0+250.50 se ubica la bifurcación donde el diámetro disminuye gradualmente a 6 m, diámetro con el que llega al caracol de las unidades generadoras alojadas en casa de máquinas.

d) Compuertas: En cada lumbrera se alojan 4 compuertas rodantes de 3.75 x 10.50 m. Para el cierre de los túneles en el desvío se usaron dos compuertas deslizantes de 4.40 x 10.50 m.

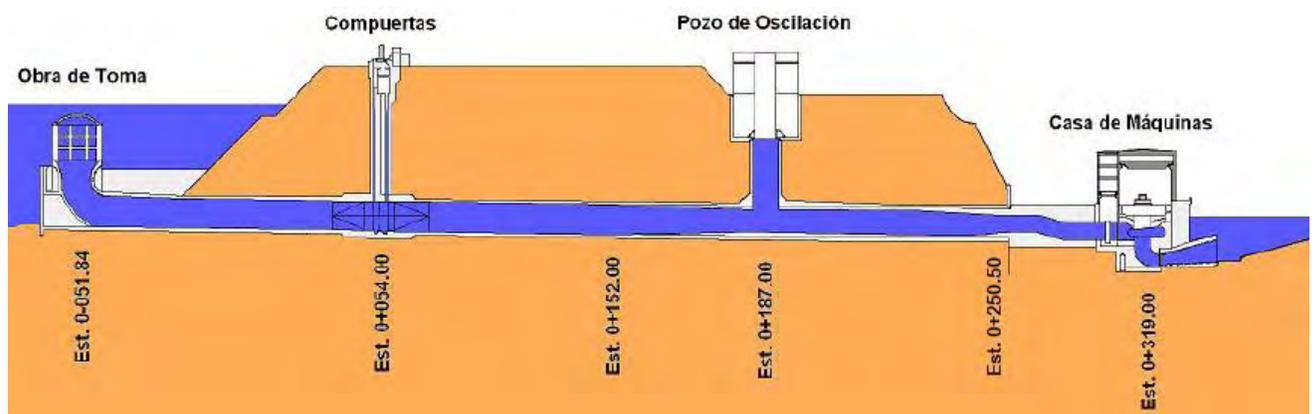


Figura 3.6 Obra de toma corte longitudinal.

Fuente: Hernández Romero (2006).

### **3.7 Inspección física de la estructura.**

Derivado de la necesidad de planificar los mantenimientos correctivos y preventivos en las estructuras de acero, se determinó realizar la medición de espesores de placa de la tubería de presión N° 2 para las unidades N° 3 y 4.

Detectándose de la medición de espesores de placa que no había pérdida de sección en el material de la tubería de acero, sin embargo el recubrimiento anticorrosivo existente presentaba deterioro en zonas puntuales debido a que este había cumplido con su vida útil por más de 20 años de servicio.

### **3.8 Alternativas de solución.**

En la presente investigación se propondrá dar una solución al problema de corrosión presente en la tubería de presión N° 2 para las unidades N° 3 y 4 de la central, para lo cual se realizó una licitación de obra pública para tratamientos anticorrosivos, la cual será elaborada de acuerdo a la ley de obras públicas y la normatividad de CFE.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizará la metodología para el desarrollo de investigación de esta tesis, tomando como inicio, el método empleado, el enfoque de la investigación, instrumentos de recopilación de datos y por último una descripción del proceso de investigación.

#### **4.1 Método empleado.**

Para la presente investigación, fue utilizado el método científico el cual “se funda estrictamente en las técnicas experimentales, las operaciones lógicas y la imaginación racional, para servir como instrumentos de la adquisición del conocimiento científico. Es todo caso, el método se desarrolla en la práctica y se afina en contacto directo con la realidad.” (Tamayo; 2005: 38). El método científico consta de las siguientes fases:

- a) La observación.- La observación es la percepción clara y exacta del fenómeno, y requiere un adiestramiento previo unido a una aptitud inquisitiva natural. La observación científica exige a su vez, un orden o método, una exactitud y, además precisión.
- b) La hipótesis.- Es una suposición que se proyecta en el campo de las posibilidades. La hipótesis es un razonamiento que, aunque todavía no sea una prueba, no es rechazado por la lógica ni por las observaciones previas, y puede obtenerse por circunstancias que se han obtenido en la observación.

- c) La experimentación.- Es la provocación del fenómeno, hecha a voluntad del investigador.

#### **4.1.1 Método matemático.**

Uno de los primeros o el primer conocimiento que capta el hombre es la noción de la cantidad, sin darse cuenta que se está poniendo en práctica un procedimiento científico. En ciencias aplicadas, un modelo, o método, matemático es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

La creación de un modelo matemático útil sigue una serie de fases bien determinadas.

- a) Identificación de un problema o situación compleja que necesita ser simulada.
- b) Elección del tipo de modelo, requiere precisar que tipo de respuesta pretende obtenerse.
- c) Formalización del modelo en la que se detallarán qué forma tienen los datos de entrada, que tipo de herramienta matemática se usará, como se adaptan a la información previa existente.
- d) Comparación de resultados, los resultados obtenidos como predicciones necesitan ser comparados con los hechos observados para ver si el modelo está prediciendo bien.

## **4.2 Enfoque de la investigación.**

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo ya que “es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica” (Hernández, 2010;4). De estas preguntas se determinan variables; se desarrollan planes para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas, y se establece una serie de conclusiones.

Un análisis cuantitativo se debe de elaborar siguiendo una serie de paso que deben de seguirse y no pueden ser pasados por alto a lo largo de su ejecución,

El enfoque cuantitativo consta de los siguientes pasos:

1. Planteamiento de un problema.
2. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico.
3. Visualización del alcance del estudio.
4. Definición de variables.
5. Desarrollo del diseño de investigación.
6. Definición y selección de la muestra.
7. Recolección de datos.
8. Análisis de datos.
9. Elaboración de reporte de resultados.

Debido a lo descrito en los párrafos anteriores, se llega a la conclusión de que esta tesis está enfocada dentro del carácter cuantitativo, ya que para poder

responder a la pregunta de investigación de la presente tesis, es necesario la definición de variables para posteriormente realizar una recolección de datos y analizarlos, mediante métodos numéricos y matemáticos en los cuales se basará la investigación.

#### **4.2.1 Alcance de la investigación.**

De acuerdo con Hernández y colaboradores (2010), el estudio de la investigación presenta un alcance descriptivo, debido a que se pretende describir situaciones, eventos y hechos; es decir, como es y cómo se manifiesta cada fenómeno estudiado. El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las características, situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos procesos, personas o del fenómeno en estudio.

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández y colaboradores, 2010; 8).

#### **4.3 Diseño de la investigación.**

Existen diferentes tipos de diseño de una investigación entre los cuales se encuentran tres principales que son: experimental, no experimental y casi (o cuasi) experimental.

De acuerdo con Hernández (2010) el diseño de esta investigación es no experimental debido a que no se manipularan variables a estudiar sino que solo se observarán para poder posteriormente analizarlas.

La investigación no experimental son “estudios que se realizan sin manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (Hernández, 2010; 149).

#### **4.3.1 Investigación Transeccional o Transversal.**

Según lo señalado por Hernández Sampieri y colaboradores (2006), los diseños de investigación transeccional o transversal obtienen datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Se describen las variables en un momento único, como si se tomará una fotografía describiendo las variables, tales como se encuentran en el momento en que se realiza el estudio.

#### **4.4 Instrumentos de recopilación de datos.**

La exploración cuantitativa es una técnica de recolección de datos, por lo que fue necesario la obtención de datos, para lo cual se vio la necesidad de utilizar diversos aparatos y equipos.

Se usan varios programas computacionales para la investigación, así como para la realización de los trabajos necesarios, debido a que son una herramienta que

nos facilita el trabajo, así como también en menos tiempo y con una mayor precisión. Como lo es Excel, Word y AutoCAD.

Microsoft Excel un software que nos permite construir planillas, cuadros estadísticos, registros de asistencias de notas, programa para elaboración de gráficos, plantilla de cálculo, etc. Sirviendo para la recopilación de datos y comparación de los mismos para llegar a un resultado.

Microsoft Word es un software que procesa textos, el cual fue utilizado para la redacción de estas tesis.

AutoCAD es un programa utilizado para elaborar el trazo de la red general de drenaje sanitario, a través de entidades geométricas puntos y líneas.

#### **4.5 Descripción de la investigación.**

La presente investigación se llevó a cabo de la siguiente manera, primeramente se realizó una investigación en la normatividad de CFE para poder conocer el método de selección y aplicación de recubrimientos anticorrosivos para centrales hidroeléctricas, así como también la selección del recubrimiento más adecuado para cada superficie según los agentes agresivos a los que están expuestas las superficies, como temperatura, humedad, agua contaminada etc. Una vez conocidas las superficies que se deben reparar, es necesario realizar la licitación pública de acuerdo a la Ley y Registro de Obras Públicas, para así poder seleccionar una propuesta que cumpla con las condiciones, técnicas económicas y legales requeridas por parte de la dependencia.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS, CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

En el presente capítulo se analizarán los datos de las variables obtenidas en campo, así como el análisis del proceso de una licitación pública referente a los tratamientos anticorrosivos, esto como parte del mantenimiento preventivo de una central de generación hidroeléctrica como lo es la C.H. La Villita.

#### **5.1 Generalidades.**

La Central Hidroeléctrica “La Villita”, se encuentra ubicada en una región con clima cálido sub-húmedo, esto de acuerdo a lo indicado en la clasificación de zonas climáticas de la norma CFE D8500-01, este clima es del tipo tropical, con temperatura media que oscila entre los 36°C en verano como máxima y (22 a 26) °c en invierno, como mínima. Presenta lluvias principalmente entre los meses de mayo y noviembre con precipitaciones acumuladas de (2000 a 4000) mm en invierno y mayores a 4000 mm en verano, el cual se puede apreciar en la figura 5.1.



Figura 5.1 Clasificación de zonas climáticas de la República Mexicana.

Fuente: CFE-D8500-01 2012.

Debido a esta condición, las estructuras metálicas de la Central están expuestas de forma permanente a condiciones severas de corrosión, motivo por el cual como parte del mantenimiento preventivo en la Central Hidroeléctrica “La Villita”, se realizan inspecciones de rutina, esto con la finalidad de verificar y valorar el estado de corrosión o deterioro que guardan las estructuras de acero de la Central que pudiesen afectar en la operación óptima de las unidades generadoras y la central misma.

## **5.2 Inspección.**

Como se mencionó anteriormente; es necesario elaborar, analizar, planificar y ejecutar un programa de inspecciones a las diferentes estructuras primarias y secundarias con el objeto de conocer y evaluar la operación de las diferentes estructuras de la central como parte del mantenimiento preventivo, y garantizar el funcionamiento óptimo de las mismas.

Por lo anterior, se realizó la medición de espesores de placa a las paredes de la tubería de presión No. 2, correspondiente a las unidades generadoras 3 y 4, la cual está formada por dos secciones, la primera a base de concreto que inicia en la obra de toma (0+000), terminando en el cadenamiento 0+152 con diámetro interior de 10.50 m y a partir de la estación 0+152, inicia la tubería de acero con diámetro interior de 10 m, el cual disminuye gradualmente hasta 8.5 m en la zona de los pozos de oscilación (Est. 0+187.00). A partir del cadenamiento 0+250.50 el diámetro disminuye gradualmente hasta los 6.00 m de diámetro con el que ingresa al caracol que se ubica en casa de máquinas y es la estructura final para ingreso del flujo al rodete del generador. En la siguiente figura se muestra el corte de la conducción.

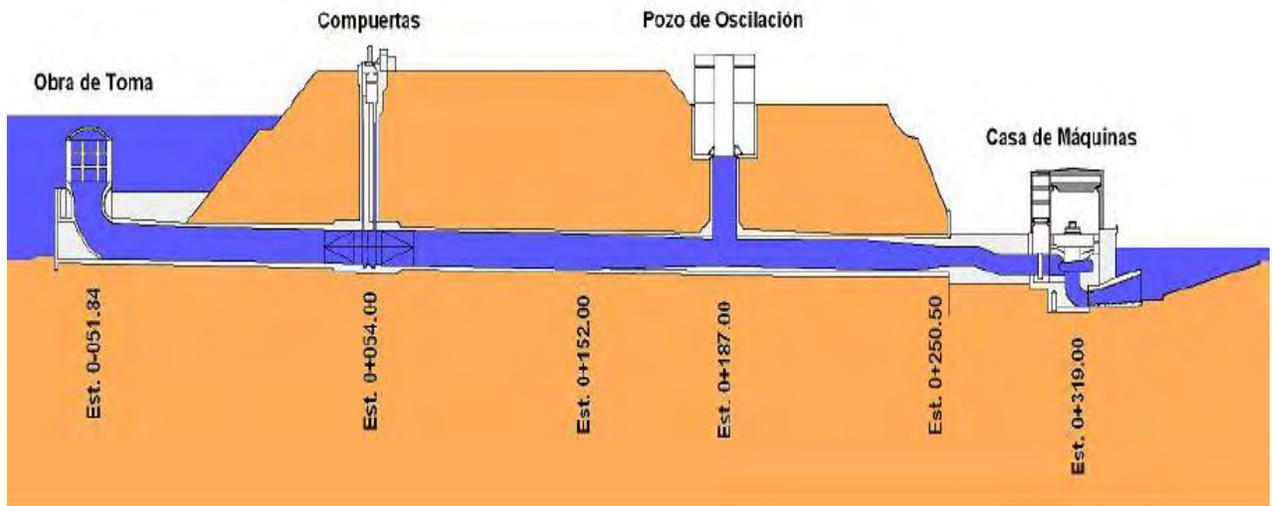


Figura 5.2 Corte longitudinal de las tuberías de conducción de la Central Hidroeléctrica La Villita.

Fuente: Fuente: Hernández Romero (2006).

De acuerdo con la CFE-Manual De Mantenimiento De Obras Civiles Sistemas De Conducción, las tuberías enterradas son vulnerables y susceptibles a los movimientos provocados por las fuerzas de presión o las ondas sísmicas.

Debido a que el subsuelo guarda las condiciones necesarias de humedad, alcalinidad, electricidad y patogenicidad, lo convierte en el medio corrosivo más agresivo para el acero, por lo que deben realizarse las medidas preventivas necesarias para mantener en perfecto estado a las estructuras, situación a la que deberá darse mayor atención y seguimiento desde su construcción, instalación y operación; con este mantenimiento preventivo se evitarán los altos costos de reparación y la salidas por falla.

Unos de los causantes principales que promueven la corrosión de las estructuras metálicas como son las tuberías es la acumulación de agua y la humedad

del subsuelo que les rodea. Dicha humedad es característica de los suelos y se debe normalmente a la infiltración a los sustratos inferiores. Por este motivo deben tomarse las medidas necesarias para reducir lo más posible la infiltración.

### **5.3 Mantenimiento interior.**

Los mantenimientos tanto preventivos como correctivos que requieran llevarse a cabo en el interior de una tubería de presión, únicamente pueden ser realizados con libranzas mayores, es decir debe con el conducto achicado (vacío), por tal motivo estos mantenimientos deben planificarse con antelación durante la temporada de estiaje y con baja demanda de generación. Las actividades preventivas son las siguientes:

a) Determinar el grado de corrosión y cavitación de las paredes del conducto de acero, midiendo los espesores de placa, verificando las condiciones del recubrimiento anticorrosivo, así como las oquedades y costras de corrosión existentes.

“Por las condiciones de servicio a las que son sometidas este tipo de conductos, es importante realizar de forma periódica y detallada la inspección del recubrimiento anticorrosivo y la medición de espesores de placa de las paredes metálicas. Esta inspección se realiza con la finalidad de conocer el estado de la estructura y del recubrimiento anticorrosivo determinando el desgaste de las paredes y con esto evitar fallas por fisuras o fatiga del material, que pudiera derivar en costos de reparación mayores o afectar en el proceso de generación” (CFE-Manual De Mantenimiento De Obras Civiles Sistemas De Conducción; 1993: 4-6).

b) Verificar el estado del recubrimiento protector de acuerdo con la tabla siguiente:

*1.- Una vida útil adecuada y prolongada de cualquier elemento metálico, expuesto a diferentes condiciones ambientales y de servicio, se logra mediante una aplicación correcta de sus recubrimientos de protección.*

*2.- Evaluar el grado de deterioro y desgaste de la protección anticorrosiva o el grado de corrosión de las superficies metálicas, durante cada inspección. Evitar ralladuras profundas, desprendimientos por deformación de los elementos, deterioro por soldadura y espesores fuera de especificación.*

Tabla 5.1 Criterios para la reposición de los recubrimientos anticorrosivos en elementos metálicos.

Fuente: CFE-Manual De Mantenimiento De Obras Civiles Sistemas De Conducción  
(1993)

#### **5.4 Procedimiento para el Mantenimiento de Sistemas de Recubrimientos Anticorrosivos.**

De acuerdo a lo indicado en la especificación CFE D8500, se debe realizar las inspecciones periódicas y de forma permanente en las diferentes estructuras operativas, poniendo énfasis en lo siguiente:

- a) Se debe establecer revisiones cada 365 días naturales. Si el recubrimiento se encuentra sucio deberá efectuarse la limpieza con solventes, detergentes o con agua a presión.
- b) Después de efectuar el mantenimiento, se deben identificar en el sustrato recubierto, indicando el sistema de recubrimiento utilizado.
- c) Cuando no se tenga la información del sistema anticorrosivo, se debe seguir el procedimiento que a continuación se indica:

- ✦ Seleccionar el sistema de recubrimiento, consultando las especificaciones CFE D8500-01 y CFE D8500-02.
- ✦ Realizar la preparación de la superficie de acuerdo a lo indicado en la especificación CFE D8500-01, mencionado anteriormente en el capítulo 2, y aplicar sobre la estructura los recubrimientos que se pretenden utilizar.
- ✦ Verificar la adherencia de los recubrimientos aplicados de acuerdo a lo indicado en la especificación CFE D8500-01, mencionado anteriormente en el capítulo 2, en caso de no cumplir con lo establecido, deberá seleccionarse otro tipo de recubrimiento.

En la tabla 5.2 se muestran la clasificación para el deterioro de sistemas anticorrosivos indicando también cual es el mantenimiento requerido para cada inciso.

<b>Inciso</b>	<b>Deterioro aparente</b>	<b>Mantenimiento requerido</b>
1	<i>El acabado o el primario se han adelgazado ligeramente y se puede observar algo de recubrimiento primario o del sustrato y no hay puntos de corrosión.</i>	<i>Realizar limpieza con solventes y aplicar una o dos capas de acabado compatible para mantener espesor original.</i>
2	<i>El acabado se ha adelgazado o no existe, por lo que se puede observar el primario y además presenta un 20 % de la superficie con herrumbre y desprendimiento de película de recubrimiento.</i>	<i>Reparar las zonas dañadas con un sistema de recubrimientos compatibles.</i>
3	<i>El acabado o primario se ha adelgazado considerablemente y se encuentra desprendido y/o ampollado y además se presenta más del 20% del sustrato con herrumbres y picaduras</i>	<i>Eliminar completamente el primario y acabado y utilizar un sistema de recubrimientos especificado dependiendo del equipo, obra civil o elemento operacional.</i>

Tabla 5.2 Mantenimiento de sistemas anticorrosivos en función de su deterioro aparente.

Fuente: CFE D8500-22 (2012)

## **5.5 Inspección dentro de la tubería.**

Realizando la inspección de rutina específica como parte del mantenimiento preventivo, se procedió a realizar el levantamiento de espesores de placa, motivo por el cual se realizó el achique de la tubería de presión y posteriormente el ingreso del personal de la central realizando este acceso por la válvula de mariposa.

Para realizar la medición de espesores de placa en paredes de una tubería metálica se utilizó el procedimiento de ultrasonido el cual es el más común y sencillo. Esta tecnología está basada en el ultrasonido, el cual no es más que una onda a una frecuencia determinada por el transductor del equipo, o por el cabezal de medición (Normalmente es de 5 MHz), que se propaga por el medio que deseamos medir, y al inferir o chocar con las partes de este medio esta onda retorna, dando como resultado el espesor de la pieza que deseamos medir.

Una vez dentro del conducto, se verificó que el recubrimiento anticorrosivo existente a base de alquitrán de hulla (CFE-P7), se encontraba severamente deteriorado en zonas puntuales, esto derivado de las condiciones de operación y el termino de la vida útil del recubrimiento, dando inicio al proceso de oxidación y degradación del acero.



Fotografía 5.1. Medición de espesores de placa por ultrasonido.

Fuente: Propia.

Los resultados de la prueba de medición espesores de placa, arrojaron resultados positivos, determinando que aproximadamente el 95 % de la placa metálica que forma el conducto, cuenta con el espesor de diseño (1 ¼") recomendado para la presión a la que está sometida no viéndose dañada por socavación o descamación. Sin embargo, se observó en zonas puntuales deterioro del acero y presencia de costras de óxido, apreciando que los defectos son mayores del 20% del área seleccionada, motivo por el cual de acuerdo al especificación CFE D8500-01 se debe recubrir de nuevo toda la superficie, por lo que se determinó realizar un mantenimiento mayor de la estructura, realizando una limpieza de la superficie con chorro de arena y aplicando un nuevo recubrimiento anticorrosivo, que

coadyuve en la reducción del proceso corrosivo, dicho mantenimiento se llevó a cabo realizando una licitación pública.

## **5.6 Especificaciones de trabajo.**

Determinándose la necesidad de realizar este mantenimiento y adjudicarlo por la modalidad de Licitación Pública, se realizó el levantamiento dimensional de la estructura, determinándose los cadenamientos y volúmenes de obra donde se llevaría a cabo el mantenimiento en la tubería de presión N° 2 de las unidades Núm. 3 y 4.

Posteriormente fueron elaboradas las especificaciones particulares de obra, el catalogo de conceptos y programa de obra, para la ejecución este mantenimiento se consideró un plazo de 40 días naturales y un volumen total de obra de 2800 m<sup>2</sup>, de acuerdo con el plano del anexo 1.

La preparación de la superficie y la selección del recubrimiento, se determinó según lo escrito en la norma de CFE D8500-01. La cual establece las características generales, la composición química y las propiedades físicas, así como los métodos de prueba correspondientes de los recubrimientos anticorrosivos que deben emplearse en los equipos e instalaciones de CFE. Esta misma norma aplica para la adquisición y aceptación de recubrimientos anticorrosivos y pinturas, que se utilizan en los equipos e instalaciones de CFE y forma parte de las bases de licitación.

El tratamiento anticorrosivo fue un revestimiento a base de Epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27). El cual es 100 % sólidos, resistente a la humedad e inmersión en agua de mar y aguas negras. Se recomienda para superficies enterradas y no necesita primario. La preparación de la superficie requiere como

mínimo abrasivos a presión a metal casi blanco, la aplicación deberá de realizarse en una o dos capas y únicamente por aspersion sin aire (AIRLESS).

Por la composición química de este epóxico presenta una resistencia superior a otros recubrimientos en lo que corresponde a impacto, adherencia, dureza, resistencia a la fricción y tensión siendo idóneo para el requerimiento de operación de la estructura, se anexa la ficha técnica del producto donde se describen la características físicas y químicas del epóxico.

**Características generales**

Generalidades	Resistente a la humedad e inmersión en agua de mar y aguas negras. Se recomienda para superficies enterradas sin primario. Consta de dos componentes en una relación de mezcla de 4:1 en volumen	
Preparación de superficie	Requiere como mínimo abrasivos a presión a metal casi blanco CFE-PACB	CFE D8500-01
Aplicación	En una o dos capas, únicamente por aspersión sin aire CFE-SA	
Adelgazador	el recomendado por el fabricante	
Mezcla extractora	Metil-isobutil-cetona	
Primario	Generalmente no lo requiere, sin embargo puede aplicarse sobre orgánico de cinc epoxi-poliamida CFE-P9, inorgánico de cinc autocurante base solvente CFE-P11 o epoxi-amina de altos sólidos CFE-P34	
Rendimiento teórico	38,98 m <sup>2</sup> /dm <sup>3</sup> a 25 µm de espesor seco	
Espesor húmedo	(1 010 a 1 515) µm por capa	
Espesor seco	(1 000 a 1 500) µm por capa	

**Composición de la mezcla**

Pigmento 21 % máximo NMX-C-426-ONNCCE	-----	-----
Vehículo 79 % mínimo NMX-C-426-ONNCCE	Resina y aditivos s/v: 96,5 % mínimo	NMX-U-48 Y NMX-U-79
	Material volátil s/v: 3,5 % máximo	NMX-C-425-ONNCCE
Sólidos totales en volumen	96,5 % mínimo	ISO 3233
Sólidos totales en masa	97 % mínimo	NMX-C-425-ONNCCE
Agua libre total	1 % máximo	Apéndice D

**Propiedades físicas de la mezcla**

Densidad	1,0 kg/dm <sup>3</sup> mínimo	NMX-C-454-ONNCCE
Viscosidad	No aplica	-----
Fineza de molido	50 µm mínimo	NMX-C-456-ONNCCE
Tiempo de secado al tacto a 25 °C	8 h máximo	NMX-C-427-ONNCCE
Tiempo de secado duro a 25 °C	36 h máximo	
Compuestos orgánicos volátiles	74 g/dm <sup>3</sup> máximo	NOM-123-SEMARNAT
Vida útil	45 min a 25 °C mínimo	-----
Partículas gruesas	0,1 % máximo	Apéndice G
Desprendimiento catódico	3 mm máximo @ 30 días 93° C	Véase referencia [23] del capítulo 12
Corrosión cíclica	Sin defectos, menor a 5mm en el corte después de 4 032 h	Véase referencia [21] del capítulo 12
Cámara salina	< 4 mm en el corte después de 4 032 h	Véase referencia [24] del capítulo 12
Resistencia a la abrasión	114 mg máximo a 1000 ciclos con piedra CS-17 aplicando 1kg.	Véase referencia [20] del capítulo 12
Adherencia (Pull off)	11 MPa mínimo	ISO 4624
Elongación al rompimiento	2% mínimo	Véase referencia [13] del capítulo 12
Resistencia al Impacto	16 Joules mínimo impacto directo	Véase referencia [17] del capítulo 12
Resistencia a la Tensión	15 MPa mínimo	Véase referencia [13] del capítulo 12
Dureza	40 mínimo después de 7 días de curado a 25° C	ISO 1522
Resistencia a la temperatura	140° C continuo y 150° intermitente.	Véase referencia [14] del capítulo 12
Compuestos orgánicos volátiles	30 g/dm <sup>3</sup> máximo	NOM-123-SEMARNAT

Tabla 5.3 Epóxico catalizado de alto espesor CFE-A27

Fuente: Especificación CFE D8500-02

Por la importancia de estos trabajos, y debido a que el mantenimiento de esta estructura es la ruta crítica de los trabajos, se consideró que el horario de labores debería ser de 24 hrs, debiendo manejar diferentes frentes de trabajo y de acuerdo a las actividades referentes a la preparación de la superficie, aplicación de revestimiento epóxico, achique de tubería y retiro de material fuera de la tubería.

Previo a la aplicación del revestimiento, se verificó de forma conjunta por parte de la supervisión de CFE y contratista, que la preparación de la superficie cumpliera con los parámetros requeridos de perfil de anclaje y limpieza, y verificando que esta se hubiera llevado a cabo de acuerdo a las condiciones climatológicas y condiciones físicas referente a la temperatura, punto de rocío y humedad relativa solicitadas en la especificaciones de CFE.

#### **5.6.1 Características de los materiales y equipo.**

Los materiales fueron de primera calidad y de marcas reconocidas en el mercado nacional, señalando éstas en los análisis de precios unitarios de cada concepto, aun cuando no se haga mención en el inciso correspondiente.

El licitante proporcionó el equipo y herramienta necesarios y adecuados, para la ejecución de cada concepto en particular, para cumplir con el programa de trabajo dentro del plazo y calidad especificados.

La instrumentación necesaria para medir las condiciones físicas y atmosféricas para la preparación de la superficie y aplicación de los recubrimientos:

- Patrones de referencia

- Un termómetro de superficie, y otro ambiental con  $\pm 1\%$  de precisión, con escala mínima de 0 a 120°C.
- Lámpara comparadora o cinta de réplica (lupa de 5X como mínimo con iluminación con patrones de profundidad de perfil de anclaje o similar)
- Medidor de humedad relativa portátil de lectura directa de humedad relativa en %. Escala mínima de 30 a 90%.
- Medidor de espesor seco de 0 a 1000  $\mu\text{m}$  con error máximo de 15%

### **5.6.2 Conceptos de trabajo.**

A continuación se muestran los conceptos que fueron presentados como parte de las especificaciones para la realización de la licitación pública.

#### **5.6.2.1 Preparación de la superficie a metal blanco (CFE-PAB).**

##### **5.6.2.1.1 Descripción.**

Este concepto de obra consiste en la limpieza de superficies metálicas con abrasivos a presión grado metal blanco (CFE-PAB), a tubería de presión de unidades No. 3 y 4 de casa de máquinas.

##### **5.6.2.1.2 Disposiciones particulares.**

Para la preparación de superficie con abrasivos a presión se debe tomar en cuenta la humedad relativa que debe prevalecer cuando se efectuó esta preparación de superficies debiendo ser de 80% máximo y la temperatura del sustrato debe estar

3°C como mínimo por encima de la temperatura de rocío; si estas condiciones no se mantuvieran una vez iniciada la preparación, ésta debe suspenderse y reiniciarse hasta que la condición de humedad relativa se cumpla.

El perfil de anclaje no debe ser menor de 1.5 milésimas ni mayor que el espesor seco del primario por aplicar o bien un tercio del espesor seco del sistema completo por aplicar siempre y cuando sea el espesor del primario mayor a 4 milésimas si no cumple con lo establecido se repetirá la limpieza a metal blanco, hasta cumplir con lo solicitado.

#### **5.6.2.2 Aplicación de acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27).**

##### **5.6.2.2.1 Descripción.**

Los trabajos consisten en el suministro y aplicación de un acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27), para prolongar la vida útil de los equipos, sobre superficies metálicas, posterior a la preparación de la superficie a metal blanco, a tubería de presión de Unidades No. 3 y 4 de casa de máquinas.

##### **5.6.2.2.2 Disposiciones particulares.**

Para la aplicación del acabado se debe tener en cuenta que: cuando la temperatura de la superficie o del recubrimiento sea menor de 7°C o mayor de 50°C, excepto los recubrimientos tipo látex (vinílico, vinilo –acrílico, hule clorado) y epóxicos, los cuales no se deben aplicar cuando la temperatura sea menor de 10°C o mayor de 50°C.

No se debe aplicar ningún recubrimiento cuando se espere que la humedad relativa del aire sea mayor de 85% tampoco se debe aplicar ningún recubrimiento cuando se tengan vientos con una velocidad mayor de 24 km/h cuando sea por aspersión.

El proceso de aplicación debe efectuarse sobre superficies y/o recubrimientos secos, preparados de acuerdo a lo indicado anteriormente, que no estén expuestos a la lluvia, tolvánicas, niebla, rocío, brisa.

La aplicación del acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27) se hará en una capa, por aspersión sin aire (CFE-SA).

Previo a la realización de los trabajos de aplicación de recubrimientos en la unidad núm. 3 en el interior de casa de casa de máquinas, el Contratista realizará trabajos preliminares consistentes en encapsular el total del área por trabajar, así como el suministro y puesta en servicio de un sistema de extracción de polvos y gases hasta el exterior de casa de máquinas, descargando este donde la supervisión de CFE lo considere conveniente.

Los colores a emplear serán los siguientes:

<b>Estructura o elemento</b>	<b>No.</b>	<b>Color</b>
Elementos de la tubería de presión de las unidades No. 3 y 4	5	Gris claro

Las tolerancias permitidas para la aceptación del acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27) serán las siguientes:

Espesor húmedo: 793  $\mu\text{m}$  mínimo

Espesor seco: 750  $\mu\text{m}$  mínimo

### **5.6.3 Programa de obra.**

De acuerdo con la página electrónica [www. catarina.udlap.mx](http://www.catarina.udlap.mx) (2015), para tener un control de obra y una administración eficiente del proyecto es necesario establecer y seguir de forma detallada las actividades indicadas en el programa, el cual va a ser referencia de cómo se va a proceder durante la ejecución de la obra. La programación es la determinación de los tiempos para las operaciones que abarca el proyecto. Un programa es una determinación de tiempos para un plan. Además la estimación de los tiempos puede determinar en base a tres factores: la experiencia, la cantidad de trabajo a realizar y los recursos asignados.

Una vez que se realizó la planeación del proyecto y examinaron las diferentes actividades por realizarse es necesario emplear un método y técnica para el cálculo de los tiempos, para la presente investigación se empleó el diagrama de barras o diagrama de Gantt, el cual se utiliza principalmente para presentar los tiempos de actividades en un proyecto. El diagrama de barras muestra fechas del comienzo y la terminación de cada partida de trabajo, indica las partidas en las cuales se puede empalmar y en qué partidas deben de quedar terminadas para que pueda iniciar la subsecuente.

Los programas de avance deben quedar preparados al comienzo del trabajo, con el fin de coordinar el trabajo de todos los departamentos de la organización del contratista.



## **5.7 Convocatoria y dictamen.**

La ley de obras públicas en el artículo 27 señala que las dependencias y entidades seleccionaran entre los procedimientos que a continuación se señalan, aquel que de acuerdo con la naturaleza de la contratación asegure al estado las mejores condiciones disponibles en cuanto a precio, calidad, financiamiento, oportunidad y demás circunstancias pertinentes:

- a) Licitación pública.
- b) Invitación a cuando menos tres personas.
- c) Adjudicación directa.

La Comisión Federal de Electricidad en cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y con fundamento en los artículos 27 fracción II, 41, 43 y 44 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su Reglamento, se invita a participar en el Procedimiento de Contratación por Invitación a Cuando Menos Tres Personas, para lo cual se solicitó la participación a este acto de presentación y apertura de proposiciones a un representante del Órgano Interno de Control en la Comisión Federal de Electricidad, en la Región Centro Occidente, para la ejecución de la obra consistente en: Aplicación de tratamiento anticorrosivo a tubería de presión de las unidades No. 3 y 4 de la C. H. La Villita.

### **5.7.1 Invitación.**

Esta consistió en enviar 10 (diez) oficios, en los que se invita a participar en el Procedimiento de Contratación por Invitación a Cuando Menos Tres Personas.

### **5.7.2 Visita al Sitio y Junta de Aclaraciones.**

Consistió en llevar a cabo la visita al sitio de realización de los trabajos, en la cual se mostró físicamente a los participantes su ubicación de las distintas instalaciones que se construirán, en el mismo día se celebró la junta de aclaraciones, en la cual se aclararon en forma clara y precisa las diversas dudas de los licitantes, referente a los trabajos a realizar.

### **5.7.3 Acto de Presentación y Apertura de Proposiciones.**

De conformidad por lo dispuesto en el artículo 37 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, en la oficina de concursos y contratos, de la Subgerencia Regional, se llevó a cabo el Acto de Presentación y Apertura de Proposiciones.

En dicho Acto se procedió a la apertura de las proposiciones, revisando en forma cuantitativa el contenido de las mismas, y dando lectura de los importes de aquellas que fueron aceptadas para su revisión cualitativa.

#### **5.7.4 Evaluación.**

De conformidad con lo señalado en el artículo 38 de la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las Mismas, así como de los artículos 36 y 37 de su Reglamento, se realizó la evaluación de las propuestas aceptadas, determinándose que las propuestas presentadas por los licitantes:

Cumplen con los requisitos solicitados en las bases de licitación, en cuanto a las condiciones legales existentes, los recursos propuestos son los factibles para la ejecución de la obra conforme al programa de ejecución y las cantidades de trabajo establecidas, los análisis, cálculos e integración de los precios, son aceptables con las condiciones de costos vigentes en la zona o región donde se ejecutarán los trabajos, por lo que se dictaminan Solventes.

#### **5.7.5 Resultado.**

De la revisión detallada de las ofertas conforme a lo establecido en los artículos 36 y 37 del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, resulta que de las ofertas dictaminadas como solventes, en virtud de lo anterior el área usuaria determina no realizar la evaluación por puntos conforme a los criterios y parámetros establecidos en el artículo 37A del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, y en las propias bases de licitación, ya que de acuerdo a lo establecido en el artículo 37B del citado Reglamento, las ofertas solventes superiores en importe respecto a la solviente de importe más bajo, no son susceptibles de adjudicación.

En razón de lo anterior y en cumplimiento a lo dispuesto en los párrafos sexto y séptimo del artículo 38 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y en el artículo 38 de su Reglamento, se adjudica el contrato correspondiente al licitante con el importe más bajo, para la Aplicación de tratamiento anticorrosivo a tubería de presión de las unidades 3 y 4 de la Central Hidroeléctrica La Villita, con un plazo de ejecución de 45 días naturales, en virtud de que dicho licitante reúne las condiciones legales, técnicas y económicas requeridas por esta Entidad y garantiza satisfactoriamente el cumplimiento de las obligaciones respectivas y por ser de entre las propuestas solventes, la económicamente más conveniente para el Estado.

#### **5.8 Procedimiento constructivo.**

Realizada la evaluación técnica, económica, y haciendo el dictamen, se procede con llevar a cabo la obra. La cual se llevó a cabo de acuerdo a lo indicado en las especificaciones.

Primeramente se inició con los trabajos de calafateo de compuertas y el achique de la tubería de presión de las unidades No. 3 y 4, por parte de la brigada de buceo y Departamento Mecánico respectivamente, una vez realizados los trabajos de achique de la tubería de presión se realizó la entrega del área de trabajo al contratista.

A si mismo se realizaron las maniobras de colocación de la canastilla y se comenzó con los trabajos de limpieza a metal blanco y la aplicación de acabado epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27). Para la realización de dichos trabajos

se requirió de la siguiente mano de obra: 1 cabo, 2 oficiales pintores y 5 ayudantes generales.



Fotografía 5.2 Acabado epóxico de alto espesor (CFE-A27).

Fuente: Propia

Para la preparación de la superficie se realizaron las medidas correspondientes tal como lo indica la especificación CFE D8500-01, se realizó la medición de la humedad relativa y temperatura del aire. Cumplidas estas condiciones se procedió con la preparación de las superficies mediante abrasivos a presión para cual fueron necesarios 2 compresores en el sitio de los trabajos por parte del contratista, así como 7 m<sup>3</sup> de arena de mina. Se comprobaba que el anclaje fuera a metal blanco para posteriormente realizar la aplicación del acabado epóxico el cual se aplicaba antes de 4 horas. Una vez realizada la preparación de superficies se procedía con las pruebas como la de adherencia y espesores las cuales se realizaron con lo indica la especificación CFE D8500-01, el cual se mencionó anteriormente en el capítulo 2.



Fotografía 5.3 Superficie revestida con Acabado epóxico de alto espesor (CFE-A27).

Fuente: Propia.

Concluidos los trabajos de “Aplicación de tratamiento anticorrosivo a tubería de presión de las unidades 3 y 4 de la Central Hidroeléctrica La Villita”, se procedió a realizar la limpieza general del sitio extrayendo del interior de la estructura el abrasivo utilizado, dando el periodo mínimo de curado del material aplicado de 48 hrs, como fase terminal se llevó a cabo la inspección física y aceptación del área de los trabajos por parte de CFE, realizando así el izaje de las compuertas de obra de toma y se procediendo al llenado de la tubería de presión para igualación de cargas y sincronización de las unidades 3 y 4.

En la figura 5.3 se muestra el programa de actividades durante la ejecución de los trabajos, de acuerdo con las especificaciones ya establecidas.

No.	CONCEPTO	SEMANAS								
		1	2	3	4	5	6	7		
1	CIERRE DE COMPUERTAS DE OBRA DE TOMA Y ACHICADO DE LA TUBERIA DE PRESION DE UNIDADES 3 Y 4.	P	█							
		R	█							
2	COLOCACION Y MANIOBRAS PARA INSTALACION DE CANASTILLA-MALACATE, COMPRESORES Y EQUIPOS DE INYECCION DE AIRE.	P	█							
		R	█							
3	COLOCACION DE ANDAMIOS EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA Y SUMINISTRO DE ABRASIVO.	P	█							
		R	█							
4	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A METAL BLANCO (CFE-PAB)	P	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█	█	█	█	█	█	█	█
5	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE ACABADO EPÓXICO CATALIZADO DE ALTO ESPESOR (CFE-A27)	P	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█	█	█	█	█	█	█	█
6	RETIRO DE ABRASIVO DEL INTERIOR DE LA ESTRUCTURA.	P	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█	█	█	█	█	█	█	█
7	LIMPIEZA GENERAL DEL SITIO, CIERRE DE COMPUERTAS DE OBRA DE TOMA, ACHICADO DE LA TUBERIA DE PRESION Y SINCRONIZACION DE UNIDADES 3 Y 4.	P								█
		R								█

P= Programado   
R= Realizado 

Figura 5.4 Programa de actividades del proceso de ejecución.

En el presente capítulo, se describió de forma detallada, como se determinó la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento preventivo y las diferentes fases del proceso y ejecución de una licitación para trabajos de recubrimientos anticorrosivos, de la misma manera se analizaron las especificaciones particulares de obra y el alcance de los trabajos, describiendo los beneficios que se obtuvieron como lo fue el incremento de la vida útil y factor de seguridad de una estructura fundamental en el proceso de generación de energía en un central hidroeléctrica como lo es la C.H La Villita.

## CONCLUSIONES.

El objetivo general que se pretendía lograr en esta investigación era describir los métodos y procesos que se siguen los tratamientos anticorrosivos aplicados para mantenimiento de una Central Hidroeléctrica; el cual fue cumplido en su totalidad, ya que a mediante el desarrollo de la presente investigación se describieron los procesos de ejecución de tratamientos anticorrosivos para Centrales Hidroeléctricas los cuales deben de elaborarse de acuerdo a las especificaciones CFE D8500-01 y CFE D8500-02, para lo cual primeramente mediante una inspección se detectó la presencia de óxido en la tubería de presión N° 2, una vez detectado el deterioro del recubrimiento es necesario buscar un recubrimiento que sea adecuado para las condiciones a las que está sometida dicha tubería, de acuerdo a la indicado en la especificación de CFE D8500-02, así mismo esta señala cual es el método de preparación para el recubrimiento, la preparación de las superficies por recubrir así como el proceso de aceptación están señalados en la especificación de CFE D8500-01.

Así mismo, los objetivos específicos, de esta investigación fueron los siguientes:

Definir que es la corrosión, el cual se cumplió dado que después de realizar la presente investigación se llegó a la conclusión de que puede definirse a la corrosión como el deterioro de los metales a consecuencia de un ataque electroquímico, ocasionado por la interacción con el medio que los rodea. Por lo que otro de los objetivos de esta investigación es el de definir los métodos para el control de la

corrosión, el cual también se realizó con éxito dado que mediante el desarrollo de la presente investigación se encontró con varios métodos para el control de la corrosión que pueden ser empleados para prolongar la vida útil de las estructuras de metal, como lo es protección catódica, protección anódica, alteración del medio, diseño, purificación del metal y tratamientos anticorrosivos.

Así mismo otro objetivo fue, el de mencionar cuál es el método más común para el control de la corrosión, el cual también se cumplió, ya que con el desarrollo de la investigación se mencionó que los tratamientos anticorrosivos es el método más común para el control de la corrosión y el cual consiste en una capa entre el metal a proteger con el medio que lo rodea.

Por último, realizar la licitación pública, de acuerdo a las normas de CFE y la Ley de Obras Públicas, el cual se cumplió en su totalidad, dado que de acuerdo con la Ley de Obras Públicas se realizó el proceso de licitación mediante una invitación a cuando menos tres personas, la cual se determinó efectuar debido a los resultados obtenidos de la prueba de espesores, donde se comprobó que los defectos son mayores del 20% del área seleccionada cantidad de metros cuadrados. Se realizó la cuantificación de la superficie por recubrir y se seleccionó el recubrimiento que cumpliera con las condiciones a las que está sometida la tubería para así poder elaborar las especificaciones de obra de acuerdo a lo establecido en las normas de CFE y posteriormente realizar la convocatoria, evaluación y fallo, eligiendo la mejor propuesta para elaborar los trabajos.

Con respecto a la pregunta que dio origen a la investigación presente, ¿Cuál es el método más conveniente para la Licitación de tratamientos anticorrosivos en la tubería de presión de Unidades núm. 3 y 4 para la Central Hidroeléctrica “La Villita”?,

la selección del método en esta investigación se realizó mediante las especificaciones CFE D8500-01, CFE D8500-02 y CFE D8500-22, con el fin de seleccionar el método más adecuado, tomando en cuenta las condiciones a las que está sometida la tubería de presión, por lo que se llegó a la conclusión de que el tratamiento anticorrosivos más conveniente para el proyecto, el cual fue un revestimiento Epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27).

De acuerdo con la investigación realizada y basada en los señalamientos que indica la CFE, se encontró que para realizar una licitación de obra pública, es necesario realizar un proyecto sobre una necesidad que debe de atenderse para el correcto funcionamiento de la Central Hidroeléctrica, esta necesidad se identifica mediante inspecciones de rutina, las cuales deben de realizarse periódicamente por lo general una vez por año como parte de un mantenimiento preventivo, una vez detectada alguna necesidad para el correcto funcionamiento de la central se procede a realizar la licitación pública, en cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y con fundamento en los artículos 27 fracción II, 41, 43 y 44 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su Reglamento, dicha licitación se le otorga a la mejor propuesta presentada.

La licitación se realizó de un tratamiento anticorrosivo, que para la presente investigación fue un revestimiento Epóxico catalizado de alto espesor (CFE-A27) el cual fue seleccionado de acuerdo a la especificación CFE D8500-02 donde podemos encontrar una variedad de recubrimientos anticorrosivos, esta misma especificación contiene las características de los recubrimientos como lo es la adherencia, resistencia al impacto, resistencia a la abrasión así como también la aplicación. Para

el cual primero debe de efectuarse la preparación de la superficie los cuales están establecidos en la especificación CFE D8500-01, para la presente investigación se realizó la preparación con abrasivos a presión a metal blanco, el cual debe cuidar ciertos parámetros como lo es la temperatura del sustrato, la humedad relativa y el punto de rocío que es la temperatura a la cual se inicia la condensación de la humedad del aire.

Preparada la superficie se debe de aplicar el acabado, en este caso es por aspersión sin aire. Donde un supervisor de la CFE debe de verificar mediante pruebas como lo es la de adherencia que el revestimiento fue aplicado de manera correcta y así poder dar concluidos los trabajos de mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Federal de Electricidad. (1995)

Introducción a Centrales Hidroeléctricas.

Centro de Capacitación Celaya Comisión Federal de Electricidad. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1983)

Manual de diseño de obras civiles-Obras de toma para plantas hidroeléctricas.

Ed. Federación Editorial Mexicana. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1982)

Manual de Diseño de Obras Civiles-Maquinas hidráulicas.

Ed. Federación Editorial Mexicana. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1981)

Manual de diseño de obras civiles-Obras de Excedencia.

Ed. Federación Editorial Mexicana. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1993)

Manual de mantenimiento para sistemas de conducción de Centrales Hidroeléctricas.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1993)

Manual de mantenimiento para concreto.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1993)

Manual de mantenimiento para casa de máquinas de Centrales Hidroeléctricas.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (1980)

Manual de diseño de Obras Civiles -Tránsito de avenidas en vasos.

Ed. Federación Editorial Mexicana. México.

Comisión Federal de Electricidad. (2012)

Especificación CFE D8500-01 Selección y aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (2012)

Especificación CFE D8500-01 Selección y aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (2012)

Especificación CFE D8500-01 Selección y aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

C.F.E. México.

Comisión Federal de Electricidad. (2012)

Especificación CFE D8500-02 Recubrimientos anticorrosivos.

C.F.E. México.

Ing. Reginaldo Hernández Romero

C.H. La Villita, Mich. Presa José Ma. Morelos. Informe de Comportamiento 841.01-069/06

C.F.E. México D.F. Subgerencia de Seguridad de Estructuras.

Hernández Sampieri, Roberto y Cols. (2010)

Metodología de la investigación.

Ed. Mc Graw Hill. México.

Lara Zúñiga Carlos Alberto. (2004)

Fundamentos de Corrosión.

C.F.E. México.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1976)

Presas construidas en México.

Ed. Tesis Reséndiz. México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

## OTRAS FUENTES.

[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEy\\_laelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEy_laelectricidadMexico.aspx)

[http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/38%20programa\\_hidrico\\_vision\\_2030michoacan.pdf](http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/38%20programa_hidrico_vision_2030michoacan.pdf)

<http://prepa8.unam.mx/academia/colegios/quimica/infocab/unidad124.html>

<http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/corrosion/Fundamentos%20de%20Corrosion.pdf>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Estado\\_de\\_Guerrero#Geograf.C3.ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_de_Guerrero#Geograf.C3.ADa)

<http://www.travelbymexico.com/estados/estados/guerrero.jpg>

[http://sismos.gob.mx/en/sismos/Zonas\\_Sismicas\\_en\\_Mexico](http://sismos.gob.mx/en/sismos/Zonas_Sismicas_en_Mexico)

[http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/09/index\\_svg.html](http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/09/index_svg.html)

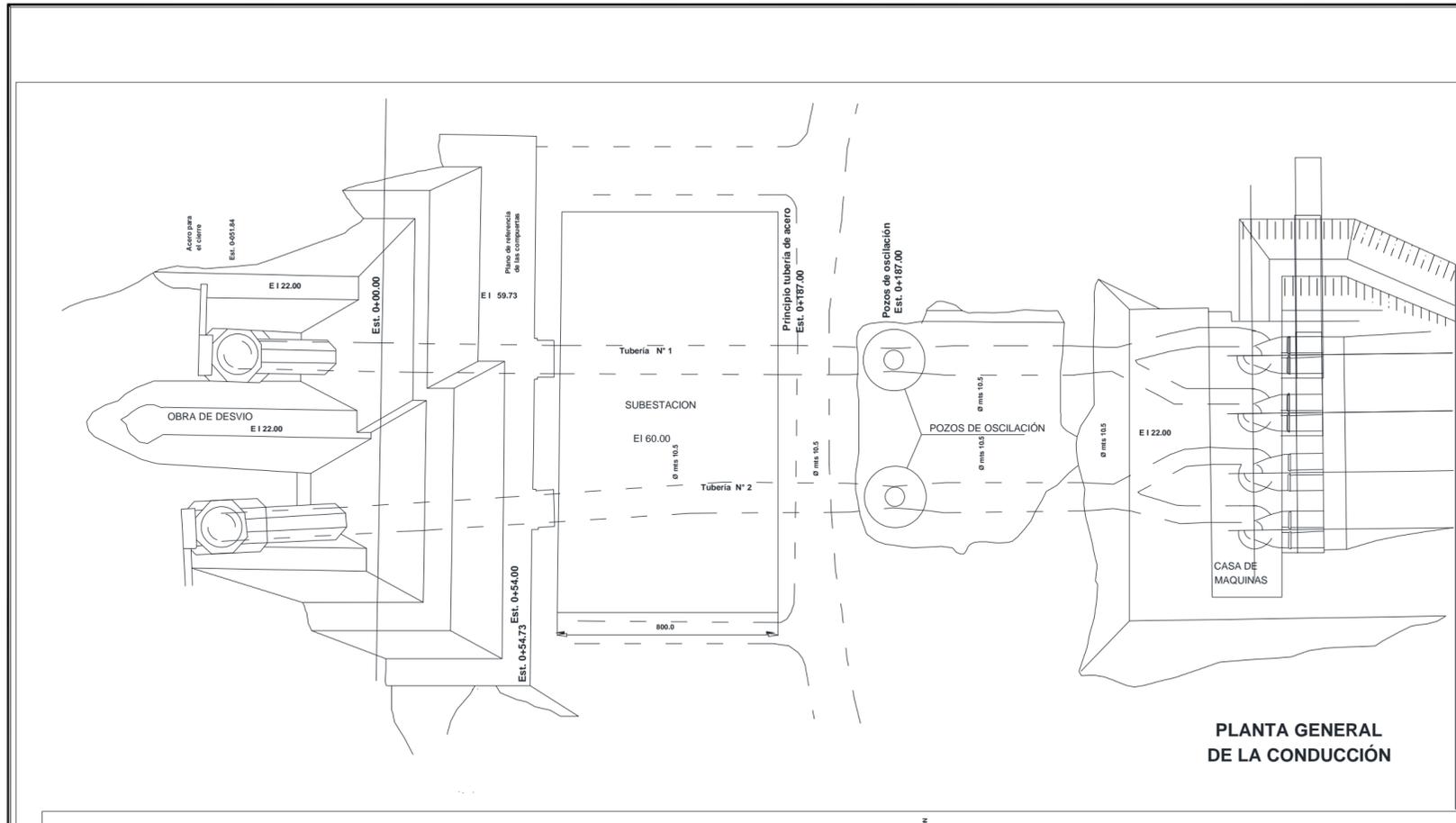
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/pimentel\\_t\\_ra/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/pimentel_t_ra/capitulo2.pdf)

<http://www.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Navales/Servicio%20de%20Publicaciones/REPOSITORIO%20DE%20DOCUMENTOS/CUARTO%20CURSO/32-Corrosi%C3%B3n.pdf>

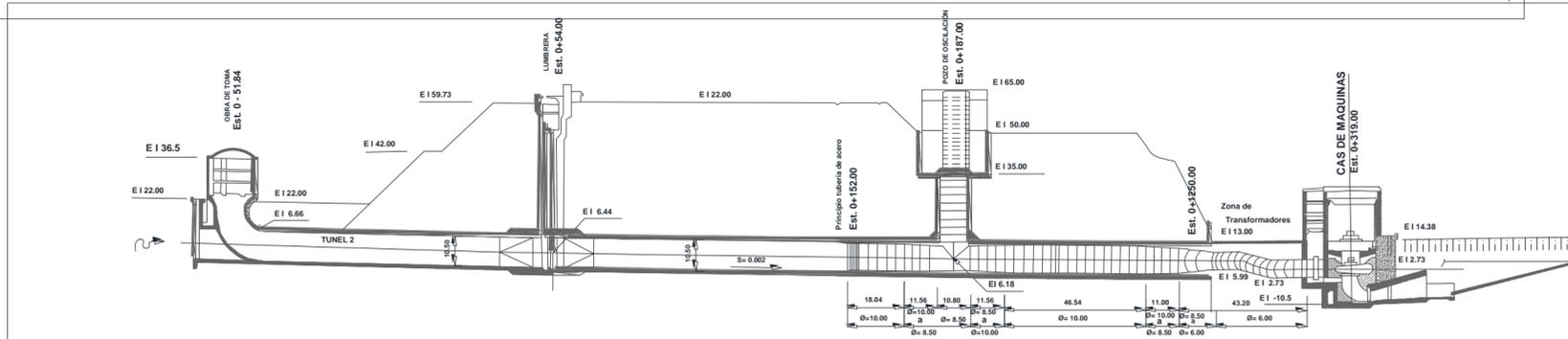
[https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Kaplan](https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan)

# **ANEXOS**

# ANEXO A: PLANO DE LA PRESA JOSÉ MARÍA MORELOS, C. H. "LA VILLITA".



PLANTA GENERAL DE LA CONDUCCIÓN



CORTE LONGITUDINAL POR TUNEL Y TUBERÍA N° 2 ENTRADA A LA CASA DE MAQUINAS POR EL RAMAL N° 4

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



NOTAS:

- 1.- DISTANCIAS EN METROS.
- 2.- EL NORTE INDICADO ES MAGNÉTICO.
- 3.- LA TUBERÍA CONSTA DE DOS SECCIONES, DE OBRA DE TOMA A LA EST 0+154 ES DE CONCRETO Y DE LA EST 0+154 HASTA CASA DE MAQUINAS ES DE ACERO.
- 8.- ESTE PROYECTO SE COMPLEMENTA CON LAS NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA CFE.



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.  
INCORPORACIÓN No. 8723-15  
A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA DE LICITACIÓN  
DE OBRA PÚBLICA  
DE TRATAMIENTOS ANTICORROSIVOS  
PARA LA C. H. "LA VILLITA".

HUGO SALGADO	ING. ANASTASIO BLANCO SIMAÑO
--------------	------------------------------

PLANO DE TUNEL Y TUBERÍA A PRESIÓN N° 2

OCTUBRE-2015	PLANO ANEXO 1	SIN ESCALA
--------------	---------------	------------