

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Diseño de un reservorio circular de almacenamiento de  
agua potable de 2700 m<sup>3</sup> de capacidad en Lima**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional  
de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Carlos Miguel Rengifo Aliaga

**ASESOR:**

Ing. Diego Villagomez Molero

Lima, Setiembre, 2022

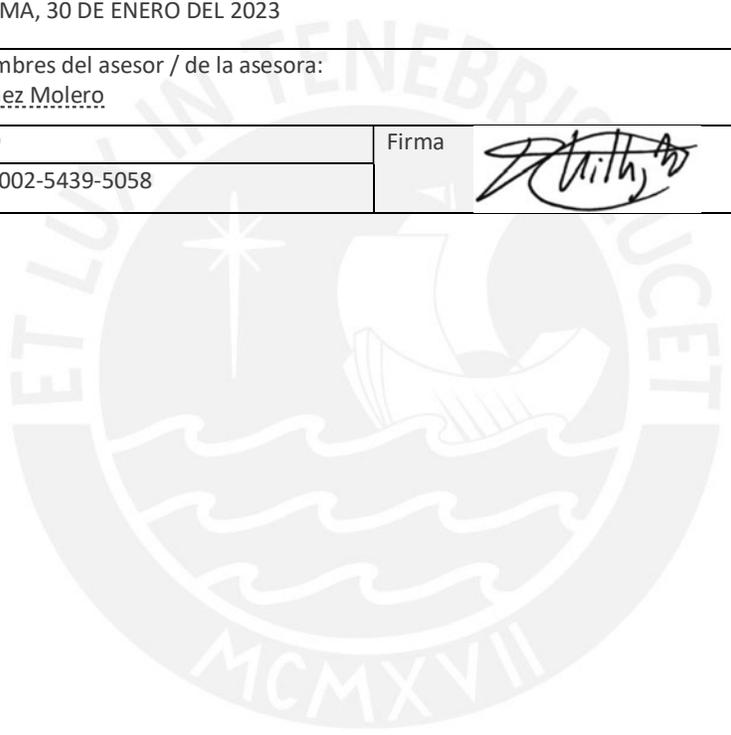
### Informe de Similitud

Yo, Diego Villagomez Molero, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado "Diseño de un reservorio circular de almacenamiento de agua potable de 2700 m3 de capacidad en lima" del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as) Carlos Miguel Rengifo Aliaga dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 20%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30/01/2023
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: LIMA, 30 DE ENERO DEL 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Diego Villagomez Molero</u>	
DNI: 40746149	Firma 
ORCID: 0000-0002-5439-5058	

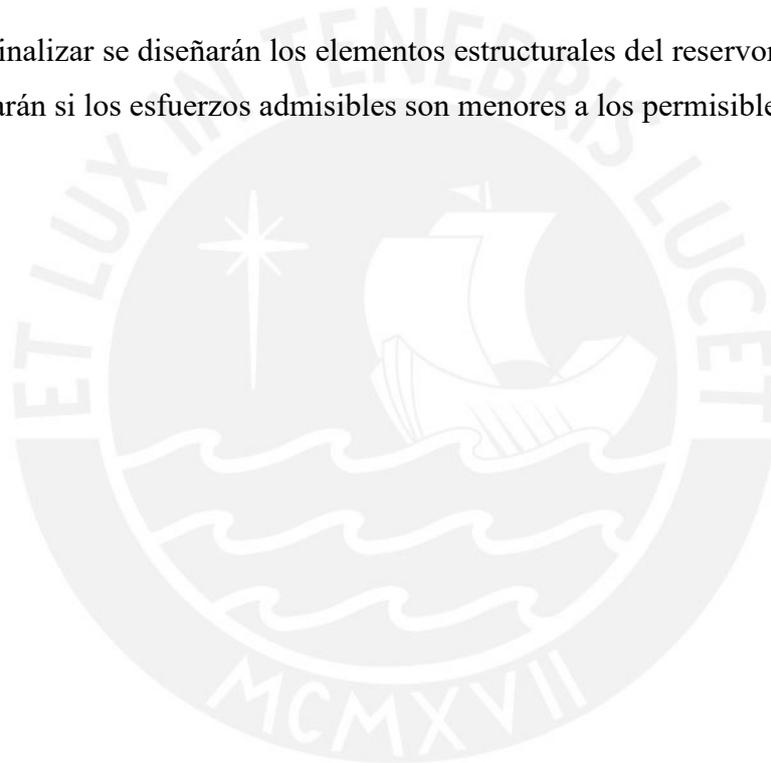


## RESUMEN

El trabajo escogido es un reservorio de almacenamiento de 2700 m<sup>3</sup> ubicado en el departamento de Lima.

Se realizará el predimensionamiento de la cúpula, viga anillo, pared cilíndrica y losa de fondo. Posteriormente se modelará el reservorio en el programa computacional SAP 2000. Finalmente, se realizará el análisis sísmico mediante el método estático.

Para finalizar se diseñarán los elementos estructurales del reservorio y se evaluarán si los esfuerzos admisibles son menores a los permisibles.



## ÍNDICE

<b>CAPITULO 1</b>	<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	1
1.3	REGLAMENTO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES .....	1
1.4	CARGAS A UTILIZAR .....	2
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>PREDIMENSIONAMIENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1	CÚPULA Y ANILLO ESFÉRICO .....	3
2.2	PARED CILÍNDRICA .....	7
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>MODELAMIENTO POR ELEMENTOS FINITOS</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>ANÁLISIS POR CARGAS DE SERVICIO</b> .....	<b>10</b>
4.1	CÚPULA .....	10
4.2	PARED CILÍNDRICA .....	11
4.3	VIGA ANILLO .....	13
4.4	LOSA DE FONDO .....	13
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO</b> .....	<b>15</b>
5.1	REPRESENTACIÓN DE LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS .....	15
5.2	CÁLCULO DE FUERZA CONVECTIVA E IMPULSIVA .....	16
5.3	DISTRIBUCIÓN EN ALTURA Y PLANTA DE FUERZA CONVECTIVA E IMPULSIVAS .....	18
5.4	CÁLCULO DE FUERZAS SÍSMICAS POR LA PROPIA MASA .....	20
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>ANÁLISIS POR CARGAS ÚLTIMAS</b> .....	<b>23</b>
6.1	CÚPULA .....	23
6.2	PARED CILÍNDRICA .....	24
6.3	VIGA ANILLO .....	27
6.4	LOSA DE FONDO .....	27
<b>CAPÍTULO 7</b>	<b>DISEÑO DE ELEMENTOS DEL RESERVORIO</b> .....	<b>31</b>

7.1	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO .....	31
7.2	DISEÑO DE CÚPULA .....	33
7.2.1	DISEÑO POR FLEXIÓN.....	33
7.2.2	DISEÑO POR CORTE.....	33
7.3	DISEÑO DE PARED CILÍNDRICA .....	33
7.3.1	DISEÑO POR FLEXIÓN.....	34
7.3.2	DISEÑO POR CORTE.....	34
7.3.3	DISEÑO POR TRACCIÓN .....	34
7.4	DISEÑO DE VIGA ANILLO.....	35
7.4.1	DISEÑO POR CORTE.....	36
7.4.2	DISEÑO POR TRACCIÓN .....	36
7.5	DISEÑO DE LOSA DE FONDO .....	36
7.5.1	DISEÑO POR FLEXIÓN.....	37
7.5.2	DISEÑO POR CORTE.....	37
<b>CAPÍTULO 8 CONTROL POR FISURACIÓN.....</b>		<b>39</b>
8.1	CONTROL DE FISURACIÓN POR FLEXIÓN .....	39
8.2	CONTROL DE FISURACIÓN POR TRACCIÓN .....	40
<b>CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES.....</b>		<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>42</b>
<b>ANEXO</b>	<b>43</b>	

## INDICE DE IMÁGENES, TABLAS, ECUACIONES Y GRÁFICOS

### TABLAS

Tabla 5.01. Factores de amplificación sísmica. ....	16
Tabla 5.02. Distribución polar y en altura de fuerza convectiva. ....	20
Tabla 5.03. Distribución polar y en altura de fuerza impulsiva. ....	20
Tabla 5.03. Factores de durabilidad. ....	22
Tabla 7.01. Cuantía mínima de acero. ....	32
Tabla 7.02. Diseño por flexión de cúpula. ....	33
Tabla 7.03. Diseño por corte de cúpula. ....	33
Tabla 7.04. Diseño por flexión de pared cilíndrica. ....	34
Tabla 7.05. Diseño por corte de pared cilíndrica. ....	34
Tabla 7.06. Diseño por tracción de pared cilíndrica. ....	35
Tabla 7.08. Diseño por corte de viga anillo. ....	36
Tabla 7.09. Diseño por tracción de viga anillo. ....	36
Tabla 7.10. Diseño por flexión de losa de fondo. ....	37
Tabla 7.11. Diseño por corte de losa de fondo. ....	38

### IMÁGENES

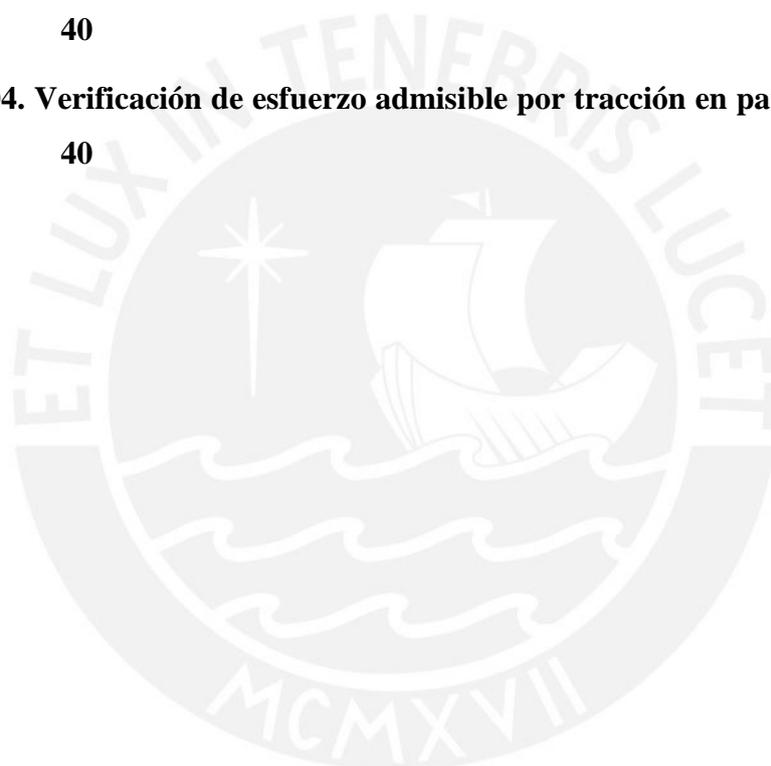
Imagen 2.01. Cálculo de flecha del casquete esférico. ....	3
Imagen 2.02. Fuerzas actuantes en la cúpula. ....	5
Imagen 2.03. Dimensiones del reservorio cilíndrico. ....	8
Imagen 3.01. Modelo computacional del reservorio. ....	9
Imagen 4.01. Momento flector en servicio en cúpula. ....	10
Imagen 4.02. Tracción anular en servicio en cúpula. ....	11
Imagen 4.03. Momento flector en servicio de pared cilíndrica. ....	11
Imagen 4.04. Fuerza cortante en servicio de pared cilíndrica. ....	12

<b>Imagen 4.05. Fuerza anular en servicio de pared cilíndrica.....</b>	<b>12</b>
<b>Imagen 4.06. Fuerza anular en servicio de viga anillo. ....</b>	<b>13</b>
<b>Imagen 4.07. Momento flector en servicio de losa de fondo. ....</b>	<b>13</b>
<b>Imagen 4.08. Fuerza cortante en servicio de losa de fondo. ....</b>	<b>14</b>
<b>Imagen 5.01. Distribución en altura de fuerza convectiva e impulsiva. ....</b>	<b>18</b>
<b>Imagen 5.02. Distribución polar de fuerza convectiva e impulsiva. ....</b>	<b>19</b>
<b>Imagen 5.03. Distribución en altura y polar de fuerza convectiva e impulsiva. ....</b>	<b>20</b>
<b>Imagen 6.01. Momento flector último en cúpula. ....</b>	<b>23</b>
<b>Imagen 6.02. Fuerza cortante última en cúpula. ....</b>	<b>24</b>
<b>Imagen 6.03. Tracción anular última en cúpula. ....</b>	<b>24</b>
<b>Imagen 6.04. Momento flector máximo positivo último en pared cilíndrica. ....</b>	<b>25</b>
<b>Imagen 6.05. Momento flector máximo negativo último en pared cilíndrica. ....</b>	<b>25</b>
<b>Imagen 6.06. Fuerza cortante última en pared cilíndrica.....</b>	<b>26</b>
<b>Imagen 6.07. Tracción anular última en pared cilíndrica. ....</b>	<b>26</b>
<b>Imagen 6.07. Tracción anular última en pared cilíndrica. ....</b>	<b>27</b>
<b>Imagen 6.08. Tracción anular última en viga anillo.....</b>	<b>27</b>
<b>Imagen 6.09. Momento flector M11 positivo último en losa de fondo. ....</b>	<b>28</b>
<b>Imagen 6.10. Momento flector M11 negativo último en losa de fondo. ....</b>	<b>28</b>
<b>Imagen 6.11. Momento flector M22 positivo último en losa de fondo. ....</b>	<b>29</b>
<b>Imagen 6.12. Momento flector M22 negativo último en losa de fondo. ....</b>	<b>29</b>
<b>Imagen 6.13. Cortante última V12 último en losa de fondo. ....</b>	<b>30</b>
<b>Imagen 6.14. Cortante última V23 última en losa de fondo. ....</b>	<b>30</b>
<b>Imagen 7.01. Diseño de cúpula. ....</b>	<b>33</b>
<b>Imagen 7.02. Diseño de pared cilíndrica. ....</b>	<b>35</b>
<b>Imagen 7.03. Diseño de viga anillo. ....</b>	<b>36</b>
<b>Imagen 7.04. Diseño de losa de fondo. ....</b>	<b>38</b>

## ECUACIONES

Ecuación 2.01. Cálculo de radio del casquete esférico. ....	4
Ecuación 2.02. Ángulo tangencial entre viga anillo y cúpula. ....	4
Ecuación 2.03. Peso propio de la cúpula.....	5
Ecuación 2.04. Cálculo de fuerza axial en cúpula.....	6
Ecuación 2.05. Verificación en cúpula de esfuerzo de compresión. ....	6
Ecuación 2.06. Cálculo de tracción anular en viga anillo. ....	6
Ecuación 2.07. Área tentativa para viga anillo. ....	6
Ecuación 2.08. Cálculo de espesor de pared cilíndrica. ....	7
Ecuación 5.01. Cálculo del periodo convectivo. ....	15
Ecuación 5.02. Cálculo de la masa impulsiva.....	17
Ecuación 5.03. Cálculo de la masa convectiva. ....	17
Ecuación 5.04. Ubicación de la fuerza impulsiva.....	17
Ecuación 5.05. Cálculo de la masa convectiva. ....	18
Ecuación 5.06. Cálculo del coeficiente dinámico. ....	21
Ecuación 5.07. Fuerza sísmica convectiva e impulsiva.....	18
Ecuación 5.08. Distribución de fuerza convectiva en altura.....	19
Ecuación 5.09. Distribución de fuerza inductiva en altura.....	19
Ecuación 5.10. Peso de paredes cilíndricas. ....	21
Ecuación 5.11. Peso de cúpula. ....	21
Ecuación 5.12. Fuerzas sísmicas inerciales.....	21
Ecuación 5.13. Distribución en altura de fuerza sísmica por peso propio de pared cilíndrica. ....	22
Ecuación 5.14. Distribución en altura de fuerza sísmica por peso propio de pared cilíndrica. ....	22
Ecuación 7.01. Metodología de diseño por resistencia por flexión.....	31
Ecuación 7.02. Metodología de diseño por resistencia por corte. ....	31

<b>Ecuación 7.03. Metodología de diseño por resistencia por tracción. ....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 7.04. Resistencia al corte del concreto.....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 7.05. Cuantía de acero por flexión.....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 7.06. Cuantía de acero por tracción. ....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 7.07. Cuantía de acero mínimo. ....</b>	<b>32</b>
<b>Ecuación 8.01. Profundidad del eje neutro. ....</b>	<b>39</b>
<b>Ecuación 8.02. Esfuerzo por flexión en estado de servicio en pared cilíndrica.....</b>	<b>39</b>
<b>Ecuación 8.03. Verificación de esfuerzo admisible por flexión en estado cilíndrica.</b>	<b>40</b>
<b>Ecuación 8.04. Verificación de esfuerzo admisible por tracción en pared cilíndrica.</b>	<b>40</b>



## **CAPITULO 1      GENERALIDADES**

### **1.1    INTRODUCCIÓN**

El reservorio circular del almacenamiento de agua potable ubicado en la ciudad de Lima posee un volumen efectivo para almacenar 2700 m<sup>3</sup>. Por otro lado, posee 25 m de diámetro y una altura de 6.50 m. El estudio mecánico de suelos consideró un suelo de perfil tipo S1. Adicionalmente, se consideró un módulo de balasto de 2.00 kg/cm<sup>3</sup>. El reservorio cuenta con los siguientes elementos: losa de fondo, pared cilíndrica, viga anillo y una cúpula en el extremo superior.

### **1.2    OBJETIVOS**

Objetivos generales

- Diseñar la cúpula esférica, la losa de fondo, las paredes cilíndricas y la viga anillo superior que una la cúpula esférica.

Objetivos específicos

- Realizar el análisis por cargas de gravedad de la estructura.
- Realizar el análisis por cargas sísmicas de la estructura (usando el método estático).

### **1.3    REGLAMENTO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES**

Para el diseño estructural del reservorio, es necesario emplear las siguientes normas técnicas de construcción.

- Normas para el análisis y diseño estructural.

Las normas empleadas del Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.) y del American Concrete Institute (ACI) que se utilizaron son las siguientes:

- a) NTE E.020 Cargas
- b) NTE E.030 Diseño Sismo Resistente
- c) NTE E.060 Concreto armado

d) ACI 350.3-06

e) ACI 350.06

▪ Materiales

a) Concreto Armado:

El concreto armado es una mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, con o sin aditivos. Esta mezcla embebe al acero de refuerzo. Para este proyecto, se utilizará cemento Portland y acero de refuerzo de grado 60 ( $f'y=4200 \text{ kg/ cm}^2$ ).

El concreto escogido para el reservorio variará de acuerdo al elemento a diseñar. Así mismo, tendrá las siguientes características:

- Resistencia a compresión:  $210\text{-}280 \text{ kg/ cm}^2$
- Módulo de Poisson: 0.15
- Módulo de elasticidad ( $E_c$ ):  $15000\sqrt{f'c} \text{ kg/ cm}^2$

#### 1.4 CARGAS A UTILIZAR

Las solicitaciones que se considerarán para el diseño del reservorio serán de naturaleza sísmica, hidrodinámica y de gravedad. Se dividieron en cargas muertas, vivas y de sismo.

Las cargas muertas (CM) consideradas fueron:

Peso del concreto Armado: 2.40 ton/m<sup>3</sup>

Piso terminado en cúpula: 0.10 ton/m<sup>2</sup>

Peso propio de agua: 1.00 ton/m<sup>3</sup>

Las cargas vivas (CV) consideradas fueron:

Sobre cargas en cúpula: 0.05 ton/m<sup>2</sup>

Las solicitaciones sísmicas (S), serán calculadas posteriormente.

## CAPÍTULO 2 PREDIMENSIONAMIENTO

En este capítulo se realizará el predimensionamiento de los elementos estructurales. Se calcularán dimensiones tentativas para la cúpula, viga anillo y la pared cilíndrica. Los cálculos se verán influenciados principalmente por solicitaciones de gravedad. Sin embargo, las dimensiones escogidas para los elementos tendrán en cuenta un sobredimensionamiento con la finalidad de que el reservorio obtenga un comportamiento eficaz bajo solicitaciones sísmicas.

### 2.1 CÚPULA Y ANILLO ESFÉRICO

El espesor de la cúpula se asumirá como 7 cm. Posteriormente, se comprobará que el espesor escogido es suficiente para soportar la tracción anular y la cortante presente en los extremos de la cúpula.

Para calcular la tracción anular en la cúpula, primero se calculan los parámetros geométricos: flecha de cúpula, radio de casquete esférico, ángulo tangencial entre cúpula y viga anillo.

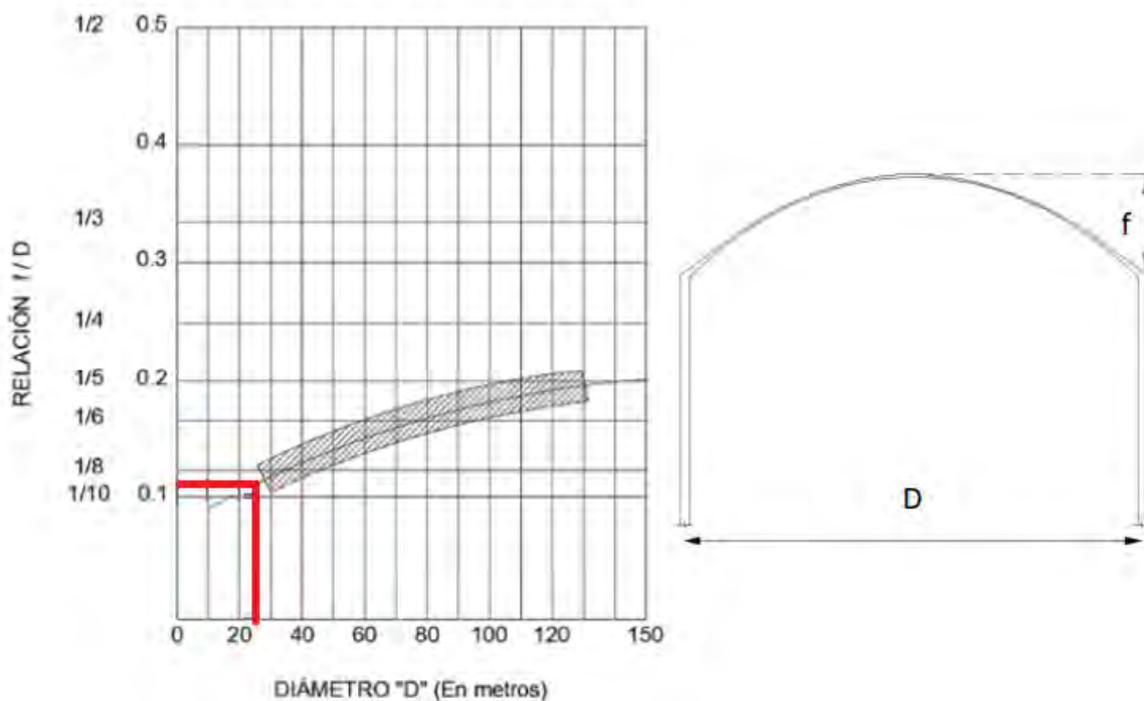


Imagen 2.01. Cálculo de flecha del casquete esférico.

Imagen extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

Del gráfico se obtiene una relación 1/9 veces el diámetro. Por lo tanto, la flecha es igual a 2.778 m. redondeándose a 2.8 m.

Se calcula el radio del casquete esférico.

- r = Radio de casquete esférico
- f = Flecha del casquete esférico
- D = Diámetro del reservorio
- $\alpha$  = Ángulo tangente del casquete esférico
- $\gamma_c$  = Peso específico del concreto
- ec = Espesor de la cúpula
- Pa = Peso de acabado en cúpula
- Sc = Sobrecarga en cúpula
- P1 = Peso propio de la cúpula

$$r = \left( \frac{f^2 + \frac{D^2}{4}}{2 \cdot f} \right)$$

$$r = 29.30 \text{ m}$$

**Ecuación 2.01.** Cálculo de radio del casquete esférico.

Se calcula entre el ángulo tangente entre la cúpula y la viga anillo.

$$\alpha_4 = \text{atan} \left( \frac{\frac{D}{2}}{r - f} \right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha_4 = 25.25^\circ$$

**Ecuación 2.02.** Ángulo tangencial entre viga anillo y cúpula.

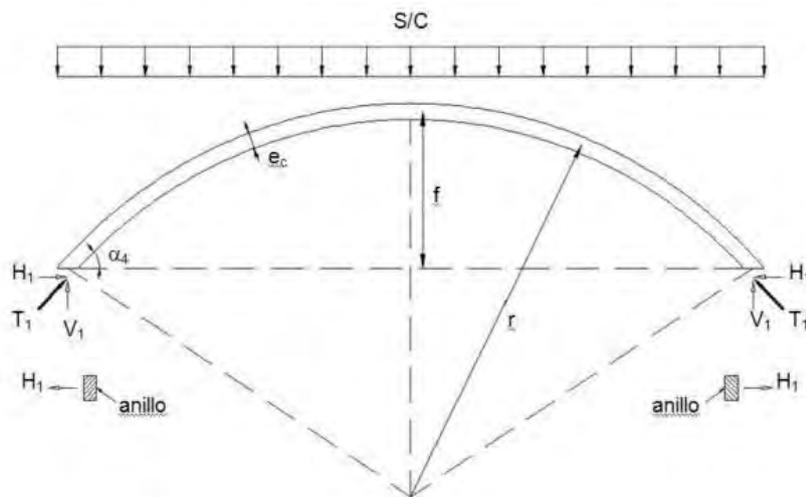
Posteriormente, se calcula el peso propio de la cúpula:

$$P1 = (y_c \cdot e_c + P_a + S_c) \cdot 2\pi \cdot r \cdot f$$

$$P1 = 163.93 \text{ ton}$$

**Ecuación 2.03.** Peso propio de la cúpula.

Producto del peso propio de la cúpula se produce una reacción en la viga anillo, esta reacción genera una fuerza de tensión en la cúpula (T1) y una fuerza H1 que afecta directamente a la viga anillo.



**Imagen 2.02.** Fuerzas actuantes en la cúpula.

Imagen extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

A continuación, se calcula la fuerza tensora en la cúpula.

- V1 = Fuerza cortante en cúpula
- T1 = Fuerza de compresión en cúpula
- H1 = Fuerza de tracción anular en cúpula
- ft = Esfuerzo máximo permisible

$$V_1 = \frac{P_1}{\pi \cdot 2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)}$$

$$V_1 = 2.09 \text{ ton/m}$$

$$T_1 = \frac{V_1}{\sin\left(\alpha_4 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

$$T_1 = 4.89 \text{ ton/m}$$

**Ecuación 2.04.** Cálculo de fuerza axial en cúpula.

Finalmente, se verifica si el espesor de la cúpula es suficiente para soportar la compresión  $T_1$ .

$$\frac{T_1}{e_c} < 0.45 \cdot f'c_c$$

$$6.99 \text{ kg/cm}^2 < 94.50 \text{ kg/cm}^2$$

**Ecuación 2.05.** Verificación en cúpula de esfuerzo de compresión.

Así mismo, se calcula la fuerza  $H_1$ .

$$H_1 = T_1 \cdot \cos\left(\alpha_4 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$H_1 = 4.43 \text{ ton/m}$$

**Ecuación 2.06.** Cálculo de tracción anular en viga anillo.

Usando la fuerza  $H_1$  se calcula el área de la viga anillo.

$$f_t = 0.1 \cdot f'c$$

$$f_t = 28 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{a1} = \frac{H_1 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)}{f_t} = 1975.54 \text{ cm}^2$$

**Ecuación 2.07.** Área tentativa para viga anillo.

Finalmente, asumen dimensiones rectangulares para el anillo esférico. Se considerará una dimensión en el ancho mayor al peralte de la viga con la finalidad de que la viga sea más rígida que la pared cilíndrica. Por lo mencionado, las dimensiones de las vigas escogidas fueron 0.55x0.45 m.

## 2.2 PARED CILÍNDRICA

El espesor de la pared cilíndrica se calculará igual en base al peso propio de la cúpula.

Ta = Peso propio en pared cilíndrica

$\gamma_l$  = Peso específico de pared cilíndrica

H = Altura del reservorio

D = Diámetro del reservorio

$$Ta = \gamma_l \cdot H \cdot D / 2$$

$$Ta = 81.25 \text{ ton/m}$$

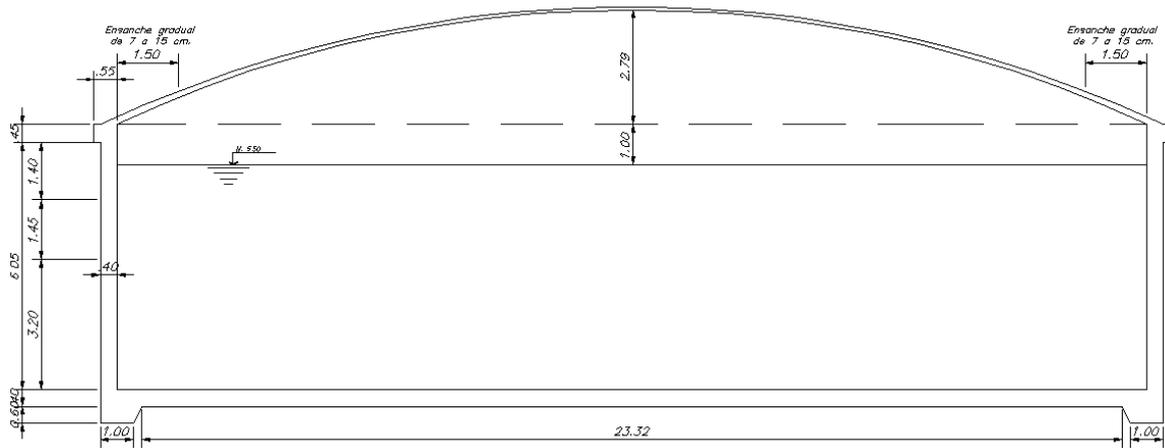
$$e_{pc} = \frac{Ta}{f_t}$$

$$e_{pc} = 0.29 \text{ m}$$

**Ecuación 2.08.** Cálculo de espesor de pared cilíndrica.

El predimensionamiento considera las cargas de gravedad e hidrostáticas. Sin embargo, no considera solicitaciones sísmicas. Por lo tanto, se aumentará 10 cm al espesor de las paredes cilíndricas. Obteniéndose así 0.40 m de espesor para la pared cilíndrica.

Finalmente, las dimensiones del reservorio son las siguientes:



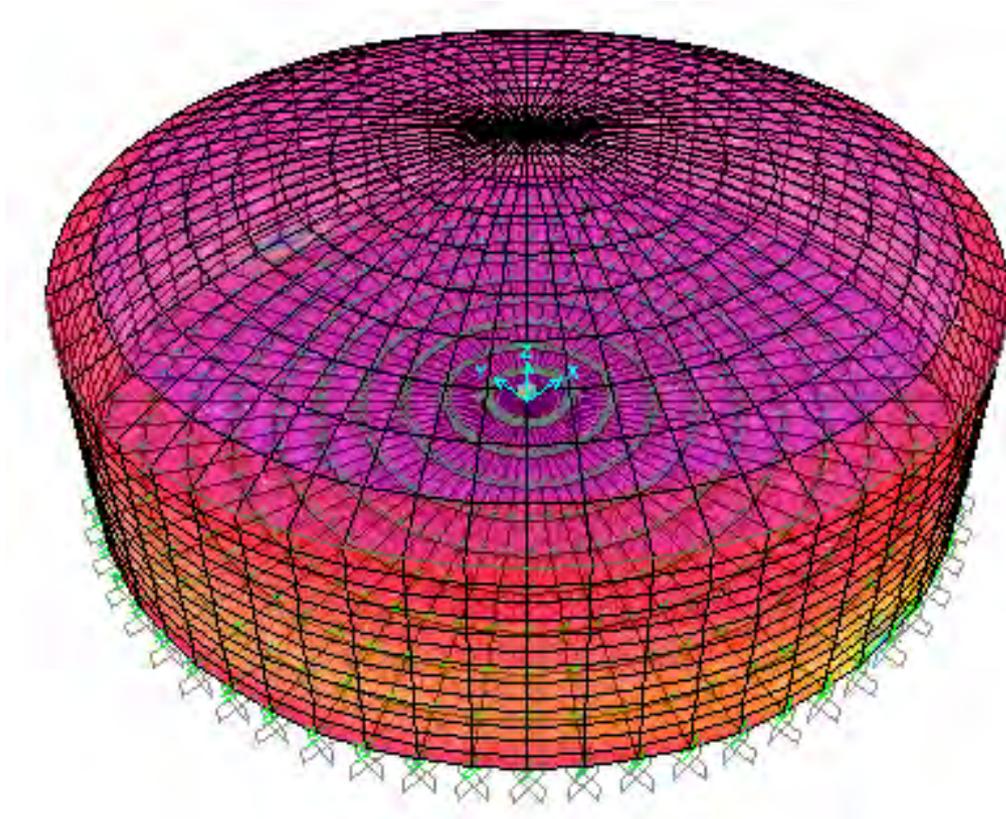
**Imagen 2.03.** Dimensiones del reservorio cilíndrico.

Fuente: propia



### CAPÍTULO 3 MODELAMIENTO POR ELEMENTOS FINITOS

Escogidas las dimensiones de la cúpula, pared cilíndrica, viga anillo y losa de fondo se modela el reservorio en programa SAP 2000. Se analizará el modelo por cargas de gravedad y sísmicas.



**Imagen 3.01.** Modelo computacional del reservorio.

Fuente: propia

Para modelar el reservorio se tomaron las siguientes consideraciones:

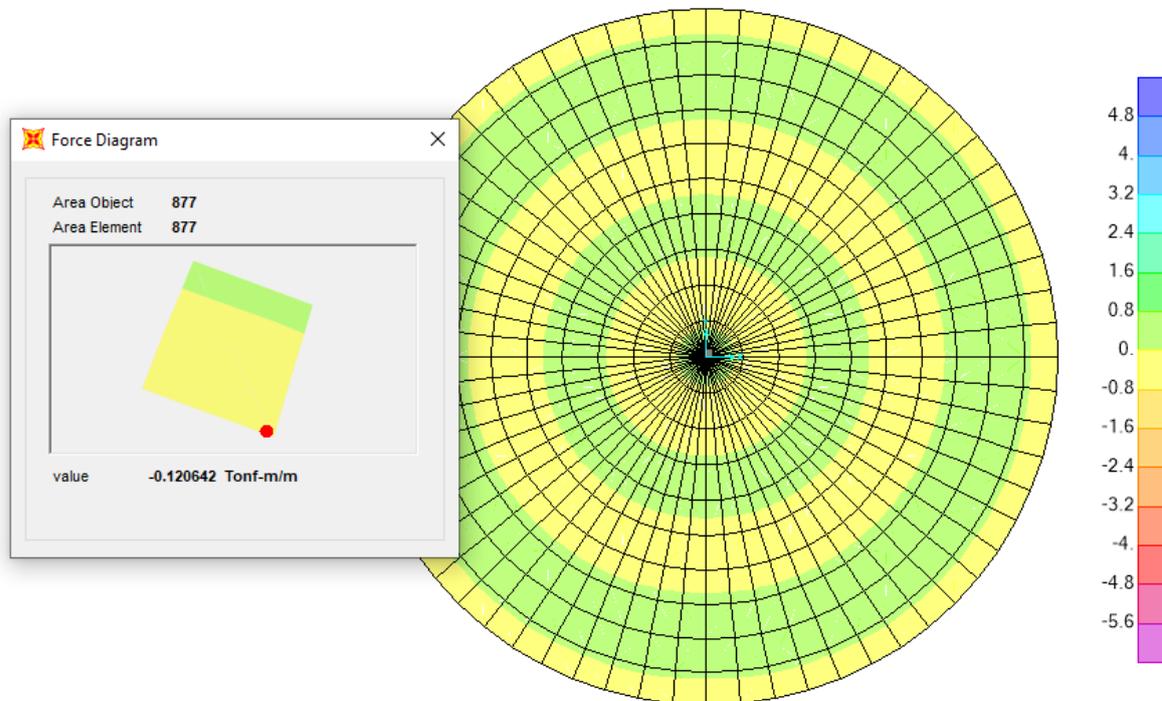
- La viga anillo se modeló como elemento frame.
- Se dividió los elementos Shell con la finalidad de que cada fragmento fuera similar a un cuadrado.
- Se definió un módulo de balasto igual a  $2.5 \text{ kg/cm}^3$ .
- Debido a la geometría del reservorio solo se analizó el sismo en un sentido, debido a que los resultados son los mismos independientemente de la dirección del sismo.
- Las fuerzas sísmicas inerciales, convectivas e impulsivas fueron aplicadas manualmente en cada elemento finito de la pared cilíndrica.

## CAPÍTULO 4 ANÁLISIS POR CARGAS DE SERVICIO

Este capítulo presenta los resultados del análisis por cargas de servicio del reservorio. Se han considerado la carga muerta, viva y la presión hidrostática como cargas de servicio. Se muestran las principales fuerzas actuantes en la cúpula, la pared cilíndrica, la viga anillo y la losa de fondo.

### 4.1 CÚPULA

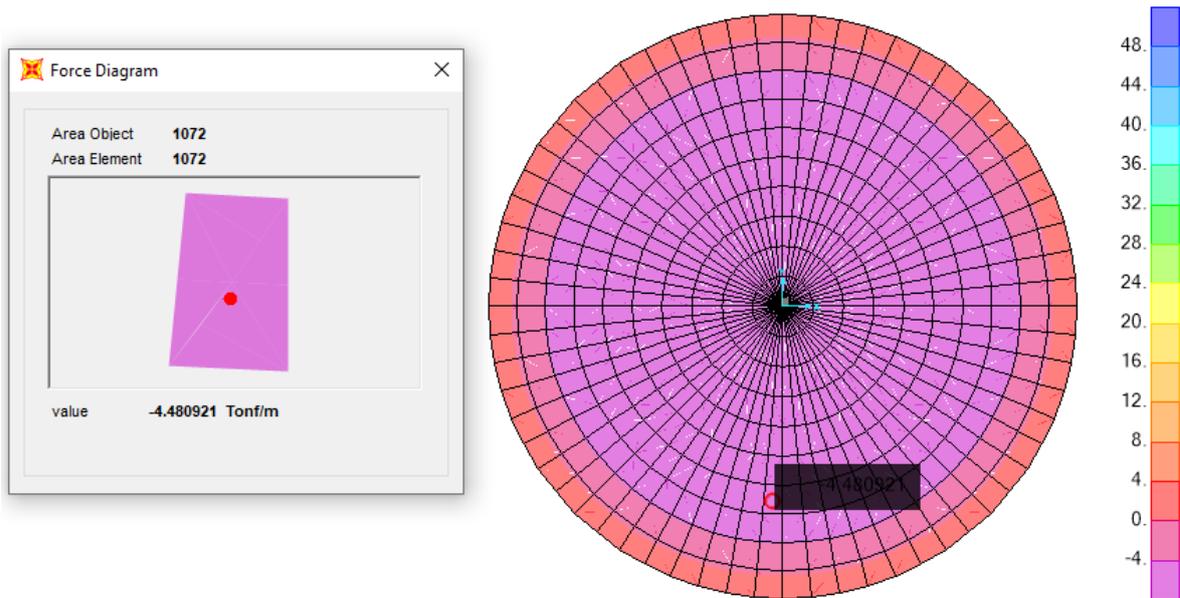
A continuación, se muestra el máximo momento flector actuante en la cúpula debido a cargas de servicio.



**Imagen 4.01.** Momento flector en servicio en cúpula.

Fuente: propia

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la cúpula debido a cargas de servicio.

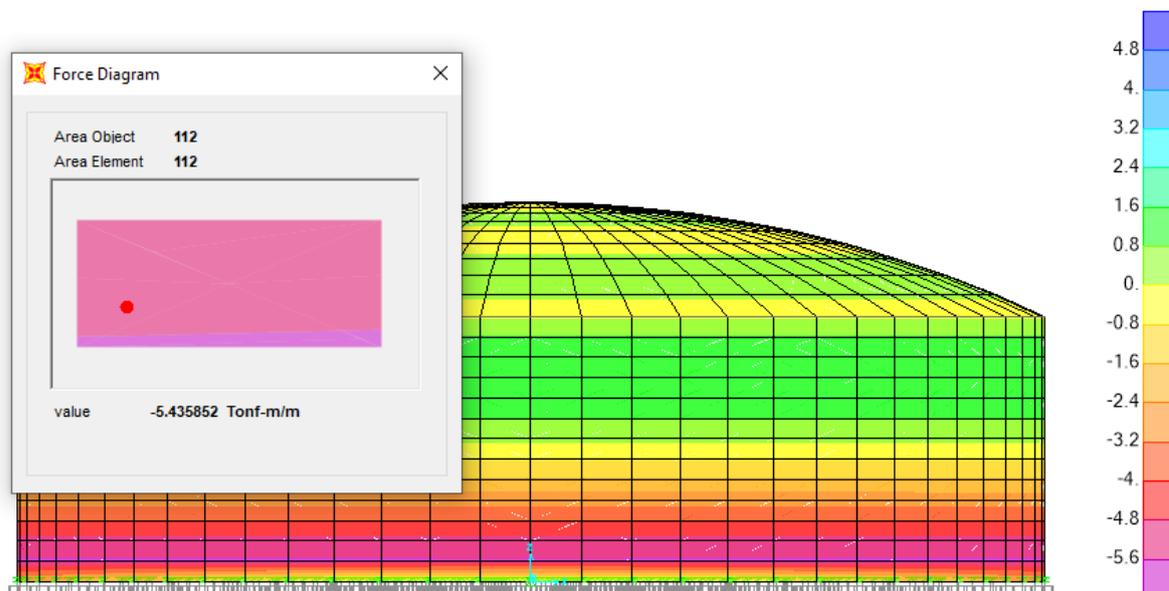


**Imagen 4.02.** Tracción anular en servicio en cúpula.

Fuente: propia

## 4.2 PARED CILÍNDRICA

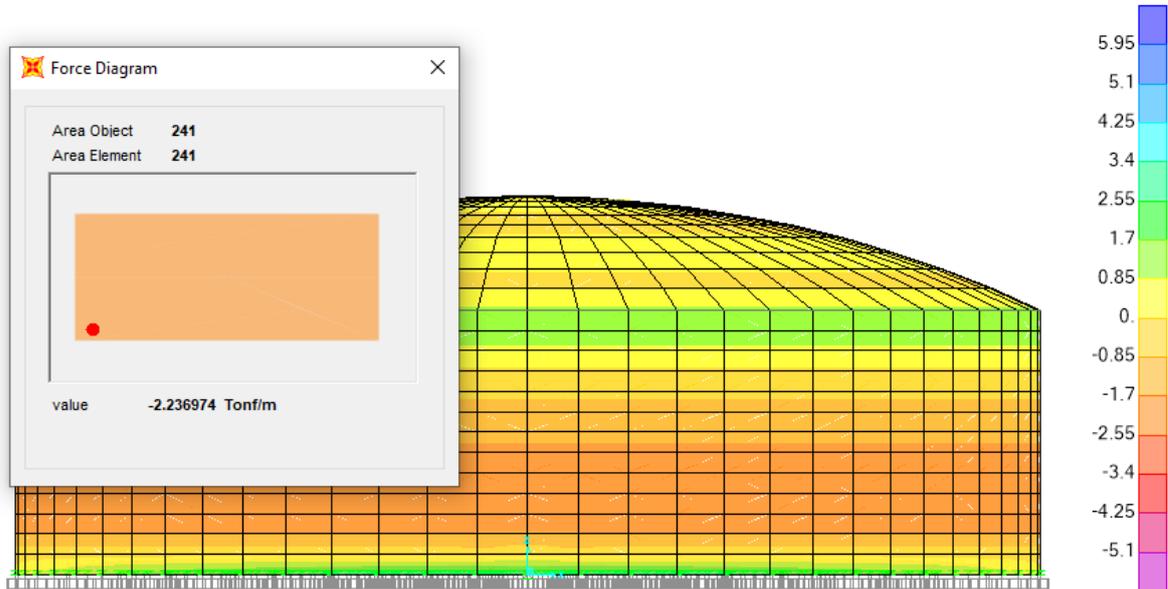
A continuación, se muestra el máximo momento flector actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de servicio.



**Imagen 4.03.** Momento flector en servicio de pared cilíndrica.

Fuente: propia

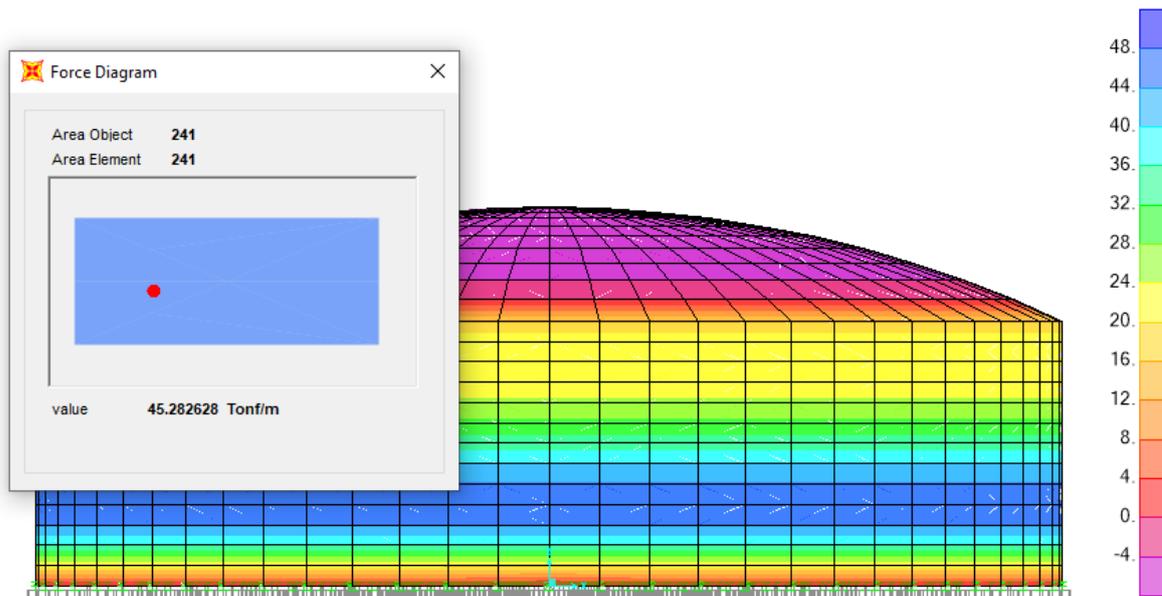
A continuación, se muestra la máxima fuerza cortante actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de servicio.



**Imagen 4.04.** Fuerza cortante en servicio de pared cilíndrica.

Fuente: propia

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de servicio.

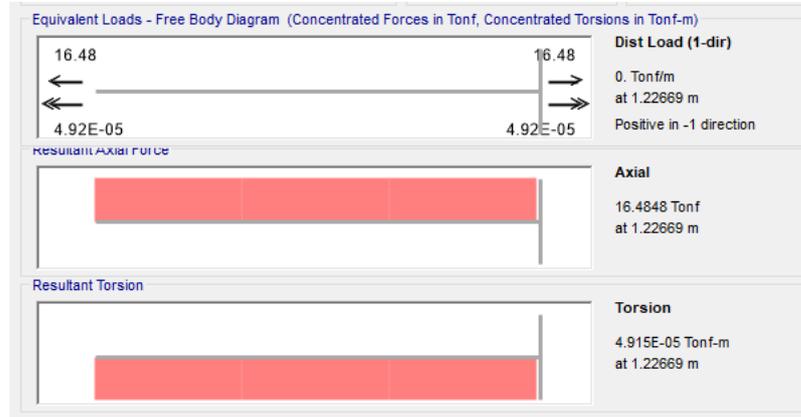


**Imagen 4.05.** Fuerza anular en servicio de pared cilíndrica.

Fuente: propia

### 4.3 VIGA ANILLO

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la viga anillo debido a cargas de servicio.

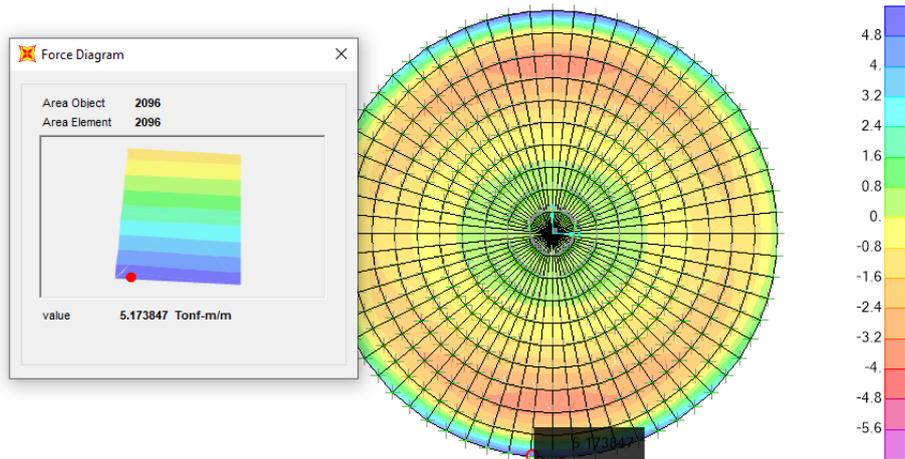


**Imagen 4.06.** Fuerza anular en servicio de viga anillo.

Fuente: propia

### 4.4 LOSA DE FONDO

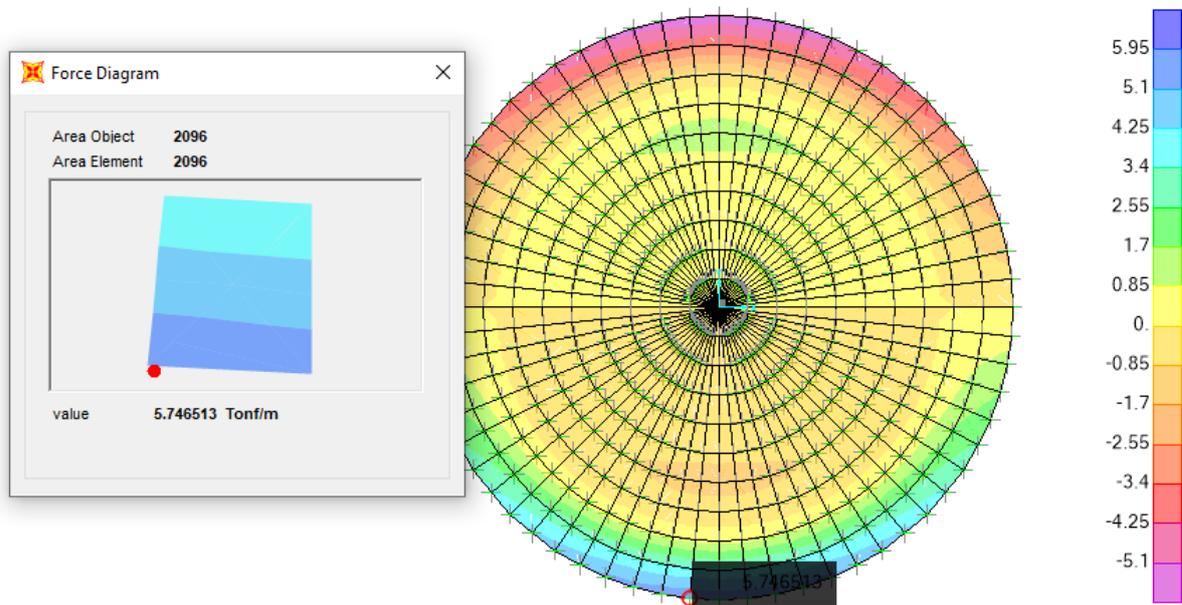
A continuación, se muestra el máximo momento flector actuante en la losa de fondo debido a cargas de servicio.



**Imagen 4.07.** Momento flector en servicio de losa de fondo.

Fuente: propia

A continuación, se muestra el máximo momento flector actuante en la losa de fondo debido a cargas de servicio.



**Imagen 4.08.** Fuerza cortante en servicio de losa de fondo.

Fuente: propia

## CAPÍTULO 5 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

En este capítulo se definirán y se escogerán los parámetros y factores sísmicos a utilizar según lo indicado. Posteriormente, se calcularán las fuerzas convectivas e impulsivas luego, se realizará el análisis sísmico estático del reservorio.

### 5.1 REPRESENTACIÓN DE LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS

Los parámetros sísmicos a considerar son los siguientes:

El factor de zona se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad en base a la distribución espacial. En el caso de este proyecto, ubicado en la costa peruana, la zona sísmica es la 4 con una aceleración igual a 0.45 g.

El factor de uso contempla la importancia que una estructura siga funcionando luego de un movimiento sísmico. De esta manera el factor de uso adopta un valor igual a 1.5.

EL factor de suelo corresponde a las propiedades del terreno donde se edificará el proyecto. Para este proyecto, el suelo es de tipo S1 en una zona Z4. De esta manera, el factor de suelo es igual a 1. Además, se obtienen los siguientes periodos:

$$T_p = 0.4 \text{ s}$$

$$T_l = 2.5 \text{ s}$$

A continuación, se calcula el período convectivo

$$\text{Diámetro (D)} = 25.00 \text{ m}$$

$$\text{Altura de Líquido (HL)} = 5.50 \text{ m}$$

$$T_c = 2\pi \cdot \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{3.68g \cdot \text{Tanh}\left(3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right)}}$$

$$T_c = 6.39 \text{ seg}$$

**Ecuación 5.01.** Cálculo del periodo convectivo.

El factor de amplificación sísmica se define como la amplificación de la estructura respecto a la aceleración del suelo. Se definieron 2 factores de amplificación debido a la naturaleza del comportamiento del reservorio. A continuación, se calculan los factores de amplificación.

	Ci	Cc
$T < T_p$	2.5	2.5
$T_p < T < T_I$	$2.5(T_p/T_i)$	$3.75(T_p/T_c)$
$T > T_I$	$2.5(T_p.T_I)/T_i^2$	$3.75(T_p.T_I)/T_c^2$

**Tabla 5.01.** Factores de amplificación sísmica.

Tabla extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

Por lo expuesto en la Tabla 5.01, se obtienen los siguientes factores de amplificación.

Factor de amplificación sísmica convectivo (Cc) = 0.092

Factor de amplificación sísmica impulsivo (Ci) = 2.50

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas depende del sistema estructural y del tipo de material de este (concreto o acero). Se definieron 2 factores de reducción debido a la naturaleza del comportamiento del reservorio. Los factores de reducción se extraen del ACI 350.3-06.

Factor de Reducción impulsivo (Ri) = 2.00

Factor de reducción convectivo (Rc) = 1.00

## 5.2 CÁLCULO DE FUERZA CONVECTIVA E IMPULSIVA

Los factores que intervienen en el cálculo de las sollicitaciones sísmicas convectivas e impulsivas son la siguientes:

Peso del Líquido (WL) = 2700.00 ton

A continuación, se calcula la masa convectiva e impulsiva actuante en el reservorio:

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \frac{D}{H_L}\right)}{0.866 \cdot \frac{D}{H_L}}$$

$$\frac{W_i}{W_L} = 0.254$$

**Ecuación 5.02.** Cálculo de la masa impulsiva.

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.23 \cdot \frac{D}{H_L} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \frac{H_L}{D}\right)$$

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.700$$

**Ecuación 5.03.** Cálculo de la masa convectiva.

Por lo calculado, se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Peso impulsivo (} W_i \text{)} = 685.39 \text{ ton}$$

$$\text{Peso convectivo (} W_c \text{)} = 1889.45 \text{ ton}$$

A continuación, se calcula la ubicación de las masas convectivas e impulsivas. Se debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{D}{H_L} > 1.33$$

$$4.55 > 1.33$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{D}{H_L}\right)$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.38$$

**Ecuación 5.04.** Ubicación de la fuerza impulsiva.

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right) - 1\right)}{3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right) \sinh\left(3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right)}$$

$$\frac{h_c}{H_L} = 0.53$$

**Ecuación 5.05.** Cálculo de la masa convectiva.

Por lo calculado, se obtiene lo siguiente:

Altura de masa inductiva ( $h_i$ ) = 2.06 m.

Altura de masa convectiva ( $h_c$ ) = 2.89 m.

Finalmente, se calcula la fuerza impulsiva y convectiva.

$$P_i = ZUC_i S \cdot \frac{W_i}{R_i}$$

$$P_c = ZUC_c S \cdot \frac{W_c}{R_c}$$

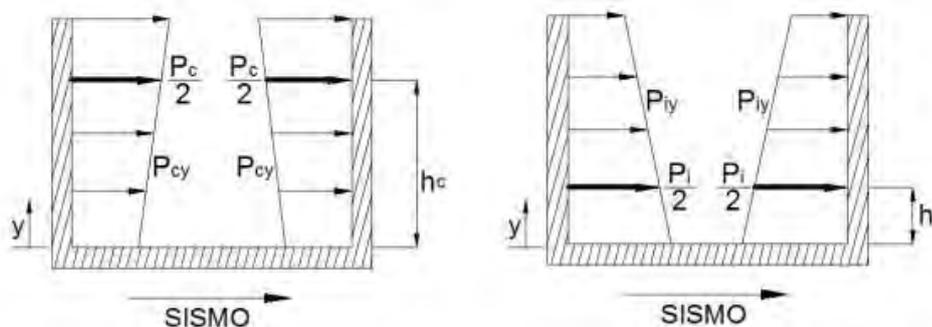
**Ecuación 5.07.** Fuerza sísmica convectiva e impulsiva.

Fuerza impulsiva ( $P_i$ ) = 578.30 ton

Fuerza Convectiva ( $P_c$ ) = 117.10 ton

### 5.3 DISTRIBUCIÓN EN ALTURA Y PLANTA DE FUERZA CONVECTIVA E IMPULSIVAS

La siguiente imagen muestra la distribución en altura de las fuerzas convectivas e impulsivas.



**Imagen 5.01.** Distribución en altura de fuerza convectiva e impulsiva.

Imagen extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

Distribución en altura de fuerza convectiva.

$$P_{cy} = \frac{\frac{P_c}{2} \left( 4H_L - 6h_c - (6H_l - 12h_c) \left( \frac{y}{H_L} \right) \right)}{H_L^2}$$

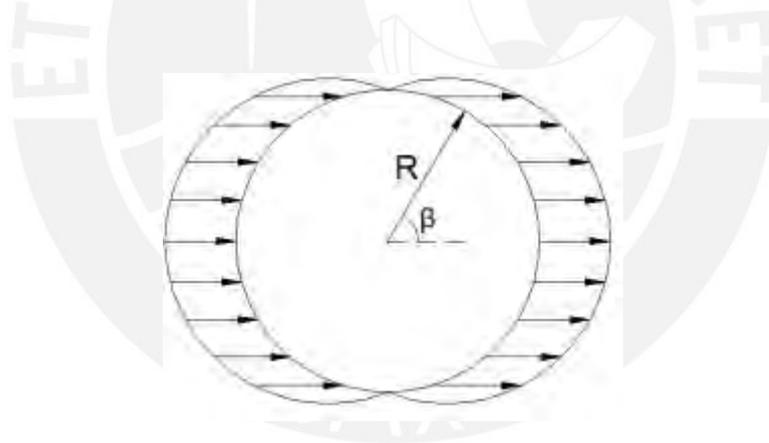
**Ecuación 5.08.** Distribución de fuerza convectiva en altura.

Distribución en altura de fuerza inductiva.

$$P_{iy} = \frac{\frac{P_i}{2} \left( 4H_L - 6h_i - (6H_l - 12h_i) \left( \frac{y}{H_L} \right) \right)}{H_L^2}$$

**Ecuación 5.09.** Distribución de fuerza inductiva en altura.

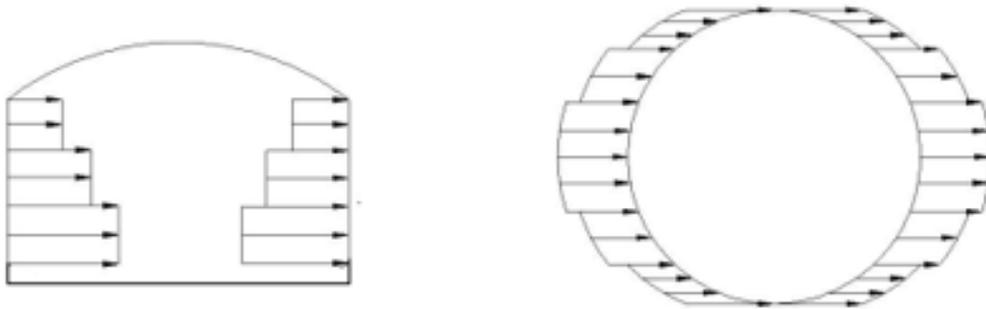
La siguiente imagen muestra la distribución en planta de las fuerzas convectivas e impulsivas.



**Imagen 5.02.** Distribución polar de fuerza convectiva e impulsiva.

Imagen extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

Finalmente, se hace una simplificación por bloques de la distribución vertical y polar de las fuerzas impulsivas y convectivas. Esto se realiza con la finalidad de facilitar el ingreso de datos (esfuerzos convectivos e impulsivos) al programa SAP 2000



**Imagen 5.03.** Distribución en altura y polar de fuerza convectiva e impulsiva.  
 Imagen extraída del curso: “Diseño de sistemas de concreto para contención de tierra y líquidos. Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural PUCP (2021)

hi (m)	Distribución en Altura (ton/m)	Distribución en Planta (ton/m <sup>2</sup> )			
		$\beta=11.25^\circ$	$\beta=33.75^\circ$	$\beta=56.25^\circ$	$\beta=78.75^\circ$
1.00	9.61	0.52	0.44	0.30	0.11
3.00	10.79	0.48	0.41	0.27	0.10
4.75	11.83	0.43	0.36	0.24	0.09

**Tabla 5.02.** Distribución polar y en altura de fuerza convectiva.

hi (m)	Distribución en Altura (ton/m)	Distribución en Planta (ton/m <sup>2</sup> )			
		$\beta=11.25^\circ$	$\beta=33.75^\circ$	$\beta=56.25^\circ$	$\beta=78.75^\circ$
1.00	77.76	3.88	3.29	2.21	0.79
3.00	48.98	2.44	2.07	1.39	0.50
4.75	23.79	1.19	1.01	0.67	0.24

**Tabla 5.03.** Distribución polar y en altura de fuerza impulsiva.

#### 5.4 CÁLCULO DE FUERZAS SÍSMICAS POR LA PROPIA MASA

Para el cálculo de la fuerza inercial del reservorio se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Espesor de Muro ( $t_w$ ) = 0.40 m.
- Altura de muro ( $H_w$ ) = 6.50 m.
- Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ ) = 2.40 ton/m<sup>3</sup>

Espesor de techo de cúpula esférica ( $t_r$ ) = 0.07 m.

Flecha de casquete esférico ( $h_r$ ) = 2.80 m.

Se calcula el peso de las paredes cilíndricas.

$$W_w = \gamma_c \cdot T_w \cdot H_w \cdot D\pi$$

$$W_w = 490.09 \text{ ton}$$

**Ecuación 5.10.** Peso de paredes cilíndricas.

Se calcula el peso de la cúpula esférica

$$W_r = \gamma_c \cdot t_r \cdot \left[ 2\pi \left( \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + h_r^2}{2h_r} \cdot h_r \right) \right]$$

$$W_r = 86.60 \text{ ton}$$

**Ecuación 5.11.** Peso de cúpula.

En consecuencia, se calculan las fuerzas sísmicas por peso propio.

$$P_c = ZUC_i \varepsilon \cdot \frac{W_w}{R_i}$$

**Ecuación 5.12.** Fuerzas sísmicas por peso propio de las paredes cilíndricas.

Cálculo del coeficiente dinámico

$$\varepsilon = \left( 0.0151 \left( \frac{D}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left( \frac{D}{H_L} \right) + 1.021 \right) \leq 1$$

$$\varepsilon = 0.466 \leq 1$$

**Ecuación 5.13.** Cálculo del coeficiente dinámico.

De esta manera, se obtienen las fuerzas sísmicas inerciales debido al muro cilíndrico y a la cúpula.

Fuerza sísmica por el peso de los muros ( $P_w$ ) = 192.58 ton

Fuerza sísmica por el peso de la cúpula ( $P_r$ ) = 73.07 ton

La fuerza por el peso del techo será dividida en 64 nudos en el modelo computacional. De esta manera, se divide la fuerza “ $P_r$ ” entre 64 generándose así una fuerza igual a 1.14 ton por nudo. Esta fuerza estará ubicada a lo largo de la viga anillo.

La fuerza sísmica por el peso de los muros será dividida en altura y en planta al igual que las fuerzas convectivas e inductivas.

Distribución en altura:

$$P_{wy} = \frac{P_w}{2H_w}$$

$$P_{wy} = 14.82 \text{ ton/m}$$

**Ecuación 5.14.** Distribución en altura de fuerza sísmica por peso propio de pared cilíndrica.

Distribución en planta:

$$P''_{wy} = \frac{P_{wy}}{\pi \frac{D}{2}}$$

$$P''_{wy} = 0.377 \text{ ton/m}^2$$

**Ecuación 5.15.** Distribución en altura de fuerza sísmica por peso propio de pared cilíndrica.

Finalmente, se realizaron las combinaciones de cargas pertinentes. Cabe mencionar que estas fueron amplificadas por el factor de durabilidad indicado en el ACI 350-01.

	Factor de Durabilidad
Flexión	1.30
Tracción Directa	1.65
Compresión	1.00
Corte	1.30

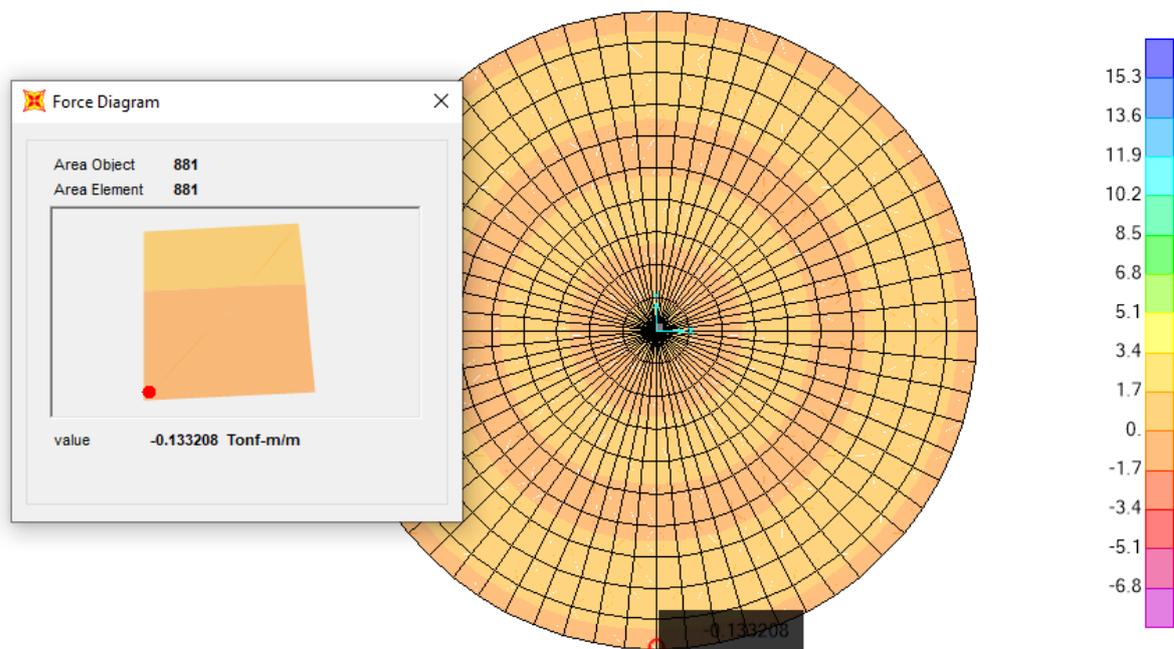
**Tabla 5.03.** Factores de durabilidad.

## CAPÍTULO 6 ANÁLISIS POR CARGAS ÚLTIMAS

Este capítulo presenta los resultados del análisis por cargas últimas del reservorio. Se han considerado la carga muerta, viva, presión hidrostática y cargas sísmicas como cargas últimas. Se han realizado las amplificaciones y combinaciones de cargas correspondientes. Se muestran las principales fuerzas actuantes en la cúpula, la pared cilíndrica, la viga anillo y la losa de fondo.

### 6.1 CÚPULA

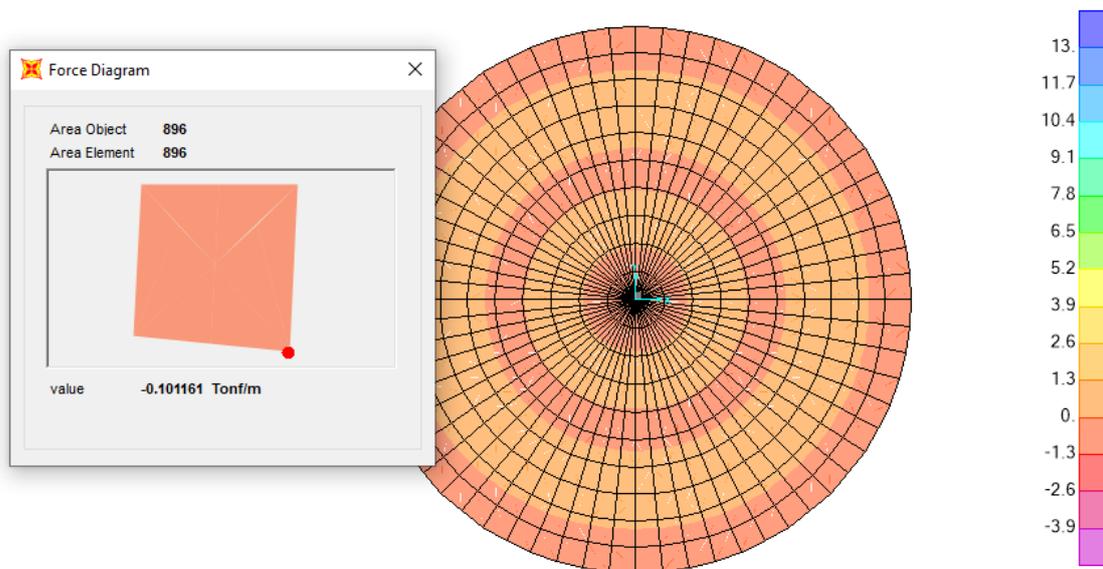
A continuación, se muestra el máximo momento flector actuante en la cúpula debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.01.** Momento flector último en cúpula.

Fuente: propia

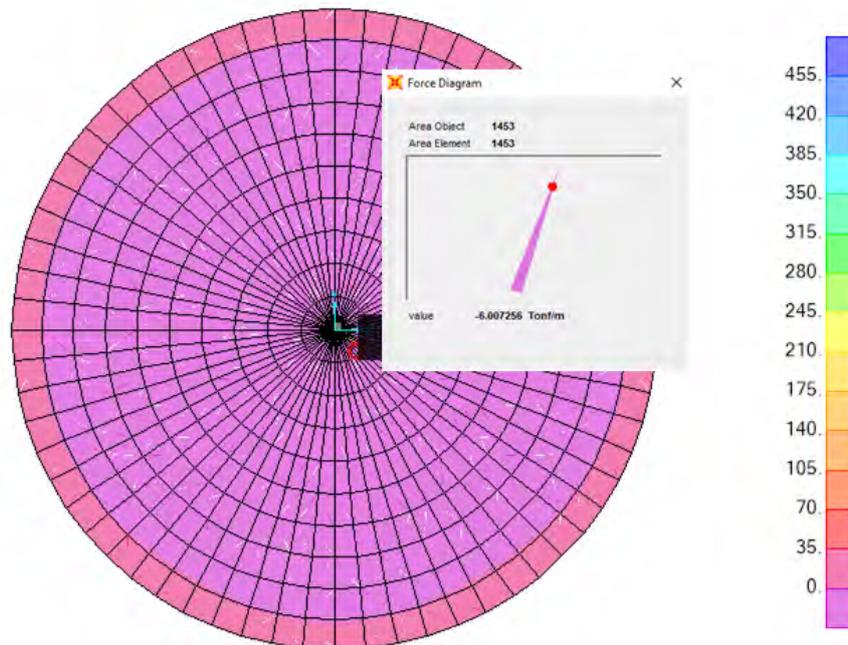
A continuación, se muestra la máxima fuerza cortante actuante en la cúpula debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.02.** Fuerza cortante última en cúpula.

Fuente: propia

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la cúpula debido a cargas de últimas.

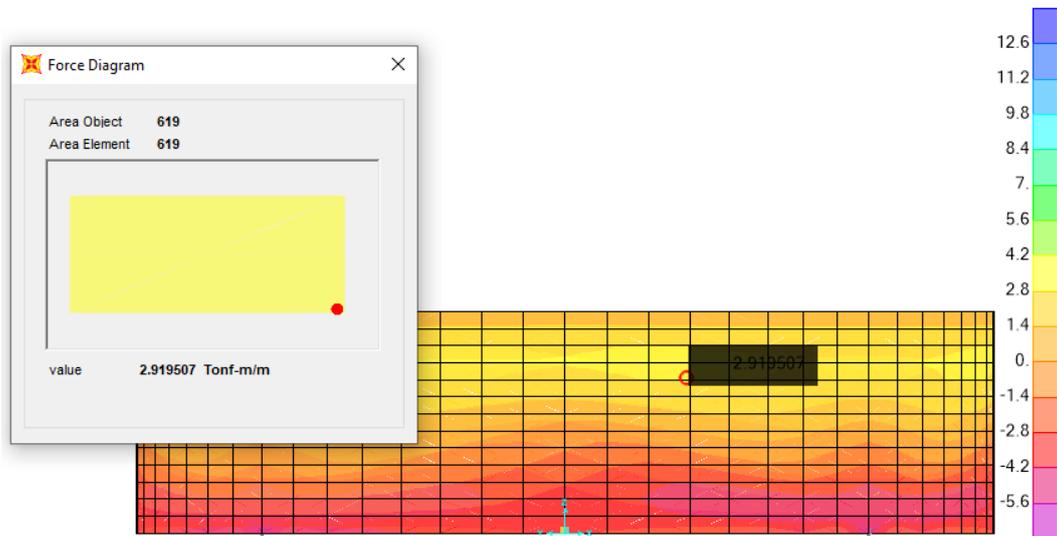


**Imagen 6.03.** Tracción anular última en cúpula.

Fuente: propia

## 6.2 PARED CILÍNDRICA

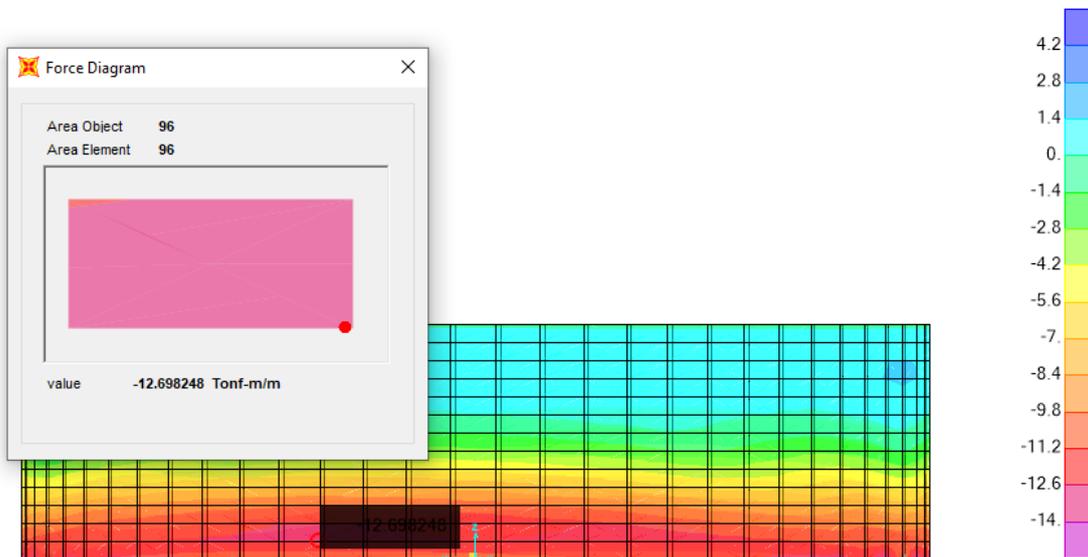
A continuación, se muestra el momento flector máximo positivo actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.04.** Momento flector máximo positivo último en pared cilíndrica.

Fuente: propia

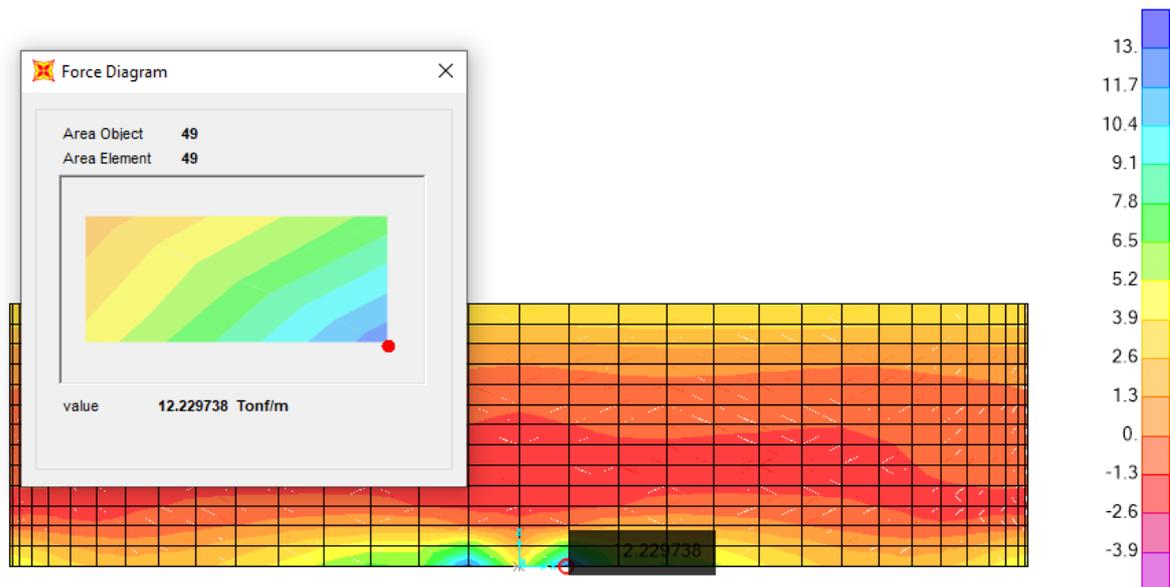
A continuación, se muestra el momento flector máximo negativo actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.05.** Momento flector máximo negativo último en pared cilíndrica.

Fuente: propia

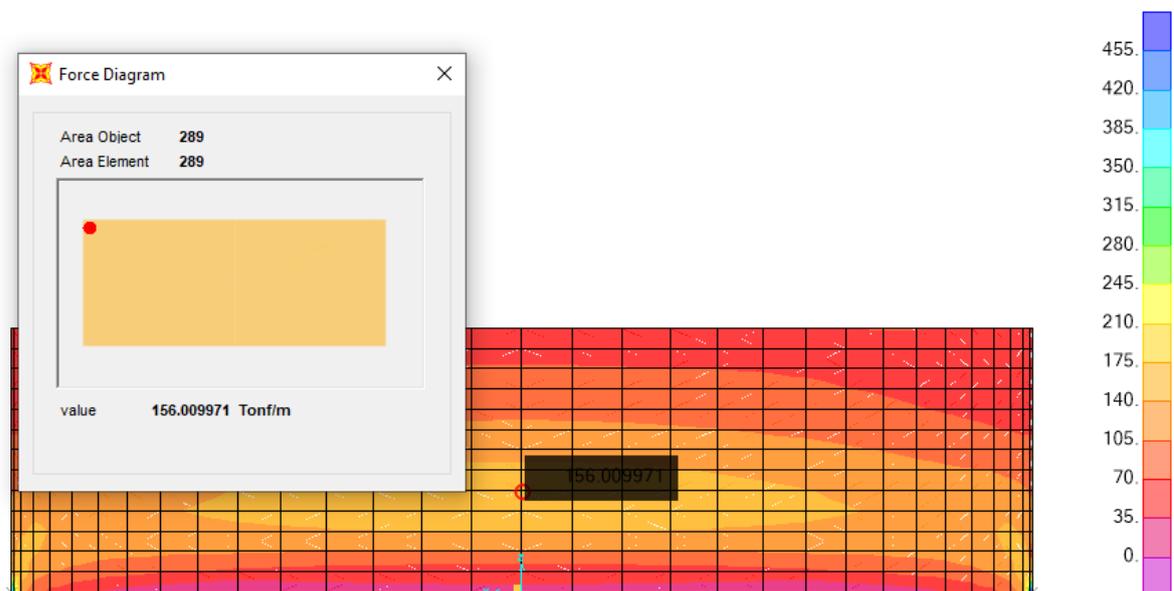
A continuación, se muestra la máxima fuerza cortante actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.06.** Fuerza cortante última en pared cilíndrica.

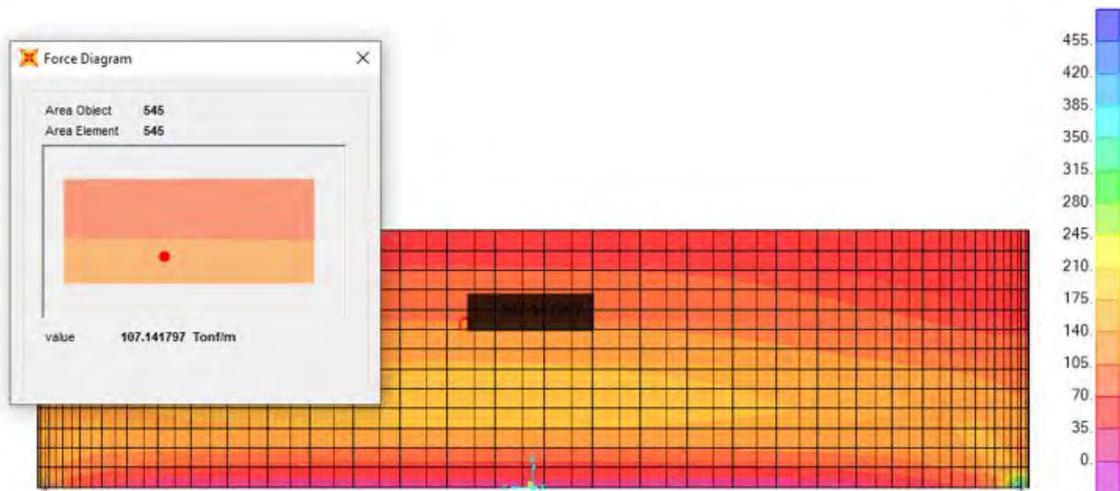
Fuente: propia

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la pared cilíndrica debido a cargas de últimas.



**Imagen 6.07.** Tracción anular última en pared cilíndrica.

Fuente: propia

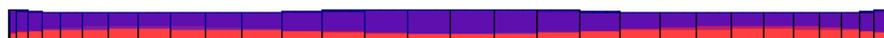
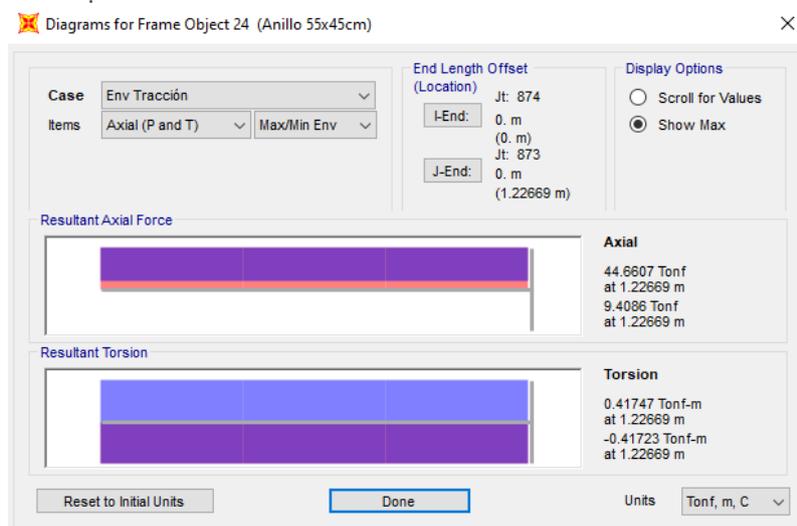


**Imagen 6.07.** Tracción anular última en pared cilíndrica.

Fuente: propia

### 6.3 VIGA ANILLO

A continuación, se muestra la máxima fuerza de tracción anular actuante en la viga anillo debido a cargas de últimas.

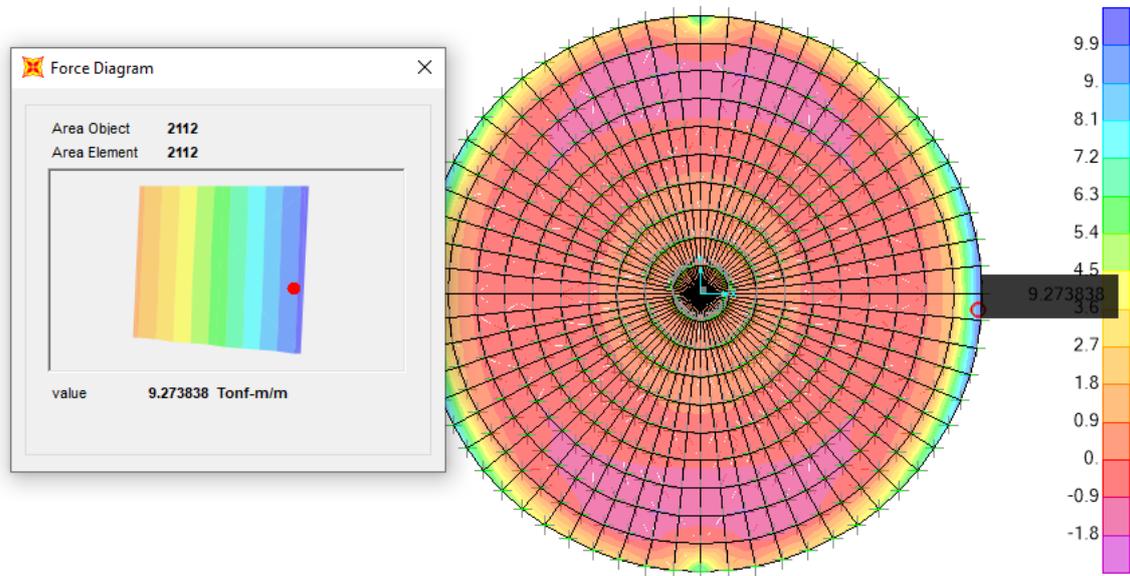


**Imagen 6.08.** Tracción anular última en viga anillo.

Fuente: propia

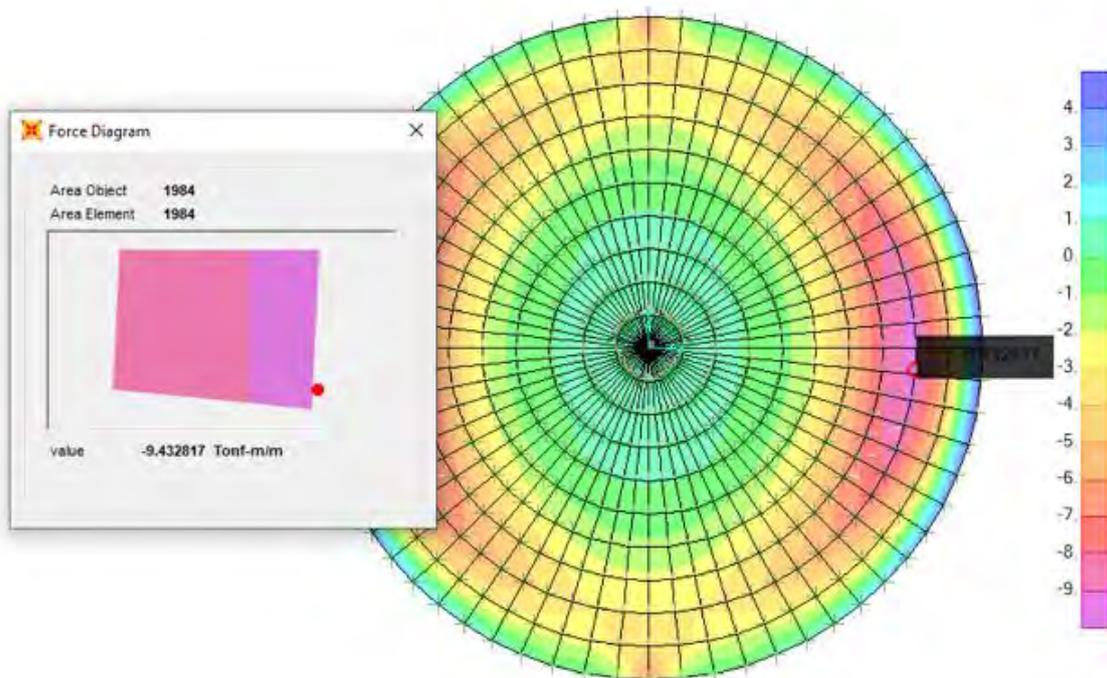
### 6.4 LOSA DE FONDO

A continuación, se muestran los momentos flectores últimos actuantes en la losa de fondo



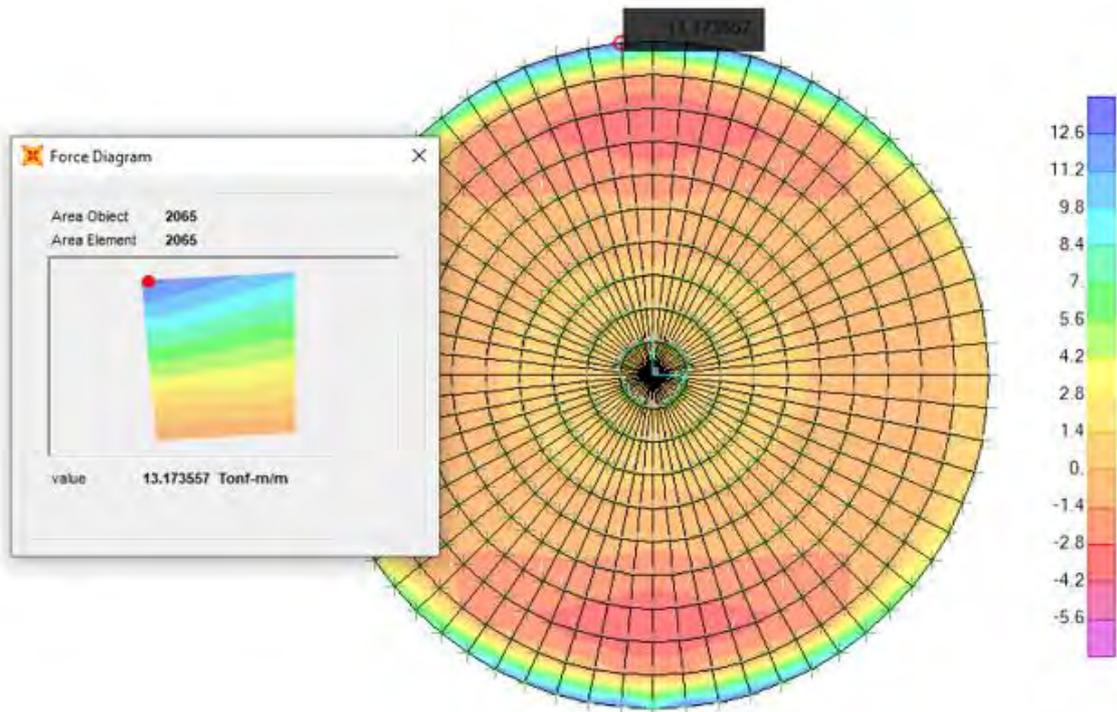
**Imagen 6.09.** Momento flector M11 positivo último en losa de fondo.

Fuente: propia



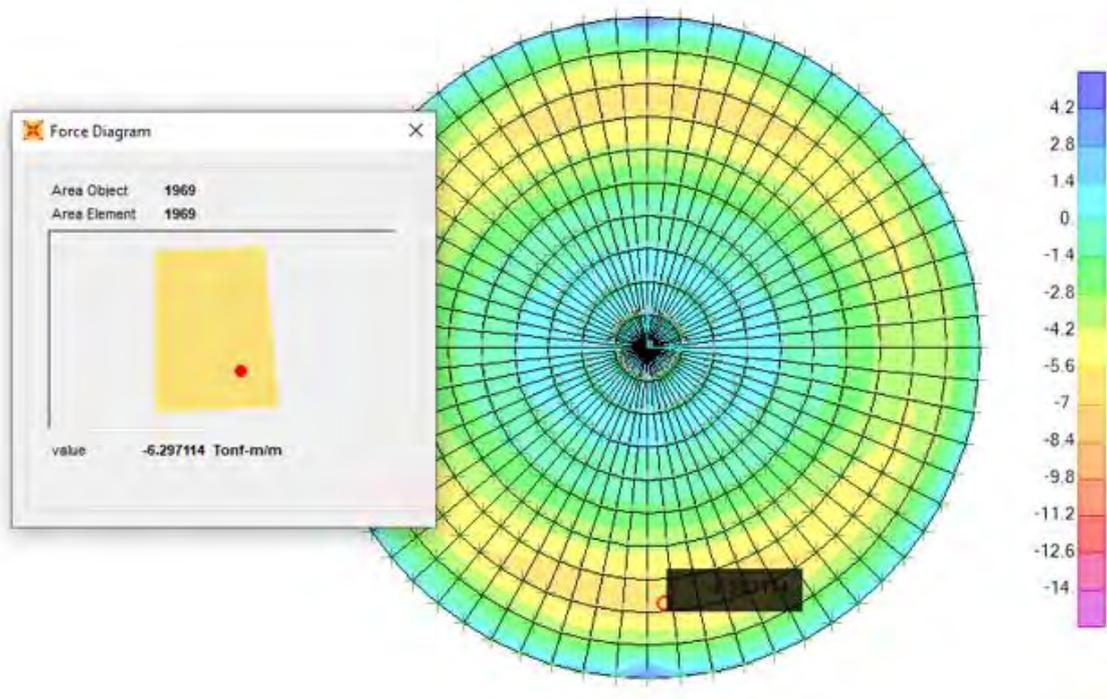
**Imagen 6.10.** Momento flector M11 negativo último en losa de fondo.

Fuente: propia



**Imagen 6.11.** Momento flector M22 positivo último en losa de fondo.

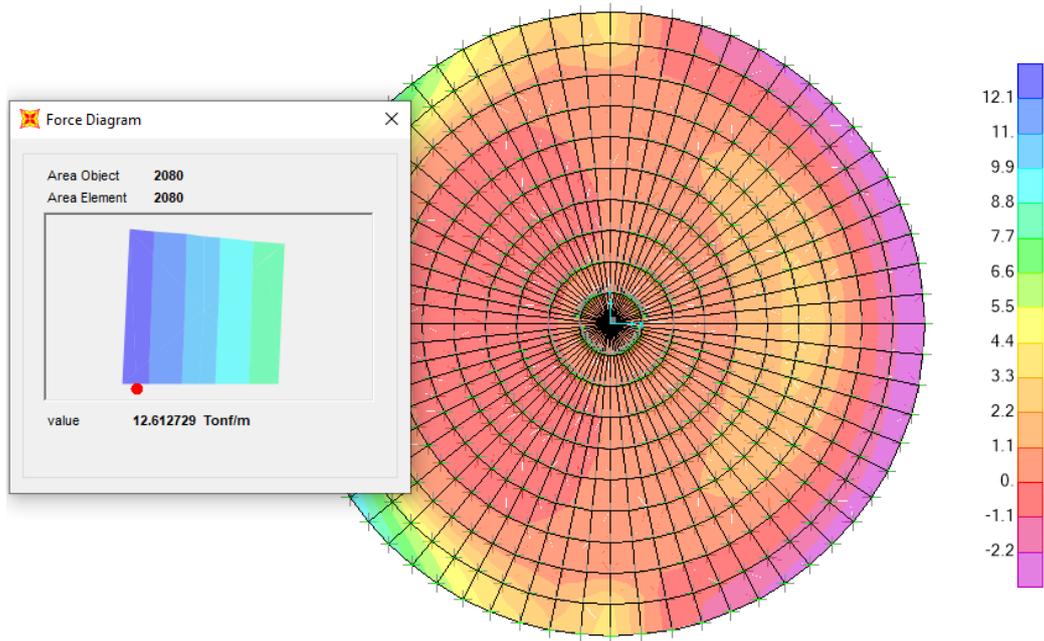
Fuente: propia



**Imagen 6.12.** Momento flector M22 negativo último en losa de fondo.

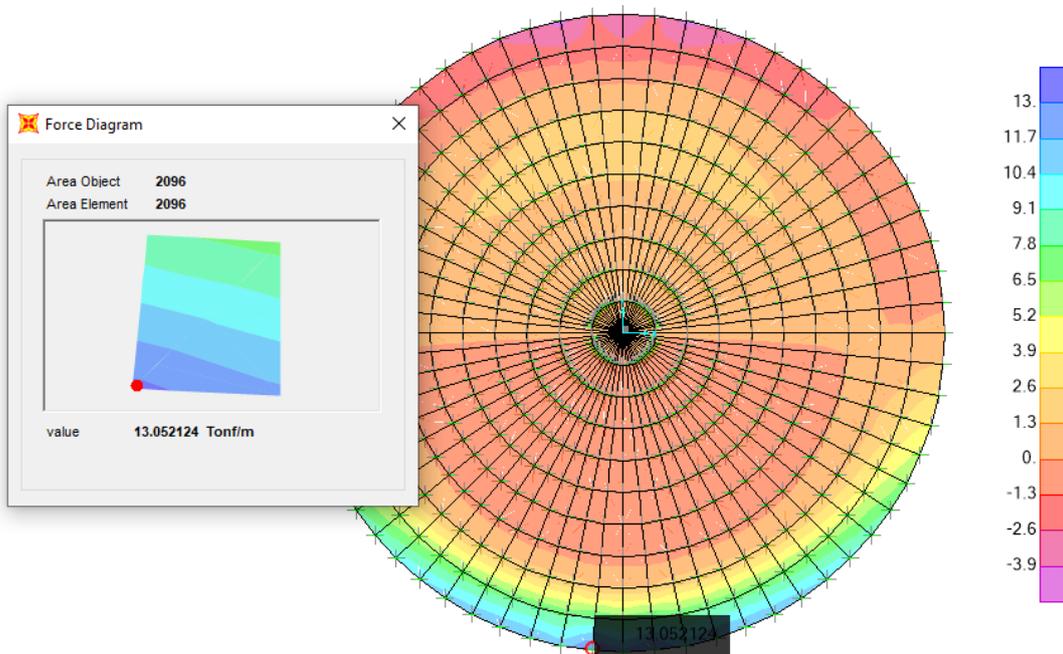
Fuente: propia

A continuación, se muestra las fuerzas cortantes últimas actuantes en la losa de fondo.



**Imagen 6.13.** Cortante última V12 último en losa de fondo.

Fuente: propia



**Imagen 6.14.** Cortante última V23 última en losa de fondo.

Fuente: propia

## CAPÍTULO 7 DISEÑO DE ELEMENTOS DEL RESERVORIO

En el presente capítulo se realizará el diseño de los elementos estructurales del reservorio: cúpula, viga de anillo, pared cilíndrica y losa de fondo. Se presentarán los cálculos realizados por cada tipo de diseño: flexión, corte y tracción. Por consiguiente, la armadura utilizada en cada elemento estructural.

### 7.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO

La metodología utilizada para el diseño de los diferentes sistemas de techados propuestos fue el diseño por resistencia. El cual tiene por ecuación básica:

$$\text{Resistencia} \geq \text{Efecto de las cargas.}$$

Ecuación que para fines del diseño por flexión se representa de la siguiente forma:

$$\phi M_n \geq M_u$$

**Ecuación 7.01.** Metodología de diseño por resistencia por flexión.

,  $\phi$  siendo igual a 0.9.

Cabe resaltar que  $M_n$  representa el momento nominal obtenido a través de las dimensiones de la sección analizada y las características de los materiales utilizados:  $f'_c$ ,  $f_y$  y  $A_s$ . Además, para su determinación se debe recurrir a las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y relaciones constitutivas. Por otro lado,  $M_u$  representa el momento flector ejercido por las cargas factorizadas. La magnitud de este valor proviene a través del análisis estructural.

Adicionalmente, la ecuación 7.01 también es usada para fines de un diseño por corte y tracción. Se representa de la siguiente forma:

$$\phi V_n \geq V_u$$

**Ecuación 7.02.** Metodología de diseño por resistencia por corte.

,  $\phi$  siendo igual a 0.85

$$\phi T_n \geq T_u$$

**Ecuación 7.03.** Metodología de diseño por resistencia por tracción.

,  $\phi$  siendo igual a 0.90

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la resistencia al corte del concreto:

$$\phi V_c = 0.85 \cdot 0.53 \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

**Ecuación 7.04.** Resistencia al corte del concreto.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la cuantía de acero por flexión.

$$A_s = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot M}{\phi f \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2} \right)} \right)$$

**Ecuación 7.05.** Cuantía de acero por flexión.

Por último, se utiliza la siguiente fórmula para calcular la cuantía de acero por tracción.

$$A_s = \frac{T}{0.9 f_y}$$

**Ecuación 7.06.** Cuantía de acero por tracción.

Cabe resaltar que el acero mínimo de las estructuras en contacto con el agua se considerará será lo dictaminado por Tabla 7.12.2.1 del ACI 350.

Longitud entre juntas (m)	Cuantía mínima de acero de refuerzo por contracción y temperatura	
	Grado 40	Grado 60
Menos de 6	0.003	0.003
Entre 6 y 9	0.004	0.003
Entre 9 y 12	0.005	0.004
Más de 12	0.006	0.005

**Tabla 7.01.** Cuantía mínima de acero.

Por consiguiente, el acero mínimo a utilizar en los diferentes elementos del reservorio de agua será el siguiente:

$$A_{s\text{mín}} = 0.003 \cdot b \cdot d$$

**Ecuación 7.07.** Cuantía de acero mínimo.

## 7.2 DISEÑO DE CÚPULA

Se extraen las fuerzas últimas del modelo computacional. De esta manera, se obtiene:

$$\begin{aligned} M_u &= 0.13 \text{ ton.m} \\ V_u &= 0.10 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 7.2.1 DISEÑO POR FLEXIÓN

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se calcula el acero instalado necesario para soportar el momento flector último debido a las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Mu (ton.m)	d (cm)	a (cm)	As mín (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	As	As instalado (cm <sup>2</sup> )
0.13	3.50	0.18	1.26	1.01	8mm @0.30	1.67

Tabla 7.02. Diseño por flexión de cúpula.

### 7.2.2 DISEÑO POR CORTE

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se verifica que la resistencia al corte del concreto soporte las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Vu (ton)	b (cm)	d (cm)	∅ Vc (ton)
0.10	100	3.50	2.64

Tabla 7.03. Diseño por corte de cúpula.

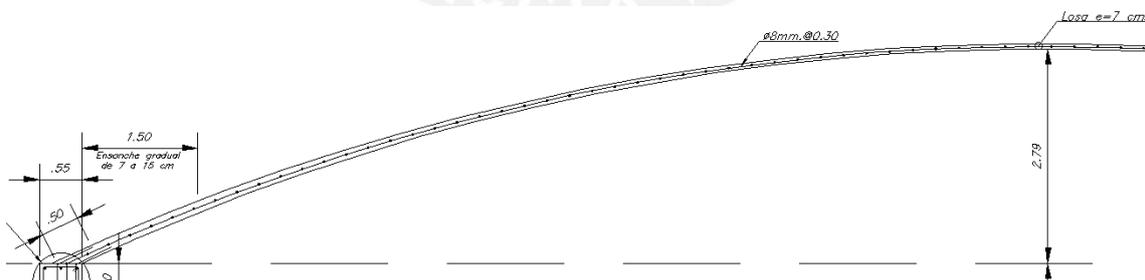


Imagen 7.01. Diseño de cúpula.

Fuente: propia

## 7.3 DISEÑO DE PARED CILÍNDRICA

Se extraen las fuerzas últimas del modelo computacional. De esta manera, se obtiene:

Mu máx	=	2.91 ton.m
Mu mín	=	12.69 ton.m
Vu	=	12.25 ton
Tu1	=	156.01 ton
Tu2	=	107.14 ton

### 7.3.1 DISEÑO POR FLEXIÓN

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se calcula el acero instalado necesario para soportar los momentos flectores últimos debido a las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Mu (ton.m)	d (cm)	a (cm)	As mín (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	As Corrido	As Bastones	As instalado (cm <sup>2</sup> )
12.69	34.50	1.76	6.00	9.99	1/2"@0.20	1/2"@0.20	10.32
2.91	34.50	0.40	6.00	2.24	1/2"@0.20	-	6.45

Tabla 7.04. Diseño por flexión de pared cilíndrica.

### 7.3.2 DISEÑO POR CORTE

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se verifica que la resistencia al corte del concreto soporte las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Vu (ton)	b (cm)	d (cm)	Ø Vc (ton)
12.25	100.00	34.50	26.01

Tabla 7.05. Diseño por corte de pared cilíndrica.

### 7.3.3 DISEÑO POR TRACCIÓN

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se calcula el acero instalado necesario para soportar las fuerzas de tracción anular debido a las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Tu (ton)	As (cm <sup>2</sup> )	As	As inst (cm <sup>2</sup> )
156.01	41.27	1" @ 0.20 en 2 capas	51.00
107.14	28.34	3/4" @ 0.20 en 2 capas	28.40

Tabla 7.06. Diseño por tracción de pared cilíndrica.

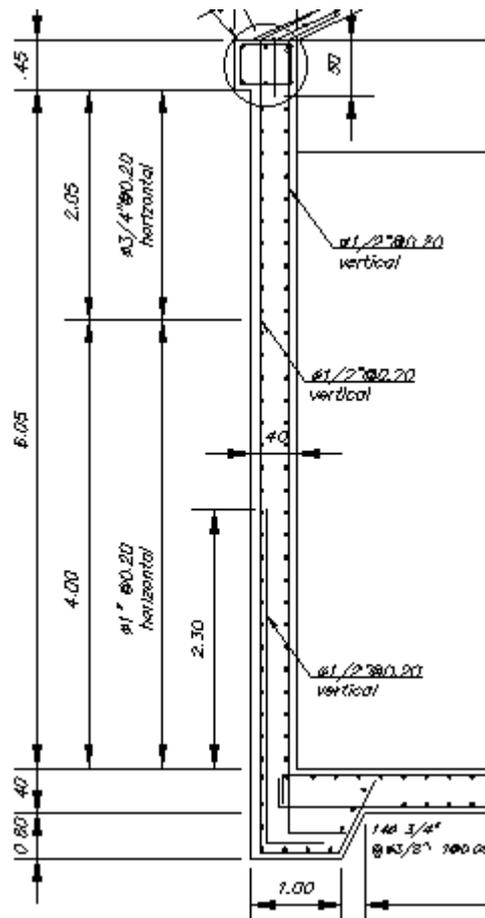


Imagen 7.02. Diseño de pared cilíndrica.

Fuente: propia

#### 7.4 DISEÑO DE VIGA ANILLO

Se extraen las fuerzas últimas del modelo computacional. De esta manera, se obtiene:

$$T_u = 44.66 \text{ ton}$$

$$V_u = 0.66 \text{ ton}$$

### 7.4.1 DISEÑO POR CORTE

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se verifica que la resistencia al corte del concreto soporte las solicitaciones últimas sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Vu (ton)	b (cm)	d (cm)	Ø Vc (ton)
0.66	55.00	41.50	17.21

Tabla 7.08. Diseño por corte de viga anillo.

### 7.4.2 DISEÑO POR TRACCIÓN

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se calcula el acero instalado necesario para soportar las solicitaciones por tracción anular.

Tu (ton)	As mín (cm2)	As (cm2)	As	As inst (cm2)
44.59	5.48	11.80	6Ø 5/8"	11.94

Tabla 7.09. Diseño por tracción de viga anillo.

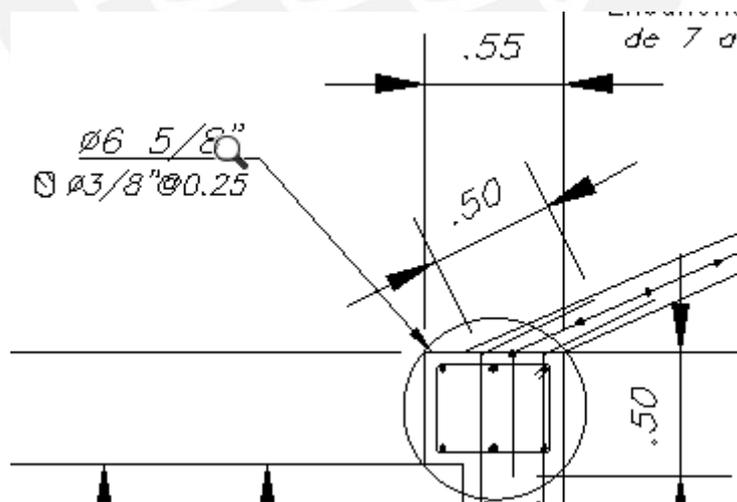


Imagen 7.03. Diseño de viga anillo.

Fuente: propia

### 7.5 DISEÑO DE LOSA DE FONDO

Se extraen las fuerzas últimas del modelo computacional. De esta manera se obtiene:

M11 máx	=	9.27 ton.m
M11 mín	=	-9.43 ton.m
M22 máx	=	13.17 ton.m
M22 mín	=	-6.29 ton.m
V13	=	12.61 ton
V23	=	13.05 ton

### 7.5.1 DISEÑO POR FLEXIÓN

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se calcula el acero instalado necesario para soportar el momento flector último debido a las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

Mu (ton.m)	d (cm)	a (cm)	As mín (cm <sup>2</sup> )	As (cm <sup>2</sup> )	As (Anular)	As Corrido (Radial)	As Bastones (Radial)
9.27	34.5	1.28	6	7.24	Ø1/2"@0.20	Ø1/2"@0.20	-
9.43	34.5	1.3	6	7.37	Ø1/2"@0.20	Ø1/2"@0.20	-
13.17	34.5	1.83	6	10.37	4Ø3/4"	Ø1/2"@0.20	Ø1/2"@0.20
6.29	34.5	0.86	6	4.88	Ø1/2"@0.20	Ø1/2"@0.20	Ø1/2"@0.20

Tabla 7.10. Diseño por flexión de losa de fondo.

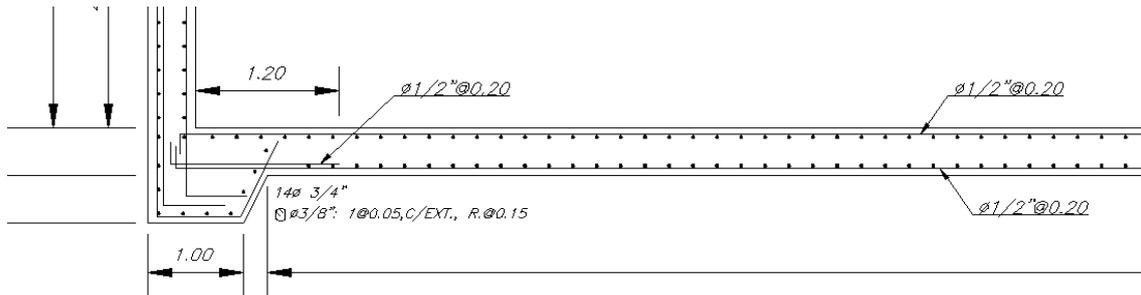
El momento 13.17 ton.m está ubicado en el extremo de la losa de fondo (ver Imagen 6.11). Se ha agregado bastones en sentido radial próximos a los extremos. Así mismo, se tiene una configuración especial en sentido anular en el extremo de la losa de fondo (ver Imagen 7.04).

### 7.5.2 DISEÑO POR CORTE

Utilizando las ecuaciones mostradas en el presente capítulo se verifica que la resistencia al corte del concreto soporte las solicitaciones sísmicas, de gravedad e hidrodinámicas.

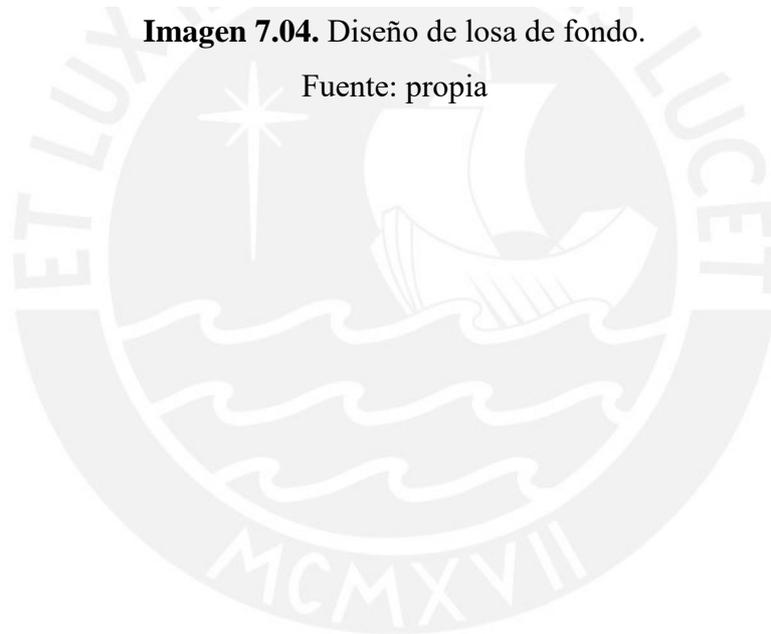
Vu (ton)	b (cm)	d (cm)	Ø Vc (ton)
12.61	100	34.5	26.01
13.05	100	34.5	26.01

**Tabla 7.11.** Diseño por corte de losa de fondo.



**Imagen 7.04.** Diseño de losa de fondo.

Fuente: propia



## CAPÍTULO 8 CONTROL POR FISURACIÓN

En el presente capítulo utilizando los esfuerzos de flexión y tracción en estado de servicio de la pared cilíndrica y se evaluará sin son menores a los máximos permitidos.

### 8.1 CONTROL DE FISURACIÓN POR FLEXIÓN

Momento de servicio ( $M_s$ ) = 5.43 ton.m

Relación de módulos ( $n$ ) = 9.00

Peralte efectivo ( $d$ ) = 35.00 cm

Ancho de elemento ( $b$ ) = 100.00 cm

Cuantía de acero instalado ( $A_s$ ) = 4.30 cm<sup>2</sup>

$$\Sigma M_c = -\frac{b \cdot c^2}{2} + (d - c) \cdot n \cdot A_s = 0$$

$$c = 7.93 \text{ cm}$$

**Ecuación 8.01.** Profundidad del eje neutro.

$$I_{cr} = \frac{c^3 \cdot b}{3} + n \cdot A_s \cdot (d - c)^2$$

$$I_{cr} = 101698 \text{ cm}^4$$

$$f_s = \frac{n \cdot M_s \cdot (d - c)}{I_{cr}}$$

$$f_s = 1301.29 \text{ kg/cm}^2$$

**Ecuación 8.02.** Esfuerzo por flexión en estado de servicio en pared cilíndrica.

$$\beta = \frac{h - c}{d - c}$$

$$\beta = 1.184$$

$$f_{s\text{permisible}} = \frac{320}{\beta \sqrt{s^2 + 4(2 + d/2)^2}}$$

$$f_{s\text{permisible}} = 3097 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s_{permissible}} > f_s$$

**Ecuación 8.03.** Verificación de esfuerzo admisible por flexión en estado cilíndrica.

## 8.2 CONTROL DE FISURACIÓN POR TRACCIÓN

Fuerza de Tracción (Ts)	= 45.28 ton.m
Relación de módulos (n)	= 9.00
Módulo de Elasticidad de acero (Es)	= 2 000 000 kg/cm <sup>2</sup>
Deformación unitaria (ε)	= 0.0003
Área bruta de sección (Ag)	= 4000 cm <sup>2</sup>
Factor (fs)	= 1400 kg/cm <sup>2</sup>

$$f_t = \frac{T_s(E_s \cdot \varepsilon + f_s)}{A_g \cdot f_s + (n - 1)T_s}$$

$$f_t = 15.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_t < 0.1 \cdot f'_c$$

**Ecuación 8.04.** Verificación de esfuerzo admisible por tracción en pared cilíndrica.

## CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES

- El predimensionamiento se realizó en base a solicitaciones por gravedad. Sin embargo, se utilizaron dimensiones mayores a las calculadas para que el reservorio pueda soportar las solicitaciones sísmicas. Por lo tanto, en la pared cilíndrica es correcto asumir un espesor 10 o 15 cm mayor al calculado por solicitaciones de gravedad.
- El elemento estructural que presentó los menores esfuerzos es la cúpula. Por otro lado, el elemento estructural que presentó los esfuerzos más significativos es la pared cilíndrica. Por este motivo, la verificación de esfuerzos admisibles se centró en este último.
- Según las hipótesis iniciales la viga anillo solo presentó esfuerzos de tracción anular. Las dimensiones de la viga anillo fueron las correctas, debido a que se logró el comportamiento esperado: absorber por completo el esfuerzo de tracción generado por el peso de la cúpula.
- Los esfuerzos y el diseño de un reservorio elevado serán similares al de un reservorio circular sobre terreno. Existirán fuerzas de tracción anular y momento flectores significativos en las paredes cilíndricas. Sin embargo, se tendrá que realizar una verificación por volteo. La cual posiblemente esté conectada con el predimensionamiento inicial de la estructura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

2009 Norma E.060 Concreto Armado. Lima Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

2006 Norma E.020 Cargas. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

2018 Norma E.030 Diseño Sismorresistente. Lima Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

American Concrete Institute

2006 “Seismic design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI.350.3-06)”. Farmington Hills, Michigan, USA. ACI committee 350.

American Concrete Institute

2006 “Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary (ACI350-06)”. Farmington Hills, Michigan, USA. ACI committee 350

Villagómez, Diego

2021 Diseño de sistemas de concreto para contención de líquidos (diapositiva).

Consulta: 13/09/2022

