Memoria de Cálculo estructural – Sistema de almacenamiento y aprovechamiento de agua lluvia Sede “Casa Amarilla”.

1. Memoria de Cálculo – Tanque de tratamiento y almacenamiento subterráneo

Diseño basado en lo dispuesto en NSR 10 Titulo C

1.1. Objetivo del diseño

Diseñar la estructura de un tanque subterráneo de concreto armado, dividido en tres compartimentos:

- Filtro ascendente (1.00 × 3.00 m)
- Almacenamiento (1.50 × 3.00 m), son 2

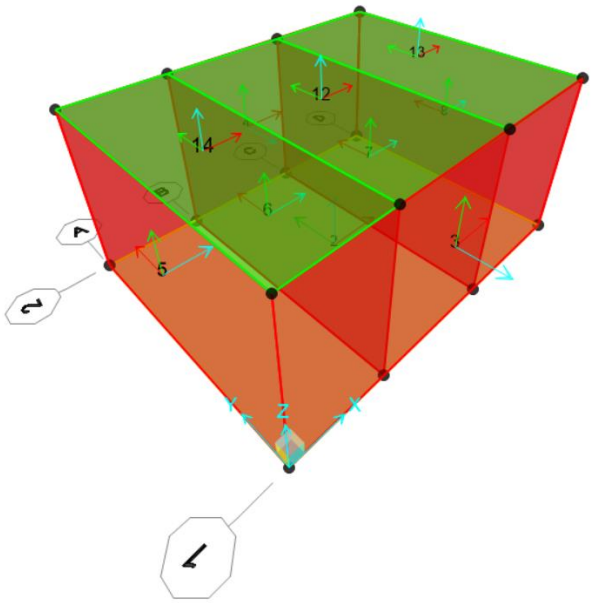
El diseño considera cargas de presión hidrostática, empuje de suelo, peso propio y cargas vivas sobre la losa superior, conforme a la **NSR-10 Titulo B.**

1.2. Parámetros generales

Parámetro	Valor
Dimensiones del tanque	4.00 m × 3.00 m × 2.00 m
Espesor de muros y losa	15 – 20 cm
Recubrimiento	60 mm
Concreto (f'c)	28 MPa
Acero de refuerzo (fy)	420 MPa
Altura útil perpendicular al plano del muro (d)	90 mm

1.3. Modelo estrucutural

- Software: **SAP2000**
- Tipo de elementos: **Shell-thin**
- Empotramiento: nudos de la base completamente restringidos



Cargas consideradas:

- **Carga viva: 4.0 kN/m² sobre la tapa**
- **Empuje de agua: presión hidrostática en muros internos y externos**

La presión ejercida por una lámina de agua es una carga triangular creciente con la profundidad, dada por:

$$p(z) = \gamma_w \cdot z$$

Donde:

- ***p(z):*** presión en profundidad (kN/m²)
- ***γw*:** peso específico del agua = **9.81 kN/m³**
- z: profundidad desde la superficie libre del agua (m)

$$p_{\text{máx}} = 9.81 \cdot 1.90 = \boxed{18.64\ \text{kN/m}^2}$$

- **Empuje de suelo: carga lateral equivalente tipo de suelo**

La presión de tierra depende de:

- Profundidad z
- Peso específico del suelo γ_S (típico: 18 kN/m³ en depósitos aluviales)
- Coeficiente de presión de tierra: K_0

Para el diseño de tanques enterrados (sin desplazamiento lateral significativo), se usa típicamente:

$$p(z) = K_0 \cdot \gamma_s \cdot z$$

Parámetro	Valor empleado
γ_S	18 kN/m³
K_0	0.5 (suelo normalmente consolidado)

$$p_{\text{máx}} = 0.5 \cdot 18 \cdot 2 = \boxed{18.0\ \text{kN/m}^2}$$

Ambas presiones alcanzan valores máximos similares (18 kN/m²) en la base del muro, generando empujes laterales que fueron modelados en SAP2000 como cargas lineales distribuidas en los elementos tipo shell

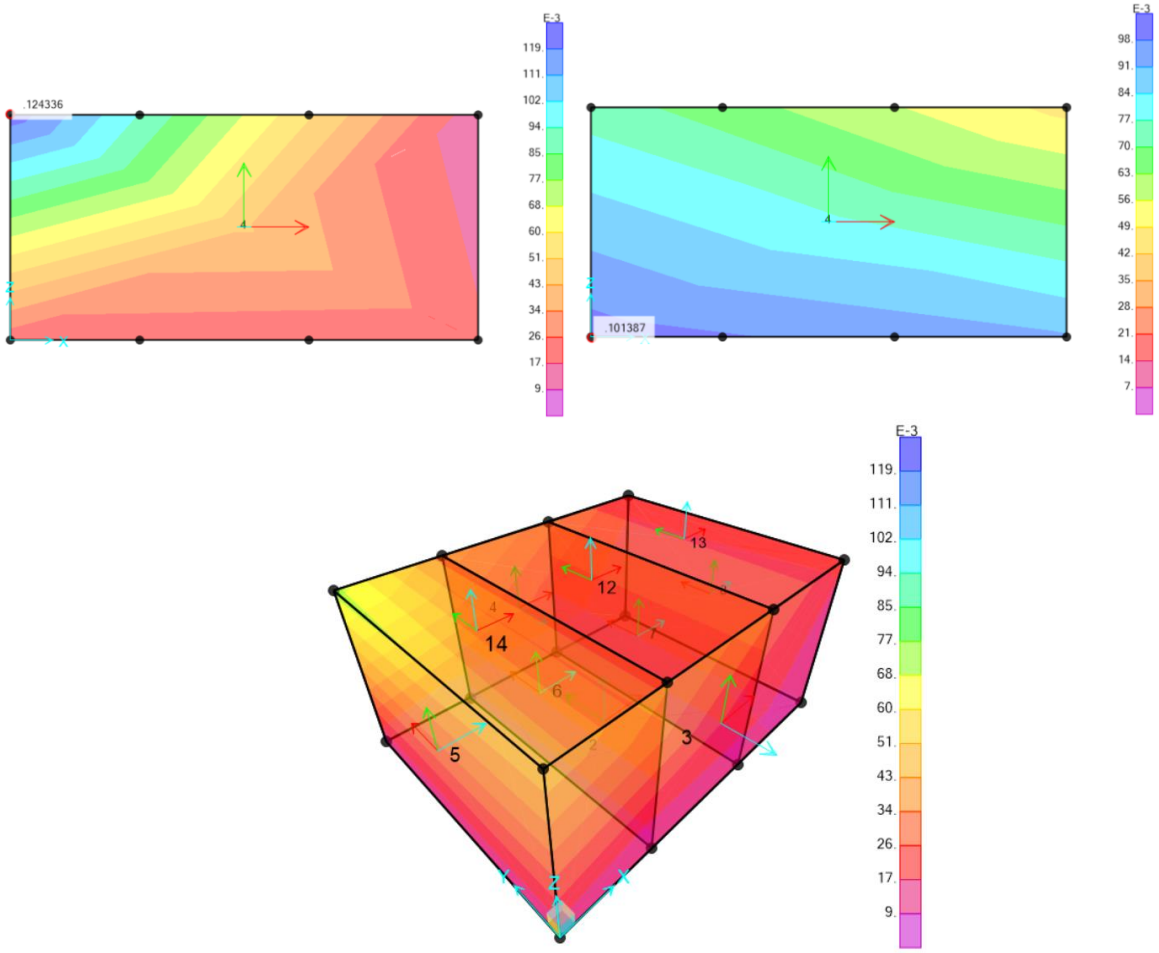
- **Cargas sísmicas: espectro de respuesta de aceleraciones según microzonificación sismica de Bogotá.**
- **Combinaciones de carga según NSR 10 título B**



1.4. Análisis a flexión

Derivado del análisis ejecutado por el software estructural se obtiene que los resultados de momentos en las dos direcciones paralelas a la cara de los muros presentan valores máximos de:

Momento	Valor máx. (kN·m/m)	Elemento (AreaElem)
M11	0.1243	4
M22	0.1014	4



1.4.1. Cálculo de acero requerido

Se determinan las áreas de acero requeridas en cada dirección del muro, según la ecuación:

$$A_s = \frac{M_u \cdot 10^6}{\phi \cdot f_y \cdot d}$$

Donde:

As	Área de acero de refuerzo requerida (mm²)
Mu	Momento último aplicado (kN·m)
ϕi	Factor de reducción de resistencia (0.9 para flexión)
Fy	Límite elástico del acero (MPa)
D	Altura útil de la sección (mm)

Obteniendo así:

$$A_{s\,M11} = \frac{0.1243*10^6}{0.9*420*90} = 3.65\ mm^2/m$$ -> Refuerzo horizontal mínimo

$$A_{s\,M11} = \frac{0.1014*10^6}{0.9*420*90} = 2.98\ mm^2/m$$ -> Refuerzo vertical mínimo

1.4.2. Cuantías mínimas requeridas (NSR-10 C.14.3.2 y C.14.3.3)

Dirección	Cuantía mínima (ρ)	As requerido (mm²/m)
Vertical (ρ_a)	0.0012	180 mm²/m
Horizontal (ρ_t)	0.0020	300 mm²/m

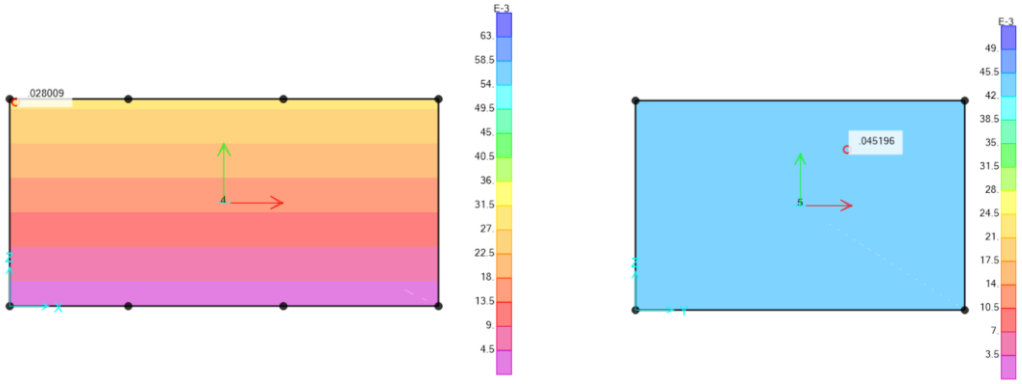
1.4.3. Acero de diseño

Se adopta refuerzo: Φ1/2" @ 20 cm en ambas direcciones (≈ 630 mm²/m), cumple con suficiencia.

1.5. ***Chequeo de solicitaciones por esfuerzo cortante***

Derivado del análisis ejecutado por el software estructural se obtiene que los resultados de esfuerzos cortantes en las dos direcciones paralelas a la cara de los muros presentan valores máximos de:

V13 max ≈ 0.028 kN/m **y** **V23 max ≈ 0.045 kN/m**



Según NSR 10 C.11.2.1 la resistencia al cortante proporcionada únicamente por el concreto en elementos no pre-esforzados se estima como:

$$\mathbf{V_c = 0.17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d} \qquad \text{(C.11-3)}$$

$V_c = 0.17 * 1 * \sqrt{28} * 1000 * 90 = 80.95\ kN/m$

Incluyendo el factor de reducción de resistencia al cortante definido como ϕ=0.75

$\phi V_c = \mathbf{0.75 * 80.95 = 60.71\ kN/m} \quad > \mathbf{0.045\ kN/m}$

De manera que el cortante que soportan las secciones de concreto son satisfactoriamente suficientes para satisfacer las solicitaciones de cortante obtenidas del análisis estructural.

*1.6. **Conclusiones***

El diseño estructural del tanque subterráneo cumple con los requisitos establecidos por la NSR-10, específicamente los contenidos en el Título C para elementos de concreto reforzado y los criterios de carga establecidos en el Título B y Título A para acciones permanentes y accidentales.

El tanque, con dimensiones de 4.00 m × 3.00 m × 2.00 m de profundidad y dividido en tres compartimentos (filtro y almacenamiento), fue modelado como un sistema de placas delgadas (elementos tipo *shell*) en SAP2000, con análisis considerando cargas de presión hidrostática, empuje de suelo, carga viva en la tapa, peso propio y carga sísmica mediante espectro de respuesta de Bogotá.

El análisis de momentos flectores demostró que los esfuerzos generados en los elementos estructurales son bajos. A pesar de esto, se adoptó un refuerzo uniforme de barras corrugadas Φ4 o ½" @15 cm en ambas caras y direcciones, el cual satisface las cuantías mínimas requeridas para muros estructurales según NSR-10 C.14.3.2 y C.14.3.3.

El chequeo a cortante se realizó conforme a lo establecido en NSR-10 C.11.2.1.1, determinando una resistencia de diseño del concreto de φV_n, frente a esfuerzos de cortante máximos obtenidos del análisis (Vmax), concluyéndose que la resistencia a cortante es completamente satisfactoria sin necesidad de refuerzo adicional transversal.

Se verificaron las presiones hidrostáticas internas (por una lámina de agua de 1.90 m) y las presiones laterales del suelo (hasta 2.00 m de profundidad), empleando un coeficiente de presión en reposo $K_0 = 0.5$ y un peso específico del suelo de $\gamma = 18$ kN/m³, coherentes con las condiciones geotécnicas típicas del suelo aluvial 200 de Bogotá.

El refuerzo adoptado permite una construcción sencilla, continua y funcional, garantizando resistencia estructural, durabilidad, y facilidad de inspección y mantenimiento mediante las escotillas superiores previstas.