

PROYECTO:

CONSTRUCCION DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA INSPECCION LA UNILLA DEL MUNICIPIO DEL RETORNO – DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE.

DISEÑO:

DISEÑO ESTRUCTURAL TANQUE FAFA

DIRIGIDO A:


MUNICIPIO DE EL RETORNO

FECHA:

SEPTIEMBRE DE 2025


CIUDAD:

EL RETORNO - GUAVIARE



LUIS FERNANDO GARCIA ORTIZ
Ingeniero Civil – Consultor
Especialista en Estructuras – UNal.
MSc, en Estructuras – A.I.U
M.P. 25202-198466 de Cundinamarca

Este documento cuenta con la versión original entregada, que solo se encuentra en la base de datos de la fuente autora. Cualquier modificación o anexo debe estar plasmada en dicha versión original con el visto bueno del autor. La información y resultados contenidos en este documento son exclusivas para este proyecto y no podrá ser extrapolada para otros proyectos.

	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUIS FERNANDO GARCIA ORTIZ**, Identificado con cedula de ciudadanía N° 86.086.308 expedida en Villavicencio, en calidad como **INGENIERO CIVIL, ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS**, con matrícula profesional N° 25202-198466 CND, Certifico que realice el diseño estructural de tanque para el proyecto "**CONSTRUCCION DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA INSPECCION LA UNILLA DEL MUNICIPIO DEL RETORNO – DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE**".

Este Diseño se realizó de acuerdo conforme a los requisitos de las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR – 10. Ley 400 de 1997 (modificada por la ley 1229 de 2008 y el decreto 019 de 2012), Decreto 926 del 9 de Marzo de 2010, Decreto 2525 del 13 de Julio de 2010, Decreto 092 del 17 de Enero de 2011, Decreto 340 del 13 de Febrero de 2012.

En consecuencia, de lo expresado en el párrafo anterior, asumo la responsabilidad del presente diseño, siempre y cuando se tengan en cuenta cada una de las especificaciones y recomendaciones estipuladas en este documento y sus planos anexos, en cualquier tipo de caso, situación o eventualidad que quiera presentarse, en que las obras a que hace referencia el presente diseño no se ejecuten conforme a lo estipulado por el mismo, no asumiré responsabilidad civil ni penal alguna.

La presente se expide a solicitud del interesado en el mes de septiembre de 2025.

Cordialmente,


LUIS FERNANDO GARCIA ORTIZ
 Ingeniero Civil Consultor
 Especialista en Estructuras – UNal.
 MSc, en Estructuras – A.I.U
 M.P. 25202-198466 CND



TABLA DE CONTENIDO

1.	<u>GENERALIDADES</u>	5
2.	DEFINICIONES, SIMBOLOS Y ABREVIATURAS	6
3.	<u>NORMAS APLICABLES</u>	6
4.	<u>CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION</u>	8
5.	<u>ALCANCE</u>	8
6.	<u>DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA</u>	9
7.	<u>DESCRIPCION GEOTECNICA</u>	9
8.	<u>MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD</u>	10
8.1	MATERIALES	10
8.3	COEFICIENTES DE SEGURIDAD	10
8.4	MODULO DE ELASTICIDAD	11
9.	<u>EVALUACION Y ANALISIS</u>	11
9.1	PARAMETROS SISMICOS	11
9.2	PARAMETROS SISMICOS SEGUN NSR-10	11
9.3	ESPECTRO DE ACELERACIONES DE DISEÑO	13
10.	<u>AVALUO DE CARGAS</u>	13
10.1	CARGA VIVA	13
10.2	CARGA MUERTA	13
10.3	DETERMINACION DE LA MASA TOTAL	13
10.4	CARGA HIDROSTATICA	14
10.5	EMPUJE DE TIERRAS	15
10.6	CARGA DE SISMO	15
11.	<u>FUERZA DINAMICA (ACI 350.3-06)</u>	17
12.	<u>SOLICITACIONES EN LA ESTRUCTURA</u>	20
12.1	COMBINACIONES DE CARGAS	20
12.2	COEFICIENTE DE MODIFICACION DE RESPUESTA R	21

<u>13.</u>	<u>MODELACION ESTRUCTURAL</u>	<u>22</u>
13.1	RESULTADOS DE MODELACION	22
13.2	ASIGNACION DE CARGAS EN MODELO	23
<u>14</u>	<u>DISEÑO DE MUROS Y PLACA</u>	<u>27</u>
<u>15.</u>	<u>CHEQUEO POR FISURACION</u>	<u>33</u>
<u>16</u>	<u>VERIFICACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE</u>	<u>34</u>
<u>17</u>	<u>REVISION DE FLOTACION DE LA CAMARA</u>	<u>35</u>
17.1	ESFUERZOS ACTUANTES SOBRE EL TERRENO	35
<u>18</u>	<u>RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS</u>	<u>36</u>

1. GENERALIDADES

DESCRIPCION: Se desea realizar el diseño estructural de un tanque de FAFA para PTAR, en la ciudad de el Retorno - Guaviare

UBICACIÓN: Este tanque de FAFA se va a ubicar en el departamento de el Guaviare, específicamente en el Municipio de el Retorno, como se muestra en el esquema:




2. DEFINICIONES, SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

F'_c	Resistencia especificada a la compresión del concreto, especificada en MPa o PSI.
f_y	Resistencia especificada a la fluencia del acero de refuerzo, especificada en MPa.
σ_T	Capacidad Portante del terreno, especificada según estudio de suelos del proyecto.
Aa	Coefficiente de aceleración pico efectiva.
Av	Coefficiente de velocidad pico efectiva.
Fa	Coefficiente de amplificación de aceleración en periodos cortos, debido a efectos del sitio.
Fv	Coefficiente de amplificación de aceleración en periodos intermedios, debido a efectos del sitio.
I	Coefficiente de importancia de la estructura.
Sa	Valor espectro de aceleraciones de diseño, fracción de la aceleración de la gravedad.
T	Periodo de vibración del sistema.
T_c	Periodo corto de vibración.
TL	Periodo largo de vibración.
FSc	Factor de seguridad, relación entre capacidad portante máxima permisible y actuante.
FSv	Factor de seguridad volcamiento, relación entre momentos generados por cargas verticales y momentos generados por cargas horizontales.
FSd	Factor de seguridad deslizamiento, relación entre cargas verticales y cargas horizontales.

3. NORMAS APLICABLES

NTC 30, 121, 321	Cemento Portland.
NTC 161	Barras y Rollos. Lisos y Corrugados de acero al carbono.
NTC 174	Agregados para Concreto.
NTC 245	Metalurgia. Barras de acero al carbono trabajadas en frio para hormigón reforzado.
NTC 248	Barras corrugadas de acero para concreto reforzado.
NTC 382	Plásticos. Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) clasificados según la presión (serie RDE).
NTC 396	Ensayo de consistencia o asentamiento del concreto.
NTC 454	Toma de muestra para ensayo.
NTC 673	Ensayo de compresión para cilindros de concreto.
NTC 550	Método para toma de muestras en concreto fresco.
NTC 1377	Fabricación y curado de cilindros de concreto.
NTC 1496	Elementos de fijación. Tornillos y pernos de cabeza cuadrada y hexagonal serie inglesa.

	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

NTC 1920	Acero Estructural al Carbón.
-------------	------------------------------


American Concrete Institute (ACI):

ACI 214	Evaluation of Strength Test Results of Concrete.
ACI 318	Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

American Society for Testing and Materials (ASTM):

ASTM A36	Standard Specification for Carbon Structural Steel.
ASTM A106	Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service.
ASTM A325	Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength.
ASTM C42	Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
ASTM C94	Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
ASTM C150	Standard Specification for Portland Cement.
ASTM C192	Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
ASTM A706	Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and plain Bars for Concrete Reinforcement.
ASTM A184	Standard Specification for Welded Deformed Steel Bar Mats for Concrete Reinforcement.
ASTM A18	Standard Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Plain, for Concrete.



	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

4. CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

Todos los materiales que se utilicen deben ser nuevos, de diseño normalizado, de primera calidad y libre de defectos y reparaciones.

A menos que se especifique lo contrario, todos los materiales utilizados para la construcción y los métodos de elaboración deben cumplir con los requisitos establecidos en la última revisión de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10 y Normas ICONTEC.

El contratista deberá cumplir estrictamente las disposiciones del código sustantivo del trabajo y del manual de seguridad industrial de construcción, del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

5. ALCANCE

CODIGOS Y NORMAS: El diseño estructural del tanque de FAFA en mención se realiza siguiendo los requisitos exigidos en las siguientes normas colombianas:

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
- Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS2000

Debido a que la NSR-10 es muy limitada respecto a estructuras de compartimientos estancos enterrados se siguen algunas recomendaciones y metodologías establecidas en las siguientes normas estadounidenses:

- Code requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-06) and commentary (350.3R-06)
- Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-06) and commentary (350.3R-06)

NOTA: SI BIEN ES CIERTO QUE LAS NORMAS ANTERIORMENTE MENCIONADAS PUEDEN ABARCAR EN FORMA GLOBAL LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE LA PRESENTE ESTRUCTURA, NINGUNA POR SI SOLA, INDICA TODOS LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LA MISMA, POR LO TANTO EN NINGUN MOMENTO DEBE PERDERSE DE VISTA QUE LA NSR-10 ES UNA NORMA, SI BIEN INCLUYE LO CONCERNIENTE A TANQUES Y COMPARTIMIENTOS ESTANCOS NO INCLUYE LOS EFECTOS SISMICOS RELACIONADOS AL AGUA, Y QUE EL ACI ES UNA GUIA INTERNACIONAL QUE NO ES LEGALMENTE VIGENTE EN COLOMBIA.

POR LO TANTO, EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO QUE SE SIGUE A CONTINUACION ES UNA SELECCIÓN DE LOS PRINCIPALES CAPITULOS DE LAS NORMAS MENCIONADAS Y QUE A JUICIO DEL DISEÑADOR SE HAN ESCOGIDO AQUELLOS QUE SE CONSIDERA, APLICAN ESPECIFICAMENTE AL COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN MENCIÓN.



6. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

CONCEPCION ESTRUCTURAL: La estructura está concebida con un sistema integral de muros de concreto reforzado con losa de cimentación. Para contener el volumen de agua, se emplea un sistema en muros estructurales de concreto reforzado, apoyado directamente sobre el suelo.

ZONA DE AMENAZA SISMICA: El sistema escogido consiste en muros de concreto Reforzado resistentes a momentos con capacidad Intermedia de disipación Alta (DMI) debido a que el departamento del Guaviare es zona de amenaza sísmica Baja. Se usará para los cálculos con la metodología de NSR-10, un valor de R de 2.5; y un valor de Ω 2.5

7. DESCRIPCION GEOTECNICA

ESTUDIO DE SUELOS	
INGENIERO DE SUELOS	HECTOR FERNANDO GARCIA SARAY
PERFIL DE SUELO	TIPO E
CAPACIDAD PORTANTE	35.36 Ton/m ²
COEFICIENTE DE BALASTRO	23.535 kN/m ³
COEFICIENTE PRESION DE TIERRAS Ka	0.361
COEFICIENTE PRESION DE TIERRAS Kp	2.77
ANGULO DE FRICCION Ø	28°
PESO UNITARIO DEL SUELO	1.70 g/cm ³

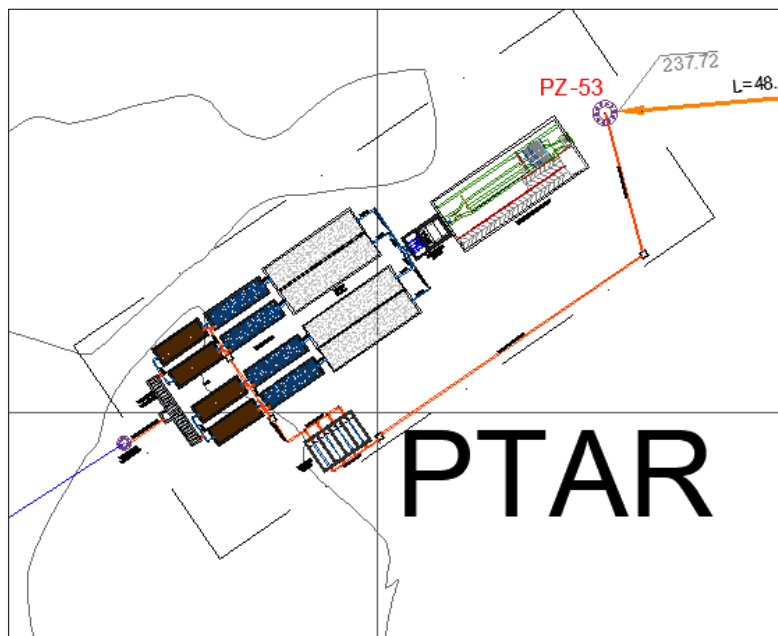



Imagen 1. Implantación Estructura de Tanque FAFA.

	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

8. MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

8.1 MATERIALES

- Concreto de Limpieza: $f_c = 14 \text{ MPa}$
- Concreto para Losas y muros: $f_c = 28 \text{ MPa}$
- Concreto para muros pantalla y Contención $f_c = 28 \text{ MPa}$
- Módulo de Elasticidad $3900\sqrt{f'_c}$

8.2 ACEROS DE REFUERZO

- Acero para barras de refuerzo $\phi \geq 3/8"$ $f_y = 420 \text{ MPa}$
- Acero para barras de refuerzo $\phi \leq 3/8"$ $f_y = 240 \text{ MPa}$
- Módulo de Elasticidad del Acero no preesforzado $f_y = 200.000 \text{ MPa}$

8.3 COEFICIENTES DE SEGURIDAD


- Secciones controladas por tracción $\phi = 0.90$
- Secciones controladas por compresión:
 - Elementos con refuerzo en espiral según C.10.9.3. $\phi = 0.75$
 - Otros elementos reforzados $\phi = 0.65$

Para las secciones en que la deformación unitaria neta a la tracción en el acero extremo a tracción en el estado de resistencia nominal, ϵ_t , se encuentra entre los límites para secciones controladas por compresión y las secciones controladas por tracción, se permite que ϕ aumente linealmente desde el valor correspondiente a las secciones controladas por compresión hasta 0.90, en la medida que ϵ_t aumente desde el límite de deformación unitaria controlado por compresión hasta 0.005.

En forma alternativa, cuando se usa el Apéndice C-B, para elementos en los cuales f_y no exceda 420 MPa, con refuerzo simétrico, y cuando $(d-d')/h$ no es menor de 0.7, se permite aumentar ϕ linealmente hasta 0.90 en la medida que ϕP_n disminuye de $0.10 f_c' A_g$ hasta cero. Para otros elementos reforzados ϕ puede incrementarse linealmente a 0.90 en la medida que ϕP_n disminuye desde $0.10 f_c' A_g$ o ϕP_b , el que sea menor, hasta cero.

- Cortante y torsión $\phi = 0.75$
- Aplastamiento en el concreto (excepto para anclajes de postensado y modelos puntal – tensor) $\phi = 0.65$



	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

8.4 MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad, E_c para un concreto de densidad normal puede tomarse como:

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 3900 \sqrt{28} = 20.636,86 \text{ MPa}$$

El módulo de elasticidad, E_s para el acero de refuerzo no preesforzado puede tomarse como 200.000 MPa.

9. EVALUACION Y ANALISIS

A continuación, se determinan parámetros sísmicos, cargas hidráulicas, fuerzas de sismo y demás aspectos necesarios para el análisis estructural.

Para el diseño se consideraron acción de las cargas muertas, vivas, sísmicas y presión hidráulica con sus respectivas combinaciones de carga según lo establecido en la Norma NSR-10.

Para el análisis se considera lo exigido en el título A, apéndice A-1 y literal C.23 de la NSR-10. Con dicha estructura se comprueba que las deflexiones horizontales y derivas que se presentan no sobrepasen los límites establecidos por la NSR-10.

Se verifica además de la capacidad de los elementos para resistir las cargas impuestas de acuerdo con los resultados del modelo matemático y las derivas que no sobrepasen lo exigido por el código NSR-10.

9.1 PARAMETROS SISMICOS

Los parámetros sísmicos que rigen la estructura se determinaron de acuerdo con la metodología establecida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente **NSR-10** en su título A, requisitos generales de diseño sismo resistente.

9.2 PARAMETROS SISMICOS SEGUN NSR-10

Los parámetros sísmicos que hacen referencia al suelo y tipo de suelo se toman de acuerdo con los recomendados en el estudio de suelos, y los demás parámetros que rigen la edificación se determinaron de acuerdo con la metodología establecida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente **NSR-10** en su título A, Requisitos generales de diseño sismo resistente. La gráfica, muestra el trazado del espectro de diseño según Título A.2.6 de NSR-10.



I. Localizacion y zona de Amenaza Sismica

Region	1	Figura A.2.3-3 NSR-10
Departamento	Guaviare	Ver Mapa de Colombia
Municipio	El Retorno	Ver Mapa de Colombia
Amenaza Sismica	Baja	Tabla A.2.3-2 NSR-10
Coeficiente de aceleración pico efectiva A_a	0.05	Tabla A.2.3-2 NSR-10
Coeficiente de velocidad pico efectiva A_v	0.05	Tabla A.2.3-2 NSR-10

II. Parametros del Perfil del Suelo

Tipo de Perfil	E	Tabla A.2.4-1 NSR-10
Coef. Ampl.zonas periodos cortos F_a	2.50	Tabla A.2.4-3 NSR-10
Coef. Ampl.zonas periodos interm F_v	3.50	Tabla A.2.4-4 NSR-10

III. Características de la Estructura

Grupo de Uso	Grupo IV	Cap. A.2.5.2
Coeficiente de Importancia I	1.50	Cap. A.2.5.2
Sistema Estructural en X	Otros sistemas basados en muros de gran Rigidez	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Sistema Estructural en Y	Otros sistemas basados en muros de gran Rigidez	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Capacidad de Disipacion de Energia	DMI	

IV. Periodo Aproximado y Espectro Elastico de Aceleraciones

Altura de Entrepiso H_p	3.50	m
Numero de Pisos N_p	1	
Altura total de la Estructura H_t	3.50	m

Periodo Aproximado en Direccion X

Coeficiente de periodo C_t	0.049	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Parametro para el calculo del periodo α	0.75	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Periodo fund. Aproximado $T=T_{ax}$ [s]	0.13	A.4.2.2 NSR-10

Periodo Aproximado en Direccion Y

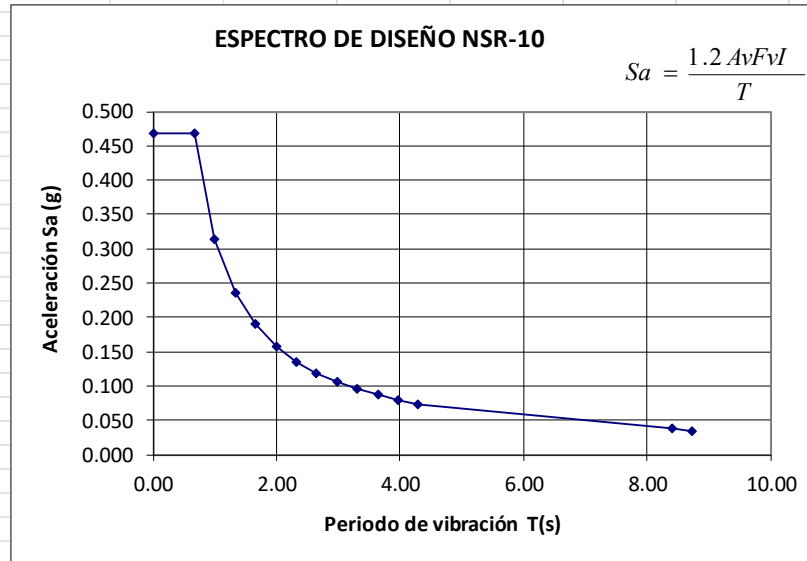
Coeficiente de periodo C_t	0.049	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Parametro para el calculo del periodo α	0.75	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Periodo fund. Aproximado $T=T_{ay}$ [s]	0.13	A.4.2.2 NSR-10

9.3 ESPECTRO DE ACELERACIONES DE DISEÑO

ESPECTRO SÍSMICO DE DISEÑO

Aa= 0.05
Av= 0.05
Fv= 3.5
Fa= 2.5
I= 1.50
TI= 8.4

T	Sa
0.00	0.469
0.67	0.469
1.00	0.314
1.33	0.236
1.66	0.190
1.99	0.158
2.32	0.136
2.65	0.119
2.98	0.106
3.31	0.095
3.64	0.086
3.97	0.079
4.30	0.073
8.40	0.038
8.73	0.035



10. AVALUO DE CARGAS

10.1 CARGA VIVA

De acuerdo a las especificaciones de diseño se utiliza $C_v = 5.0 \text{ kN/m}^2$, asumiendo un uso de carga generalizado para la placa.

10.2 CARGA MUERTA

El peso del concreto es igual a 2.400 kg/m^3 y las fuerzas por dicho peso son calculadas automáticamente por el programa de acuerdo con las dimensiones de los elementos modelados.

10.3 DETERMINACION DE LA MASA TOTAL

Para la determinación de la masa, se sigue la geometría establecida, en la fase de predimensionamiento, tomando distancia entre ejes y empleando un peso unitario de 1.0 Ton/m^3 para el agua y 2.4 Ton/m^3 para el concreto reforzado.

PESO	KN	TON
Agua	360.00	36.00
Muros	433.40	43.34
Tapa	82.40	8.24
Placa Fondo	123.60	12.36
TOTAL	999.40	99.94

10.4 CARGA HIDROSTATICA

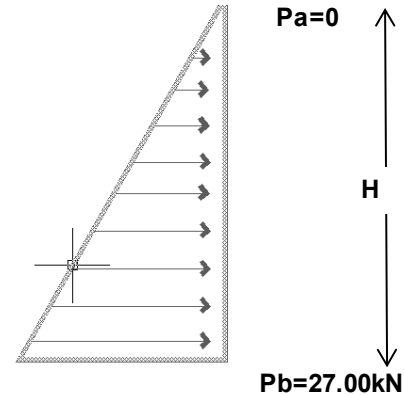
Para el caso de las cargas hidrostáticas actuantes en los tanques, se procede a calcular el volumen almacenado y la altura de la lámina de agua es cargada sobre la placa del tanque, en cuanto a los muros de calculan las variables C y D de la ecuación $Ax+By+Cz+D$ correspondiente a los JOINT PATTERNS para la aplicación de la carga.

PRESION HIDROSTATICA

Valores en la ecuación de joint patterns (SAP2000)

γ agua+lodos= 10 kN
 h promedio del tanque= 2.7 m
 Presion lateral= 27 kN

Fuerza Superior Pa= 0.00 kN
 Fuerza Superior Pb= 27.00 kN
 Altura Promedio H= 2.70 m
 Constante D= 27.00 kN
 Constante C= -10.0 kN



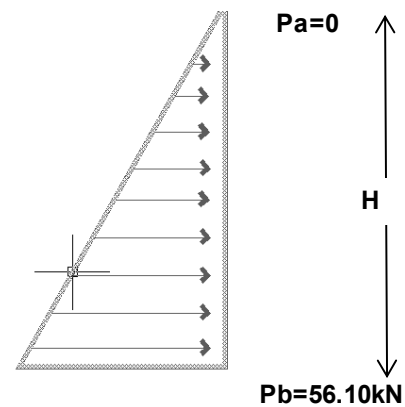
$$V = Ax + By + Cz + D$$

PRESION DEL SUELO


Valores en la ecuación de joint patterns (SAP2000)

γ suelo= 17 kN/m³
 h promedio del tanque= 3.3 m
 Presion lateral= 56.1 kN

Fuerza Superior Pa= 0.00 kN
 Fuerza Superior Pb= 56.10 kN
 Altura Promedio H= 3.30 m
 Constante D= 56.10 kN
 Constante C= -17.0 kN



$$V = Ax + By + Cz + D$$

	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

10.5 EMPUJE DE TIERRAS

El empuje del terreno en la parte lateral depende de las características del terreno. Según los ensayos realizados, los parámetros geotécnicos del mismo son los siguientes:

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{sat}} &= 1.70 \text{ gr/cm}^3 = 17.00 \text{ kN/m}^3 \\ \phi &= 28^\circ\end{aligned}$$

Según los cálculos realizados en el estudio de suelos el coeficiente de empuje activo es de $K_a = 0.361$

El empuje del terreno es una carga distribuida de forma triangular, cuya base está dada por la expresión:

$$P_{\text{terr}} = k_a * H * \gamma_{\text{sat}} = 0.361 * 3.30 * 17.00 = 20.25 \text{ kN/m}^2$$

Según los cálculos realizados en el estudio de suelos el coeficiente de empuje en reposo es de $K_o = 0.461$

$$P_o = k_o * H * \gamma_{\text{sat}} = 0.461 * 3.30 * 17.00 = 25.86 \text{ kN/m}^2$$

Dónde:

P_{terr} : Presión del terreno (kN/m^2)
 k_a : Coeficiente de empuje activo (-)
 H : Profundidad (m)
 γ_{sec} : Peso seco (kN/m^3)

10.6 CARGA DE SISMO

Sismo por empuje de tierras

La carga de sismo en el tanque se expresa como una carga dinámica de empuje de tierra, la cual se puede expresar como un empuje de presión dinámica con las ecuaciones de Mononobe-Okabe:

$$\left\{ \begin{array}{c} K_{ae} \\ K_{pe} \end{array} \right\} = \frac{\sin^2(\alpha_i \pm \theta \mp \phi)}{\cos \theta \sin^2 \alpha_i \sin(\alpha_i \pm \theta \pm \delta) \left[1 \pm \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi \mp \beta_i - \theta)}{\sin(\alpha_i \pm \theta \pm \delta) \sin(\alpha_i - \beta_i)}} \right]^2}$$

Los valores de las variables son:

CARGAS SÍSMICAS EN TANQUES MONONOBE-OKABE

PARAMETROS DE ENTRADA

Ángulo entre la base y la cara del muro	α_i :	90 °
Ángulo de la resultante	θ :	0 °
Ángulo de fricción del terreno	ϕ :	28 °
Ángulo de las fuerzas con la normal de la cara del muro	δ :	0 °
Ángulo del terreno con la horizontal del muro.	β_i :	0 °

COEFICIENTES DE EMPUJE

Numerador A	A	0.78
Denominador B	B	1.00
Denominador C	C	2.16
Coeficiente de empuje activo por sismo	K_{ae}	0.36
Numerador A	A	0.78
Denominador B	B	1.00
Denominador C	C	0.28
Coeficiente de empuje pasivo por sismo	K_{pe}	2.77

CÁLCULO DE CARGAS

Altura del muro	Hm	3.3 m
Peso específico saturado	γ_{sat}	17 kN/m3
Fuerza de empuje activo	F_{ae}	33.4 kN/m
Longitud del muro	Lm	6 m
Fuerza total	Ft	200.5 kN
Número de nodos	N	4
Fuerza por nodo	Fn	50.1

Con estos parámetros el coeficiente de presión activa es $K_{ae} = 0.36$ La carga de sismo queda:

$$F_{ae} = K_{ae} * \frac{H^2}{2} * \gamma_{sat} = 0.36 * \frac{3.30^2}{2} * 17.00 = 33.32 \text{ kN/m}$$

Dónde:

Fae: Presión del terreno (kN/m2)
Kae: Coeficiente de empuje activo (-)

H: Profundidad (m)
ysat: Peso saturado (kN/m³)

El punto de aplicación se coloca al sesenta por ciento (60%) de la altura del muro.

Sismo por peso de la estructura

Debido a que el periodo fundamental de la estructura es un poco incierto, se adopta el mayor valor de aceleración espectral según la norma:

$$F_{e_{muro}} = Sa_{máx} * W_{muro} * I$$

$$Sa_{máx} = 2.5 A_a I$$

Dónde:

Fe Muro: Fuerza de sismo sobre el muro (T)

Sa máx.: Aceleración máxima de diseño

Aa: Aceleración pico efectiva según NSR-10

W muro: Peso del muro (T)

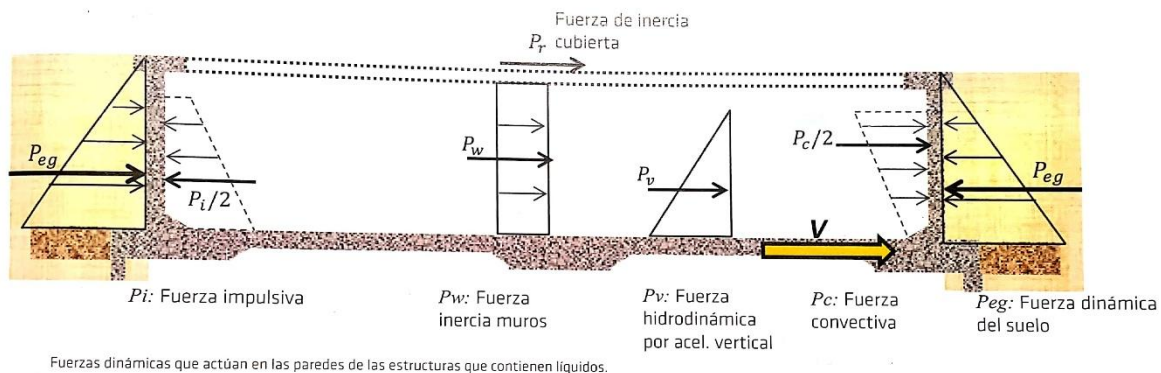
I: Coeficiente de importancia

Para el caso del Retorno Aa=0.05, El coeficiente de importancia se toma como el más alto I=1.50.

11. FUERZA DINAMICA (ACI 350.3-06)

El documento ACI 350.3-06 "Seismic Desing of liquid-Containing Concrete Structures and Commentary" tiene los procedimientos para el análisis y diseño sísmico de estructuras de concreto para contener líquidos. Se refiere al cálculo de las cargas para el diseño sísmico y su objetivo es complementar al ACI 350M-06.

Cuando el líquido está en reposo, la estructura está sometida a una presión hidrostática, la cual es máxima en el fondo y disminuye a medida que nos acercamos a la superficie. Pero las estructuras que van a contener líquidos, no deben diseñarse solamente para resistir esta presión.



$$V = \sqrt{[(P_w + P_r + P_i)2 + P_c^2 + P_{eg}^2 + P_v^2]}$$

Donde:

P_w: Fuerza inercia muros

P_r: Fuerza de inercia cubierta

P_i: Fuerza impulsiva

P_c: Fuerza convectiva

P_{eg}: Fuerza dinámica del suelo

P_v: Fuerza hidrodinámica por aceleración vertical

DATOS		
Dimension Ancho del Tanque	A [m]	2.60
Dimension Longitud del Tanque	L [m]	6.60
Altura del liquido Almacenado	Hl [m]	2.70
Altura del Tanque	Hw [m]	3.50
Espesor del Muro	tw [m]	0.30
Coefficiente de Importancia	I	1.25
Peso especifico del liquido almacenado	Yl [kN/m ³]	10
Peso especifico del Concreto	Yc [kN/m ³]	24
Valor de la gravedad	g [m/s ²]	9.81
Modulo de Elasticidad del Concreto	Ec [kN/m ²]	25000
Resistencia a compresion del Concreto	f'c [Mpa]	28
Resistencia a fluencia del Acero	fy [Mpa]	420
Tipo de Suelo		E
Ss		0.05
S1		0.05

Determinación de las propiedades dinámicas y del período impulsivo T_i.

Propiedades Dinamicas	
Wi/WI	0.80
Wc/WI	0.26
WI [kN]	999.4
Wi [kN]	800.21
Wc [kN]	262.89
Ww [kN]	2.1
mi/g [kN(m/s ²)]	15.69
mw/g [kN(m/s ²)]	0.04
m/g [kN(m/s ²)]	15.73

Deben calcularse además las alturas h_i , h_w . Para tanques cuya relación $\frac{h_i}{H_1} \geq 1,33$ la norma especifica:

$$\frac{h_i}{H_1} = 0,375$$

Luego, h_i puede calcularse como:

$$h_i = 0,375 \cdot H_1$$

Conocidos h_i y h_w , puede determinarse la altura promedio h :

$$h = \frac{h_w \cdot m_w + h_i \cdot m_i}{m_i + m_w}$$


Calculo del Periodo impulsivo T_i	
Relacion L/H1	2.44
h_i [m]	1.01
h [m]	1.15
K	32540.75
ω_i [rad/s]	45.49
T_i [s]	0.14

Determinación del período de vibración convectivo T_c .

Calculo del Periodo Convectivo	
λ	6.44
ω_c [rad/s]	2.51
T_c [s]	2.51

Determinación de los coeficientes de respuesta sísmica C_i , C_c y C_t .

Calculo Coeficientes de respuesta Sismica	
C_i	0.15
$1.6/T_s$	0.90
$T_c > (1.6/T_s)$	Verdadero
C_c	0.057
C_t	0.06

 INDESAM <small>CONSULTING GROUP S.A.S.</small>	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

Determinación de la aceleración espectral

Cálculo de la aceleración espectral	
C_t	0.02
Recomendación b_{min}	0.67
Factor de modificación de respuesta R_i	2.0
\ddot{U}_v	0.008
Relación $0.2 \cdot S_{DS}$	0.030
\ddot{U}_v Tomado para diseño	0.030

Cálculo de las fuerzas laterales dinámicas encima de la base del tanque.

Cálculo de fuerzas laterales y momentos	
$P_w/2A$ [kN/m]	0.024
M_w [kN.m/m]	0.030
$P_i/2L$ [kN/m]	5.68
M_i [kN.m/m]	6.39
$P_c/2L$ [kN/m]	0.95
M_c [kN.m/m]	0.21

12. SOLICITACIONES EN LA ESTRUCTURA

12.1 COMBINACIONES DE CARGAS

Las combinaciones de carga utilizadas para el diseño de las estructuras son:

COMB 1	1.4 D
COMB 2	1.2 D + 1.6 L + 1.6 H
COMB 3	1.2 D + 1.0 S_x + 0.3 S_y + 1.0 L
COMB 4	1.2 D + 1.0 S_y + 0.3 S_x + 1.0 L
COMB 5	0.9 D + 1.6 H
COMB 6	0.9 D + 1.0 S_x + 0.3 S_y + 1.6 H
COMB 7	0.9 D + 1.0 S_y + 0.3 S_x + 1.6 H
COMB 8	ENVOLVENTE

Por el tipo de estructura no se consideró incluir la carga de viento.

Combinaciones de Chequeo diseño cortante y flexión para estructura ambiental, según C.23-C.9.2, El coeficiente de durabilidad ambiental el cual está definido por:

$$S_d = \frac{\phi f_y}{\gamma f_s} \geq 1.0$$

$\Phi = 0.9$

F_y = Esfuerzo del Acero.

γ = Carga mayorada / Carga no mayorada.

Actualizado
22/09/2025

13. MODELACION ESTRUCTURAL

En el anexo se presentan los diagramas de momentos y cortantes críticos para cada una de las combinaciones de carga, para evaluar el refuerzo necesario en las respectivas secciones. Se incluyen los gráficos para los muros, la losa. Para los parámetros de diseño estructural se trabajó con una combinación tipo envolvente, la cual arroja los valores críticos de estas variables.

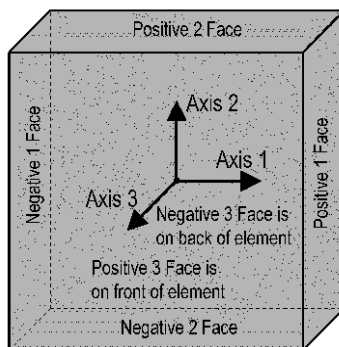
Los gráficos que se muestran son los más representativos en cuanto a solicitudes las que contienen las mayores, en los anexos se omitieron algunos resultados dada la gran cantidad de información producto de la subdivisión de shells que se realizó para obtener resultados óptimos.

13.1 RESULTADOS DE MODELACION

Debido a que se utilizaron elementos finitos para la modelación, se calculó la envolvente de las combinaciones de carga mencionadas para el diseño estructural. La convención de las fuerzas es la siguiente:

- **M11:** Momento flector por unidad de longitud actuando en la cara uno (1) alrededor del eje local dos (2).
- **M22:** Momento flector por unidad de longitud actuando en la cara dos (2) alrededor del eje local uno (1).
- **V13:** Cortante por unidad de longitud actuando en la cara uno (1) en la dirección del eje local tres (3).
- **V23:** Cortante por unidad de longitud actuando en la cara dos (2) en la dirección del eje local tres (3).

La numeración de los ejes locales en un elemento tipo shell es la siguiente:

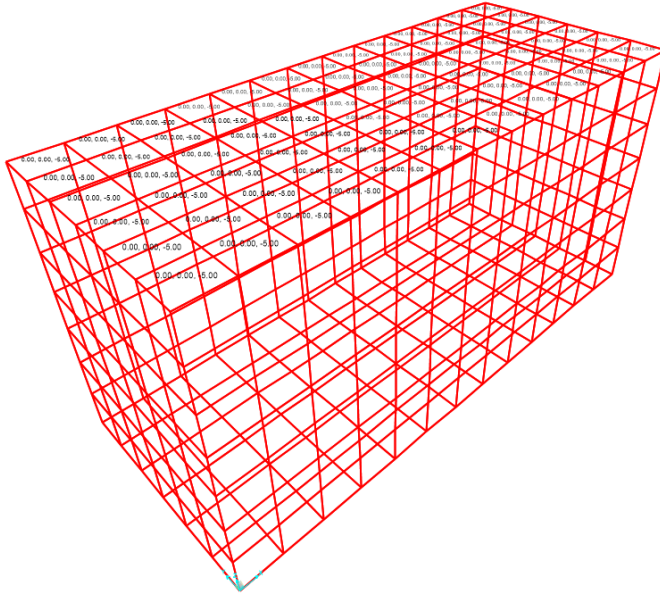


Modelo tanque tridimensional

13.2 ASIGNACION DE CARGAS EN MODELO

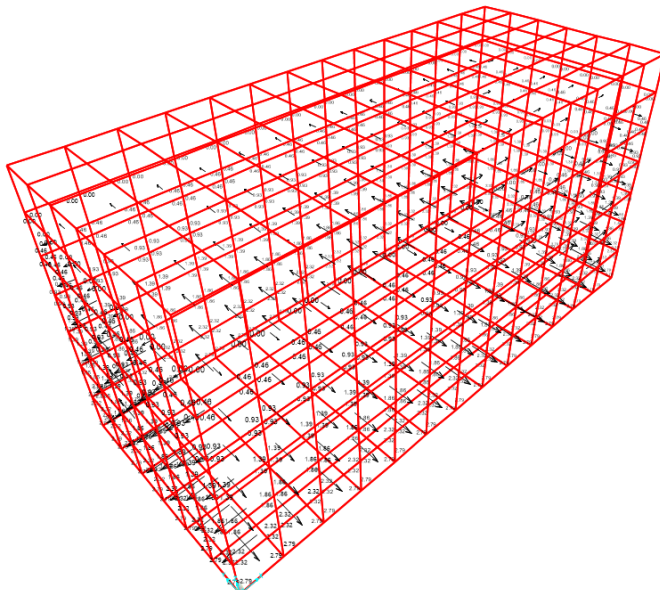
Carga Viva

Area Uniform (L) (GLOBAL)



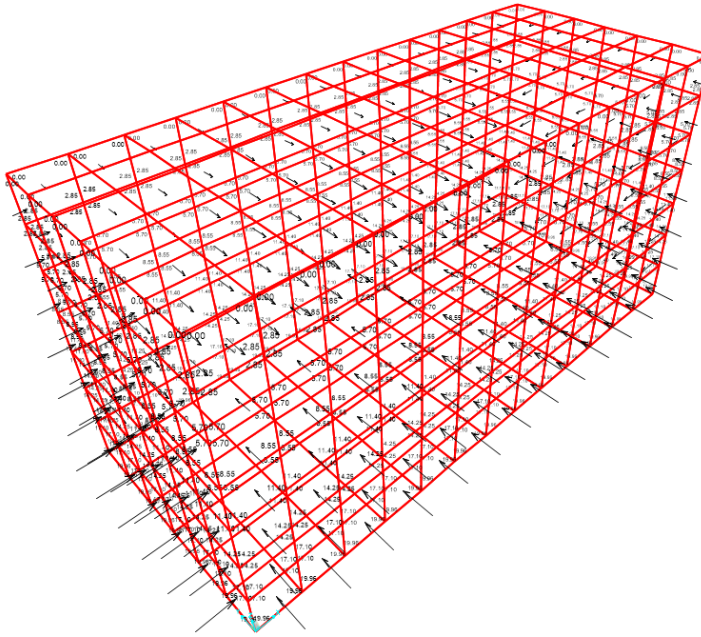
Empuje Hidrostatico

Area Surface Pressure - Face Top (Empuje Hidrostatico)



Empuje del Suelo

Area Surface Pressure - Face Bottom (Empuje Tierras Ka)



Asignacion de resortes en el Suelo

Area Springs

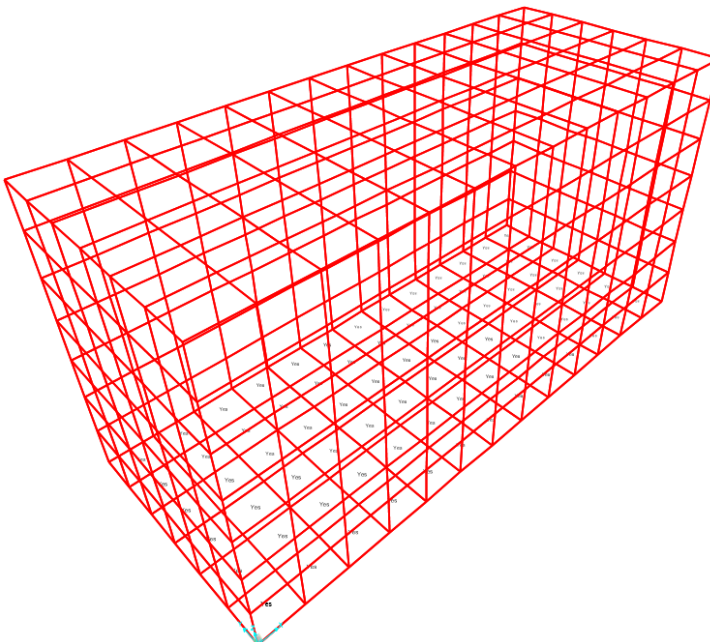


DIAGRAMA M11 ELEMENTOS TIPO SHELL – ENVOLVENTE DE DISEÑO

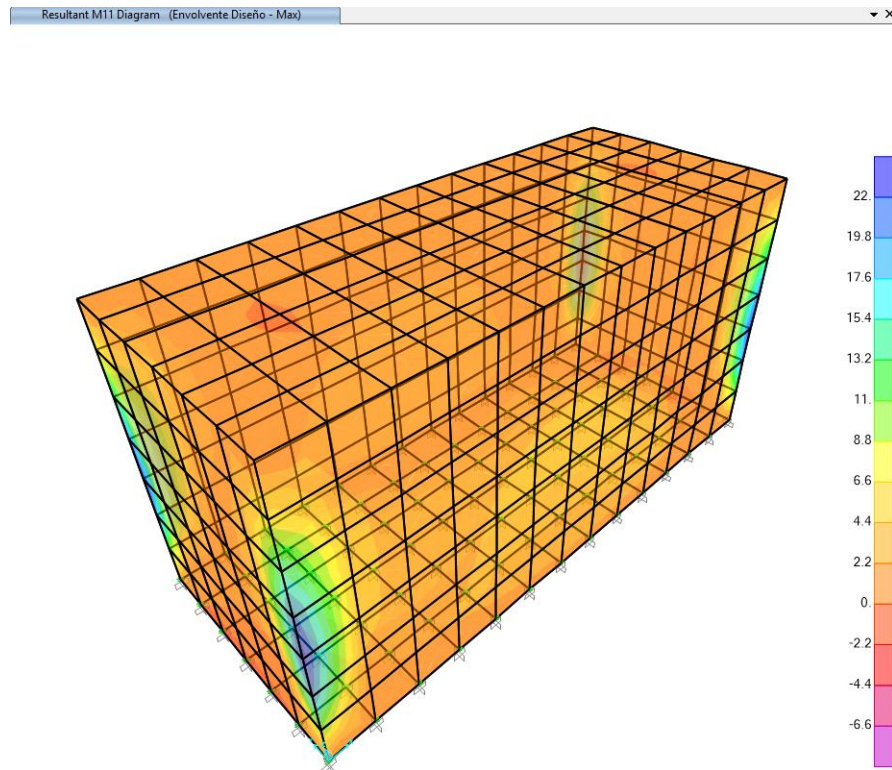


DIAGRAMA M22 ELEMENTOS TIPO SHELL – ENVOLVENTE DE DISEÑO

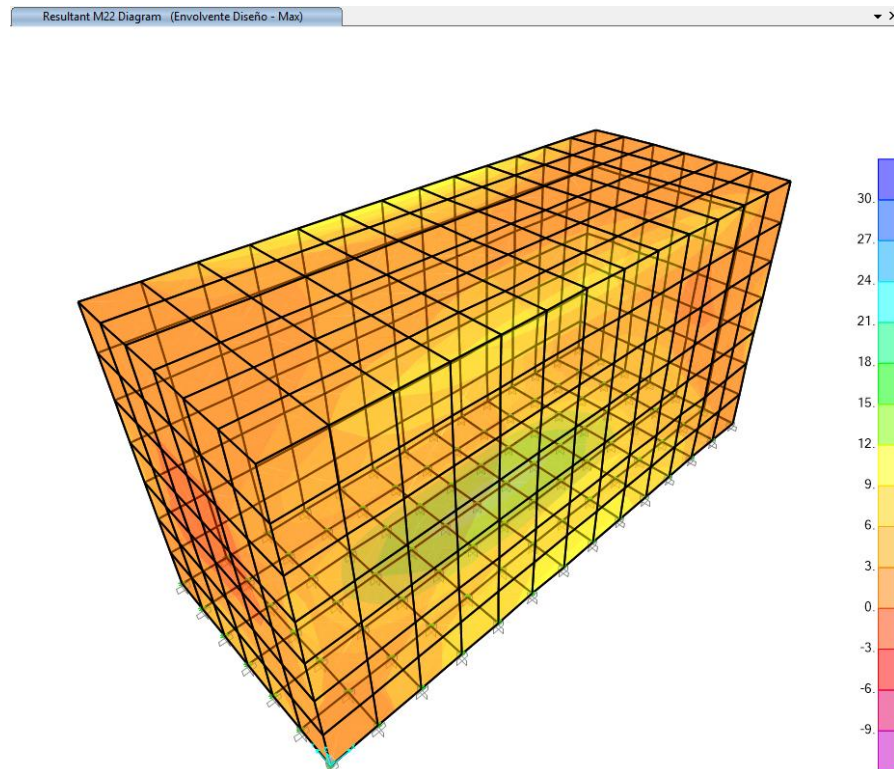


DIAGRAMA V13 ELEMENTOS TIPO SHELL – ENVOLVENTE DE DISEÑO

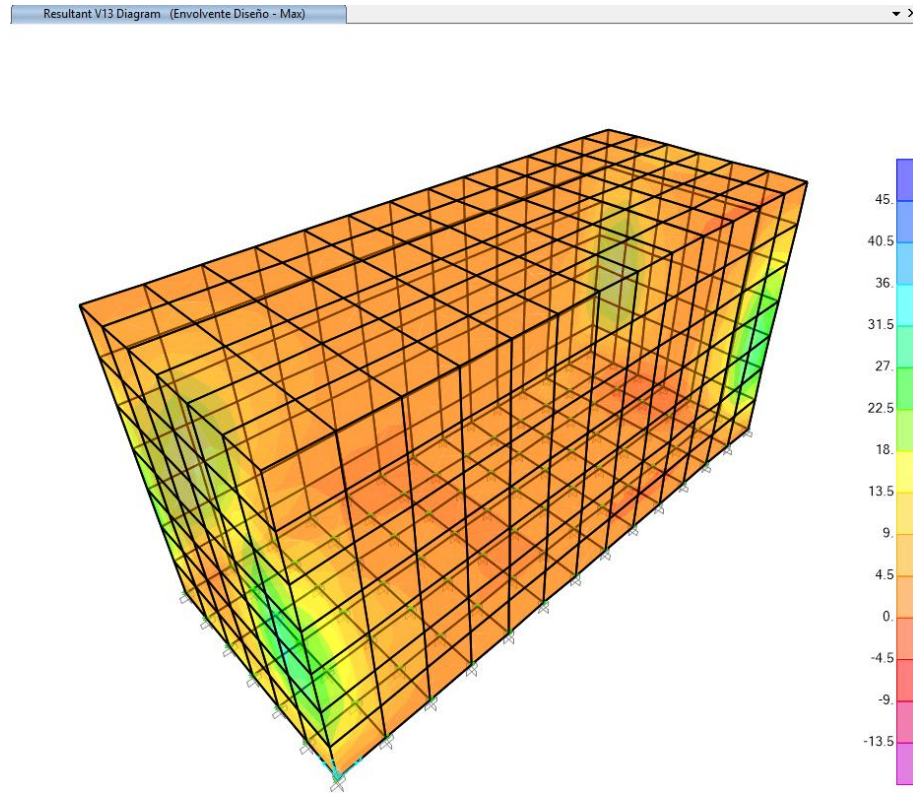
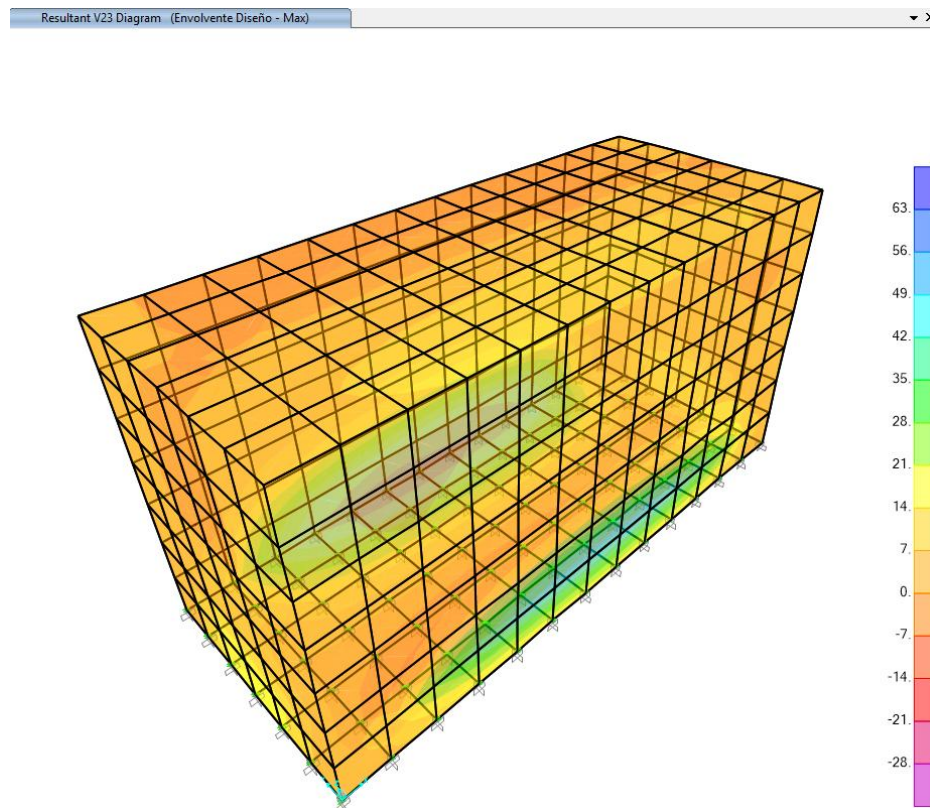
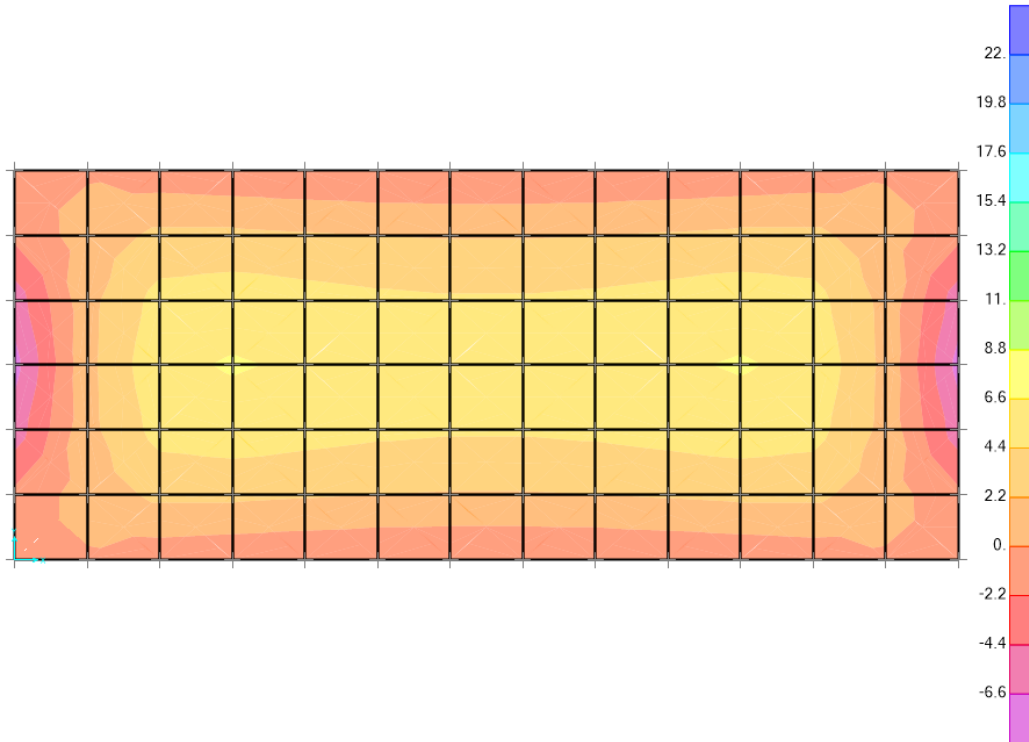


DIAGRAMA V23 ELEMENTOS TIPO SHELL – ENVOLVENTE DE DISEÑO



14 DISEÑO DE MUROS Y PLACA

REFUERZO DE PLACA DE CIMENTACION e=30 cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE1 CARA TOPE

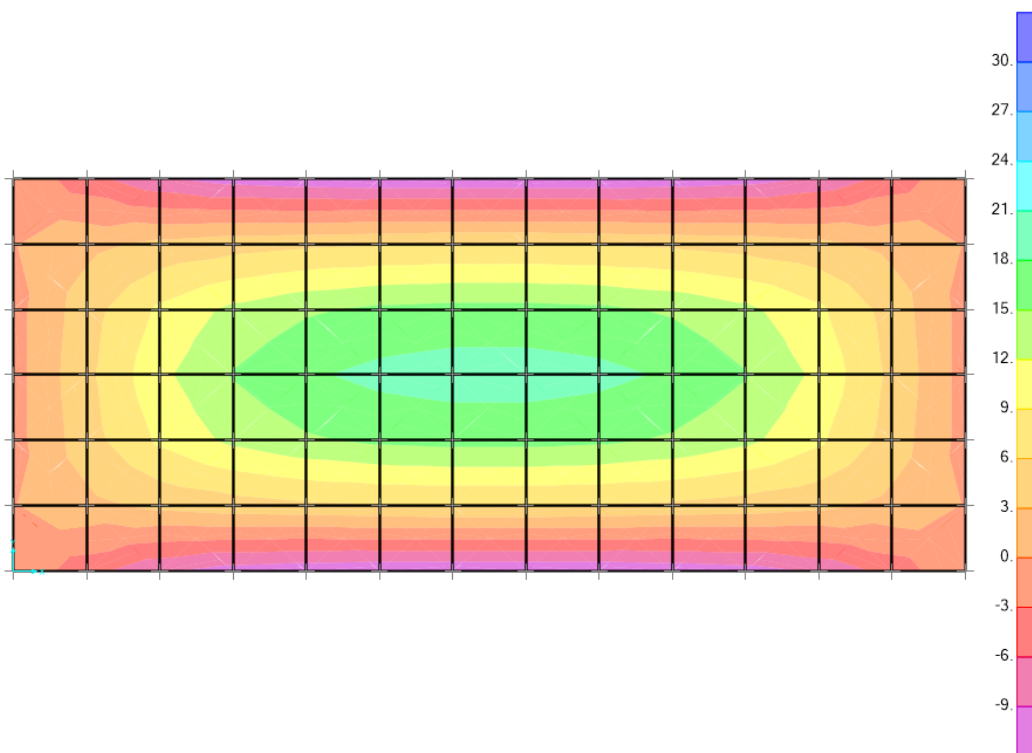
REFUERZO DE PLACA

$M_n = 7.34 \text{ kN.m}$
 $b = 1 \text{ m}$
 $h = 0.3 \text{ m}$
 $recub = 0.05 \text{ m}$
 $d = 0.25 \text{ m}$
 $f_c = 28 \text{ MPa}$
 $f_y = 420 \text{ MPa}$
 $Const = 0.0007$
 $\rho = 0.0003$
 $\rho_{min} = 0.0018$
 $\rho_{bal} = 0.0283$
 $\rho_{max} = 0.0212$
 $\rho_{dis} = 0.0018$
 $As_{var} = 0.71 \text{ cm}^2$
 $dia. Var = 3$
 $Num. Varillas = 7$
 $As_{req} = 4.50 \text{ cm}^2$
 $Espaciamiento = 15 \text{ cm}$
 $\rho_{real} = 0.001988$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 3 espaciadas cada 15 cm

REFUERZO DE PLACA DE CIMENTACION e=30 cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE2 CARA TOPE

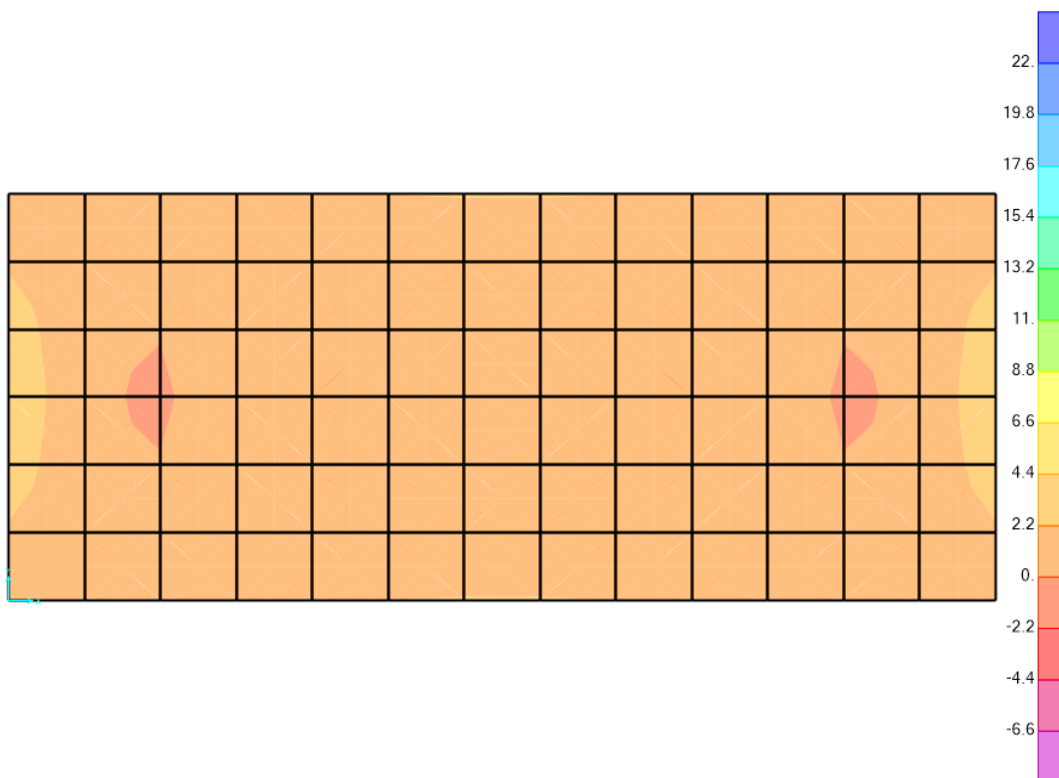
REFUERZO DE PLACA

$M_n = 19.38 \text{ kN.m}$
 $b = 1 \text{ m}$
 $h = 0.3 \text{ m}$
 $\text{recub} = 0.05 \text{ m}$
 $d = 0.25 \text{ m}$
 $f_c = 28 \text{ MPa}$
 $f_y = 420 \text{ MPa}$
 $\text{Const} = 0.0000$
 $\rho = 0.0008$
 $\rho_{\min} = 0.0018$
 $\rho_{\text{bal}} = 0.0283$
 $\rho_{\max} = 0.0212$
 $\rho_{\text{dis}} = 0.0018$
 $A_{\text{svar}} = 0.71 \text{ cm}^2$
 $\text{dia. Var} = 3$
 $\text{Num. Varillas} = 7$
 $A_{\text{sreq}} = 4.50 \text{ cm}^2$
 $\text{Espaciamiento} = 15 \text{ cm}$
 $\rho_{\text{real}} = 0.001988$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 3 espaciadas cada 15 cm

REFUERZO DE PLACA (TAPA) $e=20$ cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE1 CARA TOPE

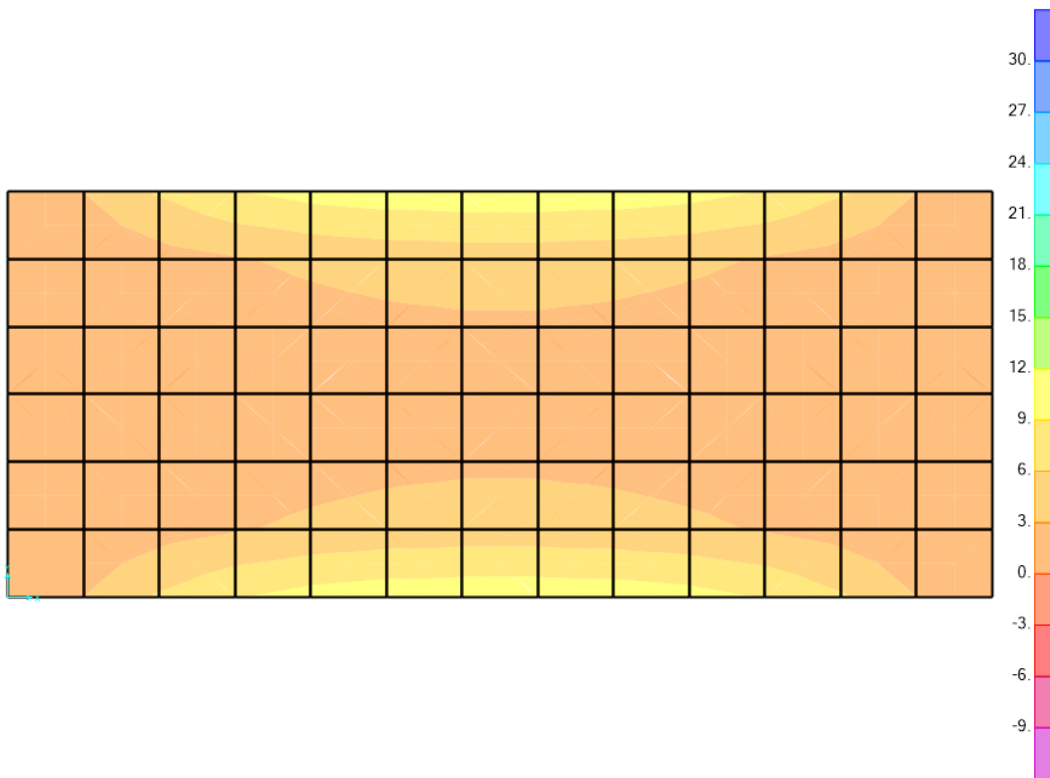
REFUERZO DE PLACA

$M_n = 11.05$ kN.m
 $b = 1$ m
 $h = 0.2$ m
 $recub = 0.05$ m
 $d = 0.15$ m
 $f_c = 28$ MPa
 $f_y = 420$ MPa
 $Const = 0.0000$
 $\rho = 0.0013$
 $\rho_{min} = 0.0018$
 $\rho_{bal} = 0.0283$
 $\rho_{max} = 0.0212$
 $\rho_{dis} = 0.0018$
 $As_{var} = 0.71$ cm²
 $dia. Var = 3$
 $Num. Varillas = 4$
 $As_{req} = 2.70$ cm²
 $Espaciamiento = 30$ cm
 $\rho_{real} = 0.001893333$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 3 espaciadas cada 30 cm

REFUERZO DE PLACA (TAPA) $e=20$ cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE2 CARA TOPE

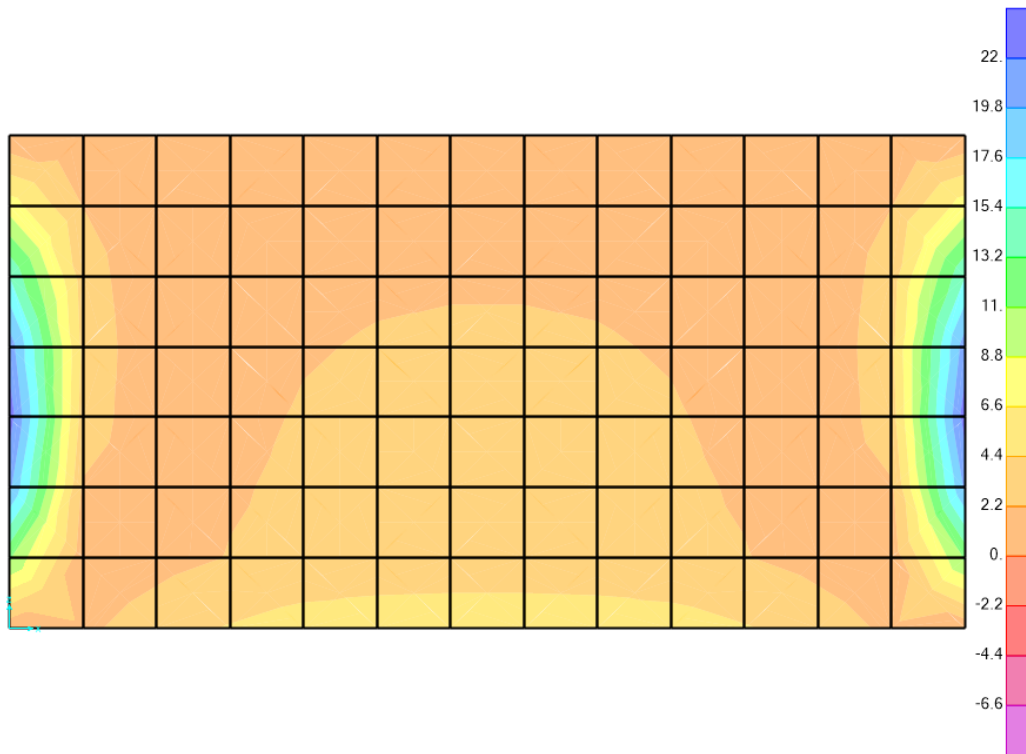
REFUERZO DE PLACA

$M_n = 4.24$ kN.m
 $b = 1$ m
 $h = 0.2$ m
 $recub = 0.05$ m
 $d = 0.15$ m
 $f_c = 28$ MPa
 $f_y = 420$ MPa
 $Const = 0.0000$
 $\rho = 0.0005$
 $\rho_{min} = 0.0018$
 $\rho_{bal} = 0.0283$
 $\rho_{max} = 0.0212$
 $\rho_{dis} = 0.0018$
 $As_{var} = 0.71$ cm²
 $dia. Var = 3$
 $Num. Varillas = 4$
 $As_{req} = 2.70$ cm²
 $Espaciamiento = 30$ cm
 $\rho_{real} = 0.00189333$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 3 espaciadas cada 30 cm

REFUERZO DE MUROS $e=30$ cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE1 CARA TOPE

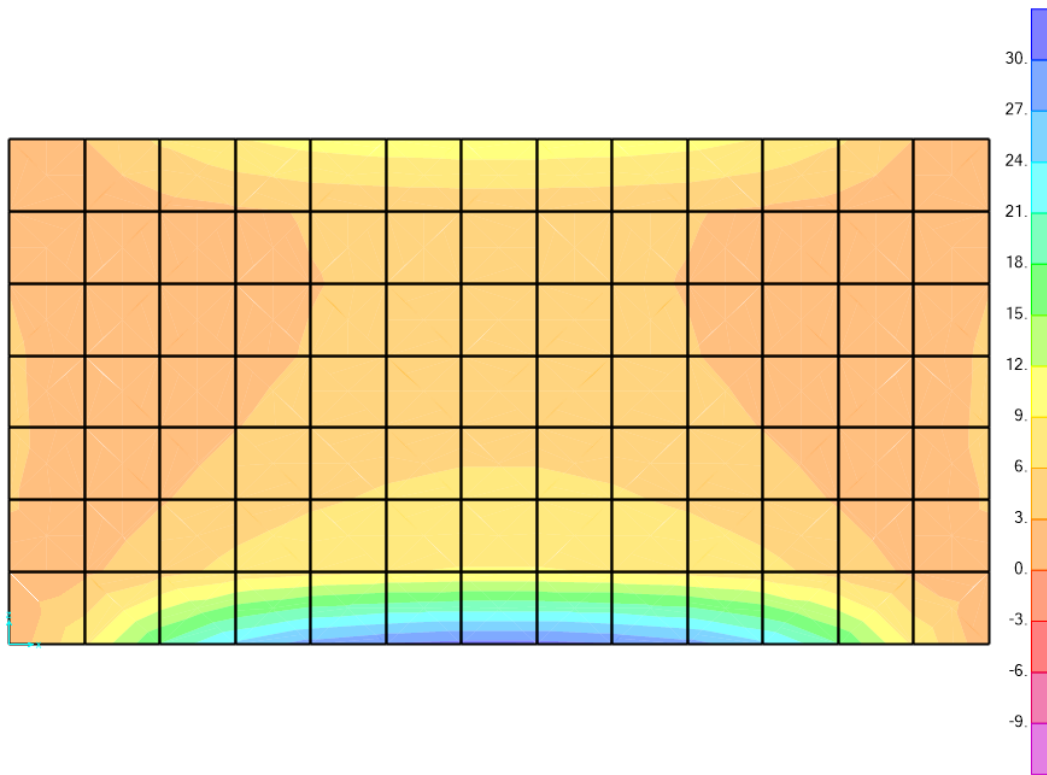
REFUERZO DE MURO

$M_n = 23.16$ kN.m
 $b = 1$ m
 $h = 0.3$ m
 $recub = 0.05$ m
 $d = 0.25$ m
 $f_c = 28$ MPa
 $f_y = 420$ MPa
 $Const = 0.0000$
 $\rho = 0.0010$
 $\rho_{min} = 0.0025$
 $\rho_{bal} = 0.0283$
 $\rho_{max} = 0.0212$
 $\rho_{dis} = 0.0025$
 $As_{var} = 1.29$ cm²
 $dia. Var = 4$
 $Num. Varillas = 5$
 $As_{req} = 6.25$ cm²
 $Espaciamiento = 22.5$ cm
 $\rho_{real} = 0.00258$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 4 espaciadas cada 22.5 cm

REFUERZO DE MUROS $e=30$ cm



REFUERZO EN LA DIRECCION EJE2 CARA TOPE

REFUERZO DE MURO

$M_n = 31.00$ kN.m
 $b = 1$ m
 $h = 0.3$ m
 $recub = 0.05$ m
 $d = 0.25$ m
 $f_c = 28$ MPa
 $f_y = 420$ MPa
 $Const = 0.0000$
 $\rho = 0.0013$
 $\rho_{min} = 0.0025$
 $\rho_{bal} = 0.0283$
 $\rho_{max} = 0.0212$
 $\rho_{dis} = 0.0025$
 $As_{var} = 1.29$ cm²
 $dia. Var = 4$
 $Num. Varillas = 5$
 $As_{req} = 6.25$ cm²
 $Espaciamiento = 22.5$ cm
 $\rho_{real} = 0.00258$

Cálculo de cuantía de diseño

varillas # 4 espaciadas cada 22.5 cm

15. CHEQUEO POR FISURACION

Cuando la resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo f_y , excede 300 MPa, las secciones transversales de máximo momento positivo y negativo deben dimensionarse de tal manera que el parámetro Z no exceda los 25 MN/m para concreto expuesto a la intemperie.

$$d = e - dc$$

$$A_s = A_{svar} * cantidad$$

$$X = \sqrt{\frac{A * X_c}{50}}$$

$$f_s = \frac{0.45 * f'_c * 100 * X}{A_s}$$

$$A = S * (2 * dc)$$

$$Z = f_s * (dc * A)^{\frac{1}{3}}$$

CONTROL DE FISURAS EN CONCRETO (PARAMETRO Z)			
Resistencia del Concreto.	$f'_c =$	2800	kg/cm ²
Resistencia del Concreto.	$f'_c =$	28	Mpa
Resistencia nominal a la fluencia del Acero.	$f_y =$	420	
Espesor del Muro.	$e =$	30	cm
Longitud del Muro.	$b =$	100	cm
Recubrimiento del Acero.	$dc =$	5	cm
Peralte, diferencia entre el espesor del muro y el recubrimiento.	$d =$	25	cm
Diametro del Acero.	$D =$	# 4	in
Area del Acero.	$A_{svar} =$	1.29	cm ²
Separacion entre Varillas.	$S =$	13	cm
Cantidad de varillas por metro.	Cantidad =	8	und
Area de Acero por metro de Muro.	$A_s =$	9.92	cm ²
X centroidal.	$X_c =$	25	cm
Distancia en la cual se evaluara la fisura	$A * X_c$	248.0769	
	$X =$	2.23	cm
esfuerzo en el Acero de refuerzo calculado a nivel de cargas de servicio (Mpa)	$f_s =$	2828.34	kg/cm ²
	$f_s =$	277.38	MPa
Control de fisuras	$A =$	130	cm ²
	$Z =$	2450.02	Mpa/mm
	$Z =$	24.50	MN/m

$$\begin{array}{rcl} Z & < & 25 \text{ MN/m} \\ 24.50 & < & 25 \text{ MN/m} \end{array}$$

Si cumple Control de Fisuras

16 VERIFICACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE

PESO DE LA ESTRUCTURA:

639.40 kN

SOBRE CARGA (Tanque lleno de Agua):

360.00 kN

SOBRE CARGA (Suelo):

0.00 kN

999.40 kN

CAPACIDAD DEL SUELO

353.60 kN/m²

AREA REQUERIDA:

2.83 m²

AREA DE ESTRUCTURA:

17.16 m²

"OK CUMPLE"

17 REVISION DE FLOTACION DE LA CAMARA

17.1 ESFUERZOS ACTUANTES SOBRE EL TERRENO

Area del fondo de la Camara

$$A_1 = L \times L = 17.16 \text{ m}^2$$

Evaluacion del peso de la Camara

Peso del Tanque vacio

Peso Total	999.40 kN
-------------------	------------------

Revision por Flotacion

$$FSF = \frac{W_s + W_c + S}{U - W_g}$$


Con $W_s =$
 $S =$
 $U =$
 $W_g =$
 $W_c =$

Peso de la estructura
Sobrecargas
Subpresión Fuerzas de levantamiento
Peso del agua sobre la estructura
peso del agua contenida en la estructura

FSF Condicion Usual

$$U = V \times \gamma_{\text{sat}} = 42.5$$


$$F.S.F = 23.52 \quad \text{Condicion OK}$$

	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

18 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

- Todo el equipo para transporte mezclado del concreto debe de estar limpio
- Todos los residuos se deben de retirar del lugar que va a ocupar el concreto.
- La parte interna de las formaletas debe de estar protegida.
- Refuerzo libre de grasa o cualquier otra sustancia no metálica que impida la adherencia con el concreto.
- Las juntas de construcción deben de limpiarse removiendo la lechada y agua estancada y humedecer antes de la otra fundida.
- El tiempo de mezclado debe de ser el suficiente para producir una mezcla homogénea sin llegar a producir segregación tiempo aprox., recomendado 1 min. y medio luego que todos los componentes estén dentro de la mezcladora a menos que con un tiempo inferior se llegue a la homogeneidad de la mezcla.
- Para evitar la segregación debida al exceso de manipulación de la mezcla esta se debe de realizar cerca del sitio de fundición.
- La velocidad de colocación debe de ser tal que el concreto se encuentra en estado plástico permitiéndole fluir entre las barras de refuerzo.
- No se debe de colocar el concreto que una vez mezclado se le adicione agua ni aquel que se someta a una nueva mezcla luego de su fraguado inicial. Excepto el visto bueno del supervisor.
- Una vez iniciado el proceso de fundición este debe culminarse hasta las juntas de construcción definidas en los planos o de acuerdo los requisitos de la NSR-10.
- El concreto exceptuando el de alta resistencia a temprana edad debe de mantenerse a una temperatura mayor a los 10° y húmedo para permitir su hidratación por lo menos durante los 7 primeros días contados a partir de su vaciado.
- Se debe cumplir estrictamente con los recubrimientos mínimos y con la altura útil "d" de la sección de cálculo.
- El agregado grueso debe de ser del mayor tamaño posible iniciando con un tamaño de 25 cm. sin que se exceda 1/5 de la menor dimensión entre caras de las formaletas o 1/3 del espesor de las losas o 3/4 de la separación libre mínima entre barras de refuerzo.
- En el diseño de la mezcla se debe de tener en cuenta las exigencias de la NSR-10 con respecto a la relación Agua/ cemento para este tipo de estructuras.
- Se deben de toma al menos dos cilindros no menos de una vez por día ni menos de una vez por cada 40 m³ o una vez por cada 200 m² de muro o losa.



	INGENIERIA DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES	Elaborado 22/09/2025
	ANALISIS ESTRUCTURAL	Actualizado 22/09/2025

- Si la estructura se construye en más de una etapa, se recomienda dejar una “mocheta” a nivel de cimentación de mínimo 80 cm de longitud para poder realizar los empalmes necesarios entre estructuras.

Cordialmente,



LUIS FERNANDO GARCIA ORTIZ

Ingeniero Civil – Consultor

Especialista en Estructuras – UNal.

MSc, en Estructuras – A.I.U

Especialista en Gerencia de Proyectos de Construcción e Infraestructura – U. Rosario

M.P. 25202-198466 de Cundinamarca

