

*CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES.*  

---

*Criterios Estructurales.*

## CAPITULO 10. CRITERIOS ESTRUCTURALES

### 10.0. INTRODUCCIÓN GENERAL.

En este capítulo se establecen los lineamientos, que tienen como objetivo conseguir que los proyectos ejecutivos tengan un nivel de seguridad adecuado contra fallas estructurales, así como lograr un comportamiento aceptable de las construcciones en condiciones normales de operación.

Tomando en cuenta los servicios y obras que realiza el SIAPA en la zona metropolitana de Guadalajara, que cubren la totalidad del municipio de Guadalajara y parte de los municipios de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá como zona conurbada, para los fines de este capítulo, se tomará como base únicamente el **Reglamento de Construcciones del Municipio de Guadalajara** para contar con un solo criterio de diseño. En el caso que la obra en específico no sea cubierta por dicho reglamento, se hará referencia al **ACI-318 o del Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC)**.

**Estos lineamientos son aplicables tanto a las construcciones nuevas, como a las modificaciones, ampliaciones, obras de refuerzo y reparaciones.**

Los lineamientos que se establecen en el presente capítulo son el producto de la recopilación y selección de Normas y Especificaciones vigentes, emitidas por Dependencias, Instituciones y Asociaciones Técnicas a nivel Nacional e Internacional así como de reglamentos, manuales y guías de diseño aplicables a los proyectos estructurales para Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento **a los cuales se puede hacer referencia** y que se mencionan a continuación:

- Ley y Reglamento de Obras Públicas del Estado de Jalisco.
- Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara.
- Normas y Especificaciones de la Comisión Nacional del Agua (CFE).
- Normas y Especificaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Reglamento de las Construcciones del Instituto Americano del Concreto (ACI). Concreto Reforzado ACI 318 y Comentarios.
  
- Construcción de Losas y Pisos de Concreto ACI 302. (Instituto Americano del concreto).
- Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC).
- Sociedad Americana de Soldadura (AWS).
- Asociación Americana de Obras de Agua (AWWA).
- Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).
- Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).
- Asociación del Cemento Portland (PCA).
- **Estructuras Sanitarias de Concreto para el Mejoramiento del Ambiente ACI 350. (Instituto Americano del Concreto).**

(Dada la gran importancia de ésta última publicación, se incluye como anexo en el Apéndice al final del capítulo).

## 10.1. CLASIFICACIÓN GENERAL.

**Las construcciones que integran los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, se deben considerar dentro del Grupo A según el artículo 210 del Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara donde se establece que las construcciones del Grupo A son :**

*"Construcciones cuyo funcionamiento sea especialmente importante a raíz de un sismo o que en caso de fallar causarían pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad. Tal es el caso de las sub-estaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, estadios, templos, centros de reunión, salas de espectáculos, estaciones terminales de transporte, monumentos, museos y locales que alojen equipo especialmente costoso con relación a la estructura, así como instalaciones industriales cuya falla pueda ocasionar la difusión en la atmósfera de gases tóxicos, o que puedan causar daños materiales importantes en bienes o servicios".*

## 10.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO Y CÁLCULO.

### 10.2.1. Sismo.

**El análisis y diseño por sismo se efectuará conforme al Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara.**

### 10.2.2. Viento.

El análisis y diseño por viento de las estructuras se efectuará conforme al Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara, (si este código lo contempla); y/o al Manual de Diseño de Obras Civiles, al capítulo "Diseño por Viento" del Manual respectivo de la Comisión Federal de Electricidad.

### 10.2.3. Cimentaciones.

La cimentación deberá diseñarse con las recomendaciones de la mecánica de suelos y lo estipulado en el capítulo de geotecnia, contemplando las combinaciones de cargas más desfavorables, revisando la resistencia del terreno, y limitando los hundimientos diferenciales y el hundimiento medio. Para estructuras que albergan maquinaria se incluirá en el análisis y diseño los efectos de carga de equipos, vibración e impacto, en montaje y operación.

El tipo de cimentación y sus características deben definirse en cada caso particular, con base en las condiciones y estudios correspondientes.

Es importante registrar el nivel freático al inicio de la exploración y al final, y después, diariamente, durante el mayor tiempo posible. Se registrarán el máximo y mínimo nivel freático así determinado.

Si las exploraciones indican que el subsuelo soportará la sobrecarga impuesta por la estructura con hundimientos tolerables y sin que haya riesgo de falla por resistencia, se recurrirá a una cimentación somera y bastará retirar los materiales superficiales sueltos o de origen orgánico.

Si el subsuelo resulta débil o inadecuado para soportar la sobrecarga de la estructura sin sufrir hundimientos excesivos, antes de recurrir a la cimentación a base de pilotes, pilas u otro tipo de cimentación profunda, se recomienda considerar la posibilidad de mejorar las condiciones del subsuelo y cimentar superficialmente. Deben evitarse las cimentaciones mixtas en tanques.

El cálculo y diseño de las cimentaciones deberá llevarse a cabo de acuerdo a las Normas y Especificaciones del Instituto Americano del Concreto ACI 318.

### 10.3. ESTRUCTURAS CONSIDERADAS

Las estructuras que componen los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento se pueden agrupar de acuerdo a las normas técnicas que las rigen en:

- a) Edificaciones,
- b) Estructuras Sanitarias, y
- c) Estructuras Especiales.

#### 10.3.1. Edificaciones.

Se entenderá por edificación en los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, las construcciones destinadas a satisfacer los requerimientos específicos de un programa de necesidades, como son:

- a.- Oficinas,
- b.- Laboratorios,
- c.- Almacenes,
- d.- Talleres,
- e.- Servicios generales,
- f.- Caseta de vigilancia,
- g.- Cuartos de control,
- h.- Cuartos de equipos, y
- i.- Cimentaciones para maquinaria y equipos.

La estructura deberá analizarse para las cargas muertas, vivas, accidentales de viento y sismo que puedan presentarse durante el proceso constructivo y de operación. El diseño de la estructura se efectuará para la combinación de cargas mas desfavorable, verificando que las deformaciones de los elementos que la componen queden dentro de las (tolerancias especificadas).

El análisis y diseño de edificios se regirá por el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara; el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318 y Comentarios, en el caso de estructuras de concreto; especificaciones del Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC) y Sociedad Americana de Soldadura (AWS), en el caso de estructuras de acero.

El diseño por sismo se efectuará conforme a lo estipulado en la sección 10.2.1. y el diseño por viento conforme a lo estipulado en la sección 10.2.2. y las cimentaciones conforme a la Sección 10.2.3.

El diseño de pisos de concreto se realizará ajustándose a las especificaciones del Instituto Americano del Concreto, Construcción de Losas y Pisos de Concreto ACI 302.

Los planos estructurales se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4.

#### 10.3.2. Estructuras sanitarias.

En los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, se entenderá por estructuras sanitarias aquellas obras destinadas a transportar o contener agua o líquidos, tales como:

- a.- Tanques y/o depósitos,
- b.- Conductos cerrados,
- c.- Canales,
- d.- Alcantarillas y colectores
- e.- Cárcamos de Bombeo
- f.- Tanques en Plantas Potabilizadores o de Tratamiento.

Las estructuras sanitarias pertenecen a la categoría de estructuras en las que los requisitos más importantes por cumplir son **el del agrietamiento mínimo y la impermeabilización, además de su duración y resistencia.**

Las recomendaciones para el diseño estructural, deben considerarse como disposiciones mínimas para uso general. En particular, en el diseño se deberán tomar en cuenta los efectos estructurales debido a las separaciones entre las juntas, sus detalles y secuencias de construcción.

Las estructuras sanitarias deberán analizarse para las cargas muertas, vivas, accidentales de viento y sismo (condición de tanque vacío y tanque lleno) que puedan presentarse durante el proceso constructivo y de operación. El diseño de la estructura se efectuará para la combinación de cargas mas desfavorable, verificando que las deformaciones de los elementos que la componen queden dentro de las tolerancias especificadas.

En las estructuras sanitarias de concreto reforzado se deberán atender las disposiciones siguientes:

**CONCRETO.** Se revisará la posible reacción entre el concreto y el líquido en contacto. El proporcionamiento del concreto debe dar lugar a una mezcla bien graduada, de alta densidad y máxima trabajabilidad. La resistencia especificada a los 28 días,  $f'c$  debe ser mayor o igual a  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Se recomienda usar aditivo inclusor de aire.

**JUNTAS.** Para reducir al mínimo el agrietamiento del concreto debido a cambios volumétricos y movimientos del elemento o de la estructura, el proyectista debe considerar la posibilidad de especificar el uso de juntas de contracción y/o expansión. Asimismo, debe señalar las etapas constructivas y la localización de las juntas de construcción.

En general el análisis y diseño de las estructuras sanitarias y su cimentación deberá llevarse a cabo de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Guadalajara. Para la estructura en contacto con el agua, regirán las Normas y Especificaciones del Instituto Americano del Concreto; Estructuras Sanitarias de Concreto para el Mejoramiento del Ambiente ACI 350 y el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318 y Comentarios. Para el análisis y diseño de tanques elevados de acero soldado regirán las Normas y Especificaciones de la Asociación Americana de Obras de Agua AWWA D-100, así como, las especificaciones del Instituto Americano de Construcciones de Acero AISC, de la Sociedad Americana de Soldadura AWS, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME y de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE.

El análisis y diseño por sismo se efectuará conforme a lo estipulado en la sección 10.2.1.; en el caso de tanques, el análisis de sismo deberá realizarse de acuerdo al capítulo Tanques y Depósitos del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad con las adecuaciones especificadas en las secciones 10.2.

El análisis y diseño por viento se efectuará conforme a lo estipulado en la sección 10.2.2. cuando aplique.

En caso de existir subpresión se verificará que el factor mínimo de seguridad a la flotación sea de 1.5.

Los planos estructurales generales y de detalle se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4.

### **10.3.3. Estructuras Especiales**

Dentro del conjunto de obras que componen los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, existen algunas estructuras que requieren de un tratamiento especial y están regidas por normas específicas; tal es el caso de las Estructuras de Cruce y los Atraques y Silletas.

En la construcción de un acueducto, se entenderá por estructura de cruce, las obras que nos permitan vencer obstáculos tales como: corrientes de agua, barrancas, carreteras, caminos y vías férreas.

Dependiendo del tipo de obstáculo por salvar las podemos agrupar de la siguiente manera:

- a) Estructura de cruce con ríos, arroyos, canales y lagunas,
- b) Estructuras de cruce con carreteras y caminos,
- c) Estructuras de cruce con vías férreas, y
- d) Estructuras de cruce con ductos.

#### **a) Estructuras de Cruce con Ríos, Arroyos, Canales y Lagunas.**

Las estructuras de cruce con ríos, arroyos y lagunas, fundamentalmente son resueltos mediante la construcción de puentes, sifones invertidos, puente canal, con tubería aérea o tubería colocada en el fondo del cauce. Las estructuras de cruce con canales, en general son resueltos mediante la construcción de puentes, sifón invertido, puente canal, con tubería aérea o mediante tubería hincada.

La solución por adoptar para este tipo de cruces estará en función de la topografía del terreno, condiciones geológicas, longitud del claro por salvar, procedimiento constructivo y la presencia del agua. El proyecto estructural deberá contar en cada caso con los elementos necesarios para su construcción y protección tales como: atraques, silletas, anclaje y lastre. En general, la línea de conducción en la zona de cruce deberá ser con tubería de acero.

De acuerdo a las recomendaciones de mecánica de suelos, se efectuará el análisis y diseño tomando en consideración las cargas interna y externa en la tubería, cargas muertas, vivas, accidentales, empujes de aguas, empujes de tierra y subpresión durante las etapas constructivas y en operación. El cálculo y diseño estructural deberá llevarse a cabo de acuerdo a las Normas y recomendaciones de la AWWA Manual para Tubería de Acero M-11, Normas y Especificaciones del AISC, AWS y del Instituto Americano del Concreto ACI 318.

Los planos estructurales se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4., y además deberán contener lo siguiente:

- **La planta general**, a escala tal que represente adecuadamente el detalle del cruce, con coordenadas e indicando el norte.
- **El corte longitudinal**, por el eje de la línea de conducción, ubicarlo en la parte inferior de la planta y contendrá cadenamamiento, rasante de tubería, cota del terreno natural y altura de corte.
- **Cortes transversales**, por una de las márgenes y por el eje del río o arroyo.
- **Cortes y detalles de los atraques y de la unión o junta** en los cambios de tubería de diferente material.
- **Detalle de los cambios de dirección en la tubería.**
- **Cuadro de datos de proyecto.**
- **Cuadro de cantidades de obra.**
- **Croquis de localización del cruce** ubicando en la margen superior derecha.
- **Notas importantes.**
- **Calidad de materiales.**
- **Procedimiento constructivo.**
- **Protección anticorrosiva.**

## **b) Estructuras de Cruce con Carreteras y Caminos.**

En base a la topografía, mecánica de suelos, densidad de tránsito y procedimiento constructivo, se definirá la solución a este tipo de cruce, que puede ser con un cajón de concreto reforzado o con camisa de tubería de acero instalada en zanja o hincada.

El proyecto estructural, deberá contar con los elementos necesarios para su construcción tales como: estructura protectora, muros de cabeza, atraques y silletas. En todos los casos, la tubería de conducción en la zona de cruce, será con tubería de acero. En el caso de que la estructura protectora sea colocada en zanja, se elaborará un proyecto de camino de desvío con su trazo geométrico y señalizaciones de tránsito de acuerdo las Normas y Especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El análisis y diseño de la estructura protectora cuando es a base de cajón de concreto armado y muros de cabeza de mampostería se efectuará de acuerdo a las Normas y Especificaciones de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), Especificaciones de la AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Caminos), y las Normas y Especificaciones del Instituto Americano del Concreto ACI 318, analizándolas para cargas muertas, cargas vivas, accidentales, cargas rodantes, empujes de agua, empuje de tierra y subpresión durante sus etapas constructivas y de operación.

El análisis y diseño de la estructura protectora a base de encamisado de tubería de acero deberá llevarse a cabo de acuerdo del AWWA, Manual M-11, Normas y Especificaciones del AISC y AWS, tomando en consideración las cargas muertas, cargas vivas, accidentales, cargas rodantes, empuje de agua, empuje de tierra y subpresión durante sus etapas constructivas y de operación, así como aplastamiento, corrosión, manejo, transporte y por efectos de deformación longitudinal en el caso de ser hincada. Para la selección del tipo de protección se usaran las Normas de PEMEX.

**Los planos de estas estructuras**, se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4., y además deberán contener lo siguiente:

**La planta general**, ubicada en la margen superior izquierda, a escala 1:200 o 1:250 con coordenadas y norte, se precisará el ángulo de intersección de la línea de conducción con la vía de comunicación, el kilometraje de la línea de conducción y el de la carretera con su nombre, dibujándose en la intersección dos círculos concéntricos, señalando tanto en la carretera como en la línea de conducción por medio de flechas en los extremos, las poblaciones inmediatas a manera de origen y destino. Así también se indicarán y acotarán los límites del derecho de vía.

**Corte longitudinal**, por el eje de la línea de conducción, indicándose elevación del terreno natural y rasante del camino, acotación e indicación del límite del derecho de vía, los muros de cabeza y las juntas de uniones entre tuberías de diferentes materiales. Si la tubería es hincada, indicar la longitud efectiva de hincado. Abajo del corte anterior, ubicar el cuadro que contiene cadenamamiento, rasante de tubería, cota del terreno natural y altura de corte.

**Corte transversal**, por el sitio del cruzamiento, cortes y detalles de los muros de cabeza y de la instalación de tubería de la línea de conducción y la estructura de protección detalle de las juntas en los cambios de tubería de diferente material precisamente fuera del derecho de vía, cuadro de deflexiones en el caso que los hubiera, cuadro de datos de proyecto, cuadro de cantidades de obra, croquis de localización del cruce ubicado en la margen superior derecha, notas, procedimiento constructivo y protección anticorrosiva.

### c) Estructuras de Cruce con Vías Férreas.

En base a la topografía, mecánica de suelos y procedimiento constructivo se definirá la solución a este tipo de cruce, que puede ser con cajón de concreto reforzado o con camisa de tubería de acero instalada en zanja o hincada.

El proyecto estructural deberá contar con los elementos necesario para su construcción tales como : estructura protectora, muros de cabeza, atraques y silletas. La línea de conducción en la zona del cruce deberá ser con tubería de acero.

El análisis y diseño de la estructura protectora cuando es a base de cajón de concreto armado y muros de cabeza de mampostería se efectuará de acuerdo a las **Normas y Especificaciones de Ferrocarriles Nacionales de México, las Normas y Especificaciones del Instituto Americano del Concreto ACI 318**, analizándolas para cargas muertas, vivas, accidentales, cargas rodantes y empuje de tierra durante sus etapas constructivas y de operación.

El análisis y diseño de la estructura protectora a base de encamisado de tubería de acero deberá llevarse a cabo de acuerdo a las Normas y Especificaciones de Ferrocarriles Nacionales de México, del AWWA, del AISC y AWS, tomando en consideración las cargas muertas, cargas vivas, accidentales cargas rodantes (COOPER E-110) y empuje de tierra durante sus etapas constructivas y de operación, así como aplastamiento, corrosión, manejo, transporte y por efectos de deformación longitudinal en el caso de ser hincada Para la sección del tipo de protección se usarán las normas de PEMEX.

Los planos estructurales se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4., y deberán contener lo que para su trámite se requiera ante la dependencia correspondiente.

#### **d) Estructuras de Cruce con Ductos.**

El proyecto de cruce de la línea de conducción con otra tubería conductora de fibra óptica, teléfonos, gas natural, derivados de hidrocarburos, de aguas residuales o de agua potable, se elaborará tratando de evitar la posibilidad de afectación entre ambas tuberías.

En el proceso constructivo al descubrir la tubería instalada se tomará todo tipo de provisiones para no dañarla, soportándola con una estructura provisional a base de madera.

Cuando la línea de conducción sea de P.V.C. o de Polietileno de alta densidad, el cruce se efectuará como línea de conducción, dejando un colchón mínimo entre ambas tuberías de 1.00 m., para diámetro menores de 24" y de 1.50 m., para tuberías de menor diámetro.

Para líneas de conducción de Concreto Preesforzado y de Asbesto-Cemento el cruce se proyectará de acuerdo a lo indicado en el párrafo anterior y en caso de que el ducto conduzca aguas negras o derivados de hidrocarburos, se elaborará el proyecto de la estructura de protección necesaria para evitar la contaminación en caso de fuga.

Cuando la línea de conducción y el ducto sean de Acero, se dejarán los colchones mínimos indicados anteriormente tomando las medidas necesarias para que el proyecto de cruce prevea la posible afectación a la protección catódica.

El proyecto estructural del cruce con ductos deberá contar con todos los elementos necesarios para su construcción y protección. Por consiguiente, los planos estructurales se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4. complementando la información con cortes y detalles de los atraques, de la unión o junta en los cambios de tuberías de diferente material, procedimiento constructivo y protección anticorrosivo.

#### **10.3.4. Atraques y Silletas**

Tomando en cuenta la información de geotecnia, hidráulica y mecánica se evaluarán las acciones sobre estas estructuras, tales como: el peso propio, peso de la tubería, peso del agua, carga piezométrica, cargas internas y externas, empuje de tierra, fuerzas inducidas por cambios de dirección, por fenómenos transitorios, por cambios de temperatura y cargas accidentales.

Se verificará que los esfuerzos inducidos al terreno no rebasen el empuje pasivo para fuerzas horizontales y capacidad de carga de terreno para cargas verticales, revisando la estabilidad del conjunto y verificando que los factores de seguridad a la flotación y al deslizamiento sean mayor o igual a 1.5 respectivamente, y el factor de seguridad al volteo sea mayor o igual 2.0. El diseño se efectuará para la combinación de esfuerzos que resulte más desfavorable.

El análisis y diseño se hará de acuerdo a las Normas y Especificaciones de la Asociación Americana de Obras de Agua AWWA Manual M-11 o al Manual de Diseños de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, en específico las contenidas en el capítulo de Tuberías.

Los planos estructurales se elaborarán conforme a lo estipulado en la sección 10.4.

#### **10.4. PLANOS ESTRUCTURALES.**

Una vez efectuado el análisis y diseño de las estructuras que componen los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, se procederá a crear los planos estructurales generales y de detalle que sean necesarios; elaborados por medios electrónicos con el programa AutoCAD® , **versión 2000 ó posterior en formato DWG**, impresos en papel albanene o bond, con forma rectangular de 60 x 90 cm ó 60 x 110 cm, dejando a la izquierda un margen de 40 mm, y 10 mm para los márgenes restantes, en un formato de tres planos tipo y deberán contener lo siguiente:

##### **PLANO TIPO No. 1**

- La planta general.
- Corte longitudinal.
- Corte transversal.



### En la solapa:

- Datos del proyecto.
- Resistencia de los materiales; ( $f'c$ ,  $f_y$ , tipo de concreto) para estructuras de concreto, ( $F_y$ ,  $F_u$ , tipo de acero, tipo de electrodos) para estructuras de acero, (resistencia a la compresión de tabiques y morteros) para estructuras de mampostería.
- Cargas muertas.
- Cargas vivas.
- Capacidad de carga del terreno.
- Coeficiente sísmico.
- Factor de comportamiento sísmico.
- Velocidad del viento de diseño.
- Cantidades de obra global.
- Cuadro de referencia con el logotipo del S.I.A.P.A.  
En la parte inferior izquierda del plano:
  - Nombre y firma del jefe de proyecto definitivo.
  - Nombre y firma del jefe de proyecto preliminar.
  - Logotipo de la empresa que realiza el análisis y diseño estructural.
  - Nombre y firma del perito estructural.
  - Clave del plano.
  - Iniciales del dibujante.
  - Nombre y firma de quien verificará el plano.
  - Fecha.
  - Modificaciones.
  - Observaciones.
  - Título de Láminas.

### PLANO TIPO No. 2

- Todos los elementos y detalles necesarios para la construcción de la obra.
- Cuadro de cantidades de obra correspondientes al plano.
- Cuadro de detalles del refuerzo.
- Cuadro de recubrimientos mínimos para acero de refuerzo.
- Cuadro de tamaño mínimo de soldaduras de filete, en estructuras de acero.

#### En la solapa:

- Normas y especificaciones de construcción.
- Cuadro de referencia con el logotipo del S.I.A.P.A.  
En la parte inferior izquierda del plano:
  - Nombre y firma del jefe de proyecto definitivo.
  - Nombre y firma del jefe de proyecto preliminar.
  - Logotipo de la empresa que realiza el análisis y diseño estructural.
  - Nombre y firma del perito estructural.
  - Clave del plano.
  - Iniciales del dibujante.
  - Nombre y firma de quien verificará el plano.
  - Fecha.
  - Modificaciones.
  - Observaciones.
  - Título de Láminas.

### PLANO TIPO No. 3

- Todos los elementos y detalles necesarios para la construcción de la obra.
- Cuadro de cantidades de obra correspondientes al plano.
- Fecha.
- Modificaciones.
- Observaciones.
- Título de Láminas.

**En la solapa:**

- Cuadro de referencia con el logotipo del SIAPA.

En la parte inferior izquierda del plano:

- Nombre y firma del jefe de proyecto definitivo.
- Nombre y firma del jefe de proyecto preliminar.
- Logotipo de la empresa que realiza el análisis y diseño estructural.
- Nombre y firma del perito estructural.
- Clave del plano.
- Iniciales del dibujante.
- Nombre y firma de quien verificará el plano.
- Fecha.
- Modificaciones.
- Observaciones.
- Título de Láminas.

# APENDICE

## ESTRUCTURAS SANITARIAS DE CONCRETO PARA EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE

ACI-350

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C.

## ESTRUCTURAS SANITARIAS DE CONCRETO PARA EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE

Título original en inglés:

**Environmental Engineering Concrete Structures**

© 1989 American Concrete Institute

© 1992 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Revisión Técnica

**Ing. Miguel Ángel Santinelli Llabrés**

**M en I. Víctor M. Pavón Rodríguez.**

Producción editorial:

**Arq. Heraclio Esqueda Huidobro**

**Ing. Raúl Huerta Martínez**

Este libro fue publicado originalmente en inglés. Por lo tanto, cuando existan dudas respecto de algún significado preciso, deberá tomarse en cuenta la versión en inglés. En esta publicación se respetan escrupulosamente las ideas, puntos de vista y especificaciones que presenta. Por lo tanto el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. no asume responsabilidad alguna (incluyendo, pero no limitando, la que se derive de riesgos, calidad de materiales, métodos constructivos, etc.) por la aplicación de los principios o procedimientos de este volumen.

### **Copyright © 1989. American Concrete Institute.**

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso de cualesquier forma o medio, incluyendo el fotocopiado por cualquier proceso fotográfico, o por medio de dispositivo mecánico o electrónico, de impresión, escrito u oral, o grabación para reproducción audio o visual o para el uso en cualquier sistema o dispositivo de almacenamiento y recuperación de la información, a menos que exista permiso escrito obtenido de los propietarios del Copyright.

*La presentación y disposición en conjunto del las ESTRUCTURAS SANITARIAS DE CONCRETO PARA MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información), sin consentimiento por escrito del editor.*

Derechos reservados:

© 1992 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Av. Insurgentes Sur 1846, Col. Florida, México. D.F. C.P. 01030

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial. 1052

**Primera edición: 1992.**

*Impreso en México*

**ISBN 968-464-078-1**

## ESTRUCTURAS SANITARIAS DE CONCRETO PARA EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE COMITÉ ACI 350

Frank Klein

Presidente

James P. Archibald

Jon B. Ardahl

Paul A. Beckmann, Jr

Reginald H. Benton

Patrick J. Creegan

Ashok K. Dhingra

Donald R. Dressler

Robert Little

Presidente del subcomité editorial

Donlad L. Dube

Anthony L. Felder

Timothy J. Fowler\*

Gerard B. Hasselwander

Dov Kaminetzky

David A. Kleveter

Nicholas A. Legatos

Anand B. Gogate

Secretario

Glenn E. Noble

Pedrag L. Popovic

Satish K. Sachdev

Harold N. Schneider

Sudhakar P. Verma

Roger H. Wood

\* Presidente cuando se desarrolló el informe del comité ACI 350-83

## SINOPSIS

En esta obra se presentan algunas recomendaciones pertinentes para el diseño estructural, materiales y la construcción de tanques, depósitos y otras estructuras de concreto que, comúnmente se usan para contener el agua industrial o doméstica o para tratamiento de aguas de desecho, en cuyo caso se requiere de un concreto denso e impermeable, con una alta resistencia al ataque de productos químicos. Se ha dado especial énfasis a los aspectos del diseño estructural que minimicen la posibilidad de agrietamiento y que soporten el equipo de vibración y otras cargas especiales. Asimismo, se ha tomado en cuenta el diseño y el espaciamiento entre las juntas. También se describen las proporciones que debe tener la mezcla de concreto, su colado, curado y protección contra productos químicos. Se incluye información relativa al diseño sísmico.

### NOTAS:

Para efectos de utilización en el documento general del S.I.A.P.A, se cambio la denominación de los capítulos originales en este apéndice, a subcapítulos, para que no haya confusión con el resto del documento.

Asímismo se conservó la numeración del documento original para que exista una correspondencia directa con el mismo.

Tambien, no se incluyo el subcapítulo 4 construcciones de este apéndice, por tratar un tema diferente a los objetivos de estos lineamientos.

## **CONTENIDO SINOPSIS**

### **SUBCAPÍTULO 1 REQUISITOS ESPECIALES PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE**

- 1.1. Introducción
- 1.2. Diseño y análisis
- 1.3. Impermeabilidad
- 1.4. Durabilidad

### **SUBCAPÍTULO 2 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL**

- 2.1. Introducción
- 2.2. Principales tipos de estructuras
- 2.3. Condiciones de carga
- 2.4. Tipos de cimentaciones
- 2.5. Consideraciones estructurales
- 2.6. Diseño estructural
- 2.7. Empalmes de acero de refuerzo
- 2.8. Juntas
- 2.9. Impacto, vibración, momento torsionante y cargas sísmicas

### **SUBCAPÍTULO 3 MATERIALES, PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS Y PRUEBAS**

- 3.1. Cementos
- 3.2. Aditivos
- 3.3. Agua
- 3.4. Agregados
- 3.5. Proporcionamiento de mezclas
- 3.6. Evaluación y aceptación

### **SUBCAPÍTULO 4 CONSTRUCCIONES**

- 4.1. Concreto
- 4.2. Colado del concreto
- 4.3. Juntas
- 4.4. Cimbrado
- 4.5. Acabado de superficies expuestas
- 4.7. Prueba de fugas

### **SUBCAPÍTULO 5 PROTECCIÓN CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS**

- 5.1. Resistencia del concreto y del acero de refuerzo
- 5.2. Necesidad de protección
- 5.3. Tipos de protección
- 5.4. Revestimientos recomendables
- 5.5. Selección de sistema de producción
- 5.6. Medidas de seguridad
- 5.7. Productos químicos usados en plantas para tratamiento

### **SUBCAPÍTULO 6 REFERENCIAS**

- 6.1. Referencias Recomendadas
- 6.2. Referencias citadas
- 6.3. Referencias adicionales

### **TERMINOLOGÍA TÉCNICA**

## **SUBCAPÍTULO 1. REQUISITOS ESPECIALES PARA ESTRUCTURAS SANITARIAS DE CONCRETO PARA EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Las estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente presentan algunos problemas que en otros usos del concreto resultan poco frecuentes. En todas las estructuras, los aspectos más importantes son la resistencia y la estabilidad. En el caso de las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente, aquellos aspectos concernientes tanto a la capacidad de servicio, en términos de agrietamientos y deflexiones limitadas, como a la durabilidad y la baja permeabilidad, requieren la misma consideración. En dichas estructuras el concreto que vaya a estar en contacto con aguas residuales deberá:

- a) Ser extremadamente denso e impermeable para minimizar la contaminación del abastecimiento de agua o del medio ambiente.
- b) Proporcionar la máxima resistencia al ataque de sustancias químicas, ya sean naturales o procesadas.
- c) Proporcionar superficies lisas con el objeto de minimizar la resistencia al flujo.

El concreto es un material particularmente adecuado para las estructuras sanitarias, ya que en condiciones de servicio no se alabea ni sufre cambios dimensionales significativos y, si se le ha diseñado y colado de manera adecuada, es casi impermeable y extremadamente resistente a la corrosión.

Debido a lo estricto de los requisitos de servicio de las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del medio ambiente, es necesario que se diseñen y se construyan con sumo cuidado. La calidad del concreto es muy importante, por lo que se deberá ejercer un control de calidad muy cuidadoso durante la construcción, con el objeto de obtener un concreto impermeable.

#### **1.1.1. OBJETIVO.**

La presente obra trata de estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente de concreto reforzado. Las especificaciones se aplican al concreto colado en la obra o prefabricado que se usa en la construcción de tanques, represas, pozos de visita, sumideros, atarjeas, cámaras de confluencia, estaciones de bombeo y otras estructuras y sistemas similares. Con este trabajo se pretende recomendar métodos de diseño y construcción que permitan la producción de concreto estructural que satisfaga no sólo los requisitos estructurales comunes sino también aquellos mencionados en la sección 1.1 (a), (b) y (c). Se da especial atención a los pasos necesarios para aumentar al máximo la resistencia a la corrosión y la impermeabilidad del concreto, así como a las condiciones especiales de carga que afecten las estructuras de sanidad del medio ambiente.

Las recomendaciones que se refieren al concreto preesforzado quedan fuera de alcance de este documento. El ACI 344R contiene recomendaciones específicas para tanques circulares de concreto preesforzado.

### **1.2. DISEÑO Y ANÁLISIS**

Las cargas de diseño para las estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente se determinan a partir de la profundidad y peso específico del líquido o sólidos retenidos, de la presión externa del suelo y del equipo que va a instalarse. Las cargas vivas en tanques y represas, suelen ser relativamente pequeñas si se comparan con la carga del líquido y la carga muerta, conocidas con precisión. Como se señala en la sección 2.9, se requiere de un especial cuidado cuando se diseña para impacto y para cargas dinámicas producidas por el equipo mecánico. El análisis debe ser muy preciso tanto para obtener una descripción realista de la distribución de esfuerzos en la estructura como para resistir el agrietamiento en áreas de esfuerzo máximo. La información relativa a la resistencia y compactación del suelo es de gran importancia, para minimizar los asentamientos diferenciales que podrían causar agrietamiento.

Las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente deben diseñarse para minimizar las fugas. Por consiguiente, deberá emplearse un método de diseño que elimine las grietas anchas u otras fuentes potenciales de fuga. Es posible utilizar métodos de diseño basados en las teorías de resistencia

última o de esfuerzos de trabajo. En las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente el desempeño de las cargas de servicio tiene gran importancia.

Muchas de las actuales ayudas de diseño se basan en el método de diseño por resistencia. Para el diseño por resistencia de las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente, en este texto se introduce el concepto de coeficiente de durabilidad al ambiente. Estos coeficientes proporcionan esfuerzos conservadores de carga de servicio con acero grado 40. y grado 60, los cuales se seleccionaron con el objeto de proporcionar un control de agrietamiento similar al que se obtiene con el diseño de esfuerzos de trabajo.

### 1.3. IMPERMEABILIDAD.

Las estructuras sanitarias de concreto para la contención, el tratamiento o la conducción de agua, aguas negras u otros fluidos, deben estar diseñadas y construidas de tal manera que sean esencialmente impermeables y que tengan una pérdida mínima de volumen del contenido bajo condiciones de servicio normal (Ver la sección 4.7 de este informe respecto a las pruebas de filtración).

Para muchas aplicaciones industriales, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América, exigirá sistemas de detección de contenido y de fugas.

La capacidad de una estructura para retener líquidos estará razonablemente asegurada si:

- a) La mezcla de concreto esta bien proporcionada y el concreto esta bien consolidado sin segregación.
- b) Se reduce al mínimo el ancho de las grietas.
- c) Las juntas tienen el tamaño adecuado y están apropiadamente espaciadas, diseñadas y construidas.
- d) Se usan revestimientos impermeables de protección cuando sean necesarios.
- e) Se proporciona el acero de refuerzo adecuado.

Por lo general resulta más económico y confiable contrarrestar la infiltración de los líquidos mediante el uso de concreto de buena calidad y el diseño apropiado de los detalles de las juntas, y un refuerzo adecuado mediante barreras o recubrimientos impermeables.

Se obtendrá una permeabilidad mínima en el concreto si se utilizan las más bajas relaciones agua/cemento que sean compatibles con una trabajabilidad satisfactoria y una buena compactación. A medida que pasa el tiempo, la impermeabilidad del concreto aumenta y mejora con periodos prolongados de curado húmedo. Por otra parte, el tratamiento de las superficies es muy importante y se obtienen buenos resultados con el acabado de las superficies por medio de llana y con el uso de cimbras lisas. La inclusión de aire reduce la segregación y el sangrado, aumenta la trabajabilidad, y proporciona resistencia a los efectos de los ciclos de congelación y deshielo, por lo que la utilización de un agente inclusor de aire da como resultado un concreto mejor compactado y permite usar una relación agua/cemento menor. Otros aditivos tales como agentes reductores de agua y puzolanas, son útiles cuando tienden a aumentar la trabajabilidad y la compactación con relaciones agua/cemento menores. Las puzolanas también reducen la permeabilidad.

El agrietamiento puede mantenerse al mínimo por medio de un diseño apropiado, distribución del acero de refuerzo y espaciamiento de las juntas. También puede minimizarse el agrietamiento debido a la contracción por secado usando concreto en el que la contracción esté compensada pero, para que el diseño sea exitoso, el ingeniero debe reconocer las características y propiedades de este tipo de concreto, tal como se describe en el ACI 223. En el concreto normal siempre se producirá cierta contracción y se requiere que las juntas y el refuerzo se diseñen de un modo que la compensen. En el diseño de las juntas también deben tomarse en cuenta los movimientos resultantes de los cambios térmicos dimensionales y de los asentamientos diferenciales.

Es conveniente que las juntas que permiten movimientos a lo largo de planos de control predeterminados y que deben formar una barrera para el paso de los líquidos, incluyan dispositivos para retención de agua. También es esencial contar con buenas operaciones de colado, con una consolidación adecuada y sistemas de curado apropiados para controlar el agrietamiento en estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente. Si se desea información adicional sobre agrietamiento puede consultarse el informe del Comité, ACI 224R.



## 1.4. DURABILIDAD.

La durabilidad del concreto que se usa en estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente, se define como la resistencia de la estructura contra los efectos deteriorantes del medio ambiente. En particular, el concreto debe ser resistente a la acción de las sustancias químicas, al mojado y secado alternados, a la congelación y deshielo y a la exposición a los elementos atmosféricos. Se debe usar aire incluido en exposiciones de congelación y deshielo. Se puede mejorar la resistencia al ataque químico usando concreto de buena calidad, tipos de cemento que mejoren la resistencia a los agentes químicos y proporcionen acabados de superficies lisas. También debe tenerse el cuidado de proporcionar un recubrimiento adecuado para el acero de refuerzo y usar accesorios que no se oxiden ni dañen al concreto. El relleno y el resanado de los orificios de amarre tal como se recomienda en la sección 4.5.4.1. de este reporte son necesarios para asegurar durabilidad a largo plazo del concreto. El uso apropiado de ceniza volante de buena calidad en la mezcla, puede dar como resultado una mejor trabajabilidad, relaciones más bajas de agua-cemento, resistencia a la corrosión y una resistencia mayor al ataque de sulfatos. También debe considerarse el uso de un cemento moderadamente resistente a sulfatos como el tipo II y V o ciertos cementos tipo K, como aquellos que se hace referencia en la parte 3.1.2.

La mayoría de las estructuras de concreto sanitarias para el mejoramiento del ambiente estarán expuestas a los fenómenos ambientales, por lo que se requiere tomar las medidas necesarias para evitar daños causados por aguas torrenciales, lluvia, nieve, congelación y deshielo. En algunos casos, sólo se puede lograr una durabilidad adecuada usando barreras especiales de protección (véase el capítulo 5). Las estructuras expuestas a líquidos en movimiento deben ser resistentes a la erosión. En el informe del Comité ACI 201.2R puede encontrarse información adicional sobre la durabilidad.

## **SUBCAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL.**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

El diseño de estructuras sanitarias debe ejecutarse en cuatro fases consecutivas o traslapadas, de la siguiente manera:

1. Diseño funcional.
2. Esquema físico de la planta.
3. Diseño hidráulico.
4. Diseño estructural.

Diversos textos autorizados y varios manuales sobre ingeniería de la ASCE<sup>1-3</sup> ayudarán en las primeras tres fases del diseño, las cuales deberán haberse ejecutado, en la mayor parte, antes de emprender la cuarta fase. Sin embargo deben proveerse recomendaciones sobre estructuras durante todas las fases del diseño y la construcción de la obra. A menos que se indique lo contrario en este capítulo, el diseño estructural deberá seguir, en general los lineamientos del Reglamento ACI 318.

Para el diseño estructural de tanques circulares o rectangulares hechos de concreto reforzado, existen varias publicaciones útiles<sup>5,6,7</sup> de la Portland Cement Association. Para los tanques circulares de concreto preesforzado, es conveniente consultar el informe del Comité ACI 344R.

Las recomendaciones contenidas en las publicaciones antes mencionadas pueden requerir de algunos ajustes para que cumplan con el Reglamento ACI 318 y con esta publicación, así como con el reglamento de construcción aplicable en la localidad.

### **2.2. PRINCIPALES TIPOS DE ESTRUCTURAS.**

Por lo general, las instalaciones sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente son destinadas para el tratamiento de agua o aguas residuales y están compuestas de varias unidades separadas, como se muestra a continuación:

#### **Plantas para el tratamiento de agua.**

- Estructuras de captación.
- Cámaras separadoras.
- Cámara de mezclado rápido.
- Tanques de floculación.
- Tanques de sedimentación.
- Conductos.
- Clorinadores.
- Instalaciones clorinatoras.
- Clarificadores.
- Filtros.
- Galería de filtración.
- Depósito de agua clarificada.
- Estaciones de bombeo.
- Depósito de distribución.
- Almacén de productos químicos.
- Edificio para oficinas y laboratorios.

#### **Plantas para el tratamiento de aguas residuales, industriales y domésticas.**

- Desarenador.
- Tanques primarios de sedimentación.
- Tanques de sedimentación final.
- Digestores.
- Espesadores.
- Tanques aereadores.
- Tanques de retención de lodos.
- Filtros precoladores.

Instalaciones de cribado.  
 Cámaras de clorinación por contacto.  
 Estaciones de bombeo y ventilación.  
 Gasómetros.  
 Filtros al vacío y centrifugadoras.  
 Instalaciones de eliminación de lodos.  
 Almacén de productos químicos.  
 Edificio para oficinas y laboratorio.  
 Filtros terciarios.  
 Instalaciones para abonos.  
 Canales y túneles.  
 Las estructuras mencionadas pueden clasificarse también de la forma siguiente:  
 Tanques, depósitos y estructuras que contengan agua o líquido.  
 Conductos y canales de interconexión y alcantarillas coladas en obra.  
 Cimentaciones para maquinaria y equipo.  
 Alojamiento de protección, pisos, almacenes, pasarelas y escaleras.

## 2.3.- CONDICIONES DE CARGA

### 2.3.1.- CARGA MUERTA.

Existen muchas listas de referencias, como la de la ANSI A58.1, disponibles para calcular las cargas muertas de materiales convencionales de construcción.

### 2.3.2.- CARGA VIVA.

Los siguientes son valores conservadores para cargas vivas, los cuales deben considerarse en el diseño estructural.

Aguas negras sin tratar .....	1 010 kg/m <sup>3</sup>
Gravilla excavada del desarenador .....	1 800 kg/m <sup>3</sup>
Cieno digerido, aeróbico.....	1 050 kg/m <sup>3</sup>
Cieno digerido, anaeróbico .....	1 120 kg/m <sup>3</sup>
Cieno engrosado o deshidratado dependiendo del contenido de humedad .....	1 000 a 1 400 kg/m <sup>3</sup>

En la ANSI A58.1 se presentan recomendaciones para otras cargas vivas; los requisitos mínimos se especifican en los reglamentos locales de construcción. Se debe pedir al fabricante información sobre el peso real del equipo. Si difieren los pesos proporcionados por varios fabricantes, en el diseño estructural deberá usarse el más pesado de ellos.

Las cargas vivas en pasarelas y escaleras, y en pisos de oficinas y laboratorios deben ser de un mínimo de 500 kg/m<sup>2</sup>. En los cuartos para equipo pesado donde las máquinas pueden desarmarse y almacenarse en el piso, se aconseja diseñar las losas para un mínimo de carga viva de 1 500 kg/m<sup>2</sup>. Para diseñar las vigas de piso deben usarse los pesos reales de la maquinaria y de otros equipos, incluyendo los efectos de cargas móviles. Las cargas vivas deben incluir los pesos de las tuberías y válvulas de gran diámetro tomando en cuenta el tamaño, número y espaciamiento de los tubos incluyendo las cargas actuales y considerando ampliaciones planeadas.

Al evaluar las cargas vivas para tanques cerrados el ingeniero debe considerar las presiones internas o vacíos que ocurren bajo condiciones normales de operación y verificar la capacidad de servicio o deflexiones. Deben usarse los ajustes máximo/mínimo para las válvulas aliviadoras de presión y las válvulas aliviadoras de vacío, así como la carga viva de servicio para el diseño del acero de refuerzo. Debe tenerse cuidado para asegurar que los respiraderos y válvulas de alivio no se tapen, se congelen o se cierren por la corrosión. En climas fríos, esto puede requerir cables de calentamiento en los respiraderos y las válvulas. Las válvulas de alivio de cuello de ganso podrían requerir anticongelante.

La carga viva para los techos de los tanques enterrados debe incluir el recubrimiento de tierra así como también una carga viva superficial de 500 kg/m<sup>2</sup>. Dependiendo del uso del área del techo podría requerirse una

carga viva superficial de diseño más grande. Los patrones de carga pueden ser muy importantes para los techos enterrados. Un claro puede ser descubierto (no hay tierra o carga viva superficial), mientras que los claros adyacentes están sujetos a cargas totales de tierra y carga viva superficial. Estos efectos son particularmente importantes en los sistemas de techos de losas planas. Los planos de la construcción deben indicar cualesquiera restricciones sobre la colocación, el tipo o peso del equipo que ha de emplearse, así como la secuencia de las capas de tierra.

En los cuartos de control eléctrico lo mejor es calcular el área de cimentación y el peso del equipo. Se debe de suponer que el peso de una unidad se puede aplicar en cualquier sitio de la sala de control, ya que el equipo se puede trasladar de su lugar, original a otros sitios, o se puede incluir más equipo después. En la mayoría de los casos, una carga viva supuesta de  $1\ 250\ \text{kg/m}^2$ , cubrirá la carga normal del equipo.

En las construcciones para almacenaje de productos químicos, pueden usarse las cargas vivas que aparecen en la tabla 2.3.2. Es preciso tomar las precauciones necesarias, como son bordillos o barreras, para aislar y evitar que los productos químicos se esparzan o se derramen. el ingeniero estructural debe decidir cual es la altura razonable de apilado cuando diseñe losas, vigas y otros elementos de soporte. Se recomienda que la carga viva especificada para el diseño, incluyendo maquinaria, equipo, cargas de tuberías, y bases de cada una de las partes del piso, se indique en los planos y se exhiba en el área de su aplicación.

## 2.4.- TIPOS DE CIMENTACIONES

Las estructuras que cubren grandes áreas pueden apoyarse sobre varios suelos de cimentación o en la roca.

### Las cimentaciones pueden estar:

- a) Únicamente en suelo granular.
- b) Sólo en suelo cohesivo.
- c) Únicamente en roca.
- d) En cualquier combinación de los tres anteriores.

### Los tipos de cimentaciones pueden ser:

- a) Pilotes,
- b) Pilas de cimentación,
- c) Losas de cimentación,
- d) Zapatillas aisladas o continuas.

Si la cimentación de una estructura descansa exclusivamente en un tipo suelo o roca, no se dificulta el diseño de la cimentación ni de la estructura misma. Los problemas de diseño se complican cuando la estructura descansa sobre más de un tipo de suelo. La mayoría de las estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente son tanques y depósitos contenedores de agua o de líquido, que no toleran los asentamientos diferenciales que causan grietas y fugas. De este modo, los diseñadores de estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente, deberán evitar cuidadosamente los asentamientos diferenciales en las estructuras. De ser necesario, las losas podrán cubrir los espacios entre las contratraves, los muros de cimentación y las pilas. En general, las estructuras se deben diseñar para minimizar los asentamientos diferenciales o diseñarse para asimilar los asentamientos como vigas sobre apoyos elásticos. Las estructuras adyacentes con cargas y funciones diferentes deberán estar separadas físicamente por medio de juntas de expansión y/o construcciones de doble pared.

En el diseño de las cimentaciones en suelos granulares u otros suelos compresivos o elásticos, deben tomarse en cuenta no sólo las variaciones de compresibilidad de los materiales del suelo y los diferentes espesores de los estratos del suelo, sino también las variaciones en la carga producidas por el llenado y vaciado alternados de los tanques, recipientes o depósitos adyacentes.

Es necesario hacer perforaciones de prueba y análisis de muestras de suelo para determinar la resistencia y contenido de sulfatos. Para los primeros  $930\ \text{m}^2$  del área de planta, debe hacerse un mínimo de cuatro perforaciones y por lo menos dos perforaciones adicionales por cada  $930\ \text{m}^2$  adicionales. Además, puede ser pertinente ubicar perforaciones extra de pruebas adicionales en sitios en los que se concentren más cargas, como la cimentación para columnas centrales de clarificadores de gran diámetro o cimentaciones para equipos pesados. Se recomienda la investigación por, y la consulta con, un ingeniero geotécnico.

Si se trata de cimentaciones rocosas irregulares o estratos de apoyo poco comunes, tal vez sea necesario hacer perforaciones adicionales para la prueba de suelos. Es importante observar y registrar la altura del nivel del manto de aguas freáticas y cualquier variación periódica y estacional. La elevación máxima y mínima del nivel del manto de aguas freáticas en el área de la planta debe determinarse usando los criterios de inundación y sequía de cien años, en cada caso. Se debe determinar la elevación máxima y mínima a del nivel del manto de aguas freáticas dentro del área de planta, puesto que un manto de agua muy alto ejercerá una subpresión que podría levantar y dañar las losas de cimentación y reducir la capacidad de apoyo del suelo. Si las estructuras se apoyan en pilotes, se puede considerar la, posibilidad de usar pilotes contra subpresión. En la sección 2.5 se incluyen consideraciones adicionales referentes a las subestructuras.

**TABLA 2.3.2 Pesos de productos químicos para diseño estructural**

PRODUCTO QUÍMICO	DATOS DE EMBARQUE Y ALMACENAJE	PESO EN kg/m <sup>3</sup> EXCEPTO QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
Ácido fluorhídrico	Tambor de acero de 75.7, 114 y 379 litros; a granel	
Ácido fluosilícico*	Cuñete de 18.91; tambor con recubrimiento de brea de 1 891; barril recubierto con caucho de 191 kg	Al 30%, 1 260 gr/l
Ácido sulfúrico	Botella, garrafón de 18.91, 49.21; tambor de 2081, 4161, suelto a granel	Densidad relativa de 1.81, 1 809 gr/l
Alumbre líquido*	Fabricado cerca de la obra, costos de acarreo impiden envío a distancia; 22 700 a 30 300 litros en carros-tanque de acero; 7 570 a 15 100 litros en camiones-tanque de acero con revestimiento de caucho.	a 15.6 C la densidad relativa es 1.285; 1 280 gr/l
Aluminato de sodio	Costal con triturador de 22.7 y 45.4 kg; líquido en tambores	Alta pureza 800, normal 960
Amoniaco, anhidro. NH <sub>3</sub>	Cilindro de acero de 22.7, 45.4 y 68.0 kg; carros-tanque de 220 y 680 kg	La densidad relativa del líquido es 0.68 a -33.3 C
Amoniaco, agua	Garrafón de 18.9 y 37.9 litros; tambor de 170 y 340 kg; carros-tanque de 30 300 litros.	A 15.6 C la densidad relativa es 0.8974
Bentonita	Saco de 22.7 y 45.4 kg; a granel	Polvo de 720 a 960, granulado de 1 050 a 1 200
Bicarbonato de sodio	Saco de 45.4 kg y tambores	950 a 1000
Bisulfato de sodio	Saco de 45.4 kg, tambor de 45.4 y 181 kg	1 120 a 1 280
Bióxido de carbono	Cilindro de acero para gas comprimido de 68 kg; hielo seco, entregado según se requiera y evaporado en el sitio en grandes cilindros de acero	
Bromo	Botella de vidrio de 2.95 kg, botellas de cerámica	Densidad relativa 3.119, 3 120 gr/l
Cal clorinada	Tambor de 45.4, 136 y 363 kg, almacénese en lugar fresco y seco	750 a 800
Cal dolomítica	Saco de 22.7 kg; barril, a granel	Granular de 960 a 1 040; molida de 800 a 1200; grumo de

\* Acción agresiva en el concreto

Cal dolomítica hidratada	Saco de 22.7 kg; barril, a granel	800 a 1 040; polvo de 600 a 1 040; promedio 960 480 a 800. Para calcular la capacidad de la tolva úsese 640
Carbón activado*	Saco de 15.9 kg (7.62 x 5.33 x 9.91 cm); tambor de 2.27 y 11.3 kg a granel.	Polvo de 130 a 450, promedio 190
Carbonato de bario	Caja de 11.3 kg; cuñete de 45.4 kg, saco de 90.7 kg	850 a 1 250
Carbonato de calcio	Saco de 22.7 kg; tambores, a granel	Polvo de 560 a 960, granulado de 1 600 a 1 850
Carbonato de sodio	Saco de 45.4 kg; tambor de 11.3 kg y barril de 45.4 kg, a granel	Denso 1 040, medio 640, ligero 480
Clorito de sodio Cloro	Tambor de 45.4 kg Cilindro de acero de 45.4 y 68.0 kg; recipientes de 13.6 t; carros-tanque de 13.6, 14.5, 27.2 y 49.9 t	1 040 a 1200 Densidad respecto al aire 2.49
Cloruro de sodio	Saco de 45.4 kg, barril, tambor de 11.3 kg a granel	Roca de 800 a 960, cristal de 930 a 1 120
Cloruro férrico	En solución garrafón de 18.9 y 49.2 litros camión, carro-tanque; cristales-cuñete de 45.4, 181 y 204 kg; tambor de 68.0, 159 y 286 kg	En solución de 5.08 a 5.62 kg, cristal de 960 a 1 030: anhídrido de 720 a 960
Diatomita	Saco de 22.7 kg, a granel	Natural de 80 a 290; calcinada de 50 a 100; calcinada fluida de 160 a 400
Dióxido de azufre	Cilindro de acero de 45.4, 68 y 90.7 kg	
Fluoruro de sodio	Saco de 45.4 kg; tambor de 11.3 kg, 56.7 y 170 kg	Polvo 1 040 a 1 600, granulos de cristal 1 440 a 1 700
Fosfato disódico	Saco de 45.4 kg; cuñete de 56.7 kg; tambor de 11.3, 45.4, 56.7, 147 y 159 kg	Cristal hidratado de 1 280 a 1 440; anhídrido de 850 a 1 000
Fosfato trisódico	Saco de 45.4 y 90.7 kg; barril de 147 y 181 kg; cuñete de 56.7 kg	Cristal de 880 a 960, monohidrato 1 040
Hexametáfosfato de sodio	Saco de 45.4 kg; tambor 45.4, 136 y 145 kg.	Vidrio de 1 030 a 1 600, polvo y granulado de 700 a 960
Hidróxido de calcio	Saco de 22.7 kg; barril de 45.4 kg; a	320 a 800. Para calcular la capacidad

\* Acción agresiva en el concreto

	granel, almacénese en lugar seco.	de la tolva, use 640.
Hidróxido de sodio	Tambor de 11.3 kg, 12.7, 159, 181 y 318 kg, solución suelta a granel	Bolitas de 960 a 1 120, escamas de 740 a 1 000
Hipoclorito de calcio	Barril de 188 kg; lata de 2.27, 6.80, 45.4 y 136 kg; tambor de 363 kg, almacénese en lugar fresco y seco, evítese el contacto con materia orgánica	Granulado 1 090 a 1 280, polvo de 510 a 800
Hipoclorito de sodio	Garrafón de 18.9 y 49.2 litros; tambor de 114 litros; suelto.	Al 15%, 1 220 gr/l
Oxido de calcio	Costal a prueba de humedad de 45.4 kg, barril de madera, a granel; C/L, almacénese en lugar seco, máximo 60 días, manténgase el recipiente cerrado	880 a 1 120. Para calcular la capacidad de la tolva, úsese 960.
Permanganato de potasio	(USP), 11.3, 49.9 y 56.7 kg; cuñete de acero; para tecnología 11.3, 49.4 y 272 kg; en tambor de acero.	1 380 a 1 630.
Pirofosfato tetrasódico	Saco de 45.4 y 97.7 kg; barril de 159 kg; tambor de 113, 136 y 159 kg; cuñete de 56.7 kg.	Cristal de 800 a 1 120, polvo de 740 a 1 060
Polielectrolito o polímero	Disponible en seco y en forma de solución. Se emplean varios tipos de recipientes.	En seco de 120 a 1 410, líquido de 990 a 1 475
Silicato de sodio	Tambor de 3.79, 18.9 y 208 litros; a granel.	Densidad relativa de 1.39; 1 390 gr/l, 1.41; 1 405 gr/l
Sílice activada*		Del orden de 1 390 gr/l
Silicofluoruro de amonio	Paquete de 1.81 a 12.0 kg; cuñete de 45.4 kg; barril o tambor de 181 kg.	1 120 a 1 280.
Silicofluoruro de sodio	Saco de 45.4 kg; tambor de 11.3 kg, 56.7 y 170 kg	Granular de 1 360 a 1 680, polvo granular de 960 a 1 540
Solución de cloruro de aluminio	Garrafrones; camiones-tanque con revestimiento de caucho.	Densidad relativa de 1.15 a 1.16.
Sulfato Amónico de aluminio*	Tambores de fibra, cuñetes de 45.4 a 181 kg; sacos de 45.4 kg; a granel	960 a 1 120.
Sulfato de aluminio	Saco de 45.4 y 90.7 Kg.; barril de 147 y 181 kg; tambor de 11.3, 45.4 y 113 kg, a granel	960 a 1 200 (el polvo es más ligero). Para calcular la capacidad de la tolva utilice 960
Sulfato de amonio*	Caja de 11.3 kg; cuñete de 45.4 kg; sacos de 45.4 Kg;	960

\* Acción agresiva en el concreto



	barril de 136 y 181 kg; a granel.	
Sulfato de cobre*	Saco de 45.4 kg; barril de 204 kg; tambores	Cristal de 1 200 a 1 440; polvo de 960 a 1 090
Sulfato de sodio	Saco, barril, tambor, cuñete	1 120 a 1 600
Sulfato férrico	Saco de 45.4 kg; tambor de 181 y 193 kg; a granel.	1 120 a 1 150
Sulfato ferroso	Saco de 45.4 kg barril de 181 kg; a granel.	1 010 a 1 060
Sulfato potásico de aluminio*	Saco de 45.4 y 113 kg; barril de 159 kg; tambor de 45.4 y 159 kg; a granel.	960 a 1 120
Tiosulfato de sodio	Saco, barril, tambor, cuñete	850 a 960
Vitriolo verde clorinado	Véanse cloro y sulfato ferroso como reactivos necesarios	

## 2.5.- CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

Los grandes depósitos de concreto reforzado sobre suelo compresible pueden ser considerados como vigas o trabes sobre apoyos elásticos. Los muros laterales de los tanques y depósitos rectangulares se pueden diseñar como si fuesen muros en voladizo empotrados en su parte inferior o bien como muros apoyados en dos o más bordes. Casi siempre los tanques circulares resisten la presión de su contenido principalmente por medio de tensión circunferencial.

La elevación del nivel del manto de aguas freáticas y las condiciones del agua de inundaciones, son aspectos básicos para el diseño, y tales cargas deben considerarse de la misma manera que las cargas del líquido interno. el nivel del manto de aguas freáticas local, se puede elevar artificialmente por medio de fugas de agua de tanques o tuberías cercanos. Los muros que soportan tanto las cargas interiores de agua como las cargas exteriores de tierra deben ser diseñados para soportar tanto el efecto total de la presión interior del agua como el efecto total de la presión exterior máxima de tierra, sin considerar que una carga podría minimizar el efecto de la otra. Si fuese necesario que el área del depósito quedara sellada, los muros que rodean la estructura y el fondo de ésta deben soportar las presiones combinadas laterales y verticales del agua y del suelo, y toda la estructura deberá resistir la flotación.

La reacción del suelo sobre una losa elástica es muy diferente de la reacción del suelo sobre una losa más rígida. Los muros en voladizo desde una losa flexible sobre suelos compresibles presentan un problema de influencia mutua del suelo y la estructura.

Las losas de fondo que salvan claros entre muros laterales paralelos no es siempre una tarea fácil. Al aumentar el espesor de la losa se contrarresta la fuerza de la subpresión con el aumento del peso del concreto y se reduce la cantidad de refuerzo requerida. No obstante, este enfoque puede enfrentar limitaciones económicas; las vigas invertidas o los muros transversales colocados sobre la losa de cimentación pueden reducir los claros de las losas y permitir un espesor económicamente aceptable.

Se debe suponer que todas las estructuras que contengan agua están vacías: para llevar a cabo los cálculos de flotación y esfuerzos de la presión externa. Se debe investigar el efecto de las cargas alternas de gravedad y de la subpresión. En algunos casos, se puede limitar la fuerza de subpresión en la base de la losa de cimentación:

1. Por medio de columnas reguladoras que automáticamente verterían agua dentro del tanque, cuando se rebasa cierto nivel del manto de aguas freáticas.
2. Instalando sistemas automáticos de presión en la losa de base o muros laterales donde sea posible.

3. Haciendo descender el nivel del manto de agua freáticas con tubos de drenaje perforados y sistemas colectores. Dependiendo de las condiciones del suelo también pueden usarse pilotes contra la subpresión o anclas fijadas en condiciones apropiadas de suelo/roca para resistir las presiones de la subpresión.

En caso de que ninguno de estos métodos sea práctico, se debe considerar la posibilidad de usar algún sistema de alarma. Cuando se llegara a un nivel de aguas freáticas que fuera peligroso, el sistema de alarma podría alertar al operador para que, de inmediato, pusiera en práctica las medidas necesarias para empezar a llenar los tanques y así equilibrar la subpresión. Se deberá contar, por lo menos, con dos sistemas independientes de alarma. Tales sistemas deben probarse a intervalos frecuentes.

Los tanques que se encuentren bajo el nivel del terreno por lo general se prueban para determinar su hermeticidad antes de colocar el relleno y, siempre que sea pertinente, hay que considerar esta condición en el diseño estructural.

Los tanques de gran diámetro se expanden y se contraen de manera considerable a medida que se llenan o se vacían; la conexión entre la cimentación y el muro debe permitir ese tipo de movimientos, o bien ser lo bastante fuerte como para resistirlos sin agrietarse. Cuando el muro tenga libertad de movimiento y no esté interconectado a otras estructuras o tanques, los detalles de las juntas y cubierta deben estar cuidadosamente planeados y ejecutados.

Los análisis de muros rectangulares apoyados en tres o cuatro lados quedan bien explicados en las referencias 6 y 7, las cuales contienen coeficientes de diseño tabulados. Cuando los paneles de los muros son rectangulares y las relaciones dimensionales exceden a las dadas en las tablas de coeficientes, las tablas aún pueden ser de alguna utilidad; los extremos del panel del muro rectangular pueden ser diseñadas con base en los coeficientes para la relación más cercana en la tabla. Determine los momentos de los extremos en las intersecciones de los muros. La porción media restante del muro se diseña como un claro en una dirección o en voladizo. Como una alternativa puede usarse un análisis elástico.

Los muros verticales reforzados soportados en la parte superior y en la inferior también se usan con mucha frecuencia. Presentan ventajas especiales cuando se trata de un tanque rectangular relativamente angosto o cuando el tanque está apoyado en pilotes. Tal vez sea conveniente diseñar los muros laterales de un tanque para dos condiciones: como un muro en voladizo o como uno soportado arriba y abajo. La razón para hacer este doble diseño consiste en que dichos muros laterales, cuando el tanque se construye en un área excavada, con frecuencia serán rellenos antes que se haya construido el soporte de arriba. Cabe señalar que las juntas de expansión colocadas en los pisos de los tanques eliminarán la continuidad entre los muros opuestos. Por lo tanto el diseñador debe investigar cuidadosamente los deslizamientos, incluyendo la reducción de fricción debido a la flotación por fugas.

Los muros de concreto reforzado con altura mínima de 3.00 m y que estén en contacto con líquidos deben tener un espesor mínimo de 30 cm. En términos generales, el espesor mínimo de cualquier elemento estructural de las obras sanitarias y para el mejoramiento del medio ambiente es de 15 cm. Se requerirá un mínimo de 20 cm en donde se desee un recubrimiento de concreto de 5 cm. Sin embargo, cuando se usen dispositivos de retención de agua y la posición del acero de refuerzo pueda afectar adversamente un colado apropiado, debe considerarse un espesor más grande. Hay que recordar que el problema de la cuña de cortante, analizado en la sección 2.8.4., es particularmente severo en los muros delgados. Para controlar el agrietamiento, es preferible usar gran número de varillas de diámetro pequeño para refuerzo principal, en lugar de una área igual de refuerzo con varillas gruesas. La separación máxima entre varillas no deberá exceder de 30 cm. En la sección 10.6.4 del Reglamento ACI 318, se proporcionan los lineamientos para el límite en el diámetro de las varillas.

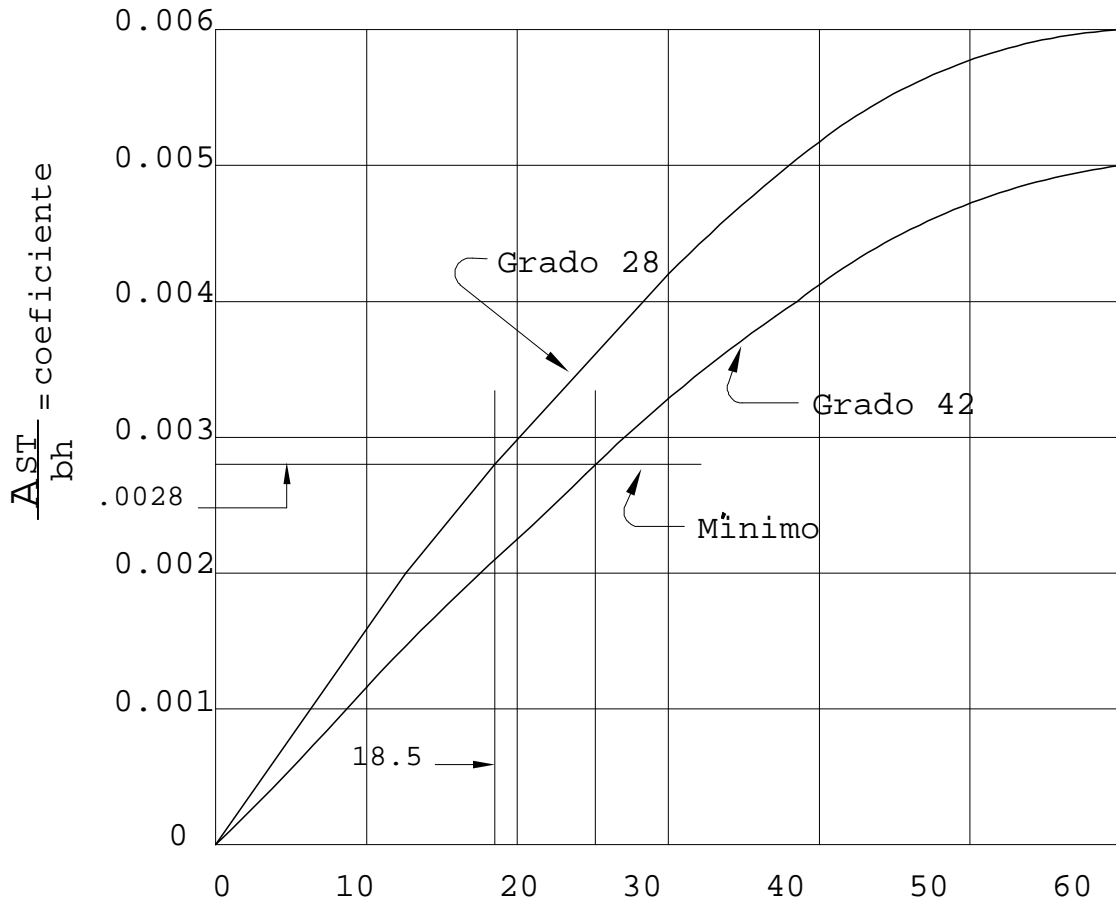
La cantidad de refuerzo por contracción y temperatura que se deba suministrar está en función de la distancia entre las juntas de movimiento, que disiparán la contracción y los esfuerzos causados por la temperatura en la dirección del refuerzo. Además, la cantidad de refuerzo por contracción y temperatura está en función de la mezcla específica de concreto, la cantidad de agregado, el espesor del muro, su refuerzo y las condiciones ambientales de la obra. Estos factores se han tomado en cuenta al aplicar el método de análisis desarrollado por Vetter<sup>8</sup> para las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del medio ambiente, y las recomendaciones contenidas en el resto de la presente sección se basan en dicho trabajo<sup>9</sup>.

El refuerzo por contracción y temperatura no deberá ser menor del porcentaje dado en la figura 2.5, excepto cuando se use concreto de contracción compensada. Las separaciones entre las juntas de movimiento del orden de hasta 23.00 m, se han utilizado con éxito con concreto de contracción compensada y un 0.3 % de acero de refuerzo. Cuando se utilice concreto de contracción compensada, los detalles constructivos se desarrollarán de acuerdo con las recomendaciones del ACI 223. Puede tomarse en cuenta la reducción de la cantidad de refuerzo por contracción y temperatura mostrado en la figura 2.5. Las secciones de concreto de 60 cm o de mayor espesor pueden tener el mínimo de refuerzo por contracción y temperatura en cada cara, con base en un espesor de 30 cm.

El refuerzo por temperatura y contracción debe estar espaciado a distancias no mayores de 30 cm centro a centro, dividido en partes iguales entre las dos superficies de la sección de concreto. EL acero de refuerzo de la parte inferior de las losas de base que está en contacto con el suelo, puede reducirse hasta un 50 % del valor dado en la figura 2.5.

El refuerzo mínimo para el recubrimiento de protección del concreto debe ser como se muestra en la tabla 2.5

Las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente necesariamente cubren grandes extensiones y el techado de los lechos filtrantes y de los tanques puede causar problemas. Al diseñar el techo, debe tomarse en cuenta que éste quedará expuesto a una atmósfera interior húmeda y posiblemente corrosiva, debe permitirse que haya juntas de movimiento en los muros. Esto último puede lograrse haciendo pasar las juntas por el techo. Los apoyos diseñados para permitir el deslizamiento de concreto sobre concreto frecuentemente da como resultado problemas tales como descascaramiento de las salientes, que se apoyan en vigas, muros y losas por lo que no son recomendables. Las superestructuras de las estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente, que no sean tanques, no se tratan aquí debido a que son similares a aquellas estructuras convencionales. En algunas instalaciones, los gases generados pueden ser tóxicos y también presentan un riesgo de explosión. Puede requerirse ventilación adicional, respiraderos de presión, alarmas contra gases y provisiones para respiraderos de explosión. En los casos en que los edificios o los cuartos de equipo estén localizados sobre la parte superior de los tanques o digestores, los tanques pueden requerir protección contra gases por medio de revestimientos y/o de la instalación de equipo de detección de gases.



Longitud entre las juntas para disipar la contracción en m.

**Fig. 2.5.- Relación de acero de refuerzo para contracción y temperatura para concreto hecho de acuerdo con ASTM C 150 y C 595 cementos. el refuerzo mínimo por temperatura y por contracción debe ser de varillas del # 4; la separación máxima debe ser de 30 cm centro a centro en cada cara.**

## 2.6.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

### 2.6.1.- GENERALIDADES.

El Reglamento ACI 318 contiene requisitos generales para las construcciones de concreto reforzado que también son válidos para las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del medio ambiente. El ingeniero encargado del diseño, deberá establecer los criterios de diseño para una estructura específica, dentro de las limitaciones del Reglamento ACI 318 o de los reglamentos de construcción locales, con base en los requisitos especiales de las estructuras sanitarias del medio ambiente.

Por lo general, las estructuras sanitarias del medio ambiente pertenecen a la categoría de estructuras en las que el requisito más importante es el del agrietamiento mínimo. Con el objeto de proteger la salud pública, es necesario evitar las fugas hacia el agua potable o a partir de instalaciones de agua contaminada. Por lo tanto, los diseñadores experimentados en esas estructuras han establecido esfuerzos permisibles un tanto más conservadores para ese tipo de estructuras de concreto reforzado.

La deformación de las varillas de refuerzo que se encuentren sujetas a esfuerzo, se transferirá al concreto adyacente. Un esfuerzo bajo del acero de refuerzo que soporta cargas de servicio, tenderá a minimizar la cantidad de grietas.

Las recomendaciones para el diseño estructural aquí contenidas, deben considerarse como disposiciones mínimas para uso general. Cualquier característica estructural especial, combinaciones poco comunes de cargas o condiciones especiales de exposición pueden requerir precauciones específicas en el diseño que sean más conservadoras que las disposiciones mínimas. En particular, en el diseño se deberán tomar en cuenta los efectos estructurales debido a las separaciones entre las juntas, sus detalles y secuencias de construcción.

Debe prestarse consideraciones especiales de diseño con relación a los detalles y especificaciones debido a los posibles efectos de riesgo y corrosión por oxígeno, ozono, hidrógeno, sulfuro y gases metano en tanques cerrados. Esto es especialmente importante cuando los espacios habitables se localizan encima del tanque.

**Tabla 2.5 - Recubrimiento mínimo de concreto para el refuerzo**

#### **Losas y largueros:**

varillas superiores e inferiores para condiciones secas	
varillas # 14 y # 18	4 cm
varillas # 11 y menores	2 cm
Superficies de concreto expuestas a tierra agua o clima y sobre o en contacto con aguas negras y para la parte inferior que se apoya en plataformas o losas que soportan un relleno de tierra.	
varillas # 5 y más pequeñas	4 cm
varillas # 6 hasta # 18	5 cm

#### **Vigas y columnas**

para condiciones secas:	
estribos, espirales y anillos	4 cm
refuerzo principal	5 cm
expuestas a tierra, agua, aguas negras y clima	
estribos y anillos	5 cm
refuerzo principal	6.5 cm

#### **Muros:**

para condiciones secas:	
varillas # 11 y más pequeñas	2 cm
varillas del # 14 hasta # 18	4 cm
superficies de concreto expuestas a tierra, agua, aguas negras, clima o en contacto con suelo:	
tanques circulares con tensión anular	5 cm
todas las demás	5 cm

### Zapatas y losas de base:

en la superficie y en el fondo de los apoyos de losas de concreto	5 cm
en superficies sin moldear y bases en contacto con la tierra	7 cm
parte superior de zapatas igual que en las losas sobre la parte superior de los pilotes	5 cm

### 2.6.2.- REQUISITOS DE DISEÑO.

Las estructuras sanitarias de concreto reforzado deben diseñarse tanto por resistencia como para capacidad de servicio.

### 2.6.3.- MÉTODOS.

En la práctica suelen aceptarse dos métodos de diseño estructural para secciones de concreto reforzado; ambos se pueden aplicar a las estructuras sanitarias de concreto para mejoramiento del medio ambiente, estos métodos se describen detalladamente en el Reglamento ACI 318.y son:

1. Diseño por resistencia, usando cargas factorizadas  $U$ , resistencias especificadas de acero y concreto  $f_y$  y  $f'_c$  y factores de reducción de capacidad  $\phi$ .
2. Diseño por esfuerzos de trabajo (Método alternativo de diseño, Reglamento ACI 318, apéndice A), usando cargas de servicio y esfuerzos de trabajo permisibles (reducidos).

### 2.6.4.- LIMITACIONES ESPECIALES.

Ambos métodos requieren de limitaciones especiales para su aplicación a las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente, con el objeto de asegurar la resistencia contra las fugas de líquidos y una larga vida bajo condiciones de exposición del servicio sanitario del medio ambiente.

Si se desea información adicional sobre el diseño cuando se utiliza concreto fabricado con cemento de contracción compensada, se puede consultar el capítulo 3 del informe del Comité ACI 223.

### 2.6.5.- DISEÑO POR RESISTENCIA.

Los factores de carga prescritos en el Reglamento ACI 318 se pueden aplicar directamente a las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del medio ambiente con un ajuste. Los factores de carga tanto para la presión lateral de la tierra,  $H$ , y para la presión lateral del líquido,  $F$ , se de tomar como 1.7. Las combinaciones de cargas factorizadas para la carga de diseño factorizada total,  $U$ , tal y como se prescribe en el Reglamento ACI 318, debe incrementarse por los coeficientes de durabilidad sanitaria para estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente de la siguiente manera:

- a) En el cálculo del acero de refuerzo en flexión, la resistencia requerida debe ser 1.3  $U$ .
- b) En el cálculo del acero de refuerzo en tensión directa incluyendo tensión anular, la resistencia requerida debe ser 1.65  $U$ .
- c) En el cálculo del acero de refuerzo en tensión diagonal (cortante), la resistencia requerida se obtiene al multiplicar por el coeficiente de durabilidad sanitaria de 1.3 al exceso de cortante. El exceso de cortante se define como la diferencia entre el cortante factorizado en la sección,  $V_u$ , y la resistencia proporcionada por el concreto  $\phi V_c$ . Esto es  $\phi V_s \geq 1.3 (V_u - \phi V_c)$ , donde  $\phi V_s$  es la capacidad de diseño del refuerzo por cortante.
- d) En el cálculo de la zona de compresión por flexión y compresión por carga axiales, y para todas las cargas que soporta el concreto, la resistencia requerida debe ser 1.0  $U$ .
- e) Para los factores a utilizar en el diseño sísmico, consulte el ACI 318.

Como se señaló antes, los coeficientes de durabilidad se desarrollaron a partir de los métodos de cálculo del ancho de grieta.

## 2.6.6. CAPACIDAD DE SERVICIO PARA EXPOSICIÓN A CONDICIONES SANITARIAS NORMALES.\*

Excepto en los casos indicados en la presente sección, los requisitos de capacidad de servicio del Reglamento ACI 318, para controlar las deflexiones calculadas y el ancho de grietas, son aplicables a las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del medio ambiente. Para el acero de refuerzo por flexión ubicado en una sola parrilla, la cantidad de Z no deberá exceder de 20 537 kg/cm. Los valores de Z se establecieron para recubrimientos que no excedan los 5 cm y deberán basarse en ese valor cuando el recubrimiento sobrepase los 5 cm. El recubrimiento adicional se puede considerar como una mayor protección.<sup>10,11</sup>

3

El factor Z y el ancho de la grieta son función del recubrimiento de concreto y del espesor total de un elemento de flexión y son válidos únicamente para elementos en flexión en una sola dirección. El diseñador debe usar la ecuación básica Gergley-Lutz tal como se recomienda en el comentario a la sección 10.6.4 del ACI 318 para elementos en flexión en una dirección.

Para elementos sujetos a tensión directa puede usarse un coeficiente de durabilidad sanitaria de 1.65 para todos los grados del acero de refuerzo<sup>10,11</sup>. EL factor Z no tiene relación directa con este estado de tensión.

El acero de refuerzo para un elemento en flexión en dos direcciones (ejemplo, losas y muros) puede ser proporcionado en cada dirección en base a la sección 2.6.5, ya que en este momento no se dispone de ecuaciones confiables de ancho de grieta para tales elementos.<sup>11,12</sup>

Para diseñar de acuerdo con el método de esfuerzos de trabajo de la sección 2.6.7, las varillas corrugadas o el alambre deben tener una separación tal que la cantidad de Z no exceda de 20 537 kg/cm, como se muestra en las figuras 2.6.7a y 2.6.7b, y las separaciones no deben ser de más de 30 cm centro a centro. En todos los demás elementos en flexión, la separación entre varillas debe limitarse de manera que los valores calculados de Z no excedan de 20 537 kg/cm. Los espacios entre las varillas corrugadas y el alambre no deben exceder de 30 cm centro a centro. De preferencia, los diámetros de las varillas no deben exceder el de la # 11.

Para los casos de exposición a condiciones sanitarias severas\*, el diseño estructural debe cumplir con lo estipulado en la sección 2.6.6., con la cantidad Z que no exceda 16 965 kg/cm, y la superficie o alguna otra protección debe ser apropiada a las condiciones particulares de exposición.

## 2.6.7. MÉTODO ALTERNATIVO DE DISEÑO ACI 318 APÉNDICE A (DISEÑO POR ESFUERZOS DE TRABAJO).

Excepto lo que se hace notar más abajo, el método alternativo de diseño debe estar de acuerdo con el ACI 318 apéndice A. Las tensiones para concreto y acero recomendadas para el diseño en cargas de servicio, se presentan en las tablas 2.6.7a y 2.6.7 b. Estos esfuerzos son para: un espaciamiento máximo de varillas de 30 cm y se han establecido para controlar los anchos de las grietas en superficies de concreto expuestas a las condiciones encontradas en estructuras de concreto para el mejoramiento de medio ambiente. Los esfuerzos para espaciamientos de varillas de 30 cm, no deben exceder 1 900 kg/cm<sup>2</sup> para refuerzo de grado 42, ni 1460 kg/cm<sup>2</sup> para refuerzo de grado 28.

En las figuras 2.6.7a y 2.6.7b se presentan espaciamientos menores y una gama más amplia de valores de Z. Las longitudes de desarrollo y los anclajes deben cumplir con los requisitos del ACI 318.

## 2.7.- EMPALMES DE ACERO DE REFUERZO

Los empalmes en varillas corrugadas de refuerzo deben cumplir con lo estipulado en los requisitos generales del Reglamento ACI 318. En los tanques circulares diseñados para tensión circunferencial, es preciso alternar la ubicación de los empalmes. Los empalmes adyacentes de varilla de refuerzo en zuncho deben estar alternados horizontalmente a una distancia de (centro de traslape a centro de traslape) por lo menos una

\* Las exposiciones sanitarias severas son las condiciones en las cuales se exceden

longitud de traslape, no menor de 90 cm y no debe coincidir en arreglos verticales más frecuentemente que cada tercera varilla.

Debe notarse que debido a las losas inusualmente gruesas encontradas en algunas estructuras para retención de Líquidos, las losas de fondo con varillas en la parte superior pueden requerir longitudes de traslape de "varillas superiores". Los requisitos para las varillas superiores se exponen en ACI 318.

## 2.8.- JUNTAS

### 2.8.1.- CAMBIOS VOLUMÉTRICOS.

Generalmente los cambios de volumen en el concreto son causados por contracción o expansión, como respuesta al flujo plástico, a los cambios de temperatura o de contenido de humedad. Las variaciones de temperatura son, en cierto modo, más regulares y previsibles que los cambios de humedad, debido a que son diarias y estacionales.

La contracción debida a la evaporación del exceso de agua comienza durante o después del periodo de curado, dependiendo de la calidad y el control de la humedad y de la temperatura. La contracción puede continuar durante varios años, como se muestra en la figura 2.8.1, a menos que se añada agua al concreto endurecido durante periodos prolongados. Sin embargo, en las estructuras sanitarias que han sido diseñadas para contener líquido, la contracción puede detenerse cuando la estructura se pone en servicio e incluso hasta se podría invertir cuando el clima es cálido y húmedo.

Con el fin de compensar los cambios volumétricos de manera que se minimice el daño al concreto, el ingeniero diseñador deberá incluir en la estructura, juntas de movimiento y acero de refuerzo. Los planos de diseño deberán mostrar todas las juntas. El informe del comité ACI 504 contiene recomendaciones adicionales sobre juntas.

Por otra parte, para reducir el agrietamiento por contracción en las estructuras sanitarias, se puede utilizar concreto hecho con cemento de contracción compensada, aunque este comité todavía no se encuentra preparado para recomendar requisitos detallados para el uso de este tipo de concreto. El reporte del comité ACI 223, contiene información detallada adicional concerniente al cemento de contracción compensada. Es necesario hacer notar que se debe poner más cuidado y ejercer mejor control durante las etapas de diseño y construcción.

**TABLA 2.6.7.a Esfuerzos permisibles recomendados para el concreto en estructuras sanitarias para el mejoramiento del ambiente que deben ser herméticas y resistentes a los productos químicos.**

Descripción	Valor Recomendado
Relación del módulo de elasticidad, n	$2 \times 10^6 W^{1.4} 0.14 \sqrt{f'c}$
<b>Flexión,</b>	
Esfuerzo de la fibra extrema en compresión $f'c$	$0.45 f'c$
Esfuerzo de la fibra extrema en tensión en cimentaciones y muros de concreto simple	$0.42 \sqrt{f'c}$



**Cortante,**

v (como medida de la tensión diagonal en d desde la superficie de apoyo)

Trabes sin refuerzo en el alma	$0.29\sqrt{f'c}$
Vigas sin refuerzo en el alma	$0.32\sqrt{f'c}$
Elementos con refuerzo en el alma o varillas con dobleces en bayoneta combinadas adecuadamente y estribos verticales	$1.33\sqrt{f'c}$
Losas y cimentaciones (cortante periférico)	$0.50\sqrt{f'c}$

**Apoyos:**

En toda el área	$0.25f'c$
En una tercera parte del área o menos	$0.375f'c$

**TABLA 2.6.7b. Esfuerzos recomendados bajo cargas de servicio para una separación máxima recomendada de 30 cm. de las varillas de refuerzo en estructuras de concreto sanitarias para el mejoramiento del ambiente**

Diámetro de la varilla	Condiciones de exposición de la estructura* y valor máximo de Z**	grado 42 $f_{yp} = 4\ 200$	grado 28 $f_{yp} = 2\ 800$
Todos los diámetros	Elementos en tensión directa	1 406	984
#3, #4 y #5	Elementos a flexión exposición severa	1 546	1 406
	$Z_{m\acute{a}xima} = 16\ 965\text{ kg/cm}$		
	Elementos a flexión exposición sanitaria	1 898	1 406
	normal $Z_{m\acute{a}xima} = 20\ 537\text{ kg/cm}$		
#6, #7 y #8 <sup>+</sup>	Elementos a flexión exposición severa	1 266	1 266
	$Z_{m\acute{a}xima} = 16\ 965\text{ kg/cm}$		
	Elementos a flexión exposición sanitaria	1 546	1 406
	normal $Z_{m\acute{a}xima} = 20\ 537\text{ kg/cm}$		
#9, #10 y #11 <sup>+</sup>	Elementos a flexión exposición severa	1 195	1 195
	$Z_{m\acute{a}xima} = 16\ 965\text{ kg/cm}$		
	Elementos a flexión exposición sanitaria	1 477	1 406
	normal $Z_{m\acute{a}xima} = 20\ 537\text{ kg/cm}$		

\* La exposición sanitaria normal se define como retención de líquido (impermeable), exposición a líquidos con pH > 5, exposición a soluciones sulfatadas de menos de 1 500 ppm. Las exposiciones sanitarias severas son aquellas condiciones en que se rebasan los límites que definen la exposición sanitaria normal.

\*\* Los valores de Z mencionados se definen en el Reglamento ACI 318. Las deducciones de las fórmulas de control de agrietamiento están contenidas en los Comentarios del Reglamento ACI 318  
 + Varilla del #7 al 11, en grado 40 han sido anulados de la norma ASTM 615

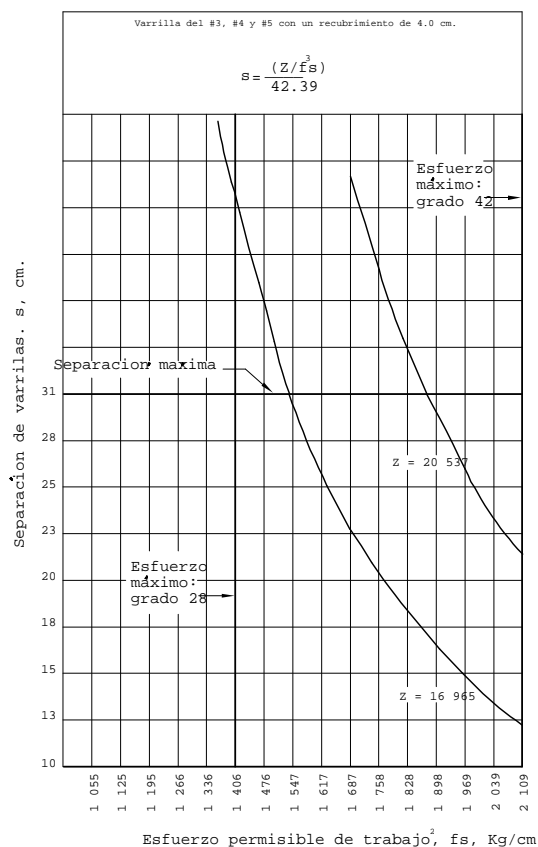


Fig. 2.6.7a Separación de varillas para el control de las grietas por flexión (varillas del #3 al #5).

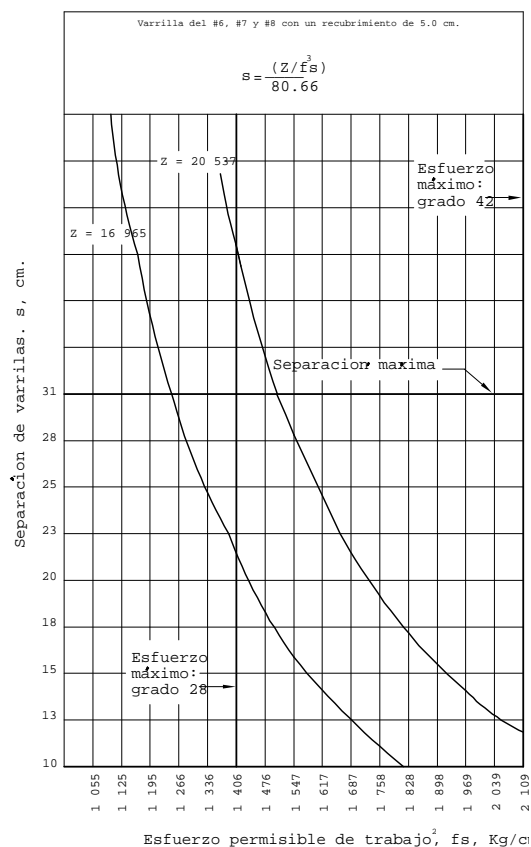
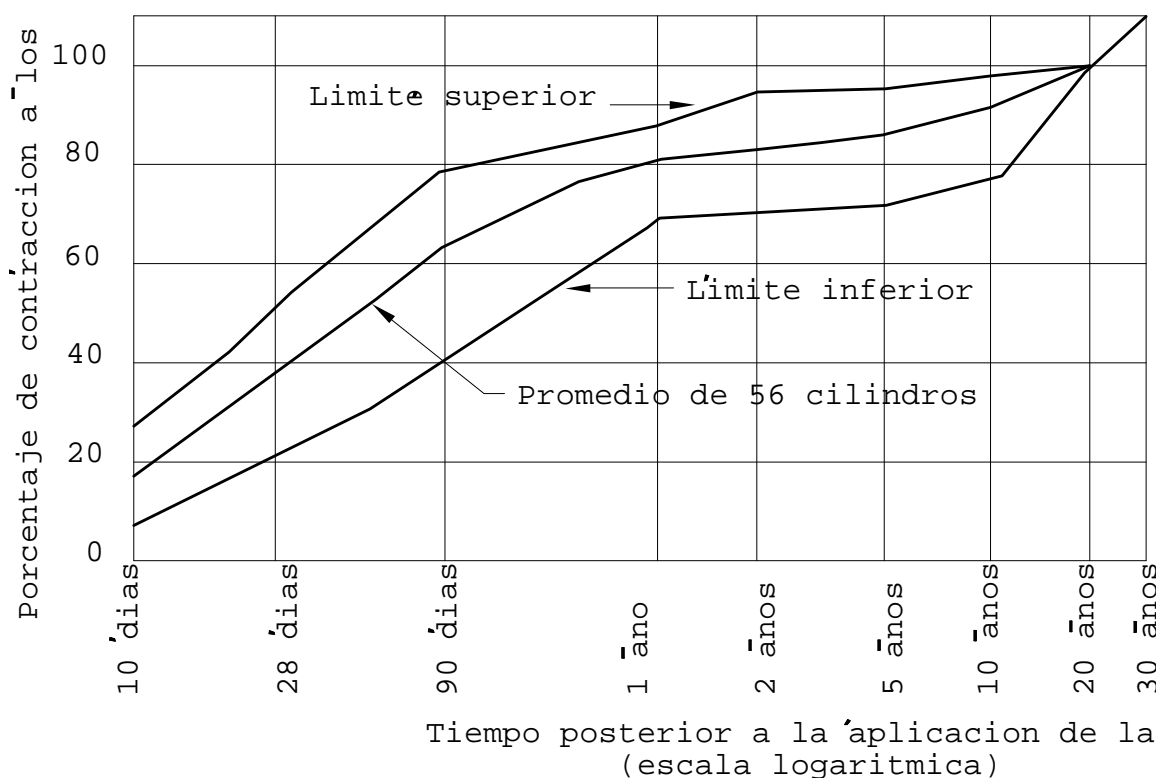


Fig. 2.6.7b Separación de varillas para el control de las grietas por flexión (varillas del #6 al #8).



**Fig. 2.8.1. Curvas de relación contracción por secado-tiempo, basada en cilindros curados a 28 ó 90 días, y después almacenados en un porcentaje de 50 a 70 de humedad (tomado de las memorias de Troxeli y colaboradores<sup>13</sup>).**

## 2.8.2.- JUNTAS DE MOVIMIENTO

### 2.8.2.1.- Juntas de expansión.

Las juntas de expansión son juntas de movimiento que se usan para permitir que el concreto se dilate y se contraiga durante el de curado y durante el servicio. Lo anterior tiene el objeto de facilitar que se presenten en el concreto los cambios dimensionales debidos a la carga, para separar o aislar áreas o elementos que podrían ser afectados por cualquiera de esos cambios dimensionales y para permitir movimientos relativos o desplazamientos debidos a la dilatación, contracción, movimientos diferenciales de la cimentación o cargas aplicadas. Obviamente, las juntas de expansión también pueden funcionar como juntas de contracción o juntas de construcción.

En general, debe proveerse juntas de expansión cerca de los puntos donde haya cambios bruscos en la configuración de la estructura, tal como se expone en el prefacio del reporte técnico No. 65 del Consejo Federal de Construcciones (Academia Nacional de Ciencias): "son muchos los factores que afectan la cantidad de movimiento inducido por temperatura que se presenta en una construcción, así como también la medida en que este movimiento puede suscitarse antes de que ocurra un daño muy serio o que se requiera mantenimiento extensivo. Debido a la complejidad de este problema, nadie ha establecido aún procedimientos aceptables a nivel nacional para determinar con precisión el tamaño y la localización de las juntas de expansión.

Tradicionalmente, en las estructuras de concreto en ingeniería ambiental, el espaciamiento de las juntas de expansión ha sido conservador y muy influenciado por las restricciones inherentes a la geometría de tanques y edificaciones, con espaciamientos que varían de 15 a 75 m para muros y superestructuras. Se han construido losas de cimentación con juntas de construcción frecuentes sin juntas de expansión hasta de 180 m de largo.

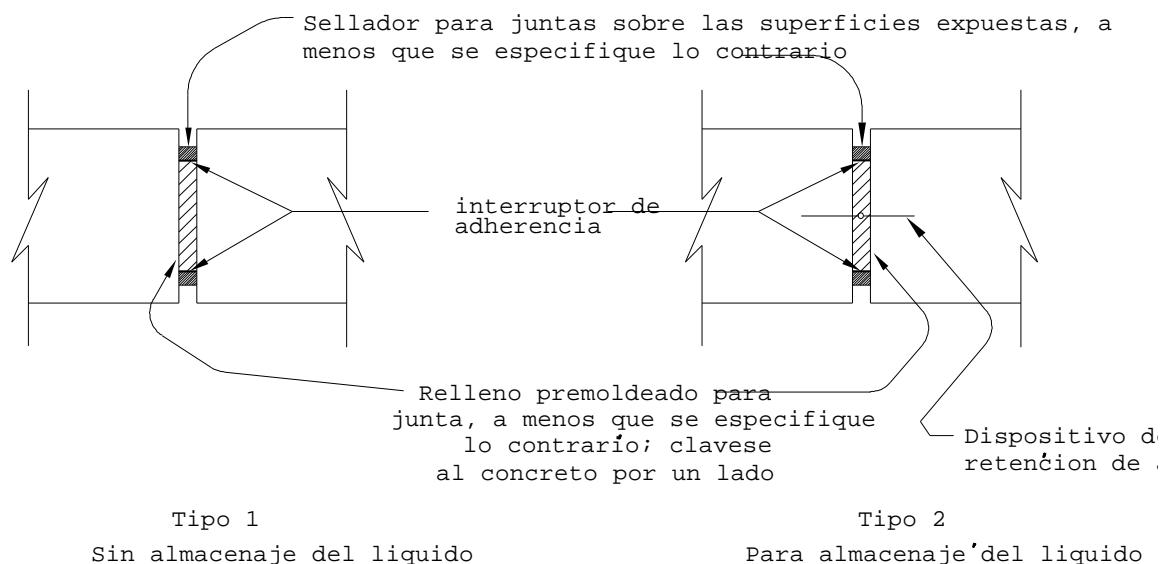
En términos generales, las juntas de dilatación deben colocarse cerca de los cambios abruptos en la configuración de la estructura y, de preferencia, a intervalos no mayores de 35.00 m. Cuando las juntas de expansión se colocan a distancias mayores de 45 m, debe llevarse a cabo una investigación especial para determinar los requisitos del acero de refuerzo y los detalles de las juntas de dilatación. Debe también investigarse la restricción ejercida en la losa de base por el suelo. Con frecuencia es deseable localizar juntas de expansión en los cambios bruscos en la configuración de la estructura, pero cuando sean colocadas de ese modo, los detalles de las juntas deben estar diseñados de manera que transfieran el cortante causado por deflexión diferencial de los elementos en cada lado de la junta o, si no se ha preparado para la transferencia de cortante para acomodar la distorsión causada por la deflexión diferencial, como en el caso del dispositivo para retención de agua, en los detalles de las juntas.

Las recomendaciones del párrafo anterior son para estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente normales, parcialmente llenas con líquido. Cuando los tanques u otras estructuras vayan a permanecer vacíos por periodos prolongados, sobre todo en climas cálidos, deben usarse separaciones menores. A este respecto, es necesario prestar especial atención a las condiciones que predominen durante la construcción.

Se han inventado y utilizado muchas juntas de expansión satisfactorias, algunas de las cuales se ilustran en la figura 2.8.2.1. En las figuras 8, 11 y 12 del informe del Comité ACI 504, se muestran algunas otras juntas propuestas. Todas las juntas de expansión deben contar con algún tipo de relleno premoldeado compresible y un sellador de juntas en la cara donde está el líquido. En caso de que el elemento deba ser hermético, es preciso incluir algún dispositivo adecuado para la retención de agua, hecho de caucho, neopreno o plástico, para que actúe como una barrera primaria contra fugas. Los dispositivos para retención de agua, los rellenos premoldeados y los selladores para juntas deben elegirse de tal manera que permitan los movimientos. El acero de refuerzo debe terminar a 5 cm de la cara de la junta.

Las bandas de caucho permiten mayor movimiento en la junta y duran por tiempo indefinido cuando se colocan en un ambiente oscuro y húmedo. Las bandas hechas de cloruro de polivinilo (P.V.C.) permiten un poco menos de movimiento que las de caucho y son menos sensibles a la luz y al secado. Una ventaja del cloruro de polivinilo es la sencillez con que se empalma cuando se le aplica calor. El espesor mínimo de cualquiera de los dos tipos debe ser de 3/8" (9.5 mm) y deben tener al menos 9" (23 cm) de ancho para juntas de expansión, y 6" (15 cm) de ancho, para otros tipos de juntas, para que permitan un correcto empotramiento en el concreto.<sup>15</sup> En cualquier caso el ingeniero debe verificar que el dispositivo de retención de agua sea químicamente compatible con el líquido que debe contener.

El relleno premoldeado de la junta tiene la doble función de servir como cimbra para el segundo colado de concreto y de preservar el espacio en el que se pueda dilatar éste. Un relleno premoldeado ideal para juntas deberá comprimirse hasta alcanzar la mitad de su ancho original y dilatarse, para rellenar la junta, cuando se contraigan los elementos adyacentes. El corcho, el neopreno, el caucho, la espuma, así como otros materiales que cumplan con las normas ASTM D994, D 1056, D 1751 y D 1752 constituyen rellenos satisfactorios para juntas.



Nota: El sellador para juntas y el interruptor de adherencia deben aplicarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

**Fig. 2.8.2.1 Juntas de expansión (no están a escala).**

El fabricante debe recomendar los selladores para el servicio que se pretenda; únicamente algunos selladores sin deformación han sido recomendados para el servicio sumergido, para otros servicios se pueden usar selladores sin deformación y autonivelantes.

Las plantas y depósitos para tratamiento de agua requieren de selladores aprobados para agua potable, además de los cuidados en cuanto al sabor, el olor y la toxicidad, el sellador debe ser resistente al agua clorada. Se deben considerar los efectos de la exposición prolongada al cloro, en concentraciones normales para el agua potable, así como también la exposición a corto plazo al cloro, a las altas concentraciones requeridas para la desinfección. Los selladores que pretendan usarse deben ser aprobados por las agencias que tengan jurisdicción sobre el proyecto o los recursos específicos.

### 2.8.2.2.- Juntas de contracción.

Algunos diseñadores usan las juntas de contracción como si fueran juntas de movimiento: para disipar los esfuerzos de contracción. Cuando se utilicen juntas de contracción, deben colocarse a intervalos no mayores de 9.00 m, a menos que se proporcione acero de refuerzo adicional, tal como lo recomienda la figura 2.5. Por lo general, se emplean dos tipos de juntas de contracción, conocidas como "totales" y "parciales". En las juntas de contracción totales, todo el acero de refuerzo termina a 5 cm de la junta. Los extremos contiguos del concreto se cubren con un interruptor de adherencia (véase la figura 2.8.2.4). Para obtener impermeabilidad se deben usar los dispositivos de retención de agua, que pueden ser de metal, plástico o caucho. Cuando sea necesario asegurar una deflexión equivalente a cada lado de la junta, deberá contarse con un método de transferencia de refuerzo tales como espigas lisas. Generalmente se aplica un sellador a lo largo del perímetro expuesto de la junta, con el objeto de impedir que penetre agua o materias extrañas.

Tal vez se desee hacer pasar fuerzas de tensión a través de la junta para unir entre sí algunas partes de la estructura. En este caso, se puede usar una junta de contracción parcial. Esta junta es similar a la junta de contracción total; no obstante, para debilitar la junta y asegurar la formación de la grieta, no se pasa más del 50% del acero de refuerzo a través de la junta. Los insertos que reducen la sección transversal del concreto y forman un plano debilitado, han sido usados para formar juntas parciales de contracción en losas y revestimientos. Si el inserto es removible, el vacío resultante puede ser llenado con un sellador. Para las juntas de contracción parcial, lo mejor es usar separaciones reducidas. Esta separación deberá medir aproximadamente 2/3 de lo que mide la separación para las juntas de contracción parcial. Si se emplean empalmes en las juntas de contracción parcial, se deberán colocar de la misma manera que indica la figura 2.8.2.4.

Cuando se utilice concreto con cemento de contracción compensada, tal vez no sea necesario usar juntas de contracción. En la figura 2.8.2.4. se muestran los detalles típicos de una junta de contracción.

### **2.8.2.3.- Refuerzo adicional en las juntas.**

Las juntas de movimiento, particularmente las juntas de expansión, deben tener los extremos de concreto reforzados para resistir el descascaramiento y/o cuarteaduras del concreto debido al contacto accidental con el concreto en el otro lado de la junta. El refuerzo no debe ser menor que varillas del # 3 espaciadas 30 cm en el centro, a lo largo de cada cara de la junta, y debe estar anclado a lo largo del acero de refuerzo normal del concreto.

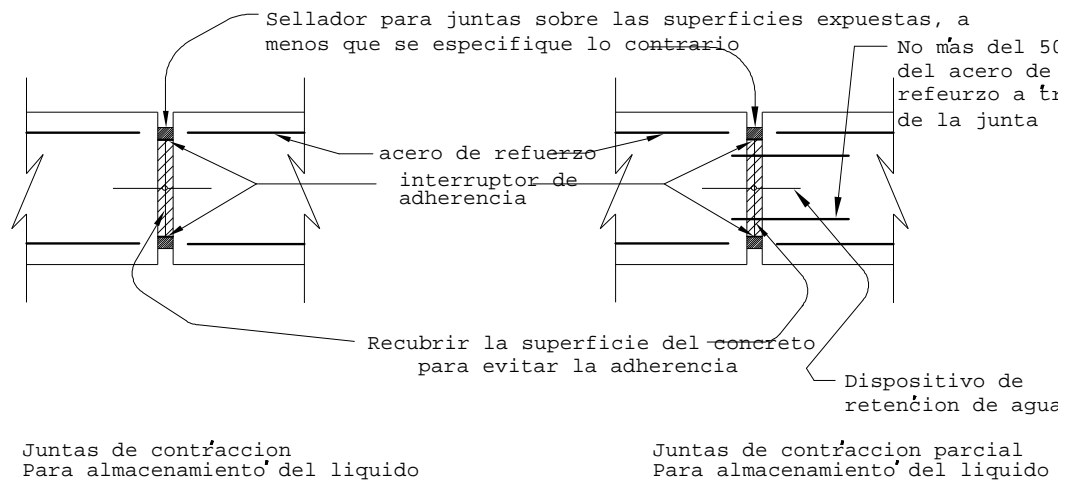
### **2.8.3.- JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.**

El diseñador deberá colocar las juntas de construcción, las cuales no deben considerarse como juntas de movimiento, a menos que se diseñen según indica la sección 2.8.2.4., de manera que perjudiquen lo menos posible la resistencia de la estructura, para proporcionar separaciones lógicas entre los segmentos de la estructura y para facilitar la construcción. Puede ser que el contratista proponga que se añadan juntas de construcción o que se revise el sitio en que éstas se encuentran, pero deberá someterse a la aprobación del diseñador. Antes de colar concreto nuevo sobre la superficie de una junta, es necesario prepararla para asegurarse de que haya buena adherencia. A menos que se diseñe o haga como una junta de contracción (sección 2.8.2.4.).

Todo el acero de refuerzo se debe continuar a lo largo o a través de las juntas de construcción, a menos que este diseñado como en la sección 2.8.2.4. En los lugares en que la junta deba ser impermeable, es preciso usar dispositivo de retención de agua.

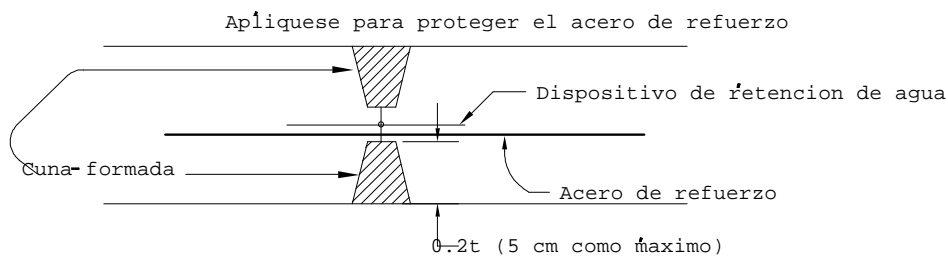
### **2.8.4.- CUÑAS DE CORTANTE PARA JUNTAS DE MOVIMIENTO.**

En algunos casos se ha visto que las cuñas de cortante han causado problemas en la práctica. Si la cuña falla, puede haber fuga de líquido debido a una desviación hacia un lado del dispositivo de retención del agua. Por ello, cuando se utilicen cuñas de cortante, deberán tomarse precauciones especiales para evitar este problema. Se han utilizado varias técnicas entre las que se incluye: transferencia de cortante con barras para reforzar las juntas y dispositivos de retención de agua hechos de acero; reubicación del dispositivo de retención de agua, así como nuevos diseños para evitar la necesidad de la transferencia de cortante.



Juntas de contracción  
Para almacenamiento del liquido

Juntas de contracción parcial  
Para almacenamiento del liquido



Junta de plano debilitado para losas y pavimentos

**Fig. 2.8.2.4 Juntas de contracción (no están a escala)**

## 2.9. IMPACTO, VIBRACIÓN, MOMENTO TORSIONANTE Y CARGAS SÍSMICAS

Para mantener la impermeabilidad de una estructura, es esencial mantener al mínimo las grietas y el ancho de las mismas. En consecuencia, se requiere tener sumo cuidado al diseñar para impacto y vibración, ya que ambos pueden iniciar o propagar las grietas. El efecto de la vibración es especialmente acumulativo y las grietas continuarán desarrollándose y haciéndose más grandes a medida que pase el tiempo. Por lo tanto, es importante comenzar cuanto antes las acciones correctivas para reducir la vibración en aquellas estructuras en las que la vibración haya sido causa de agrietamiento.

### 2.9.1.- IMPACTO.

Es raro encontrar cargas del impacto en las estructuras. Así, cuando se presenten, es recomendable utilizar un criterio de diseño conservador para que el agrietamiento sea el mínimo posible. El diseño por impacto debe ser lo más minucioso que se pueda; sin embargo, cuando no sea práctico llevar a cabo un análisis de impacto completo, hay que usar factores de impacto adecuados, y el diseño deberá basarse en los esfuerzos recomendados en la sección 2.6. Para la maquinaria pesada, se utilizará un factor de impacto del 25% del peso.

### 2.9.2.- VIBRACIÓN.

La mayoría del equipo mecánico relacionado con las estructuras sanitarias para el mejoramiento del ambiente, como rastrillos, clarificadores, algunos tipos de floculadores y filtros al vacío giratorio, se mueven básicamente con cierta lentitud y no causarán vibraciones estructurales. En el caso de este equipo, es innecesario hacer un diseño de cargas dinámicas por separado. Otras máquinas que se utilizan con frecuencia como las bombas centrifugas, los ventiladores, los centrifugadores, los sopladores, los generadores y las compresoras tienen una velocidad de rotación mucho mayor y requieren consideraciones especiales en el diseño de las estructuras que sirven de apoyo y cimentaciones.

Por lo general, el valor de esa maquinaria es mucho mayor que el de la cimentación por lo que es una imprudencia ahorrar en el costo de los cimientos y correr el riesgo de acortar la vida de la máquina, aumentar los costos de mantenimiento y causar el paro de la maquinaria por averías.

En las estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente, las máquinas que suelen causar más problemas de vibración son los ventiladores de tiro forzado y los centrifugadores que se utilizan para el ceno desecado de clarificador o ceno de digestor. Estas máquinas son muy sensibles, por lo que requieren de cimentaciones diseñadas con sumo cuidado y que no tengan vibraciones de resonancia crítica. Las mezcladoras de productos químicos también representan una fuente considerable de cargas dinámicas. Los soportes de dichas mezcladoras en particular, están expuestos a las vibraciones.

La clave para un diseño dinámico satisfactorio consiste en asegurar que la frecuencia natural de la estructura de apoyo de la maquinaria sea significativamente diferente de la frecuencia de la fuerza perturbadora. Si ambas frecuencias son aproximadas, la vibración resonante se establecerá en el apoyo de la estructura. Para minimizar las vibraciones resonantes, la relación entre la frecuencia natural de la estructura y la frecuencia de la fuerza trastornante debe mantenerse fuera del rango de 0.5 a 15. Es preferible tener una relación de frecuencia sobre 15.

Para zapatas corridas frecuentemente, se supone que la capacidad de carga segura es la mitad de la carga de seguridad permisible para cimentaciones con carga estática, en el mismo sitio y en el mismo tipo de suelo o roca.<sup>16,17</sup> Algunos fabricantes de equipo recomiendan relaciones mínimas de masa cemento/equipo, que suelen estar dentro del rango de 4 a 6. No siempre ha resultado satisfactorio seguir esa regla,<sup>18</sup> así que para asegurar que el equipo no esté en resonancia con la cimentación, es recomendable calcular la frecuencia natural del sistema de cimentación. Para llevar a cabo el cálculo de la frecuencia natural, conviene seguir el método recomendado en la referencia 16, y para cimentaciones por medio de pilotes, las recomendaciones que se encuentran en las referencias 19 a 21. Comúnmente, los cimientos de la maquinaria están aislados o completamente separados de los pisos y otras partes de la estructura, minimizando así la transferencia de vibraciones hacia otras áreas de la construcción. Si la vibración anticipada es de frecuencia y amplitud tales que pueda ser transmitida a través del terreno, el cimiento del equipo también debe estar aislado del terreno por medio de soportes que absorban los choques. En la referencia 22, se encontrarán mayores informes sobre el diseño dinámico de cimentaciones.

Si la maquinaria no está directamente apoyada en cimientos sólidos, sino en columnas y vigas, lo más importante a considerar es la frecuencia natural de los elementos de apoyo. Es obvio que la resistencia de dichos elementos también debe estar dentro de límites razonables.

La frecuencia natural de la estructura debe calcularse para la dirección vertical y para las dos direcciones horizontales principales. Para combinar el efecto de varias masas, como las debidas a la máquina y la estructura, se puede calcular la frecuencia natural mediante la siguiente fórmula:

$$F_N = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{F_1^2} + \frac{1}{F_2^2} + \frac{1}{F_3^2} + \frac{1}{F_4^2} + \dots}}$$

donde:

- $F_N$  = frecuencia natural combinada
- $F_1$  = frecuencia natural debida a la masa 1
- $F_2$  = frecuencia natural debida a la masa 2
- $F_3$  = frecuencia natural debida a la masa 3
- $F_4$  = frecuencia natural debida a la masa 4

Las frecuencias individuales, en ciclos por minuto, deben calcularse usando la expresión dada en la tabla 2.9.2a, en la que D es la deflexión inmediata debido a la masa que esté siendo considerada. Debe suponerse que la gravedad actúa en dirección de la vibración y, en lugar de un análisis exhaustivo, D, se puede calcular usando el método indicado en la sección 9.5.2.3. del Reglamento ACI 318.

Las ecuaciones anteriores proporcionan un método sencillo para calcular la frecuencia natural de una estructura a partir de su deflexión estática. Si sólo se trata de cargas concentradas, en la tabla 2.9.2b se relacionan la deflexión estática de una estructura que sirve de apoyo a una pieza de equipo, con la frecuencia natural de dicha estructura, tal como se calcula usando las ecuaciones. Se puede desarrollar una tabla similar para estructuras en las que son significativas las cargas uniformes o de otro tipo.



Como ya se ha dicho, la relación de la frecuencia natural de la estructura con la frecuencia de la maquinaria, o de otras fuerzas perturbadoras, debe ser menor de 0.5 o mayor de 15, de preferencia esto último. La tabla 2.9.2 b muestra las deflexiones estructurales máximas recomendadas para determinadas velocidades de operación de ciertos equipos.

En teoría, la frecuencia natural de la estructura también puede ser menor que la rotación de operación de la máquina, con lo que se evita la vibración resonante. En este caso, la frecuencia natural del soporte debe ser, por lo menos, 50% menor que la frecuencia de operación de la maquinaria. Una desventaja de este método es que la máquina pasaría por el ciclo crítico de arranque y paro. Es probable que una pequeña coincidencia de tiempo pudiera causar daños a la maquinaria, pero, en términos generales, es mejor mantener baja la deflexión y la frecuencia natural de la estructura muy por encima de la velocidad de operación. También es posible que la máquina opere a menor velocidad por algún tiempo, y esa velocidad menor podría coincidir o ser muy cercana a la frecuencia crítica de vibración resonante.

Si la maquinaria está instalada en un piso alto, se recomienda el uso de aisladores de vibración, pero esto no debe considerarse como un sustituto del diseño estructural dinámico, puesto que todos los aislantes transmiten alguna vibración.

En las referencias 23 a la 26 se da una explicación más completa de los métodos de análisis dinámico.

**TABLA 2.9.2a Frecuencia natural de las vigas**

Condiciones de extremo		Carga	Posición de la deflexión D	Frecuencia natural, ciclos por minuto Donde D es la deflexión en mm
Extremo 1	Extremo 2			
Empotrado	Libre	Uniforme	Extremo 2	$1174 / \sqrt{D}$
	Articulado ó Empotrado	Uniforme	A la mitad del claro	$1073 / \sqrt{D}$
	Empotrado	Concentrada (en cualquier posición)	Bajo carga	$947 / \sqrt{D}$
Empotrado	Libre Articulado			

### 2.9.3.- MOMENTO TORSIONANTE.

En algunos casos, tal vez sea necesario considerar el momento torsionante en el diseño de la estructura. A menudo caen en esa categoría los clarificadores circulares de gran tamaño.

La mayoría de los clarificadores sirve de apoyo a todo el mecanismo en una columna central. Los diámetros de los clarificadores aumentan constantemente y algunos en operación cuyo diámetro es de 152 m. Esos clarificadores tienen raederas giratorias en voladizo que son del orden de 76 m de longitud. Se especifican momentos torsionantes de parada hasta de 691,300 kg-m y la cimentación deberá poder recibir la carga. Ha habido casos en los que la columna central ha sido arrancada totalmente de la cimentación por cortante. Comúnmente se incluye en el mecanismo un interruptor limitador para prevenir que la estructura se sobrecargue.

En unos cuantos tipos de clarificadores, las raederas giratorias radiales se apoyan en una columna central, pero se impulsan por un carro que está montado en la periferia del clarificador. Con este tipo de clarificador, hay reacciones horizontales, tanto en el centro de la columna como en la periferia, y no hay momento torsionante.

La acumulación de los cienos, que produce el momento torsionante de parada especificado, supuestamente es una carga triangular horizontal en los extremos en voladizo y el máximo se encuentra en el centro disminuyendo hasta llegar a cero en la circunferencia. Esto corresponde con el patrón probable de acumulación de cieno o lodo.

Desde el punto de vista de la cimentación, la distribución de cargas en la estructura de acero no es importante. Sin embargo, el momento torsionante de parada sí es importante y, por lo general, se diseña la cimentación y la columna central para que soporten un momento torsionante 50% mayor que el momento torsionante de parada. La fricción resistente del suelo y la presión pasiva del mismo tienen pequeños brazos de palanca más o menos en el centro del momento torsionante y es posible, si la cimentación es pequeña o está sobre rellenos flojos o sedimentos deslizantes, que el mecanismo de impulso del clarificador empiece a hacer girar los cimientos de la columna central. No obstante, el centro de la columna de concreto puede ser acuñado y enclavado en la losa de base del clarificador para resistir este momento torsionante.

La resistencia del momento torsionante de la cimentación se puede incrementar cuando se usan pilotes inclinados en la periferia de la cimentación. El aumentar la fricción acrecentando el peso de la cimentación o haciendo mayor el área de la cimentación para dar un brazo de palanca mayor, también puede proporcionar mayor resistencia al momento torsionante.

**TABLA 2.9.2b Deflexiones estructurales máximas recomendadas para determinadas velocidades de operación de equipos**

Velocidad de operación de la maquinaria, ciclos por minuto, HZ	Frecuencia natural mínima recomendada de la estructura, ciclos por minuto, Hz	Deflexión estática máxima de la estructura, debida a la carga muerta y a la carga de la maquinaria, mm
400 (6.67)	600 (10.0)	2.54
600 (10.0)	900 (20.0)	1.12
800 (13.3)	1 200 (20.0)	0.635
1 000 (16.7)	1 500 (25.0)	0.406
1 200 (20.0)	1 800 (30.0)	0.279
2 000 (33.3)	3 000 (50.0)	0.102
2 400 (40.0)	3 600 (60.0)	0.069

#### 2.9.4.- DISEÑO DE TANQUES PARA RESISTIR CARGAS SÍSMICAS.

Cuando se diseñen tanques que resistan cargas sísmicas, debe tomarse en cuenta la masa hidrodinámica del líquido contenido, cuando se determinen en estas cargas. Esto se aplica tanto a tanques abiertos como cerrados, y a todas las formas y dimensiones, es decir, cuadrados, rectangulares y circulares.

La presión hidrodinámica debe incluir los componentes tanto impulsivos como convectivos. Las presiones impulsivas se desarrollan por las aceleraciones de las paredes del tanque, que actúan contra la masa del líquido. Las presiones convectivas son aquellas que se producen por medio de las oscilaciones (oleaje) del líquido dentro del tanque.

Además de lo anterior, los tanques también deben diseñarse para que incluyan los efectos sísmicos de las presiones externas del suelo y las cargas muertas de la estructura.

G. W. Housner ha desarrollado una metodología para determinar la presión hidrodinámica, contenida en la referencia 27. La referencia 28 contiene información adicional sobre las cargas inducidas por fuerzas sísmicas y su efecto en estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente. Pueden usarse otros métodos racionales para determinar la resistencia sísmica de los tanques, tal como el método de energía descrito en las referencias 29 y 30.

La acción sísmica puede inducir grandes fuerzas horizontales y de volcamiento sobre las estructuras sanitarias para el mejoramiento del medio ambiente. Debido a ello, tal vez se requiera establecer disposiciones especiales cuando las juntas situadas en la base de los tanques deban resistir altas fuerzas cortantes y cargas de tensión y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos de movimiento especificados en la sección 2.8.

## **SUBCAPÍTULO 3. MATERIALES PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS Y PRUEBAS**

Generalmente, la selección y almacenamiento de los materiales y el proporcionamiento de mezclas que han de usarse en estructuras sanitarias para el mejoramiento del ambiente deberán cumplir con lo establecido en el informe del Comité ACI 301, excepto por lo que se recomiende, de manera específica, dentro del presente informe.

### **3. 1.- MATERIALES CEMENTANTES**

#### **3.1.1.- TIPOS DE CEMENTO.**

El cemento debe cumplir con algunas de las siguientes especificaciones, excepto cuando se trate de las limitaciones señaladas en las secciones 3.1.2. y 3.1.3.

1. Cemento Portland, de acuerdo con las norma ASTM C 150, Tipo I, IA, II, III, IIIA o V.
2. Cemento hidráulico combinado ASTM C 595, Tipo I(PM), I(SM), IP y sus modificaciones con aire incluido tal como se denota por el sufijo A.
3. Cemento hidráulico expansivo, según la norma ASTM C 845, Tipo E-1K.

Si se requiere concreto con aire incluido, es necesario usar un aditivo inclusor de aire, como indica la sección 3.2.

Estos diferentes cementos no deben intercambiarse en el mismo elemento o parte de la obra. Pueden encontrarse guía adicional sobre el cemento en ACI 225.

#### **3.1.2.- CEMENTO RESISTENTE A LOS SULFATOS.**

El contenido de  $C_3A$  del material cementante debe ser menor del 8% en todos los concretos que estén expuestos al ataque moderado de sulfatos (150 a 1000 ppm). Para este tipo de exposiciones también se puede utilizar el cemento Portland de escoria de altos hornos (norma ASTM C 595), Tipos IS(MS) o IS-A(MS), así como el cemento Portland puzolana (norma ASTM C 595), Tipos IP ó IPA, con un contenido no mayor del 25 % por pesos de los materiales cementantes.

Cuando la exposición a los sulfatos sea severa (1 000 ppm o más) deberá usarse un material cementante con no más del 5% de  $C_3A$ . Si no se encuentra disponible este tipo, se podrá usar un cemento, con un contenido de  $C_3A$  entre 5 % y 8 %, con una reducción del 10% en la relación agua-cemento. Alternativamente, se podrá substituir por peso el cemento, con una puzolana, tal como la ceniza volante, de manera que el contenido total de  $C_3A$  del cemento más la puzolana resultante, no sea mayor al 5 %. En este caso, la puzolana no debe exceder del 25% por peso del cemento más la puzolana. Puede permitirse un mayor contenido de álcali para usarse como inhibidor de la reacción, si se tiene una ceniza volante apropiada u otra puzolana o escoria de alto homo.

Algunos cementos hidráulicos expansivos (de contracción compensada), hechos con el Tipo II o clinker de cemento Portland Tipo V y adecuadamente sulfatados, pueden proporcionar una resistencia adecuada contra los sulfatos (véase la sección 2.5.7 del ACI 223).

#### **3.1.3.- CEMENTO CON BAJO CONTENIDO DE ÁLCALI.**

En los casos en que los agregados reaccionen con los álcalis, deberá usarse un cemento que contenga menos del 0.60% de álcalis.

### **3.1.4.- PUZOLANAS.**

Las puzolanas deben estar de acuerdo con la norma ASTM C 618 y deben tener una pérdida en la ignición de menos de 3 %. No todas las puzolanas son benéficas para obtener resistencia a sulfatos. Las puzolanas no deben exceder del 25 por ciento en peso del cemento más las puzolanas, para evitar absorción errática de aditivos.

### **3.2.- ADITIVOS.**

Un aditivo inclusor de aire deberá cumplir con lo estipulado en la norma ASTM C 260. Se ha descubierto que esta clase de aditivos tiene efectos benéficos además de mejorar la resistencia a los efectos de los ciclos de congelación y deshielo; mejoran la trabajabilidad con revenimiento constante, disminuyen el sangrado, y se obtiene una mejor estructura de la pasta y además de reducir la contracción. Como resultado, su uso contribuye a lograr una estructura densa impermeable, y se deben utilizar en todos los concretos que abarca la sección 3.5.1.

En caso de que se apruebe el empleo de aditivos químicos, éstos deberán cumplir con los requisitos estipulados en la norma ASTM C 494, y las puzolanas deberán emplearse de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C 618. El uso de todos los aditivos debe hacerse de acuerdo con el ACI 212.2R y ser aprobado por el ingeniero. Se recomienda el uso de aditivos reductores de agua. Puede encontrarse una guía adicional en ACI 226.

Los aditivos que se quieran usar con cemento de contracción compensada se deben utilizar con conocimiento previo y con la aprobación del fabricante del cemento.

#### **3.2.1.- CONTENIDO DE CLORURO.**

El contenido máximo de cloruro soluble en agua, expresado como un porcentaje del cemento formado con la contribución de todos los ingredientes de la mezcla de concreto, incluyendo agua, agregados, materiales cementantes y aditivos, no debe exceder a 0.06 por ciento para el concreto preesforzado, ó 0.10 por ciento para todos los otros tipos de concreto. Si la estructura está expuesta a cloruro, el contenido máximo de cloruro soluble al agua debe ser de 0.10 por ciento expresado y medido en forma similar. Deben usarse solamente aquellos aditivos establecidos expresamente por el fabricante como libres de cloruro. La determinación del contenido de iones de cloruro solubles en agua debe de efectuarse de acuerdo con el reporte No. FHWA-RD 77-85 de la administración Federal de Carreteras "Muestreo y pruebas de iones de cloruro en el concreto". No debe usarse cloruro de calcio o aditivos que contengan cloruro de otras fuentes, a menos que sean impurezas incidentales.

### **3.3.- AGUA.**

El agua que se use para la mezcla deberá ser potable, a menos que el agua no potable se utilice para los cubos de mortero cuya resistencia a los 7 y 28 días sea igual a, por lo menos, 90 % de la resistencia de especímenes similares hechos con agua potable, cuando se sometan a la prueba conforme a lo estipulado en la norma ASTM C 109.

### **3.4.- AGREGADOS.**

#### **3.4.1. AGREGADOS PARA CONCRETO IMPERMEABLE Y RESISTENTE A LOS PRODUCTOS QUÍMICOS.**

Los agregados finos deben cumplir con las disposiciones de la norma ASTM C 33.

Los agregados gruesos deben ser de un tamaño tan grande como resulte práctico, consistente con las restricciones de la colocación, tal como lo requiera el ingeniero, como se describe en la norma ASTM C33, y deben cumplir con todos los requisitos de calidad que ahí se estipulan.

La dimensión nominal máxima de los agregados gruesos no debe ser mayor de una quinta parte de la dimensión más angosta que haya entre los lados de las cimbras, de una tercera parte del peralte de la losa, o bien, de tres cuartas partes de la separación mínima entre las varillas de refuerzo. Se puede hacer caso omiso de estas limitaciones siempre y cuando, a juicio del ingeniero, la trabajabilidad y los métodos de compactación permitan que el concreto se pueda colar sin huecos o cavidades.

### 3.4.2.- AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL NORMAL.

En términos, generales, los agregados para todos los concretos, excluyendo aquéllos mencionados en las secciones 3.4.1 y 3.5.1, deberán cumplir con la sección 2.4 del informe del Comité ACI 301. Para mayor información se puede recurrir al ACI 221.

## 3.5.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

### 3.5.1. CONCRETO IMPERMEABLE Y RESISTENTE A LOS PRODUCTOS LOS QUÍMICOS.

Todos los tipos de concreto que deban ser impermeables y resistentes a los ciclos de congelación y deshielo, a los elementos químicos naturales o a los productos químicos usados comúnmente, deberán contar con inclusión de aire. El proporcionamiento de todos los materiales utilizados deberá hacerse para producir una mezcla con buena granulometría, que tenga alta densidad y máxima trabajabilidad; con una resistencia mínima a la compresión especificada a los 28 días, de 250 kg/cm<sup>2</sup>, cuando el concreto no esté expuesto a ciclos severos y frecuentes de congelación y deshielo; o 280 kg/cm<sup>2</sup> cuando esté expuesto a ciclos severos y frecuentes congelamiento y deshielo, excepto en los casos en los que las consideraciones estructurales especiales o de otro tipo requieran de un concreto de mayor resistencia. El proporcionamiento del concreto debe hacerse de acuerdo con el informe del Comité ACI 211.1, sujeto a los siguientes requisitos especiales.

1. Tipo de cemento: véase la sección 3.1.
2. Relación agua-cemento máxima: 0.45 si se usa alguna puzolana en el concreto, la relación máxima agua-cemento, más puzolana debe ser de 0.45.
3. Contenido mínimo de cemento:

Agregado grueso máximo No.	kg/m <sup>3</sup>
467 [1 1/2 " (38.1 mm)]	307
57 [(1" (25.4 mm)]	318
67 [3/4" (19 mm)]	335

Las mezclas de concreto que contengan menos cemento de lo que se indica en la tabla anterior, pueden usarse cuando se haya demostrado, ante el ingeniero, que con las mezclas propuestas se obtendrá un concreto que cumple con los demás requisitos de la sección 3.5.1 y que tiene durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, capacidad de ser compactable y facilidad de acabado aceptables, como se indica en la lista de la sección 1.1.

4. Contenido de aire (determinado según las indicaciones de las normas ASTM C 231 o C 173): 5 1/2 ± 1 % para agregado grueso de 1 1/2" de tamaño número 467; 6 ± 1 % para agregado grueso de 1" de tamaño No. 57, ó No. 67.
5. Revenimiento (determinado según las indicaciones de la norma ASTM C 143): medido en el punto de colocación en la estructura 2.5 cm. mínimo; 7.55 cm máximo para zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructuras; 10 cm máximo para losas, vigas, muros reforzados y columnas.

Nota: Debido a la gran pérdida de revenimiento relacionada con el cemento de contracción compensada, es necesario que haya mayores revenimientos en la planta dosificadora que los especificados. (Véase la sección 4.3 del informe del Comité ACI 223.). Estas cifras de revenimiento no se aplican cuando se usa un reductor de agua de alto rango aprobado.

### **3.5.2.- CONCRETO ESTRUCTURAL NORMAL.**

En general, todos los tipos de concreto que no sean los citados en la sección 3.5.1, se deben proporcionar según lo indicado en el capítulo 3 del informe del Comité ACI 301 y ACI 211- 1.

### **3.5.3.- APROBACIÓN DE LOS PROPORCIONAMIENTOS.**

El contratista debe someter los proporcionamientos de las mezclas preparadas a la aprobación de algún laboratorio de prueba, autorizado por el ingeniero, de acuerdo con los reglamentos, ACI 301 y ACI 318.

## **3.6.- EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN**

### **3.6.1.-**

Durante la construcción, deben hacerse pruebas de resistencia a la compresión a los 7 días, para complementar las pruebas a los 28 días, comparándolas con las pruebas de resistencias relativas a 7 y 28 días determinadas por el laboratorio. Se deben hacer, por lo menos, dos cilindros de prueba por cada edad durante cada operación de colado de 75 m<sup>3</sup> de concreto o fracciones de las mismas. Todos los cilindros de prueba se deben curar en condiciones de laboratorio, excepto en los casos en que el ingeniero requiera de un número igual de cilindros de control curados en condiciones de trabajo. Para más detalles, es posible recurrir a las normas ASTM C 31, C 39, C 172 y al informe del Comité ACI 214.

### **3.6.2.-**

Si el concreto no llegara a cumplir con la resistencia especificada a los 28 días, el ingeniero puede pedir que se lleven a cabo pruebas del concreto endurecido, tal y como se indica en la sección 17.3 del informe del Comité ACI 301. Si se extraen corazones de concreto y éstos no cumplen con los requisitos de la sección 17.3.2.3. del informe del Comité ACI 301 o de la sección 4.7.4.4 del Reglamento ACI 318, el ingeniero tiene el derecho de rechazar el concreto, cambiar el proporcionamiento de la mezcla, o ambas cosas, a expensas del contratista.

## **SUBCAPÍTULO 5. PROTECCIÓN CONTRA SUSTANCIAS QUÍMICAS.**

### **5.1.- RESISTENCIA DEL CONCRETO Y DEL ACERO DE REFUERZO.**

El concreto fabricado con el tipo adecuado de cemento y que ha sido bien proporcionado, mezclado, colado y curado, será denso, resistente, impermeable y resistirá el ataque de la mayoría de las sustancias químicas; por lo tanto, en condiciones normales de servicio, el concreto de esta calidad no requiere de ninguna protección contra un ataque químico que cause deterioro o corrosión. Asimismo, el acero de refuerzo ahogado en concreto de buena calidad, normalmente se encuentra bien protegido contra la corrosión de sustancias químicas.

El concreto de buena calidad, con incluso de aire adecuado, también es resistente al deterioro por congelación y deshielo que, en muchas localidades, puede ser más grave que el daño causado por la acción de las sustancias químicas.

### **5.2.- NECESIDAD DE PROTECCIÓN**

Las condiciones corrosivas que requieren se proteja la superficie del concreto, van desde situaciones comparativamente ligeras hasta muy severas, dependiendo del tipo de productos químicos que se usen y de los desechos domésticos e industriales encontrados. El tipo de protección empleado contra el ataque de productos químicos también varía, de acuerdo con la clase y concentración del producto químico, la frecuencia del contacto y las condiciones físicas como temperatura, presión, desgaste mecánico o abrasión y ciclos de congelación y deshielo.

Cuando se presenten situaciones en las que se espera que el concreto que se encuentra directamente alrededor del acero de refuerzo se deteriore, se remueva o se destruya de cualquier otra manera se recomienda que la protección de dicho acero se realice como se define en la norma ASTM A 775.

### **5.3.- TIPOS DE PROTECCIÓN**

Existen muchos tipos de revestimiento protector o barreras que evitan el contacto con la superficie del concreto. Para obtener buenos resultados, cualquiera de esos revestimientos debe tener una buena adherencia al concreto y ser completamente impermeable.

Entre estas protecciones se encuentran varios revestimientos del tipo termoplástico o termofraguante, lo mismo que las cerámicas, morteros resistentes al ataque químico, películas o materiales de recubrimiento y barreras compuestas.

Si las condiciones son lo suficientemente severas como para deteriorar un concreto de buena calidad, será muy difícil proporcionar protección completa y duradera, aun con todos esos tipos de revestimientos. Se debe considerar la posibilidad de neutralizar esos líquidos de desecho, terriblemente agresivos.

Cuando se requiera de una protección especial para las varillas de refuerzo, es preferible utilizar varillas recubiertas con epóxico. Las especificaciones que abarcan ese tipo de recubrimientos se deben basar en las especificaciones de la norma ASTM A 775.

### **5.4.- REVESTIMIENTOS RECOMENDABLES**

#### **5.4.1.- PLANTAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS.**

Generalmente, las concentraciones normales de productos químicos usadas en las plantas para tratamiento de aguas, para el control de coagulación, sabor, olor y desinfección, no afectan el concreto, excepto si se trata de alumbre líquido, que requiere de una barrera continua e inerte como el PVC o caucho, por lo menos de 0,508 mm de espesor.

#### **5.4.2.- PLANTAS CASERAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

El concreto de las plantas caseras para tratamiento de aguas negras pocas veces requiere de protección especial, aunque el equipo mecánico que opera en estos medios suele contar con una capa protectora de pintura de alquitrán de hulla o de algún epóxico, debido a que es más susceptible a los daños, en situaciones ligeramente corrosivas.

En casos muy excepcionales, por ejemplo donde hay emisión de sulfuro de hidrógeno dentro de un ambiente inactivo no ventilado que no se puede corregir, o cuesta mucho hacerlo, o no se puede limpiar con regularidad, puede ser necesario un recubrimiento como el que normalmente se utiliza para el metal. Debe tenerse cuidado con el uso de tales recubrimientos, y debe ser necesario probarlos para asegurarse de que tienen las características adecuadas para el uso propuesto.

#### **5.4.3.- PLANTAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO INDUSTRIAL.**

A veces, el tratamiento de desechos industriales involucra desechos de ácidos con pH tan bajo, que llega a ser de 1.0. El tipo de protección que suele usarse es mortero resistente al ataque químico, ladrillos o mosaicos resistentes al ácido, revestimientos bituminosos gruesos, epóxicos y capas pesadas o láminas de caucho o plástico.

#### **5.4.4.- PROTECCIÓN DE LOS PISOS EN LAS PLANTAS TRATAMIENTO.**

Los pisos de concreto en los que a veces puede haber derrames de ácido, deben protegerse con laca de vinil, epóxico, hule clorinado o revestimientos fenólicos.

#### **5.5.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

Cada proyecto debe considerarse por separado debido a que el uso discontinuo de diversos materiales y técnicas causa nuevos problemas de ataque químicos. El informe del comité ACI 515.1R contiene recomendaciones más detalladas.

Se debe pedir información a los fabricantes de materiales de protección sobre la mejor manera de preparar las superficies de concreto y sobre cómo realizar la mezcla y aplicación de los productos de revestimiento en forma correcta. Es importante que las superficies estén secas, limpias y sanas, con el objeto de obtener un recubrimiento y adherencia adecuados. Por lo general, las superficies se lavan con ácido muriático o se pulen con chorro de arena.

#### **5.6.- MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Como precaución es necesario investigar la toxicidad de cualquier producto. Cuando se apliquen revestimientos, hay que verificar si se necesita ventilación. También hay que verificar, antes de aplicar la capa, si se cuenta con el equipo de protección necesario, como guantes, anteojos y mascarillas.

#### **5.7.- PRODUCTOS QUÍMICOS USADOS EN PLANTAS PARA TRATAMIENTO**

En la tabla 2.3.2 se proporcionó una lista de los productos que a veces se encuentran en el tratamiento de agua común y agua de desecho. En los casos en los que algunos de estos productos entren en contacto con las superficies de concreto, tal vez se requiera utilizar algún tipo de protección. La tabla 2.5.2 del informe del Comité ACI 515.1R proporciona información adicional acerca del efecto de los productos químicos sobre el concreto.



### GRUPO 1.

Estos productos químicos no se consideran dañinos para el concreto, pero se enumeran porque, en algunos casos, se desea aplicar un tratamiento para evitar las manchas o se debe evitar la absorción del líquido en el concreto, que, en el futuro, puede reaccionar con otros productos químicos:

- Bicarbonato de sodio<sup>+</sup>
- Carbón activado (cuando se agita entonces se le ubica en el grupo 3)
- Carbonato de sodio
- Fluoruro de sodio
- Fosfato trisódico
- Hidróxido de calcio
- Hidróxido de sodio (excepto en concentraciones de más del 20%, entonces se le ubica en el grupo 3)
- Oxido de calcio
- Permanganato de potasio
- Sílice activado (cuando se agita, entonces se le ubica en el grupo 3)
- Silicato de sodio
- Fluoruro de silicio sódico

### GRUPO 2

El concreto que esté expuesto a alguno de los productos químicos enumerados, debe prepararse con cemento resistente a los sulfatos (véase sección 3.1) o revestirse con una capa protectora, como se describe en la sección 5.4.

- Sulfato de cobre
- Sulfato férrico

### GRUPO 3

El concreto se debe proteger contra estos productos químicos con un revestimiento protector, como se describe en la sección 5.4.

- Carbón activado (véase el grupo 1, cuando no haya agitación).
- Sílice activado (véase el grupo 1, cuando no haya agitación).
- Ácido sulfúrico.
- Ácido fluosilícico.
- Alumbre líquido.
- Bisulfato de sodio.
- Cloro.
- Cloruro férrico.
- Hidróxido de sodio (concentración mayor del 20%).
- Hipocloruro de calcio.
- Solución de cloruro de aluminio.
- Sulfato de aluminio.
- Sulfato de aluminio amoniacal.
- Sulfato de amonio.
- Sulfato de potasio y aluminio.

---

<sup>+</sup> Precaución con respecto a la reacción alkali-agregado.