

GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS



**Organización
Panamericana
de la Salud**

*Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud*

**ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y
SALUD AMBIENTAL**



**Centro Panamericano de
Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente
CEPIS/OPS**

DEZA
DDC
DSC
SDC
COSUDE



Lima, 2004

El presente documento fue elaborado por el consultor ingeniero Roger Agüero para la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Tabla de contenido

	Página
Introducción	3
Capítulo I. Generalidades	
1.1 Definiciones	4
Capítulo II. Diseño de reservorio apoyado	
2.1 Período y caudales de diseño	5
2.2 Capacidad y dimensionamiento del reservorio	7
2.3 Tipos de reservorios	8
2.4 Ubicación del reservorio	8
2.5 Diseño estructural	9
Capítulo III. Construcción del reservorio	
3.1 Construcción de reservorio apoyado de concreto armado de forma cuadrada o circular	27
3.2 Construcción de reservorio apoyado de ferrocemento y de forma circular	30
Bibliografía	33

Introducción

El objetivo de esta guía es el de proporcionar a los profesionales información y conceptos actualizados, y las herramientas necesarias para el diseño y la construcción de reservorios para sistemas de agua potable. Para tal efecto, la guía estará dividida en tres capítulos.

El primer capítulo incluirá información sobre los aspectos generales relacionados a las definiciones y glosario de términos; el segundo desarrollará los diseños de los reservorios en el que se incluirá el período y caudales de diseño, capacidad y dimensionamiento, tipos, ubicación y su diseño estructural; y el tercero, presentará información para la construcción de reservorios de concreto armado apoyados de forma cuadrada y circular e información sobre reservorios de ferrocemento apoyados y de forma circular.

Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados

Capítulo I. Generalidades

1.1. Definiciones

- *Acero de armazón:* Se emplea para dar forma a la estructura y sobre ella se colocan las capas de malla de alambre o refuerzo. La característica del armazón es que los aceros que lo constituyen se distribuyen uniformemente y se separan hasta un máximo de 30 cm entre ellos, generalmente no son considerados como parte del refuerzo estructural, sino como varillas de separación para los refuerzos de la malla. El diámetro de estos elementos, es mayor que el acero de refuerzo.
- *Aditivo:* Material que no sea cemento Pórtland, agregado o agua, que se añade al concreto para modificar sus propiedades.
- *Agregado:* Material inerte que se mezcla con cemento Pórtland y agua para producir concreto. El agregado a emplearse en estructuras de ferrocemento es el agregado fino (arena natural), que no deberá exceder de 7 mm de diámetro ni menor de 2 mm.
- *Agua:* El agua empleada en ferrocemento deberá ser fresca y limpia. En ningún caso podrá emplearse agua de mar o similar.
- *Armadura de refuerzo:* Es el refuerzo total del sistema que puede estar conformado por la malla de refuerzo y el acero del armazón o solamente la primera. Generalmente se considera al acero del armazón como parte del refuerzo total cuando las separaciones de las varillas que lo conforman están a no más de 7,5 cm de centro a centro, como sucede en las estructuras como botes, embarcaciones, secciones tubulares, tanques, etc. Las varillas del armazón que son espaciadas más allá de esta distancia no son consideradas como parte del refuerzo total.
- *Dirección longitudinal:* Se define así a la dirección en la cual se encuentra aplicada la carga de diseño en la estructura de ferrocemento.
- *Dirección transversal:* Se define así a la dirección perpendicular a la dirección longitudinal.
- *Ferrocemento:* Se define al ferrocemento como un tipo de construcción de concreto reforzado, con espesores delgados, en el cual generalmente el mortero está reforzado con capas de malla continua de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser metálica o de otros materiales adecuados.
- *Malla de refuerzo:* Generalmente consiste en alambres delgados, entretejidos o soldados; una de las características más importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas. La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido que el mortero por sí colono podría soportar.
- *Mortero:* Es la mezcla de cemento y arena. Debido a que este mortero está sometido a grandes tensiones, es necesario que su dosificación sea no menor a una parte de cemento por 1,5 a 2 partes de arena y 0,3 partes de agua.

Capítulo II. Diseño de reservorio apoyado

2.1 *Período y caudales de diseño*

Las obras de agua potable no se diseñan para satisfacer sólo una necesidad del momento, sino que deben prever el crecimiento de la población en un período de tiempo prudencial que varía entre 10 y 40 años; siendo necesario estimar cuál será la población futura al final de este período. Con la población futura se determina la demanda de agua para el final del período de diseño.

a) Período de diseño

En la determinación del tiempo para el cual se considera funcional el sistema, intervienen una serie de variables que deben ser evaluadas para lograr un proyecto económicamente viable. Por lo tanto, el período de diseño puede definirse como el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por capacidad en la conducción del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones.

Para determinar el período de diseño, se consideran factores como: Durabilidad o vida útil de las instalaciones, factibilidad de construcción y posibilidades de ampliación o sustitución, tendencias de crecimiento de la población y posibilidades de financiamiento. Aún así, la norma general para el diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales recomienda un período de diseño de 20 años.

b) Cálculo de población de diseño

El proyectista adoptará el criterio más adecuado para determinar la población futura, tomando en cuenta para ello datos censales y proyecciones oficiales u otra fuente que refleje el crecimiento poblacional, los que serán debidamente sustentados.

c) Caudales de diseño

La importancia del reservorio radica en garantizar el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente.

Un sistema de abastecimiento de agua potable requerirá de un reservorio cuando el rendimiento admisible de la fuente sea menor que el gasto máximo horario (Q_{mh}). En caso que el rendimiento de la fuente sea mayor que el Q_{mh} no se considerará el reservorio, y debe asegurarse que el diámetro de la línea de conducción sea suficiente para conducir este caudal, que permita cubrir los requerimientos de consumo de la población.

En algunos proyectos resulta más económico usar tuberías de menor diámetro en la línea de conducción y construir un reservorio de almacenamiento.

d) Demanda de agua

✓ Factores que afectan el consumo

Los principales factores que afectan el consumo de agua son: El tipo de comunidad, factores económicos y sociales, factores climáticos y tamaño de la comunidad.

Independientemente que la población sea rural o urbana, se debe considerar el consumo doméstico, el industrial, el comercial, el público y el consumo por pérdidas.

Las características económicas y sociales de una población pueden evidenciarse a través del tipo de vivienda, siendo importante la variación de consumo por el tipo y tamaño de la construcción.

El consumo de agua varía también en función al clima, de acuerdo a la temperatura y a la distribución de las lluvias; mientras que el consumo per cápita, varía en relación directa al tamaño de la comunidad.

✓ Demanda de dotaciones

Considerando los factores que determinan la variación de la demanda de consumo de agua en las diferentes localidades rurales; se asignan dotaciones con valores definidos para cada una de las regiones del país (cuadro 1).

Cuadro 1. Dotación por región

REGIÓN	DOTACIÓN (l/hab./día)
Selva	60
Costa	50
Sierra	40

Fuente: Norma para el diseño de Infraestructura de agua y saneamiento

✓ Variaciones periódicas

Para suministrar eficientemente agua a la comunidad, es necesario que cada una de las partes que constituyen el sistema satisfaga las necesidades reales de la población; diseñando cada estructura de tal forma que las cifras de consumo y variaciones de las mismas, no desarticulen todo el sistema, sino que permitan un servicio de agua eficiente y continuo.

La variación de consumo está influenciada por diversos factores, tales como: tipo de actividad, hábitos de la población, condiciones de clima, etc.

La dotación o la demanda per cápita, es la cantidad de agua que requiere cada persona de la población, expresada en litros/habitante/día. Conocida la dotación, es necesario estimar el consumo promedio diario anual, el consumo máximo diario y el consumo máximo horario. El consumo diario anual servirá para el cálculo del volumen del reservorio de almacenamiento y para estimar el consumo máximo diario y horario.

- **Consumo promedio diario anual (Qm)**

El consumo promedio diario anual, se define como el resultado de una estimación del consumo per cápita para la población futura del período de diseño, expresada en litros por segundo (l/s.).

- **Consumo máximo diario (Qmd) y horario (Qmh)**

El consumo máximo diario corresponde al máximo volumen de agua consumido en un día a lo largo de los 365 días del año; mientras que el consumo máximo horario, es el máximo caudal que se presenta durante una hora en el día de máximo consumo.

Los coeficientes recomendados y más utilizados son del 130% para el consumo máximo diario (Qmd) y del 200%, para el consumo máximo horario (Qmh)

$$\text{Consumo máximo diario (Qmd)} = 1,3 \text{ Qm (l/s)}$$

$$\text{Consumo máximo horario (Qmh)} = 2,0 \text{ Qm (l/s)}$$

2.2 Capacidad y dimensionamiento del reservorio

a) Capacidad del reservorio

Para determinar la capacidad del reservorio, es necesario considerar la compensación de las variaciones horarias, emergencia para incendios, previsión de reservas para cubrir daños e interrupciones en la línea de conducción y que el reservorio funcione como parte del sistema.

Para el cálculo de la capacidad del reservorio, se considera la compensación de variaciones horarias de consumo y los eventuales desperfectos en la línea de conducción. El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrado en las 24 horas del día. Ante la eventualidad que en la línea de conducción pueda ocurrir daños que mantengan una situación de déficit en el suministro de agua, mientras se hagan las reparaciones pertinentes, es aconsejable un volumen adicional para dar oportunidad de restablecer la conducción de agua hasta el reservorio.

b) Cálculo de la capacidad del reservorio

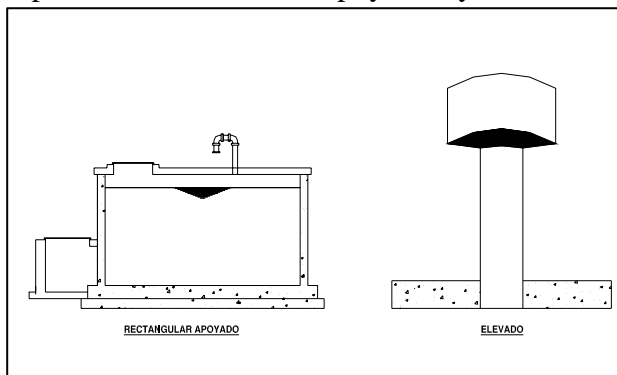
Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizan métodos gráficos y analíticos. Los primeros se basan en la determinación de la “curva de masa” o de “consumo integral”, considerando los consumos acumulados; para los métodos analíticos, se debe disponer de los datos de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente, que por lo general es equivalente al consumo promedio diario.

Para los proyectos de agua potable por gravedad, las normas recomiendan una capacidad mínima de regulación del reservorio del 15% del consumo promedio diario anual (Qm).

Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura de agua (d/h), la misma que varía entre 0,50 y 3,00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores, se considera la relación del ancho de la base y la altura (b/h).

2.3 Tipos de reservorio

Los reservorios de almacenamiento pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados, que pueden tomar la forma esférica, cilíndrica, y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc; los apoyados, que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, de forma rectangular y circular, son construidos por debajo de la superficie del suelo (cisternas).



Para capacidades medianas y pequeñas, como es el caso de los proyectos de abastecimiento de agua potable en poblaciones rurales, resulta tradicional y económica la construcción de un reservorio apoyado de forma cuadrada o circular.

2.4 Ubicación del reservorio

La ubicación está determinada principalmente por la necesidad y conveniencia de mantener la presión en la red dentro de los límites de servicio, garantizando presiones mínimas en las viviendas más elevadas y presiones máximas en las viviendas más bajas, sin embargo debe priorizarse el criterio de ubicación tomando en cuenta la ocurrencia de desastres naturales.

De acuerdo a la ubicación, los reservorios pueden ser de cabecera o flotantes. En el primer caso se alimentan directamente de la captación, pudiendo ser por gravedad o bombeo y elevados o apoyados, y alimentan directamente de agua a la población. En el segundo caso, son típicos reguladores de presión, casi siempre son elevados y se caracterizan porque la entrada y la salida del agua se hacen por el mismo tubo.

Considerando la topografía del terreno y la ubicación de la fuente de agua, en la mayoría de los proyectos de agua potable en zonas rurales los reservorios de almacenamiento son de cabecera y por gravedad.

El reservorio se debe ubicar lo más cerca posible y a una elevación mayor al centro poblado.

2.5 *Diseño estructural*

a) Reservorios de concreto armado de sección circular

✓ Cálculo de la pared cilíndrica

El cálculo se realiza utilizando los coeficientes de “Circular Concrete Tanks Without Prestressing” del Portland Cement Association (PCA) u otros métodos racionales.

- **Tensiones horizontales**

La tensión es obtenida mediante la siguiente fórmula, se entra a la tabla del PCA:

$$T = C W H R$$

El valor de “C” se obtiene de la tabla I del PCA, mediante la siguiente relación:

$$\frac{H^2}{D t}$$

Donde:

F = Factor de selección

H = altura total de reservorio

D = diámetro del reservorio

t = espesor de muro

C = Coeficiente

W = Peso del agua

R = Radio

- **Cálculo del refuerzo**

De acuerdo al diagrama de tensiones anulares, se calculará el refuerzo a cada tercio de la altura, según la relación siguiente:

$$A_s = \frac{T}{f_s} \qquad A_s \text{ min} = 0.025b.t$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{área de acero en cm}^2 & A_s \text{ min} &= \text{área de acero mínimo} \\ T &= \text{Tensión en Tn / m} & b &= 100 \text{ cm} \\ f_s &= \text{fátiga de trabajo en kg / cm}^2 & t &= \text{espesor de muro en cm} \end{aligned}$$

Dado que todo el anillo trabaja a tracción, el concreto sólo es recubrimiento del acero, por lo que se considerará $f_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$

- **Cálculo de momentos verticales**

Con el valor del factor de selección, entramos a la tabla VII del PCA:

$$M = \text{Coef.} \times WH^3$$

En condición última, el momento último máximo será $M_u = M \times 1.5 \text{ en kg - m / m}$

El Momento Máximo (Ma) que toma la sección será:

$$M_a = 0.263 \times f'c \times b \times d^2$$

Donde:

$$\begin{aligned} f'c &= \text{Resistencia a la compresión} \\ b &= 1 \text{ m} \\ d &= t - \text{recubrimiento} \end{aligned}$$

Si el Momento Máximo $M_a > \text{Momento último máximo } M_u$, colocar cuantía mínima como refuerzo en la sección:

$$A_s \text{ min} = 0.0015 \times b \times d$$

Siendo el espaciamiento máximo $3t$ ó $S = \frac{A_v}{A_s} \times 100$.

- **Verificación por Corte**

Según la tabla XVI del PCA, el corte máximo será en condición última con:

$$\frac{H^2}{Dt}$$

Será

$$V = 1.5 \times coef \times WH^2$$

$$v = \frac{V}{bd} < 0.53 \phi \sqrt{f'c} \quad \text{en } kg/cm^2$$

✓ Losa cubierta

- **Medrado de cargas**

Asumiendo un espesor de losa, se realiza el medrado de cargas para determinar el momento último W_u .

$$W_u = 1.5 W_d + 1.8 W_l$$

Donde:

$$W_d = \text{carga muerta}$$

$$W_l = \text{carga viva}$$

- **Determinación de los momentos y su corrección por rigidez de la pared cilíndrica**

Rigidez relativa:

Paredes : coef₁ (tabla XVIII)

Losa : coef₂ (tabla XIX)

Coefficientes de distribución:

$$\text{Pared:} \quad K_1 = Coef_1 \times \frac{t_1^3}{H} \quad d_1 = \frac{K_1}{K_1 + K_2}$$

$$\text{Losa:} \quad K_2 = Coef_2 \times \frac{t_2^3}{H} \quad d_2 = \frac{K_2}{K_1 + K_2}$$

Donde:

t = espesor de losa asumido

H = altura del reservorio

Momento máximo $M_{\max} = 0.125 W_u R^2$

$R = \text{Radio del reservorio}.$

Distribución de momentos en la pared y losa conforme a los coeficientes calculados.

Efectuar la distribución de momentos con los coeficientes “d” calculados, utilizando Hardy Cross e ingresar el momento de corrección resultante “Mc”.

En la tabla XII, se presentan los detalles de cálculo del momento radial (M_r) y el momento tangencial (M_t).

Factor de corrección a los coeficientes de momentos: $Coef_{\text{correc.}} = \frac{M}{W \times R^2}$

Verificación por flexión

$$M_{\max} = 0.263 F'c b d^2 \text{ en kg} - m / m$$

Si el $M_{\max} >$ al máximo momento actuante: la sección es correcta

- Cálculo del refuerzo

Sentido radial

$$As_+ = \frac{M^+}{\emptyset Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$As_- = \frac{M^-}{\emptyset Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

Sentido anular

$$As_+ = \frac{M^+}{\emptyset Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$As_- = \frac{M^-}{\emptyset Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$As_{\min} = 0.0018 b.d$$

✓ Losa de fondo

Asumiendo el espesor de la losa de fondo

- **Determinación de la zapata del muro cilíndrico**

Cargas en servicio

$$P = \frac{(W_d + W_l)A}{L}$$

Donde:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$L = \pi D$$

El ancho b de la cimentación se calculará considerando el 10% del peso total o peso de la zapata.

$$b = \frac{1.1 \times P}{\sigma_t}$$

- **Cálculo de la losa por presión de agua**

Metrado de cargas:

$$\text{peso propio} : e \times \gamma_{co} \times 1.5$$

$$\text{peso del agua} : H \times \gamma_a \times 1.5$$

Donde:

$$e = \text{espesor de losa de fondo}$$

$$H = \text{altura total del reservorio}$$

$$\gamma_{co} = \text{peso específico del concreto}$$

$$\gamma_a = \text{peso específico del agua}$$

$$w = \text{peso propio} + \text{peso del agua}$$

Determinación de momentos:

Calculando momentos para una porción de losa de 1 m^2 y considerando sus cuatro bordes empotrados, de acuerdo al ACI, será:

$$m = \frac{A}{B} = 1$$

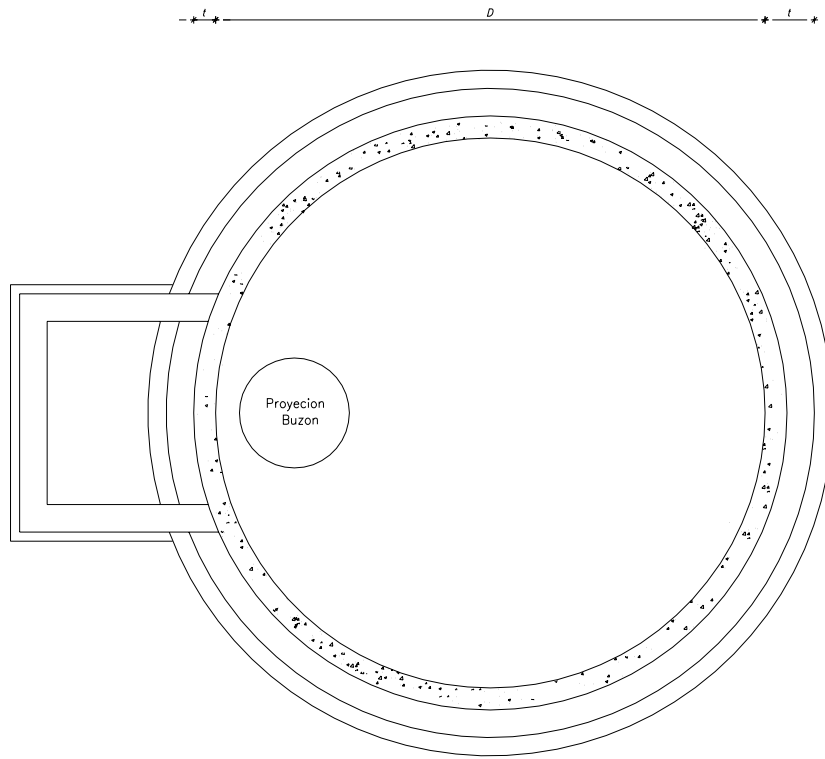
$$M^+ = 0.025 WS^2 \quad \text{en kg} - \text{m} / \text{m}$$

$$M \text{ max} = 0.263 f'c b d^2 \quad \text{en kg} - \text{m} / \text{m}$$

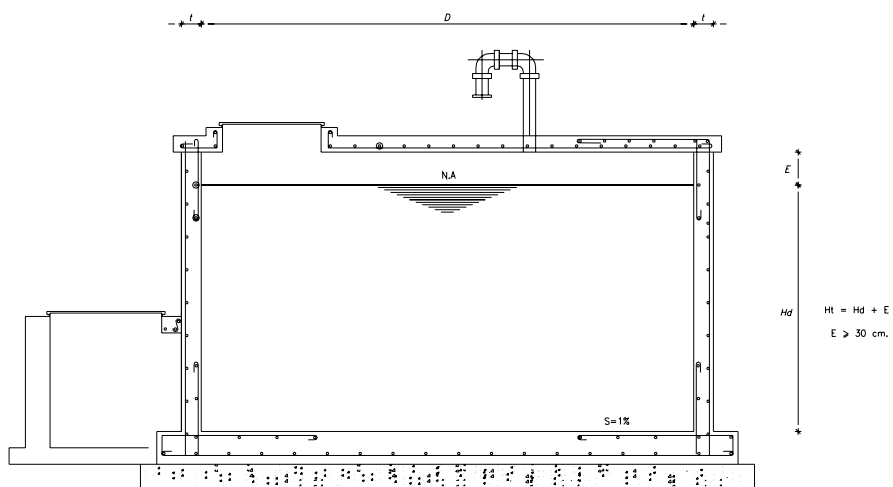
$$\text{Si } M \text{ max} > M^+ \quad \text{colocar cuantía mínima}$$

Refuerzo:

$$As = 0.0018 bd \quad \text{en } \text{cm}^2$$



PLANTA RESERVORIO V=10 m³



CORTE A-A

b) Reservoirio de Concreto Armado de Sección Cuadrada

Para el diseño estructural de reservorios de pequeñas y medianas capacidades se recomienda utilizar el método de Portland Cement Association, que determina momentos y fuerzas cortantes como resultado de experiencias sobre modelos de reservorios basados en la teoría de Plates and Shells de Timoshenko, donde se consideran las paredes empotradas entre sí.

De acuerdo a las condiciones de borde que se fijan existen tres condiciones de selección, que son:

- Tapa articulada y fondo articulado
- Tapa libre y fondo articulado
- Tapa libre y fondo empotrado

En los reservorios apoyados o superficiales, típicos para poblaciones rurales, se utilizan preferentemente la condición que considera la tapa libre y el fondo empotrado. Para este caso y cuando actúa sólo el empuje del agua, la presión en el borde es cero y la presión máxima (P), ocurre en la base.

$$P = \gamma_a \times h$$

El empuje del agua es:

$$v = \frac{\gamma_a h^2 b}{2}$$

Donde:

γ_a = *Peso específico del agua*

h = *Altura del agua*

b = *ancho de la pared*

Para el diseño de la losa de cubierta se consideran como cargas actuantes el peso propio y la carga viva estimada; mientras que para el diseño de la losa de fondo, se considera el empuje del agua con el reservorio completamente lleno y los momentos en los extremos producidos por el empotramiento y el peso de la losa y la pared.

✓ Cálculo de momentos y espesor (e)

- **Paredes**

El cálculo se realiza tomando en cuenta que el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión de agua.

Para el cálculo de momento se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en la **tabla 3**, ingresando la relación del ancho de la pared (b) y la altura de agua (h). Los límites de la relación de h/b son **de 0,5 a 3,0**.

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$M = K \times \gamma_a \times h^3 \quad \text{en kg.}$$

Luego se calculan los momentos de Mx y My para los valores de “y”

Teniendo el máximo momento absoluto (M), se calcula el espesor de la pared (e), mediante el método elástico sin agrietamiento, tomando en consideración su ubicación vertical u horizontal, con la fórmula:

$$e = \left[\frac{6M}{f_t x b} \right]^{1/2} \quad \text{en cm.}$$

Donde:

$$M = \text{Máximo momento absoluto} \quad \text{kg} - \text{cm}$$

$$f_t = 0.85 \sqrt{f' c} \quad (\text{Esf. tracción por flexión} \quad \text{kg/cm}^2)$$

$$b = 100 \text{ cm.}$$

- **Losa de cubierta**

Será considerada como una losa armada en dos sentidos y apoyada en sus cuatro lados.

Cálculo del espesor de losa (e).

$$e = \frac{\text{Perimetro}}{180} \geq 9 \text{ cm}$$

Según el Reglamento Nacional de Construcciones para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad, los momentos flexionantes en las fajas centrales son:

$$M_A = M_B = CWL^2$$

Donde:

$$C = 0.036$$

$$W = \text{peso total (carga muerta + carga viva) en kg / m}^2$$

$$L = \text{luz de cálculo}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil “d” mediante el método elástico con la siguiente relación:

$$d = \left[\frac{M}{R b} \right]^{1/2} \quad \text{en cms.}$$

Siendo:

$$M = MA = MB = \text{Momentos flexionantes}$$

$$b = 100 \text{ cm.}$$

$$R = \frac{1}{2} \times fs \times j \times k$$

$$k = \frac{1}{(1 + fs/(nfc))}$$

$$fs = \text{fátiga de trabajo en kg / cm}^2$$

$$n = Es / Ec = (2.1 \times 10^6) / (W^{1.5} \times 4200 \times (f'c)^{1/2})$$

$$fc = \text{Resistencia a la compresión en kg / cm}^2$$

$$J = 1 - \frac{k}{3}$$

El espesor total (e), considerando un recubrimiento de 2,5 cm., será:

$$e = d + 2.5$$

Se debe cumplir que:

$$d \geq e - 2.5$$

- **Losa de fondo**

Asumiendo el espesor de la losa de fondo, y conocida la altura de agua, el valor de P será:

$$\begin{aligned} &\text{Peso propio del agua en kg/m}^2 \\ &\text{Peso propio del concreto en kg/m}^2 \end{aligned}$$

La losa de fondo será analizada como una placa flexible y no como una placa rígida, debido a que el espesor es pequeño en relación a la longitud; además la consideraremos apoyada en un medio cuya rigidez aumenta con el empotramiento. Dicha placa estará empotrada en los bordes.

Debido a la acción de las cargas verticales actuantes para una luz interna L, se originan los siguientes momentos.

Momento de empotramiento en los extremos:

$$M = -\frac{WL^2}{192} \quad \text{en Kg - m.}$$

Momento en el centro:

$$M = \frac{WL^3}{384} \quad \text{en Kg - m}$$

Para las lasas planas rectangulares armadas en dos direcciones, Timoshenko recomienda los siguientes coeficientes:

Para un momento en el centro	=	0,0513
Para un momento de empotramiento	=	0,529

Momentos finales:

$$\begin{aligned} \text{Empotramiento}(Me) &= 0.529xM \quad \text{en Kg - m.} \\ \text{Centro}(Mc) &= 0.0513xM \quad \text{en Kg - m.} \end{aligned}$$

Chequeo del espesor:

Se propone un espesor:

$$e = \frac{P}{180} \geq 9cm$$

Se compara el resultado con el espesor que se calcula mediante el método elástico sin agrietamiento considerando el máximo momento absoluto con la siguiente relación:

$$e = \left[\frac{6M}{ft b} \right]^{1/2} \quad \text{en cms.}$$

Siendo:

$$ft = 0.85(f'c)^{1/2}$$

Se debe cumplir que el valor:

$$d \geq e - \text{recubrimiento}$$

✓ Distribución de la armadura

Para determinar el valor del área de acero de la armadura de la pared, de la losa cubierta y del fondo, se considera la siguiente relación:

$$A_s = \frac{M}{f_s j d}$$

Donde:

M = Momento máximo absoluto en kg – cm

f_s = Fátiga de trabajo en Kg / cm²

j = Relación entre la distancia de la resultante de los esfuerzos de compresión al centro de gravedad de los esfuerzos de tensión.

d = Peralte efectivo en cm.

A_s = cm²

- **Pared**

Para el diseño estructural de la armadura vertical y horizontal de la pared, se considera el momento máximo absoluto, por ser una estructura pequeña que dificultaría la distribución de la armadura y porque el ahorro, en términos económicos, no sería significativo.

Para resistir los momentos originados por la presión del agua y tener una distribución de la armadura se considera:

$$f_s = 900 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

n = 9 valor recomendado en las Normas Sanitarias de ACI-350

Conocido el espesor y el recubrimiento, se define un peralte efectivo “d”. El valor de “j” es definido por “k”

Cuantía mínima:

$$A_s \text{ mín.} = 0.0015 b x e \quad \text{ó} \quad \frac{4}{3} A_s \text{ calculado (el mayor)}$$

- **Losa de cubierta**

Para el diseño estructural de armadura se considera el momento en el centro de la losa cuyo valor permitirá definir el área de acero en base a la ecuación:

$$A_s = \frac{M}{f_s j d}$$

Donde:

$M =$ Momento máximo absoluto en $kg - m$

$f_s =$ Fátiga de trabajo en Kg / cm^2

$j =$ Relación entre la distancia de la resultante de los esfuerzos de compresión al centro de gravedad de los esfuerzos de tensión.

$d =$ Peralte efectivo en cm .

La cuantía mínima recomendada es:

$$A_s \text{ mín.} = 0.0018 b x e$$

- **Losa de fondo**

Como en el caso del cálculo de la armadura de la pared, en la losa de fondo se considera el máximo momento absoluto.

Para determinar el área de acero se considera:

$$f_s = 900 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$n = 9$ valor recomendado en las Normas de ACI-350

El valor de “j” es definido con “k”

En todos los casos, cuando el valor del área de acero (A_s) es menor a la cuantía mínima ($A_s \text{ mín.}$), para la distribución de la armadura se utilizará el valor de dicha cuantía.

✓ Chequeo por esfuerzo cortante y adherencia

Tiene la finalidad de verificar si la estructura requiere estribos o no; y el chequeo por adherencia sirve para verificar si existe una perfecta adhesión entre el concreto y el acero de refuerzo.

Chequeo en la pared y losa de cubierta:

- **Pared**

Esfuerzo cortante:

La fuerza cortante total máxima (V), será:

$$V = \frac{\gamma_a h^2}{2} \quad \text{en kg.}$$

El esfuerzo cortante nominal (v), se calcula mediante:

$$v = \frac{V}{j b d} \quad \text{en } kg / cm^2$$

El esfuerzo permisible nominal en el concreto, para muros no excederá a:

$$V_{m\acute{a}x} = 0.02 f' c \quad \text{en } kg / cm^2$$

Se debe verificar que:

$$v \leq V_{m\acute{a}x}$$

Adherencia:

Para elementos sujetos a flexión, el esfuerzo de adherencia en cualquier punto de la sección se calcula mediante:

$$u = \frac{V}{\sum_0 j d}$$

El esfuerzo permisible por adherencia (u máx) es:

$$u_{\max} = 0.05 f' c \quad \text{en } kg / cm^2$$

Si el esfuerzo permisible es mayor que el calculado, se satisface la condición de diseño.

- **Losa cubierta**

Esfuerzo cortante:

La fuerza cortante máxima (V) es igual a:

$$V = \frac{W S}{3} \quad \text{en } kg / m.$$

Donde:

$$S = \text{Luz interna} \quad \text{en metros.}$$

$$W = \text{Peso total} \quad \text{en } kg / m^2.$$

El esfuerzo cortante unitario es igual a:

$$v = \frac{V}{b d} \quad \text{en } kg / cm^2$$

El máximo esfuerzo cortante permisible es:

$$v_{\text{máx.}} = 0.29 f'c^{1/2} \quad \text{en kg/cm}^2$$

Si el máximo esfuerzo cortante permisible es mayor que el esfuerzo cortante unitario, el diseño es el adecuado.

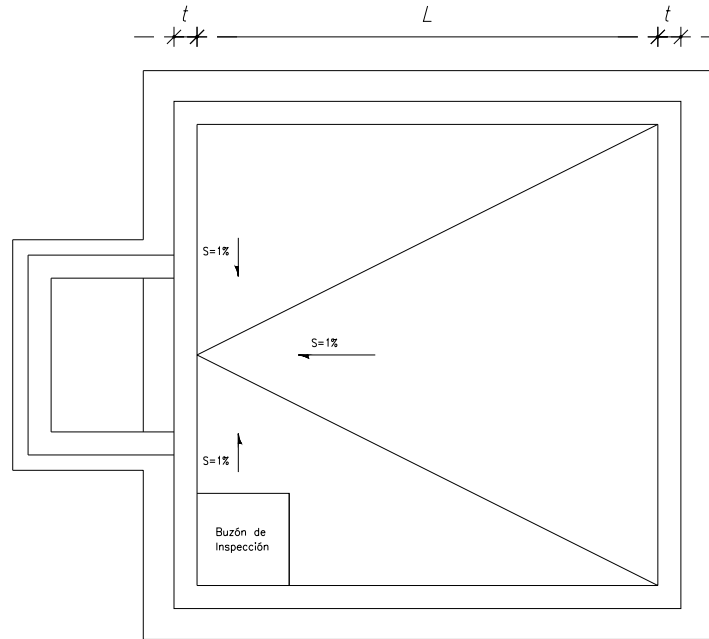
Adherencia:

$$u = \frac{V}{\sum_0 j d} \quad \text{en kg/cm}^2$$

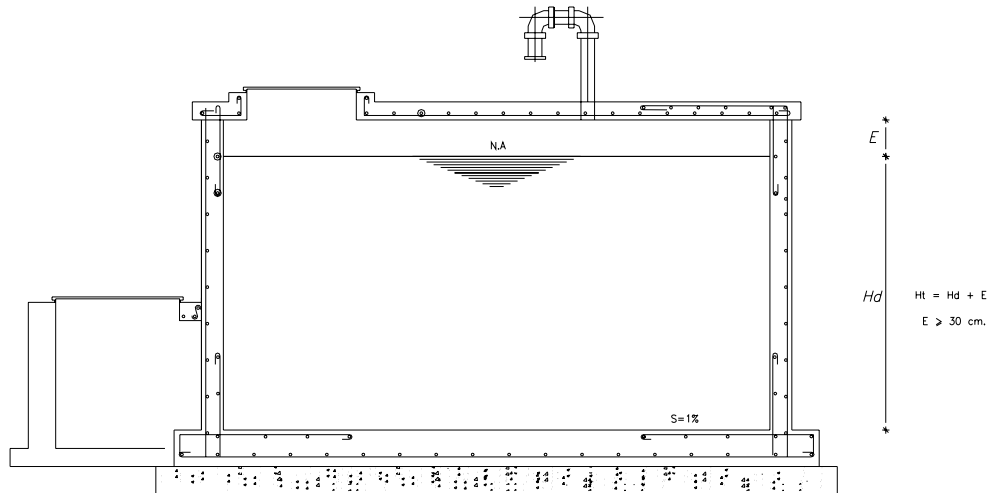
El esfuerzo permisible por adherencia (u máx) es:

$$u_{\text{max}} = 0.05 f'c \quad \text{en kg/cm}^2$$

Si el esfuerzo permisible es mayor que el calculado, se satisface la condición del diseño.



PLANTA RESERVORIO



CORTE A-A

c) Reservorio de ferrocemento de sección circular

✓ Descripción

El ferrocemento es una tecnología apropiada que consiste en reforzar un mortero con mallas de alambre, a fin de obtener un material homogéneo y resistente. Es un material compuesto, que por su naturaleza tiene una respuesta estructural importante ante acciones sísmicas y los pocos materiales que se utilizan en su construcción son fácilmente transportables hasta lugares de difícil acceso. Asimismo, en comparación con las construcciones tradicionales, sus costos disminuyen hasta en un 50%.

Por otro lado, las habilidades de las personas que se involucran en la construcción de este tipo de reservorios, no han de ser especializadas. Las personas que se capacitan y disponen de manuales y planos, fácilmente podrán construir aplicando esta técnica.

Si este tipo de reservorios tiene fugas, fácilmente pueden ser reparados. Se pica la zona afectada y se utiliza el mortero con la proporción empleada en su construcción.

El reservorio consta de las siguientes partes: Fondo, muros de sección circular, losa de cubierta provista de buzón de inspección y una caseta de válvulas.

La presente información es para reservorios con volumen máximo de 20 m^3 , si se diera el caso de volúmenes mayores de 20 m^3 se deberá realizar un análisis que requiera mayor precisión y detalle.

✓ Consideraciones básicas de diseño

La formulación para el cálculo y diseño de tanques cilíndricos de pared delgada se basa en el estudio de tensiones normales en dos direcciones, las que actúan en dirección del eje geométrico del cilindro las denominamos axiales o longitudinales, y las que lo hacen en una dirección perpendicular, tangenciales.

Debido a que el espejo de agua se encuentra en contacto con la atmósfera por el volumen de seguridad o ventilación, no se produce tensión longitudinal, quedando únicamente el cálculo de la tensión tangencial.

Para el diseño de reservorios de ferrocemento de volumen pequeño (5 a 20 m^3), se considera que las tensiones de tracción o compresión que existe en la pared del cilindro son uniformemente distribuidas en el espesor de la pared. Asimismo, se supone que las cargas, tensiones y deformaciones en las membranas cilíndricas son simétricas respecto al eje del cilindro.

Tomando como referencia la publicación sobre **“Tecnologías Apropriadas – Diseño y Construcción de Tanques de Ferrocemento” del PAS/BM**, se presenta a continuación los cálculos de espesores y refuerzos:

Los espesores mínimos se estiman mediante las siguientes fórmulas:

- **Espesores mínimos de la pared:**

$$e_{pared} = \frac{\gamma_w h r}{0.424 \sqrt{f'_c}}$$

- **Espesores mínimos del piso:**

$$e_{piso} = 1.7453 D$$

- **Espesores mínimos del techo:**

$$e_{techo} = 1.745 D$$

- **Refuerzo longitudinal en la pared:**

$$A_{si} = \frac{500 h_i D}{f_y}$$

$$A_{smin} = \frac{14}{f_y} bd$$

Donde:

- e_{pared} : espesor de la pared (cm).
- e_{piso} : espesor de la losa de fondo (cm).
- e_{techo} : espesor de la losa de la cubierta (cm).
- γ_w : peso específico del agua (kg/m^3).
- h : altura del nivel máximo del agua (m).
- r : radio del reservorio (m).
- f'_c : resistencia a la compresión del mortero (kg/cm^2).
- D : diámetro del reservorio (m).
- A_{si} : área de acero a una altura i (cm^2).
- A_{smin} : área de acero mínimo (cm^2).
- h_i : Altura a la que se desea calcular el refuerzo (m).
- f_y : esfuerzo de fluencia del refuerzo (kg/cm^2).
- b : Ancho de referencia (cm).
- d : espesor (cm).

✓ Recomendaciones:

Es recomendable realizar ensayos de laboratorio de todos los materiales:

- La arena debe ser limpia y tener el coeficiente de uniformidad de 2 a 3. Esta relación permitirá lograr la impermeabilización de las paredes, techo y piso.
- Buena relación de agua-cemento (mezcla relativamente seca).
- Con los resultados obtenidos de la rotura de cilindros fabricados con diferentes tipos de arena, se deberá proceder al diseño y elaboración de los planos tipo, a fin de generalizar la utilización del ferrocemento en base a las características propias de los materiales más adecuados y que generalmente se encuentran en cada zona.

Capítulo III. Construcción del reservorio

Es una estructura que sirve, por un lado, para almacenar el agua y abastecer a la población, y por otro, para mantener una presión adecuada en las redes y dar un buen servicio.

El reservorio de almacenamiento consta de dos partes: la primera, el depósito de almacenamiento; y la segunda, la caseta de válvulas donde se encuentran las válvulas de control de entrada y salida del agua.

3.1. Construcción de reservorio apoyado de concreto armado de forma cuadrada o circular

a) Descripción

Es importante conocer la forma, las dimensiones y el volumen del reservorio, los cuales se encuentran descritos en los planos respectivos.

El reservorio consta de las siguientes partes:

Losa de fondo de concreto armado, muros de sección rectangular de concreto armado, losa de cubierta de concreto armado provista de buzón de inspección. Además, constará de una caseta de válvulas y escalera interior.

b) Excavación

Se ejecutará la excavación llegando a terreno de fundación estable, de acuerdo a la resistencia del suelo. La excavación será bien nivelada y cualquier exceso se rellenará con concreto de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

c) Encofrados

Los encofrados serán prácticamente indeformables y **estancos**, y estarán constituidos por elementos metálicos, de madera o triplay y los plazos para los desencofrados serán los siguientes:

- Muros 3 días.
- Losa de cubierta 21 días.

Estos plazos podrán ser disminuidos, lográndose resistencias análogas, empleando aceleradores de fragua.

d) Losa de fondo

Previo al vaciado de la losa de fondo, se ejecutará el vaciado de **un solado** de 0,10 m, de espesor, con concreto cuya resistencia llegue a $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

Será de concreto armado cuyo espesor, dimensiones, diámetro y espaciamiento del acero de refuerzo, resulta del diseño respectivo indicado en los planos.

Se colocará el acero de refuerzo en la losa de fondo, cuyo diámetro y espaciamiento resultan del diseño, asimismo se dejarán los anclajes de los muros, para luego vaciar la losa en una sola operación con concreto de $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$, la cara superior será rallada para facilitar la adherencia con el acabado del mortero.

En esta base se efectuará el trazo y el armado de los muros correspondientes.

e) Muros

Será de concreto armado, cuyo espesor y dimensiones, resulta del diseño respectivo indicado en los planos.

Luego del vaciado de la losa de fondo, se procede al habilitado y colocado de la armadura de acero, cuyos diámetros y espaciamientos serán de acuerdo al diseño respectivo. Después se encofrará la parte interna y externa de las paredes de los muros; estando preparadas las formas se procede al vaciado de los muros con concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$. Teniendo en cuenta que en los cruces de tuberías se instalarán, niples de mayor diámetro, debiéndose **calafatear con estopa** y plomo e impermeabilizar debidamente una vez instaladas las tuberías.

Se tendrá cuidado con las juntas de construcción, debiéndose picar el concreto ya endurecido, a fin de dejar una superficie rugosa, libre de la película superficial de concreto, quedando apta para recibir el nuevo vaciado de concreto.

Las armaduras se empalmarán **con traslapes de 60 veces** el diámetro del fierro, con amarres espaciados, para permitir la envoltura de la unión por el concreto.

f) Cubierta

Será una losa maciza, cuyo espesor, dimensiones, diámetro y espaciamiento del acero de refuerzo, resulta del diseño respectivo indicado en los planos.

El encofrado se iniciará después de vaciar los muros, ensamblando el castillo de madera y en forma paralela se habilitará y se colocará el acero de refuerzo.

El vaciado se realizará utilizando un concreto de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

El acabado exterior se hará con una capa de mortero de C:A 1:3, de 1" de espesor, colocada inmediatamente sobre el concreto fresco, acabando con cemento puro.

g) Escalera interior

Constituido por escalines de fierro galvanizado adosados al muro. Servirá para el ingreso al reservorio. En el vaciado de los muros se anclarán los peldaños de 3/4" de diámetro por cada 0,30 m.

h) Materiales

Se utilizará cemento fresco, sin terrones y en buenas condiciones de estacionamiento; la piedra será de los diámetros requeridos, según los espesores de concreto a vaciar; la arena a emplear será limpia.

Antes de vaciar el concreto, el ingeniero inspector deberá aprobar la colocación de la armadura de acuerdo al plano.

Se evitará la segregación de los materiales en los vaciados de altura.

En caso de tener muros delgados y sea necesario usar un "CHUTE", el proceso del chuceado deberá evitar que el concreto golpee contra la cara opuesta del encofrado, esto podrá producir segregaciones.

Se evitará la acción directa de los rayos del sol durante las 48 horas después del vaciado, el "curado" del concreto con agua, se hará diariamente durante siete días seguidos.

i) Recubrimientos

Se respetarán los siguientes recubrimientos en las siguientes estructuras:

- . Losa de fondo : 1,5 cm
- . Muros : 1,5 cm
- . Losa de cubierta : 1,5 cm

j) Instalación de tuberías y válvulas

Se instalará el sistema de tuberías indicado en el plano correspondiente a "caseta de válvulas".

- . Válvula de ingreso
- . Válvula de salida
- . Válvula de limpia
- . Válvula de by pass

k) Prueba hidráulica

Se llenará el reservorio lentamente con agua y se observará atentamente si hay fugas, debido a porosidad del concreto, juntas de construcciones y otros. La prueba

a tanque lleno durará 24 horas. Si se producen filtraciones se harán los resanes necesarios y se repetirá la prueba hasta obtener resultados satisfactorios.

l) Impermeabilización

Después de realizar la prueba hidráulica, si se obtiene resultados satisfactorios, se procede a realizar el enlucido impermeabilizante en la totalidad del área interior.

El preparado con impermeabilizante debe emplearse dentro de 3 ó 4 horas desde su preparación.

Se protegerá la impermeabilización de los efectos de desecación rápida por los rayos solares, para ello se utilizará métodos, como por ejemplo, el “curado” con agua, el cual se hará durante cuatro días seguidos o el uso de compuestos especiales.

Se impermeabilizarán las superficies en contacto con el agua hasta los 10 cm por encima del nivel del rebose.

m) Otros

Por la brevedad de estas especificaciones se ha omitido varios detalles que se dan por conocidos en toda buena construcción.

En general, los morteros deberán ser bien elaborados con la menor relación agua-cemento que haga la mezcla trabajable, (se recomienda 0,5), lo que dará resistencia con la granulometría adecuada para evitar porosidades.

Las secciones vaciadas no deberán sufrir vibraciones durante tres días.

Debe tenerse cuidado con la retracción del concreto, para lo que se recomienda la desecación rápida haciendo un curado enérgico o el uso de compuestos especiales.

3.2. Construcción de reservorio apoyado de ferrocemento y de forma circular

a) Excavación

La excavación debe realizarse hasta llegar a terreno firme. Será bien nivelada y cualquier exceso de excavación se rellenará con concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

b) Losa de fondo

Inicialmente se rellena el solado de 10 cm. con concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ o se coloca un empedrado sobre el cual se vierte un falso piso de 5 cm. Sobre cualquiera de estas bases, se efectúa el trazo y se coloca el acero de refuerzo de la losa de fondo. Luego se procede al vaciado de la losa dejando bastones de amarre con el muro (pared).

El fondo estará formado por un mortero y malla metálica cuyas características y dimensiones serán determinadas con el diseño estructural, indicando el diámetro y espaciamiento de la malla, la dosificación del mortero y espesor de la losa. Asimismo, el fondo deberá ser vaciado monolíticamente en una sola operación; la cara superior se rayará para facilitar la adherencia con el acabado del mortero.

Por otro lado, luego de desencofrar la cubierta y enlucir con mortero la parte interna del techo, se enlucir con una capa de mortero y se impermeabiliza al piso y se da una mínima pendiente de 1% hacia el desagüe.

c) Encofrados

Los encofrados serán prácticamente indeformables, se colocarán en la cara interior del reservorio y puede ser de metal o de planchas de triplay fijados por un castillo interior.

A la cara externa del encofrado se debe aplicar aditivos con la finalidad de proteger la forma y lograr un mejor acabado. Asimismo, los plazos para los desencofrados serán los siguientes:

- Muros 2 días
- Losa de cubierta 7 días

d) Muros

En la construcción de muros se tiene en cuenta lo siguiente:

- El espesor de los muros tendrá como mínimo 5 cm.
- La altura del reservorio no deberá sobrepasar la altura de 3,20 m., como máximo.
- Luego de encofrar la parte interna de las paredes del muro, se colocan mallas de acuerdo a lo indicado en los planos respectivos.

✓ Malla

Luego de terminar con el encofrado se siguen los siguientes pasos:

- Se coloca la malla de armazón que sirve de soporte a la malla hexagonal y se empalma adecuadamente con la malla que sale de la losa de fondo.
- Se pone una primera capa de refuerzo que consiste en una malla hexagonal (malla gallinero), debidamente tensada.
- En las zonas de empalme se requiere un traslape adecuado.
- Los refuerzos se amarran con alambre N° 16.
- Se recomienda ubicar los traslapes en diferentes zonas para evitar debilitamiento de la estructura.

✓ Mortero

El mortero se prepara siguiendo las proporciones obtenidas en el diseño de mezclas. Debe tener una consistencia seca y trabajable para que pueda colocarse manualmente.

Para su uso se deberá considerar lo siguiente:

- Inicialmente se deberá aplicar el mortero hasta que penetre a todas las capas de refuerzo.
- Al día siguiente se inicia el tarrajeo y enlucido exterior. En esta parte se puede usar impermeabilizante.
- Luego de dos (2) días la pared interna es desencofrada, tarrajada y enlucida con mortero. Finalmente, se realiza su pulido e impermeabilización.

e) Cubierta

Después de obtener resultados satisfactorios de la prueba hidráulica se procede a construir la losa de cubierta.

Para vaciar la cubierta se siguen los siguientes pasos:

- Encofrar con madera.
- El encofrado se cubre con una malla de alambre en varillas y hexagonal según diseño.
- Cubrir la malla con una capa de mortero.
- Luego de cuatro (4) días se saca el encofrado y se enlucen la parte interna con una capa delgada de mortero no menor de 1 cm.

f) Materiales

El cemento deberá ser fresco, sin terrones y en buenas condiciones de estacionamiento; los agregados serán de los diámetros requeridos, según los espesores de la mezcla a vaciar; la arena a emplear será limpia.

Antes de vaciar el concreto, el ingeniero Inspector deberá aprobar la colocación de la armadura de acuerdo al plano.

Se evitará la segregación de los materiales en los vaciados de altura.

Se evitará la acción directa de los rayos del sol, durante las 48 horas después del vaciado, el “curado” del piso y muros del reservorio con agua, se hará diariamente durante siete (7) días seguidos.

g) Instalación de tuberías y válvulas

Antes de vaciar el concreto de la losa deben colocarse los pases de tuberías para evitar que durante el picado se debilite la estructura.

Se instalará el sistema de tuberías indicado en el plano correspondiente a “caseta de válvulas”.

- Válvula de ingreso
- Válvula de salida
- Válvula de limpia
- Válvula de by pass

h) Prueba hidráulica

Se llenará el reservorio lentamente con agua y se observará atentamente si hay fugas debidas a porosidad del piso y muro. La prueba a tanque lleno durará 72 horas y si se producen filtraciones, se harán los resanes necesarios y se repetirá la prueba hasta obtener resultados satisfactorios.

Bibliografía

- Agüero Pittman, Roger. Agua Potable para Poblaciones Rurales-Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento, Asociación Servicios Educativos Rurales (SER), Reimpreso 2003.
- Azevedo Netto J.M.-Acosta A. Guillermo, Manual de Hidráulica, 1975.
- Centro Internacional de Agua y Saneamiento-CIR, Sistemas de Abastecimiento de Agua para Pequeñas Comunidades. CEPIS, Lima 1988.
- CEPIS, Especificaciones Técnicas para el diseño de estructuras de Ferrocemento, 2003.
- Dirección General Saneamiento Ambiental (DIGESA), Especificaciones técnicas para la construcción de reservorios.
- Esquibel Escobar, Néstor. Reservorio de concreto para sistemas de abastecimiento de agua potable en medio rural, tesis UNI, 1975.
- Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social (FONCODES), Especificaciones técnicas para la construcción de reservorios.
- Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos- Dirección General de Saneamiento Básico, Reglamento técnico de proyectos de agua potable para poblaciones menores de 5,000 habitantes, Bolivia, 1999.

- Muñoz R., Marcelo. Guías para diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, eliminación de excretas y residuos líquidos para localidades del área rural.
- Programa de Agua y Saneamiento, Región Andina-Banco Mundial, Metodologías y tecnologías apropiadas, en proyectos de saneamiento básico rural, 1999.
- Programa de Agua y Saneamiento, Banco Mundial, Uso del Ferrocemento, bombas manuales y desinfección del agua en el área rural del Perú, 1999.
- Ibarra Sandoval, Carlos. Tecnologías apropiadas “Diseño y construcción de tanques de Ferrocemento”.
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador Proyecto FASBASE, Ministerio de Desarrollo urbano y Vivienda-Sub secretaría de saneamiento ambiental, Programa de Agua y saneamiento PNUD-Banco Mundial, 1999.
- PRONASAR, Proyecto “Norma general para el diseño de infraestructura de agua y saneamiento para Centros poblados Rurales.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Instructivo para estudio y proyecto de abastecimiento de agua potable. México, 1980.
- Servicios Múltiples de tecnologías apropiadas, Manual técnico de aprovisionamiento rural de agua, La Paz-Bolivia, 1983.
- Zecenarro E., Consideraciones para el diseño de sistemas de agua potable para el medio rural, Programa de Salud Comunitaria en el Trapecio Andino – PSCTA, Perú, 1994.
- Portland Cement Association (PCA). “Circular Concrete Tanks Without Prestressing”.
- Portland Cement Association (PCA). “Rectangular Tanks”.