



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Geometría y respuesta sísmica en reservorios apoyados de concreto
armado en la ciudad de Chimbote. 2022

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Garro Espinoza, Nestor Damasceno (orcid.org/0000-0003-3888-9055)

ASESOR:

Mg. Meza Rivas, Jorge Luis (orcid.org/0000-0002-4258-4097)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

HUARAZ – PERÚ

2023

Dedicatoria

La realización de este trabajo de investigación es fruto del esfuerzo y sacrificio unido al apoyo incondicional de personas muy especiales en mi vida, ante todo doy gracias a dios por haberme ayudado durante todo este tiempo a cumplir mis metas, a mi madre: Maria Blandina Espinoza Caqui, a mi hermano: Marlon Jesus Garro Espinoza, a mi padre: Damasceno Garro López desde el cielo que me dejó grandes valores para la vida, a la señorita: Luz Rocio Osorio Henostroza, quien es una amiga compañera y pareja por todo sus ánimos y apoyo incondicional hacia mi persona.

Agradecimiento

Agradezco al Mag. Ing. Jorge Luis Meza Rivas, por su guía y asesoría desde el inicio hasta la culminación de este trabajo de investigación, por su paciencia continua, y recomendaciones y puntos de vista para el mejoramiento de esta investigación.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras	viii
Resumen	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III.METODOLOGÍA	29
3.1 Tipo y diseño de investigación	29
3.2 Variables y operacionalización.....	29
3.3 Población, muestra y muestreo.....	30
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos	30
3.5 Procedimientos:	30
3.6 Método de análisis de datos:	49
3.7 Aspectos éticos	49
IV. RESULTADOS	50
V. DISCUSIÓN	98
VI. CONCLUSIONES.....	103
VII. RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS	105
ANEXOS.....	108

Índice de tablas

Tabla 1. Reservorios ubicados en la ciudad de Chimbote	9
Tabla 2. Perú: Una revisión de los sismos más intensos en los últimos 60 años.	9
Tabla 3. Factor de importancia (I).....	16
Tabla 4. Factor de modificación de respuesta R	16
Tabla 5. Factores de zona “Z”	25
Tabla 6. Factor de suelo “S”	27
Tabla 7. Periodos “Tp” y “TL”.....	27
Tabla 8. Fórmulas de la pseudo aceleración espectral para reservorios	28
Tabla 9. Operacionalización de variables.....	29
Tabla 10. Volúmenes de los reservorios rectangulares y circulares	30
Tabla 11. Valores de los materiales a usar en el modelamiento de reservorios	31
Tabla 12. Valores del predimensionamiento de los reservorios circulares.....	45
Tabla 13. Dimensionamiento de elementos estructurales – Reservorio circulares	45
Tabla 14. Propiedades dinámicas en los reservorios circulares.....	46
Tabla 15. Valores del predimensionamiento de los reservorios rectangulares	47
Tabla 16. Dimensionamiento de elementos estructurales – reservorios rectangulares	47
Tabla 17. Propiedades dinámicas en los reservorios rectangulares	48
Tabla 18. Fuerza axial RC - 50 m3.....	50
Tabla 19. Fuerza axial RC - 100 m3.....	51
Tabla 20. Fuerza axial RC-250 m3.....	52
Tabla 21. Fuerza axial RC - 500 m3.....	53
Tabla 22. Fuerza axial RC-1000 m3.....	54
Tabla 23. Fuerza axial RC-2000 m3.....	55
Tabla 24. Fuerza axial RC - 4000 m3.....	56
Tabla 25. Fuerza cortante RC - 50 m3	57
Tabla 26. Fuerza cortante RC -100 m3	58
Tabla 27. Fuerza cortante RC-250 m3	59
Tabla 28. Fuerza cortante RC-500 m3	60
Tabla 29. Fuerza cortante RC-1000 m3	61
Tabla 30. Fuerza cortante RC-2000 m3	62
Tabla 31. Fuerza cortante RC - 4000 m3	63
Tabla 32. Momento flector RC-50 m3.....	64
Tabla 33. Momento flector RC-100 m3.....	65
Tabla 34. Momento flector RC - 250 m3.....	66
Tabla 35. Momento flector RC - 500 m3.....	67

Tabla 36. Momento flector RC - 1000 m3.....	68
Tabla 37. Momento flector RC - 2000 m3.....	69
Tabla 38. Momento flector RC - 4000 m3.....	70
Tabla 39. Fuerza axial RR-50 m3.....	71
Tabla 40. Fuerza axial RR -100 m3.....	72
Tabla 41. Fuerza axial RR-250 m3.....	73
Tabla 42. Fuerza axial RR-500 m3.....	74
Tabla 43. Fuerza axial RR - 1000 m3.....	75
Tabla 44. Fuerza axial RR-2000 m3.....	76
Tabla 45. Fuerza axial RR-4000 m3.....	77
Tabla 46. Fuerza cortante RR-50 m3	78
Tabla 47. Fuerza cortante RR -100 m3	79
Tabla 48. Fuerza cortante RR - 250 m3	80
Tabla 49. Fuerza cortante RR-500 m3	81
Tabla 50. Fuerza cortante RR - 1000 m3	82
Tabla 51. Fuerza cortante RR - 2000 m3	83
Tabla 52. Fuerza cortante RR-4000 m3	84
Tabla 53 Momento flector RR - 50 m3.....	85
Tabla 54. Momento flector RR - 100 m3.....	86
Tabla 55. Momento flector RR - 250 m3.....	87
Tabla 56. Momento flector RR - 500 m3.....	88
Tabla 57. Momento flector RR-1000 m3.....	89
Tabla 58. Momento flector RR - 2000 m3.....	90
Tabla N° 59. Tabla 59. Momento flector RR-4000 m3.....	91
Tabla 60. Fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios circulares	92
Tabla 61. Fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios rectangulares	93
Tabla 62. Fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios circulares	94
Tabla 63. Fuerzas cortante máximas de los 7 reservorios rectangulares	95
Tabla 64. Momentos flectores máximos de los 7 reservorios circulares	96
Tabla 65. Momentos flectores máximos de los 7 reservorios rectangulares.....	97
Tabla 66. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza axial máxima (F11).....	98
Tabla 67 Variaciones porcentuales en la fuerza axial entre reservorio rectangular y circular	99
Tabla 68. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza cortante máxima (V23)	99

Tabla 69. Variaciones porcentuales en la fuerza cortante entre reservorio circular y rectangular.....	100
Tabla 70. Comparación del reservorio circular y rectangular respecto al momento flector máximo (M22).....	101
Tabla 71. Variaciones porcentuales en el momento flector entre reservorio circular y rectangular.....	102

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Sistema dinámico equivalente para un reservorio de agua.....	11
Figura 2. Sistema dinámico equivalente para un reservorio de agua.....	12
Figura 3. Valores de los coeficientes (K) para el calculo de momentos -tapa libre y fondo empotrado.....	13
Figura 4. Presión hidrodinámica en las paredes de un reservorio circular	17
Figura 5. Presión hidrodinámica en las paredes de un reservorio rectangular	17
Figura 6. Zonas sísmicas.....	25
Figura 7. Detalles geométricos del domo circular del tanque.....	37
Figura 8. Gráfico de Fuerza axial RC - 50 m ³	50
Figura 9. Gráfico de Fuerza axial RC - 100 m ³	51
Figura 10. Gráfico de Fuerza axial RC - 250 m ³	52
Figura 11. Gráfico de Fuerza axial RC - 500 m ³	53
Figura 12. Gráfico de Fuerza axial RC - 1000 m ³	54
Figura 13. Gráfico de Fuerza axial RC - 2000 m ³	55
Figura 14. Gráfico de Fuerza axial RC - 4000 m ³	56
Figura 15. Gráfico de Fuerza cortante RC - 50 m ³	57
Figura 16. Gráfico de Fuerza cortante RC - 100 m ³	58
Figura 17. Gráfico de Fuerza cortante RC - 250 m ³	59
Figura 18. Gráfico de Fuerza cortante RC - 500 m ³	60
Figura 19. Gráfico de Fuerza cortante RC - 1000 m ³	61
Figura 20. Gráfico de Fuerza cortante RC - 2000 m ³	62
Figura 21. Gráfico de Fuerza cortante RC - 4000 m ³	63
Figura 22. Gráfico de Momento flector RC - 50 m ³	64
Figura 23. Gráfico de Momento flector RC - 100 m ³	65
Figura 24. Gráfico de Momento flector RC - 250 m ³	66
Figura 25. Gráfico de Momento flector RC - 500 m ³	67
Figura 26. Gráfico de Momento flector RC - 1000 m ³	68
Figura 27. Gráfico de Momento flector RC - 4000 m ³	70
Figura 28. Gráfico de Fuerza axial RR - 50 m ³	71
Figura 29. Gráfico de Fuerza axial RR - 100 m ³	72
Figura 30. Gráfico de Fuerza axial RR - 250 m ³	73
Figura 31. Gráfico de Fuerza axial RR - 500 m ³	74
Figura 32. Gráfico de Fuerza axial RR - 1000 m ³	75
Figura 33. Gráfico de Fuerza axial RR - 2000 m ³	76

Figura 34. Gráfico de Fuerza axial RR - 4000 m3	77
Figura 35. Gráfico de Fuerza cortante RR - 50 m3	78
Figura 36. Gráfico de Fuerza cortante RR - 100 m3	79
Figura 37. Gráfico de Fuerza cortante RR - 250 m3	80
Figura 38. Gráfico de Fuerza cortante RR - 500 m3	81
Figura 39. Gráfico de Fuerza cortante RR - 1000 m3	82
Figura 40. Gráfico de Fuerza cortante RR - 2000 m3	83
Figura 41. Gráfico de Fuerza cortante RR - 4000 m3	84
Figura 42. Gráfico de Momento flector RR - 50 m3.....	85
Figura 43. Gráfico de Momento flector RR - 100 m3.....	86
Figura 44. Gráfico de Momento flector RR - 250 m3.....	87
Figura 45. Gráfico de Momento flector RR - 500 m3.....	88
Figura 46. Gráfico de Momento flector RR - 1000 m3.....	89
Figura 47. Gráfico de Momento flector RR - 2000 m3.....	90
Figura 48. Gráfico de Momento flector RR - 4000 m3.....	91
Figura 49. Gráfico de fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios circulares	92
Figura 50. Gráfico de fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios rectangulares	93
Figura 51. Gráfico de fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios circulares	94
Figura 52. Gráfico de fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios rectangulares	95
Figura 53. Gráfico de momentos flectores máximos de los 7 reservorios circulares	96
Figura 54. Gráfico de momentos flectores máximos de los 7 reservorios rectangulares ..	97
Figura 55. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza axial máxima	98
Figura 56. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza cortante máxima	100
Figura 57. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto al momento flector máximo	101

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado rectangulares de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³,1000 m³, 2000 m³,4000 m³; en la ciudad de Chimbote 2022, aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06, asimismo determinar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica en reservorios circulares apoyados de concreto armado de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³,1000 m³, 2000 m³,4000 m³, en la ciudad de Chimbote 2022; aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06 y comparar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado rectangulares y circulares de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³,1000 m³, 2000 m³,4000 m³, en la ciudad de Chimbote 2022; aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06, se uso el software sap2000 para el modelamiento el cual ayudó a determinar las fuerzas axiales, las fuerzas cortantes y momentos flectores, donde se observó que hay una predominancia de los valores máximos de la fuerza axial de reservorios circulares sobre reservorios rectangulares para un mismo volumen, respecto a la fuerza cortante existe una predominancia de los valores máximos de la fuerza cortante de reservorios rectangulares sobre los reservorios circulares para un mismo volumen, respecto a los momento flectores existe una predominancia de los valores máximos de los momentos flectores de reservorios rectangulares sobre los reservorios circulares para un mismo volumen. Finalmente se sugiere para volúmenes con valores entre 0 y 15.67 m³ se deben seleccionar reservorios rectangulares y para volúmenes mayores de 15.67 m³ deben seleccionarse reservorios circulares en la ciudad de Chimbote.

Palabras clave: Geometría del reservorio, componente impulsivo, componente convectivo, respuesta sísmica, fuerza axial, fuerza cortante, momento flector.

Abstract

The objective of this research was to determine the effect of geometry on seismic response, in rectangular reinforced concrete supported reservoirs of 50 m³, 100 m³, 250 m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³; in the city of Chimbote 2022, applying the E.030 and ACI 360.3-06 standards, also determining the effect of geometry on the seismic response in circular reservoirs supported by reinforced concrete of 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, in the city of Chimbote 2022; applying standards E.030 and ACI 360.3-06 and comparing the effect of geometry on the seismic response, in rectangular and circular reinforced concrete supported reservoirs of 50 m³, 100 m³, 250 m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, in the city of Chimbote 2022; applying the E.030 and ACI 360.3-06 standards, the sap2000 software was used for modeling which helped determine the axial forces, shear forces and bending moments, where it was observed that there is a predominance of the maximum values of the force of circular reservoirs over rectangular reservoirs for the same volume, regarding the shear force there is a predominance of the maximum values of the shear force of rectangular reservoirs over circular reservoirs for the same volume, regarding the bending moment there is a predominance of the maximum values of the bending moments of rectangular reservoirs over circular reservoirs for the same volume. Finally, it is suggested for volumes with values between 0 and 15.67 m³, rectangular reservoirs should be selected and for volumes greater than 15.67 m³, circular reservoirs should be selected in the city of Chimbote.

Keywords: Reservoir geometry, impulsive component, convective component, seismic response, axial force, shear force, bending moment.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo entero se diseñan reservorios de diferentes materiales y formas geométricas, que ante la ocurrencia de un de sismo de gran intensidad produce una serie de daños estructurales sobre el mismo. En Estados Unidos el sismo de San Fernando causó gran impacto sobre las estructuras hidráulicas, ocasionando daños a las fuentes y a la red de tuberías, además en el nivel de los pozos de agua produjeron muchas fluctuaciones. Respecto a la intensidad sísmica ocurrida en San Fernando fue en un rango de VIII y IX, cuyas consecuencias importantes en el sistema de abastecimiento de agua fue a nivel estructuras hidráulicas como las presas, tuberías , tanques de agua y tanques principales de agua, reservorios y cloacas.(Grases,1997, p. 74). En Nueva Zelanda el sismo de Kaikōura causó algunos daños en reservorios de almacenamiento de agua en sistema de abastecimiento rural, Los reservorios de concreto de ferrocemento más antiguos en Ward instalados en la década de 1950 sufrieron daños estructurales, aunque uno de los tanques permaneció parcialmente operativo.(Hughes et al.,2017, p. 309). En India el sismo de Bhuj ocasionó el colapso de un reservorio elevado de 100 metros cúbicos, debido al inapropiado diseño de las conexiones y el pobre detallado de las unión columna-viga. (Soroushnia et al.,2011, p. 3078). En Mexico los residentes dijeron haber alarmado a las autoridades por semanas acerca de una fisura en un reservorio de concreto que colapsó, soltando olas de 750000 galones que mató a cuatro personas, hirió a 19 y destruyó 9 hogares. (Holden,1988)

En Perú actualmente no existe una normativa que se oriente exclusivamente a los diseños de reservorios que garantice un diseño ideal, el cual resista pueda resistir diversas cargas para su funcionamiento correcto, incluido bajo sismos de gran magnitud. (Diaz Calderon,2019, p. 2). El Perú es una zona altamente sísmica, dada su cercanía a la placa tectónica de Nazca, el cual sufre constantemente movimientos que producen acumulación de energía en ciertas zonas los cuales al liberar dicha energía se producen los sismos los cuales tienen un gran efecto sobre los reservorios contenedoras de agua. En Loreto el sismo de 8 de magnitud afectó a las ciudades de Yurimaguas y Requena causando daños en los reservorios elevados de dichas ciudades.(Gestión,2019) .En Pisco el sismo del 2007 afectó severamente el sistema de agua potable los mismos que se vieron reflejados en el reservorio elevado de capacidad de 1400 m³ el cual tuvo manifestaciones de filtraciones y grietas, que por su estado se descartó su uso.(WSP,2011, p. 24).

En las zonas de Chimbote, Casma y Huarney se tiene proyectado la construcción de varios reservorios para el abastecimiento de agua potable (peruconstruye,2018), por lo que se hace necesario un diseño idóneo de dichas estructuras, además al considerar que

según la zonificación sísmica del Perú, las zonas de Chimbote, Casma y Huarney están ubicadas en la zona 4, zona altamente sísmica, por lo que se debe tomar en consideración el efecto sísmico en el diseño de los reservorios, para evitar fallas estructurales de los mismos. La ciudad de Chimbote es una zona altamente sísmica, donde se observa la inexistencia de un criterio de diseño para reservorios de concreto armado en la elección de una determinada geometría respecto a un volumen específico el cual tenga un comportamiento idóneo durante un sismo. Muchas veces durante los sismos se observan daños estructurales, desde las más leves como las fisuras en las estructuras contenedoras de líquidos, a fallas graves como el colapso de la estructura en sí, trayendo consigo el desabastecimiento de agua potable, e incluso la pérdida de vidas humanas.

Por lo que se planteó como problema general: ¿Cuál es el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado, rectangulares y circulares en la ciudad de Chimbote 2022, según las normas E.030 y la ACI 360.3-06?

Como objetivo general se planteó: Determinar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado, rectangulares y circulares, en la ciudad de Chimbote 2022, según las normas E.030 y la ACI 360.3-06. Y como objetivos específicos se plantearon: Determinar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado rectangulares de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³; en la ciudad de Chimbote 2022, aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06, determinar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica en reservorios circulares apoyados de concreto armado de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, en la ciudad de Chimbote 2022; aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06 y comparar el efecto de la geometría en la respuesta sísmica, en reservorios apoyados de concreto armado rectangulares y circulares de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, en la ciudad de Chimbote 2022; aplicando las normas E.030 y ACI 360.3-06.

La hipótesis general planteada es: La geometría de reservorios apoyados de concreto armado rectangulares y circulares, en la ciudad de Chimbote 2022, tendrá un efecto en su respuesta sísmica, según las normas E.030 y la ACI 360.3-06.

II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo a la bibliografía consultada se organizaron los antecedentes por grupos como, antecedentes internacionales:

(Diaz Calderon,2019). "Diseño y estudios preliminares de un tanque elevado cuadrado para la finca de la universidad cooperativa de Colombia sede Villavicencio". El objetivo de esta investigación fue elaborar tanto los estudios preliminares y diseño de un tanque elevado en la universidad cooperativa de Colombia mediante métodos aprendidos a la largo de la carrera (p.vi). Realizó un investigación de tipo exploratorio al inicio, pues en la zona de estudio se carecía de estudios de las características del subsuelo, luego se realizó el predimensionamiento con la ayuda del software AutoCAD, usando la norma NSR-10 una vez obtenido el predimensionamiento, se pasó dicha información al software SAP2000, continúa con el análisis sísmico donde se realiza el diseño del espectro de aceleraciones que ayuda a determinar las fuerzas de sismos, luego se realiza el análisis de cargas (cargas muertas, vivas, sismo y viento), con todos estos valores se realizó la simulación, después de la simulación procede a realizar el diseños de columnas, losas, cimentación, muros y finalmente el dibujo de planos. (p. 40-48). Con la metodología anterior se determinó que las secciones de las columnas debe ser de 35x35 cm y se debe aumentar la resistencia del material a 28 Mpa, con respecto a las vigas; ya que el sismo las afecta principalmente, por lo que el diseño de acero debe ser en la parte superior e inferior de la viga, en el diseño de columnas, según los cálculos la necesidad de acero es mínima, en el diseño del tanque las losas fueron diseñados en dos direcciones, en el diseño de muros del tanque se tuvo que reforzar las esquinas para evitar las fisuras, respecto a la cimentación se usó zapatas cuadradas que obtuvieron buena respuesta en la verificación por aplastamiento y por cortante. (p.129-132). Las conclusiones a la que arribó fueron el diseño de la sección de las columnas de 35x35 cm, en el caso de las vigas se obtuvo una sección de 30x30 cm para los 3 primeros pisos, mientras que en el cuarto piso se tuvo una sección de 30x40 cm, con una resistencia del concreto de $f_c = 280$ Mpa, cumpliendo con las derivas exigidas por la normativa usada en esta investigación.(p. 134). Esta investigación nos da una perspectiva para el diseño de tanques elevados usando la norma NSR-10.

(Hernández et al.,2015). "Efecto del oleaje no lineal en tanques de almacenamiento sometidos a sismos intensos". El objetivo de esta investigación fue establecer una técnica matemática para el análisis de tanques tanto circulares como rectangulares tomando en consideración los efectos hidrodinámicos no lineales en estas estructuras. (p. 1). Empleó las ecuaciones de movimiento para trasladar a un dominio computacional las variables físicas usando cambio de variable. Mediante las diferencias finitas obtuvo la solución numérica. Con la discretización se obtuvo ecuaciones de segundo orden el cual se linealiza

con el método propuesto por Newton, finalmente se empleó el método del gradiente biconjugado para su solución. (p. 200-202). Se obtuvo como resultado que la altura de la ola calculado con la teoría no lineal era mayor que la calcula con teoría lineal, en referencia a la fuerza cortante máxima de las paredes de los tanques rectangulares el efecto no lineal del oleaje no es de mayor importancia en los valores de fuerza cortante, pero en el tanque circular la fuerza cortante no lineal es de mucha importancia, respecto al momento de volteo máximo, los efectos no lineales de oleaje son de mucha importancia, obviarlos puede conducir a falla de tipo estructural de las mismas (p. 202-203). Se presentó una metodología matemática para determinar los efectos causados por la no linealidad del oleaje en tanques rectangulares y circulares en su respuesta a sismos de gran intensidad con periodo grande y de larga duración. (p. 203). Esta investigación da una metodología matemática para el modelamiento y análisis de reservorios circulares y rectangulares. (Tripathi and Thapa, 2021). "Seismic Performance of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks" El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del tamaño del tanque, escenarios de altura, condición de tanque lleno, tipo de suelo y zonas sísmicas en tanques elevado tipo Intze construidos normalmente en Nepal. (p.51). se analizaron 34 modelos de tanques elevados de agua reforzados utilizando SAP 2000 para evaluar el desempeño sísmico con condiciones variables de llenado del tanque y altura de preparación para una capacidad de 450 m³/s y 225 m³/s los tanques fueron diseñados y detallados de acuerdo a las normativas IS 1893-2002 y IS:13920:1993, el sistema estructural y el contenido fue modelado en el SAP2000, para mejorar el análisis pushover. Se asumieron materiales cuyo comportamiento es no lineal, se asignaron articulaciones en la parte final de las columnas y viga arriostradas, se asignaron cargas no estáticas con 25% de carga viva y muerta, la curva de la cortante basal versus el desplazamiento fue dibujado, debido a la simetría de la estructura el análisis pushover fue hecho en una sola dirección. (p. 54) Se observó que el tiempo del periodo fundamental y el periodo de periodo impulsivo se incrementan cuando se aumenta la altura en cada etapa de llenado del tanque, la variación del momento fue similar para la condición de tanque lleno y los escenarios de aumento de altura. (p.55). Los parámetros hidrodinámicos para los casos de tanques elevados en este estudio mostraron que el tiempo del periodo fundamental e impulsivo se incrementa cuando la altura en los escenarios propuesto está en un rango de 12 a 24 metros y la cantidad de agua en los tanques se incrementa, respecto al factor de reducción de respuesta el uso de un único valor no se puede justificar para todas las alturas y capacidades del tanques elevados de agua de concreto armado, por lo tanto, para fines de diseño económico, se prefiere la estimación del factor de reducción de respuesta con un análisis exacto. (p. 58). Esta

investigación muestra el comportamiento de tanques elevados tipo Intze, el cual muestra diferentes respuestas de acuerdo a la altura de agua.

(Rasha et al.,2021). “Seismic behavior of reinforced concrete rectangular water tank on wall opening”. El objetivo de esta investigación fue estudiar la respuesta de un reservorio rectangular sin cobertura superior bajo el efecto de un sismo. (p. 12). La metodología que usó fue la de realizar un modelamiento usando el método de Housner, el cual asume que la totalidad de impacto hidrodinámico debido a la carga de sismo puede ser determinado como la suma de 2 componentes, el primer componente es llamado impulsivo, el agua en la base maneja el componente impulsivo, el segundo componente es titulado como convectivo (chapoteo), el agua en la parte superior del reservorio está en controlado por el componente convectivo. Realizó un análisis de elementos finitos usando el software ABACUS, basado en la adición de la masa en 3 dimensiones de simulación no lineal, 2 grupos de tanques de diferentes tamaños fueron estudiados el primer grupo estaba compuesto de cuatro tanques con una profundidad de 3 metros, mientras el segundo grupo estaba compuesto de 6 tanques con una profundidad de 6 metros. (p. 14). Los resultados probaron que la respuesta del reservorio apoyado con agujeros es muy sensible a la dirección de las cargas de sismo. (p.23). Las conclusiones a la que se arribó fue que la presencia de orificios en los reservorios tiene grandes efectos en el cambio de la distribución de los esfuerzos y deformaciones en la paredes del reservorio, finalmente el resultado del análisis mostró que el aumento del esfuerzo máximo se da alrededor del orificio, cuando la distancia entre el orificio y la base decrece. (p.28). Esta investigación nos da luces sobre los efectos que tienen los orificios en el diseño de reservorios de concreto armado.

(Mohammad Mansour et al.,2021) “Seismic vulnerability assessment of elevated water tanks with variable staging incorporating the fluid – structure interaction”. El objetivo de este estudio fue investigar la respuesta no lineal del pedestal que soporta los tanques elevados de concreto armado con diferentes patrones de carga el pedestal, evaluando el daño sísmico para cada patron. (p. 61). Se realizó una configuración en los supuestos escenarios y condición de nivel de agua. El modelo mecánico de resorte y masa para el sistema líquido reservorio fue descrito usando esta formulación. La metodología incluyó un análisis no lineal desarrollando el análisis pushover y el desarrollo de la curva de fragilidad, las configuraciones usadas fueron cruz (CF), radial (RF) y básica (BF).(p. 64). Los resultados de la curva de capacidad de acuerdo al gráfico, mostraron que el máximo cortante basal es para CF y RF ocurrido para un drift de 1% y ambos fueron 31% más alto que BF. También se observó que ambos CF y RF experimentaron colapso en 1.3% y 1.4% de drift respectivamente. (p. 73) Las conclusiones a la que arribó fueron que la configuración CF

exhibe inicialmente una alta rigidez que la usada por RF. Además, las configuraciones CF y RF proveen de una significativa mejora en la rigidez lateral comparado con la configuración BF. (p.76).Esta investigación nos muestra la respuesta de tanques elevados con 3 configuraciones transversales de ubicación de las columnas ante la ocurrencia de un sismo.

Como antecedentes nacionales se tomó en consideración los siguientes:

(Loaiza Peña,2019). “Determinación de la respuesta sísmica lineal y no lineal, por efecto de la variación de los niveles de agua máximos y mínimos, en reservorios apoyados aplicando norma ACI 350 casos de estudio: reservorios Picchu Alto y Hatun Huaylla de la ciudad del Cusco, 2019”. El objetivo de esta tesis fue analizar reservorios apoyados de diferentes volúmenes ante la presencia de sismos, usando normas internacionales y nacional. (p.1) La metodología usada fue realizar el análisis estático y dinámico a los reservorios usando la normativa ACI 350.3-06 y la norma peruana E.030, basados en cálculos manuales y que se comprobaron con el programa Sap2000 (p.1). Los resultados mostraron la existencia de variabilidad respecto a los niveles de análisis, diseño y desempeño ante un sismo. (p.1) Concluye que los valores obtenidos con la norma peruana respecto al análisis, diseño y desempeño sísmico varían (menores valores con la normativa peruana) respecto a las normas internacionales debido a que las normas internacionales consideran el efecto hidrodinámico mientras la norma peruana no. (p.1). Esta investigación nos da a conocer como la consideración del efecto hidrodinámico en las normativas es importante para la determinación correcta de valores de la respuesta sísmica en reservorios.

(Huisa Chura,2017). “Formulación de una Guía de Diseño para Mejorar la Respuesta Sísmica en Reservorios de Concreto Armado para Almacenamiento de Agua”. Esta investigación fue ejecutada para desarrollar una guía en el diseño de reservorios de concreto armado que ayude a mejorar la respuesta sísmica. (p. 25) La metodología se basó en el modelo de Housner, mediante el cálculo de los componentes impulsivo y convectivo, definió las características de los materiales a usar, asimismo las dimensiones, considerando la relación L/HL para reservorios de tipo rectangular y D/HL para el caso de reservorios de tipo circular, para la realización del análisis sísmico se usó 2 modelos, el primero empotrado sobre la base y el otro con aislador sísmico los cuales fueron modelados en el software sap2000.(p.122) obteniendo valores de cortante basal en la base fija de 115.65 tonf. y en la base aislada 82.65 tonf. (p. 123) Se llegó a la conclusión que los reservorios sobre base fijan poseen un mejor comportamiento sísmico que los de base

aislada, los cuales disminuyen la cortante basal y los momentos de volteo a una tasa de 45%. (p. 126). Esta investigación propone una metodología a seguir cuando se diseñan reservorios de concreto armado tomando en consideración los efectos sísmicos.

(Mantilla Calderón,2018). “Comportamiento sísmico de reservorios apoyados de concreto armado de sección circular y rectangular”. El objetivo de esta investigación fue comparar el comportamiento sísmico que manifiesta un reservorios de un volumen de 500 m³ con configuración rectangular y circular.(p.1), se empleó la norma ACI 350 para el análisis sísmico con la ayuda de hojas de Excel para luego realizar el modelamiento en el programa Sap2000, tomando en consideración las cargas de servicio y de sismo, además también se consideró el efecto de las presiones hidrodinámicas.(p. 1). Con los resultados obtenidos se comparó considerando los esfuerzos de tensión anular, fuerza cortante y flexión además de los desplazamientos (p.1) Llegó a la conclusión que los reservorios de geometría circular tienen un mejor comportamiento ante las cargas sísmicas ya que soportar el 66.82% de fuerzas anulares y reducen el efecto de los momentos horizontales en 84.53% mientras que respecto a los momentos verticales lo hacen en un 49.11%, asimismo reducen la fuerza cortante en los muros en 43.02% comparado con el reservorio rectangular (p.1). Esta investigación nos muestra una comparación entre un diseño de reservorio circular y rectangular para un mismo volumen, determinando la prevalencia de un mejor comportamiento sísmico del reservorio de geometría circular.

(Martinez Cahui,2019) “Evaluación del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular, aplicando la normativa norteamericana -Tacna 2019”.El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de sección circular y otro de sección rectangular, mediante el empleo de normativa norteamericana.(p.4) la metodología que empleó fue la de realizar un estudio preliminar de las normas norteamericanas específicamente la norma ACI.3-06, uso del programa Excel para el procesamiento de datos, definir las características del reservorio elevado, modelamiento del reservorio con ayuda del software sap2000, realizar el análisis y comparación de los resultados para sugerir una interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de modelamiento.(p. 33). Los resultados fueron que el momento positivo en las paredes del reservorio elevado de geometría circular es mayor la rectangular en la dirección de sismo XX, mientras que en la dirección del sismo en YY el momento positivo del reservorio circular es ligeramente menor al del reservorio rectangular, mientras que la fuerza cortante en la pared del reservorio elevado de geometría circular es menor al de la geometría rectangular tanto en

la dirección del sismo XX e YY.(p. 67) concluyendo que el comportamiento sísmico de un reservorio elevado con cuba de geometría rectangular muestra un comportamiento no uniforme en su sección comparado con el reservorio elevado de cuba circular el cual muestra un comportamiento uniforme en su comportamiento.(p.75).

Esta investigación nos informa que el comportamiento de un reservorio elevado de geometría circular, posee un mejor comportamiento sísmico comparado con el de geometría rectangular.

Como antecedentes locales se consideró:

(Peche Villafane,2003) “Diseño automatizado de reservorios circulares apoyados de concreto armado” El objetivo de esta investigación fue la sistematización en el diseño de reservorios circulares apoyados de concreto armado. (p.1), la metodología que aplicó fue el enfoque de arriba abajo, que consiste en la atención de los aspectos generales. Una vez que el proceso continúa se va desglosando en subsistemas en los que se pone mayor atención a los detalles específicos también consideró en el diseño las cargas estáticas, presión hidrostática y las cargas dinámicas causada por el sismo. (p.76). Llegó a la conclusión que en el diseño del reservorio circulares apoyados se debe considerar las solicitaciones a la que está sometida la estructura respecto a carga viva, peso propio, funcionamiento de la cúpula, presión de agua y la carga de sismo, para el caso de reservorios que poseen un diámetro mayor de 7 metros el techo plano tendrá un mayor espesor de reforzamiento y por ende mayor costo (p.381). Esta investigación nos muestra la automatización en reservorios circulares apoyados de concreto armado.

(Rodriguez Morales,2019)“Evaluación de la influencia de la configuración geométrica en la respuesta sísmica de estructuras de concreto contenedoras de agua, en la ciudad de Huaraz – 2017” . El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la configuración geométrica en la respuesta sísmica en reservorios de tipo rectangular y circular con diferentes volúmenes en la ciudad de Huaraz. (p. 2) la metodología que uso fue recolectar información mediante la búsqueda de bibliografía relacionada al tema de estudio, procedió a seleccionar la información relevante en la etapa previa para realizar cálculos que sirvieron para la siguiente etapa, en la última etapa los datos obtenidos son representados en gráficos. Los resultados mostraron que la fuerza axial es mayor en el reservorio circular que en el rectangular, respecto a la fuerza cortante es mayor en el reservorio circular que la del reservorio rectangular, respecto al momento flector el valor de es menor en el reservorio circular que en el rectangular. (p. 140-144). Las conclusiones a la que arribó fue que para la ciudad de Huaraz se deberían proyectar reservorios con una configuración rectangular desde un volumen de almacenamiento de 0m³ hasta 16.928m³ y una configuración circular para volúmenes mayores. (p. 165). Esta investigación nos

proporciona información sobre la configuración geométrica a elegir respecto a un volumen determinado, en la ciudad de Huaraz, tomando en consideración que, la ciudad de Huaraz en la zonificación sísmica se encuentra en la zona 3. En la ciudad de Chimbote el abastecimiento de agua potable se realiza a través de reservorios alimentados por pozos de agua, los cuales derivan sus aguas mediante bombeo a dichos reservorios.

Tabla 1. Reservorios ubicados en la ciudad de Chimbote

Nombre	Capacidad (M3)	Ubicación
R II A	6000	Cerro progreso
R II B	6000	Cerro progreso
R II C	2000	Cerro progreso
R III	3650	Cerro sector Tres Cabezas
R III A	1000	Cerro sector Tres Cabezas
R III B	2000	Cerro sector Tres Cabezas
R III C	2000	Cerro sector Tres Cabezas
R IV	350	Cerro San Pedro
R IV A	500	Cerro San Pedro
R V	600	Cerro San Pedro
R VI A - Planta	1600	Bellamar
R VI B - Planta	1600	Bellamar
Cisterna Garatea	600	Garatea
Tanque elevado Garatea	200	Garatea
R VII A	5000	Bellamar
R VII B	5000	Bellamar
R VIII	1000	Bellamar
R VIII B	2000	Bellamar

Fuente: (SEDACHIMBOTE)

Durante la historia, el Perú ha soportado sismos de gran magnitud entre los que podemos citar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Perú: Una revisión de los sismos más intensos en los últimos 60 años.

Fecha	Lugar	Profundidad (Kilometros)	Magnitud (Mw)
26-05-2019	Loreto	109.88	8
18-04-2017	Loreto	14	5.9
09-25-09-2013	Arequipa	40	7.1
10-28-10-2011	Cercano a la costa central (Ica) en Perú	24	6.9
15-08-20078	Cercano a la costa central (Ica) en Perú	39	8
23-06-2001	Cercano a la costa del sur del Perú (Arequipa)	33	8.4
02-10-1995	Cerca de la frontera Perú – Ecuador	24.4	7
04-04-1991	San Martín	19.8	7.1
03-10-1974	Cerca de la costa central de Perú (Lima)	13	7.6
09-12-1970	Tumbes	25	7.2
05-31-05-1970	Ancash	45	7.9
17-10-1966	Cercano a la costa central (Lima) en Perú	40	8.1

20-11-1960	Cerca de la costa del norte de Perú (Ancash)	15	7.6
15-01-1960	Cercano a la costa del sur Nazca) en Perú	65	7.1

Fuente: (Montesinos,2019)

Sobre reservorios de almacenamiento (rainwatertanksdirect,2018) menciona que el reservorio de concreto armado es un sistema tradicional de almacenamiento de agua, construido de fuertes y materiales duraderos como el concreto. La clasificación de los reservorios, por su material y su ubicación pueden ser :Enterrados , según (Mati,2022, p.8) es una estructura de almacenamiento de agua bajo el suelo, el término también incluye estructuras que están parcialmente bajo el suelo, en la mayoría de casos los reservorios recolectan y almacenan el agua descargada por las cuencas, pastizales, laderas, complejos residenciales, senderos, áreas pavimentadas y sin pavimentar, Superficiales o apoyados; Según (Agüero,2004, p.15) Son típicos para poblaciones ubicados en la zona rural, su uso más común es la que considera con la cubierta libre y fondo se empotrado, en este tipo de reservorios solo existe empuje del agua, en la base la presión es máxima y en parte superior presión es nula. Y Elevados, según (Bernal,2005, p.211) son los que se encuentran localizados en las terrazas de edificios y que normalmente se los apoya sobre ascensores o la caja de la escalera, las cargas presentes actúan de adentro hacia afuera (presión de agua) y se consideran para el cálculo como reservorios llenos.

Para la determinación de la capacidad del reservorio según (Agüero Pittman,1997, p. 77) será necesario. tener presente las compensaciones de las variaciones horarias, causadas por las emergencias en incendios, provisión de reservas que cubran interrupciones a nivel de la línea de conducción de manera que el reservorio trabaje de manera idónea., además el reservorio debe abastecer de manera integral durante la demanda máxima en el consumo el cual debe ser satisfecha, lo mismo que cualquier variación en la demanda durante las 24 horas del día.

La Localización geográfica del reservorio según (Agüero,2004, p.11) está relacionada con la necesidad de obtener una presión idónea en la red de servicio, de manera que se garantice presiones mínimas en las edificaciones más elevadas y presiones máximas en las edificaciones más bajas. También se debe tomar en consideración la ocurrencia de desastres naturales. Además, los reservorios según su ubicación pueden ser de tipo cabera o flotantes, respecto al primer tipo este se alimenta a partir de una captación pudiendo ser a su vez de gravedad o bombeo y elevados o apoyados los cuales abastecen de agua a la comunidad. Mientras que en el segundo caso son comunes los que regulan la presión, estos en la mayoría de veces son elevados cuya característica es en que la entrada y salida

se realiza por una misma tubería. Si tomamos en consideración la topografía del terreno superficial y la localización de la fuente de agua, la gran mayoría de proyectos de abastecimiento de agua potable son de tipo cabecera y también de gravedad.

Respecto al comportamiento dinámico de reservorios de agua según (Housner,1963) Un tanque o reservorio de agua sobre el suelo, tendrá su contenido excitado en forma de chapoteos causados por un sismo y la amplitud del chapoteo es el indicativo del movimiento del suelo. Si un tanque con una superficie libre como se observa en la figura 1, está sujeta a una aceleración horizontal "a", las fuerzas ejercidas sobre el reservorio por el agua son de 2 formas.

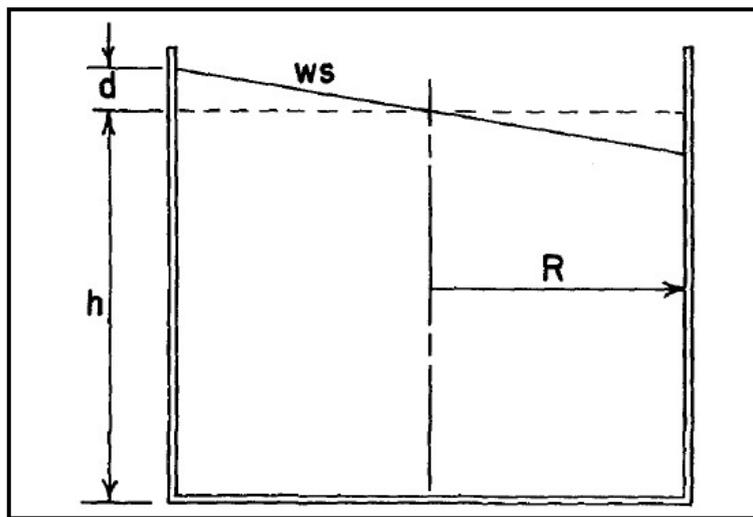


Figura 1. Sistema dinámico equivalente para un reservorio de agua

El primero, cuando las paredes del tanque aceleran de atrás y adelante, cierta fracción de agua es forzado a participar en este movimiento, el cual ejerce una fuerza reactiva sobre el tanque el mismo como lo ejercería una masa M_0 el cual está unida rígidamente al reservorio en una altura apropiada como lo muestra la figura 1a. La masa M_0 está unida a una altura h_0 para que la fuerza horizontal sea colineal con la fuerza resultante del agua equivalente. Segundo, el movimiento de las paredes del reservorio excita el agua en oscilaciones los cuales ejercen una fuerza de oscilación sobre el tanque. Esta fuerza de oscilación es el mismo como el ejercido por una masa M_1 , el cual puede oscilar horizontalmente en contra de un resorte como se muestra en la Figura 2. La masa M_1 corresponde al modo fundamental de oscilación del agua que es el modo de importancia para muchos problemas sísmicos. Si el sistema equivalente mostrado en la Figura 2 está sujeto a una aceleración sísmica del suelo "a", las fuerzas ejercidas sobre el reservorio por M_0 y M_1 serán los mismo que ejercieran el agua sobre el reservorio en la Figura 1 . (Housner,1963, p. 381-382)

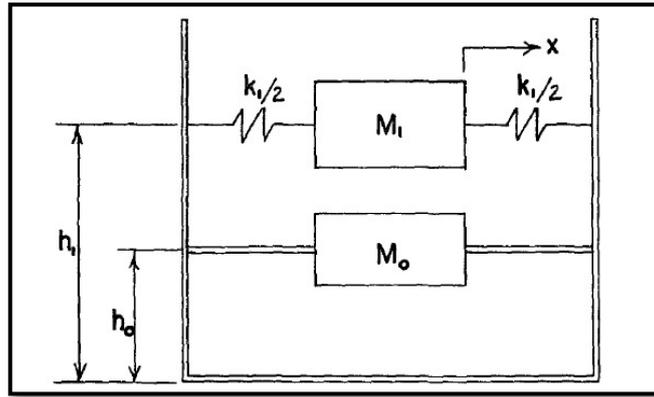


Figura 2. Sistema dinámico equivalente para un reservorio de agua

.El Método del PCA para reservorios rectangulares según (Javeed A.,1998, p. 1-1) han sido usados extensivamente en instalaciones municipales e industriales por muchas décadas. El diseño de reservorios requiere atención no solo a nivel de requerimientos de la resistencia sino también los requerimientos de servicio. Un diseño apropiado tiene que ser capaz de soportar las cargas aplicadas sin generar grietas que originen fugas. Mientras (Agüero Pittman,1997, p.81) indica que con el método de Portland Cement Association se determinan los momentos y fuerzas cortantes, tomando en consideración modelos de reservorios basados en los planteamiento de Timoshenko sobre Plates y Shells. Para el cálculo de momentos ,espesor de las paredes del reservorio rectangular utiliza las siguientes fórmulas:

$$M = k \cdot \gamma_a \cdot h^3 \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

M : Momento en la pared del reservorio rectangular.

k : Coeficiente ver Figura 3

Y_a: Peso específico del agua

h: Altura del líquido equivalente a la notación h_L

$$e = \left[\frac{6M}{ft \cdot b} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2)$$

$$ft = 0.85 \cdot f' c^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

e: Espesor de la pared del reservorio rectangular

ft: Esfuerzo de tracción por flexión

f_c: Esfuerzo de compresión del concreto

M : Momento en la pared del reservorio rectangular.

b: Ancho unitario (100 cm)

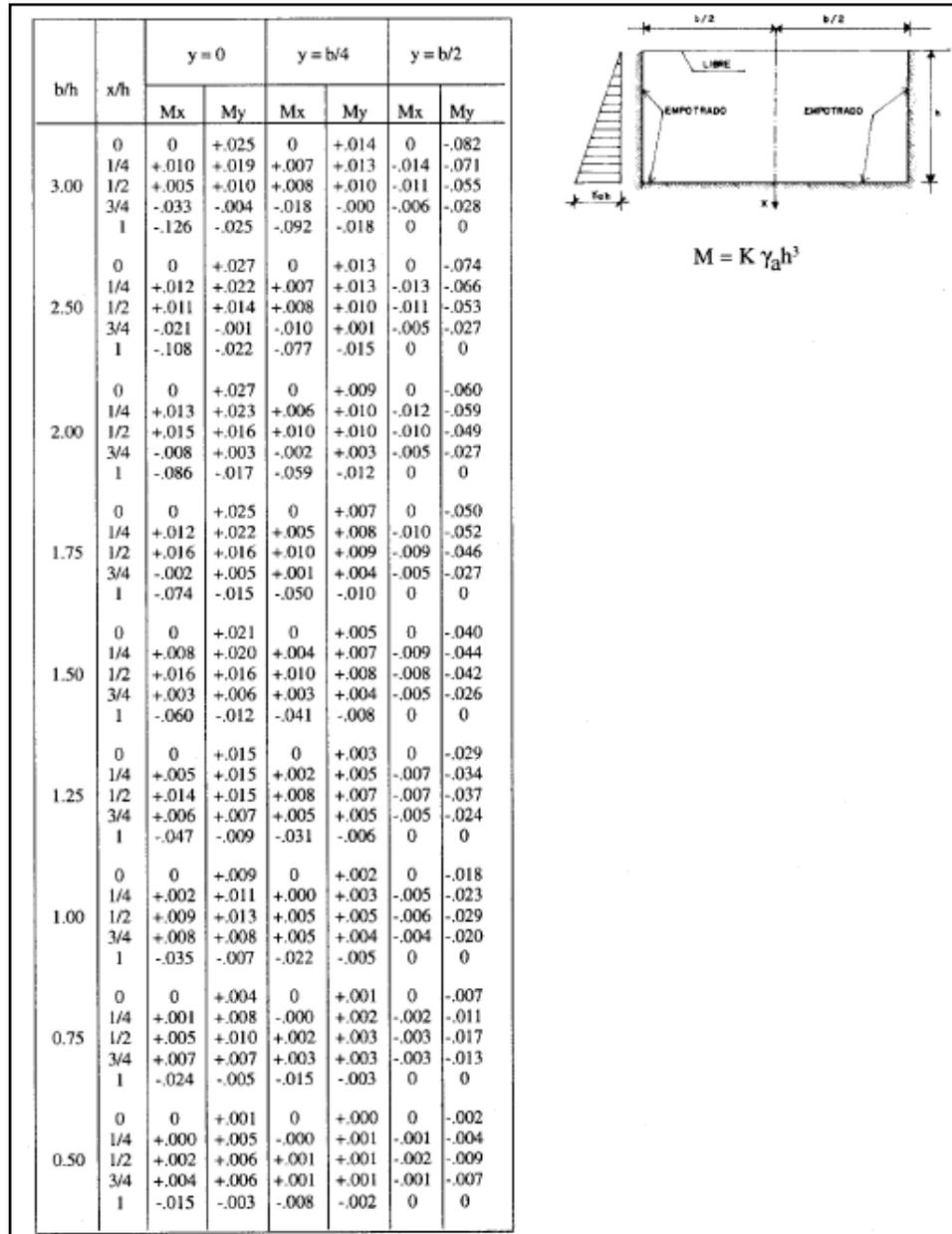


Figura 3. Valores de los coeficientes (K) para el calculo de momentos -tapa libre y fondo empotrado

Para el cálculo de la losa de cubierta (Agüero Pittman,1997, p.85) refiere “según el reglamento nacional de construcciones para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad, los momentos flexionantes en las fajas centrales son:”

$$L = B + e \dots\dots\dots(4)$$

$$e_L = \frac{L}{36} \dots\dots\dots(5)$$

$$MA = MB = CWL^2 \dots\dots\dots(6)$$

Dónde:

MA : Momentos flexionantes en la dirección A

MB: Momentos flexionantes en la dirección B

B: Luz interna del reservorio rectangular

e_L: Espesor de la losa de cubierta

C: coeficiente cuyo valor es 0.036

L: Luz de cálculo

W: peso propio + carga viva

(Agüero Pittman,1997, p.85) “conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil d mediante el método elástico con la siguiente relación”

$$R = \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot j \cdot k \dots\dots\dots(7)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots(8)$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} \dots\dots\dots(9)$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} \dots\dots\dots(10)$$

$$d = \left[\frac{M}{Rb} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(11)$$

Dónde:

f_s : Esfuerzo máximo admisible del acero

f_c : Esfuerzo máximo admisible del concreto a compresión

j : coeficiente

k : coeficiente

n : coeficiente

R : Coeficiente

E_s : Módulo de elasticidad del acero

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

M : Momento

b : ancho unitario (100 cm)

(Rodriguez Morales,2019, p.39) menciona las siguientes ecuaciones:

$$f_s = \frac{1}{3} \cdot F_y \dots \dots \dots (12)$$

$$f_c = 0.45 \cdot f'_c \dots \dots \dots (13)$$

Las Normas para el análisis sísmico que se usan en el Perú son la norma norteamericana ACI 350.3 – 06 y la norma peruana E.030, La norma ACI 350.3 – 06 (Seismic design of liquid – containing concrete structures and commentary) según el (A.C.I.,2006, p.350.3-1) El ACI committee 350 decidió expandir y añadir el capítulo 21: provisiones especiales para el diseño sísmico para proveer un conjunto de exhaustivos y comprensivos procedimientos para el análisis sísmico y diseño de estructuras contenedoras de líquidos hechos de concreto armado. La decisión del comité fue influenciado por el reconocimiento que las estructuras contenedoras de líquido son las únicas estructuras cuyo diseño sísmico no es adecuadamente cubierto por los códigos y normas nacionales, el subcomité de trabajo sísmico se guio por dos objetivos: producir procedimientos que permitieran la práctica ingenieril para mejorar completamente el análisis y diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquido, esto significó que estos procesos cubrieran ambos aspectos del diseño sísmico: primero, la carga lateral (nombrado como la determinación de las cargas sísmicas basados en un mapeo máximo considerando una respuesta espectral de aceleración sísmica en periodos cortos (S_s) y 1 segundo(S_1) obtenidos de mapas de movimientos sísmicos terrestres y la geometría de la estructura); y la resistencia lateral (el diseño detallado de la estructura de acuerdo a las

provisiones del ACI 350 para resistir aquellas cargas de manera segura). Segundo para establecer un alcance a los nuevos procedimientos que sean consistentes con el ACI 350, esto requirió la inclusión de todos los tipos de reservorios, rectangulares, así como circulares; y concreto armado, así como concreto pre esforzado.

Las cargas de diseño sísmico toman en consideración: A) Aplicación de la respuesta espectral en un sitio específico que de acuerdo al (A.C.I.,2006, p. 350.3-18) cuando los procedimientos a un sitio específico son usados, la máxima respuesta de aceleración espectral sísmica debería ser tomada entre la menor probabilidad de la máxima respuesta de aceleración espectral sísmica y la máxima probabilidad determinística de respuesta de aceleración espectral sísmica

Tabla 3. Factor de importancia (I)

	Uso del reservorio	Factor I
III	Reservorios conteniendo materiales peligrosos*	1.5
II	Reservorios que intentan mantener en uso para propósito de emergencia después de un sismo, o reservorios que son partes de línea de vida de sistemas	1.25
I	Reservorios no listados en la categoría II o III	1.0

Fuente: (A.C.I.,2006, p. 350.3-20) * En algunos casos para reservorios conteniendo materiales peligrosos, el criterio ingenieril puede requerir un factor I > 1.5

Tabla 4. Factor de modificación de respuesta R

Tipo de estructura	R _i		R _c
	Sobre o encima del suelo	Enterrado*	
Reservorios anclados de base flexible	3.25**	3.25**	1.0
Reservorios de base fija o articulada	2.0	3.0	1.0
Reservorio no anclado, con contenido, sin contenido***	1.5	2.0	1.0
Reservorios elevados	2.0	-	1.0

Fuente: (A.C.I.,2006, p. 350.3-20). * El reservorio enterrado es definido como un reservorio en el cual su máxima superficie de agua en estado inmóvil está bajo el nivel del suelo. Para reservorios parcialmente enterrados, el valor de R_i puede ser linealmente interpolado entre reservorios sobre el suelo y reservorios enterrados.

** $R = 3.25$ es el máximo valor R_i permitido para ser usado para cualquier contenedor de líquido hecho de estructuras de concreto.

***Reservorios no anclados, con contenido, sin contenido no deberían ser construidos en lugares donde $S_{SD} \geq 0.75$

Para la distribución de la carga de sismo según (A.C.I,2006, p. 350.3-21) En la ausencia de un complejo análisis que toma en cuenta las grandes variaciones verticales y horizontales en presiones hidrodinámicas, aquellas estructuras contenedoras de líquidos deben ser diseñados para las distribuciones dinámicas de esfuerzo de corte y presión además de la distribución de las cargas estáticas.

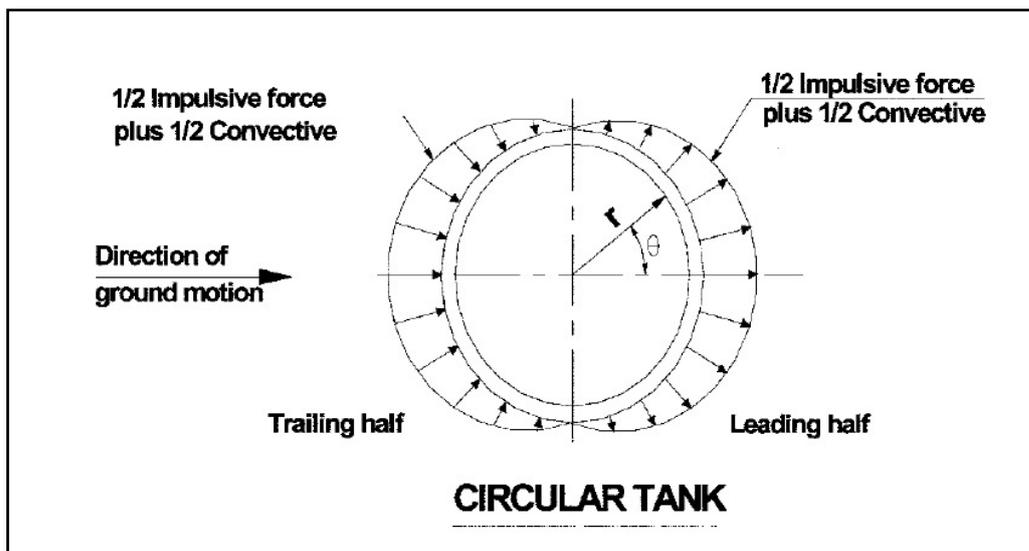


Figura 4. Presión hidrodinámica en las paredes de un reservorio circular

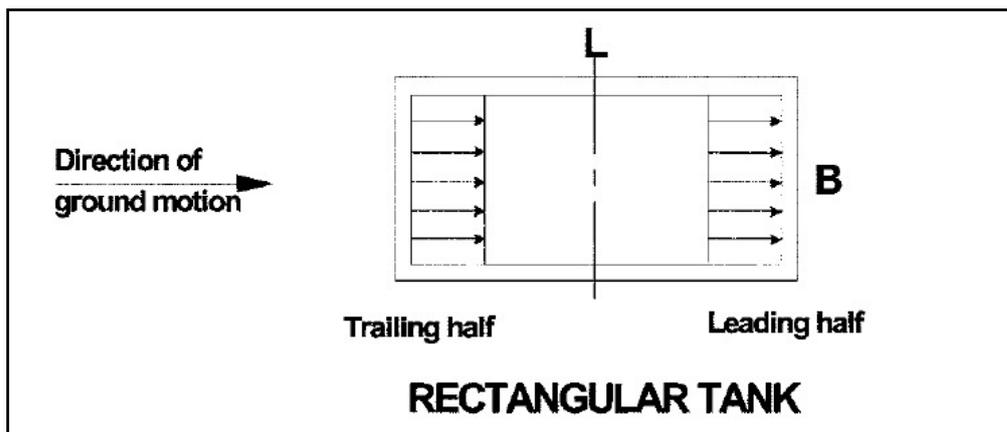


Figura 5. Presión hidrodinámica en las paredes de un reservorio rectangular

Para el Modelo dinámico según el (A.C.I,2006, p. 350.3-33) Las características dinámicas de estructuras contenedoras de líquidos sobre el suelo sujeto a aceleración sísmica serán calculadas para:

A) Reservorio rectangular EBP (excluyendo la presión de la base)

Peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado (W_i)

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh\left[0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)\right]}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)} \dots\dots\dots(14)$$

$$W_i = \left[\frac{\tanh\left[0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)\right]}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)} \right] \cdot W_L \dots\dots\dots(15)$$

Dónde:

W_i : Peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado, lb (KN)

W_L : Peso equivalente total del líquido almacenado, lb (KN)

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

Para reservorios con: $\frac{L}{H_L} < 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right) \dots\dots\dots(16)$$

Para reservorios con $\frac{L}{H_L} \geq 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375 \dots\dots\dots(17)$$

Dónde:

h_i : altura sobre la base del muro, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

Para todos los reservorios rectangulares:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right] - 2.01}{3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right) \cdot \sinh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} \dots\dots\dots(18)$$

Dónde:

h_c : altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza lateral convectiva, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

Peso equivalente del componente convectivo del líquido almacenado (W_C)

$$\frac{W_C}{W_L} = 0.264 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right) \cdot \tanh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right] \dots\dots\dots(19)$$

$$W_C = \left[0.264 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right) \cdot \tanh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right]\right] \cdot W_L \dots\dots\dots(20)$$

Dónde:

W_C : Peso equivalente del componente convectivo del líquido almacenado, lb (KN)

W_L : Peso equivalente total del líquido almacenado, lb (KN)

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

Frecuencia circular de oscilación del primer modo (convectivo) de chapoteo (ω_i), rad/s

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(21)$$

$$m = m_w + m_i \dots \dots \dots (22)$$

Dónde:

ω_i : Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración, radianes/s

k: Rigidez estructural de una unidad de ancho del muro rectilíneo del reservorio, (lb/ft).ft , (N/m).m

m : masa total por unidad de ancho del muro del reservorio rectangular. (Lb-s²/ft).ft , kg.m

m_w : masa por unidad de ancho del muro del reservorio rectangular. (Lb-s²/ft).ft, kg.m

m_i : masa impulsiva liquido almacenado por unidad de ancho del muro del reservorio rectangular. (Lb-s²/ft).ft , kg.m

Periodo fundamental de oscilación del reservorio (T_i)

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \dots \dots \dots (23)$$

Dónde:

ω_i : Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración, radianes/s

m : masa total por unidad de ancho del muro del reservorio rectangular. (Lb-s²/ft).ft , Kg.m

k: Rigidez estructural de una unidad de ancho del muro rectilíneo del reservorio, (lb/ft).ft , (N/m).m

T_i: Periodo fundamental de oscilación del reservorio, s

Frecuencia circular de oscilación del primer modo (convectivo) de chapoteo

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} \dots \dots \dots (24)$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh \left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]} \dots \dots \dots (25)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{L} \dots\dots\dots(26)$$

Dónde:

ω_c : Frecuencia circular de oscilación del primer modo (convectivo) de chapoteo, rad/s

λ : coeficiente

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

T_C : Periodo natural del primer modo (convectivo) de chapoteo, s

B) Reservorio circular EBP (excluyendo la presión de la base)

Peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado (W_i)

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh\left[0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)\right]}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)} \dots\dots\dots(27)$$

$$W_i = \left[\frac{\tanh\left[0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)\right]}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)} \right] \cdot W_L \dots\dots\dots(28)$$

W_i : Peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado, lb (kN)

W_L : Peso equivalente total del líquido almacenado, lb (kN)

L : Dimensión interna del reservorio rectangular paralelo a la dirección del sismo investigado. ft (m)

Para reservorios con: $\frac{D}{H_L} < 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) \dots\dots\dots(29)$$

Para reservorios con $\frac{D}{H_L} \geq 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375 \dots\dots\dots(30)$$

Dónde:

h_i : altura sobre la base del muro, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

D : Diámetro interno del reservorio circular, ft (m)

Para todos los reservorios circulares:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right)\right] - 2.01}{3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right) \cdot \sinh\left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right)\right]} \dots\dots\dots(31)$$

Peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado (W_c)

Dónde:

h_c : altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza lateral convectiva, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

D : Diámetro interno del reservorio circular, ft (m)

Peso equivalente del componente convectivo del líquido almacenado (W_c)

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.230 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) \cdot \tanh\left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right)\right] \dots\dots\dots(32)$$

$$W_c = \left[0.230 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) \cdot \tanh\left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right)\right]\right] \cdot W_L \dots\dots\dots(33)$$

Dónde:

W_c : Peso equivalente del componente convectivo del líquido almacenado, lb (kN)

W_L : Peso equivalente total del líquido almacenado, lb (kN)

D : Diámetro interno del reservorio circular, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

Frecuencia circular de oscilación del primer modo (convectivo) de chapoteo (ω_i), rad/s

$$\omega_i = C_i \cdot \frac{12}{H_L} \sqrt{E_c \cdot \frac{g}{\gamma_c}} \dots\dots\dots(34)$$

Dónde:

ω_i : Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración, radianes/s

C_i : Coeficiente dependiente de la respuesta sísmica

E_c : Modulo de elasticidad del concreto, lb/in², (MPa)

g : aceleración de la gravedad 32.17 ft/s²,

γ_c : Peso específico del concreto, lb/ft³, (kN/m³)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

Coeficiente dependiente de la respuesta sísmica (C_i)

$$C_i = C_w \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{t_w}{12r}} \dots\dots\dots(35)$$

Dónde:

C_i : Coeficiente dependiente de la respuesta sísmica

C_w : Coeficiente para determinar la frecuencia fundamental del sistema reservorio – líquido

t_w : espesor promedio del muro, in (mm)

r : radio interno del reservorio circular, ft (m)

Periodo fundamental de oscilación del reservorio (T_i)

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \dots\dots\dots(36)$$

Dónde:

ω_i : Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración, radianes/s

m : masa total por unidad de ancho del muro del reservorio rectangular. (Lb-s²/ft).ft , Kg.m

T_i : Periodo fundamental de oscilación del reservorio, s

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}} \dots\dots\dots(37)$$

Dónde:

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D}\right)\right]} \dots\dots\dots(38)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{D} \dots\dots\dots(39)$$

Dónde:

ω_c : Frecuencia circular de oscilación del primer modo (convectivo) de chapoteo, rad/s

λ : coeficiente

D : Diámetro interno del reservorio circular, ft (m)

H_L : Profundidad de diseño del líquido almacenado, ft (m)

T_c : Periodo natural del primer modo (convectivo) de chapoteo, s

La Norma técnica E.030 diseño sismorresistente de acuerdo al (Ministerio de Vivienda,2019, p.4) “Esta norma establece las condiciones mínimas para el diseño sismorresistente de las edificaciones, mientras no se cuente con normas nacionales específicas para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, túneles y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones se debe utilizar los valores de Z y S del capítulo II amplificados de acuerdo a la importancia de la estructura considerando la práctica internacional”

A) Zonificación

(Ministerio de Vivienda,2019, p.7) “El territorio peruano se ha dividido en cuatro zonas, como lo muestra la Figura N°3, esta zonificación está basada en la distribución espacial sísmica observada, y las características de los movimientos sísmicos y de atenuación respecto a la distancia epicentral, además de la información neotectónica”

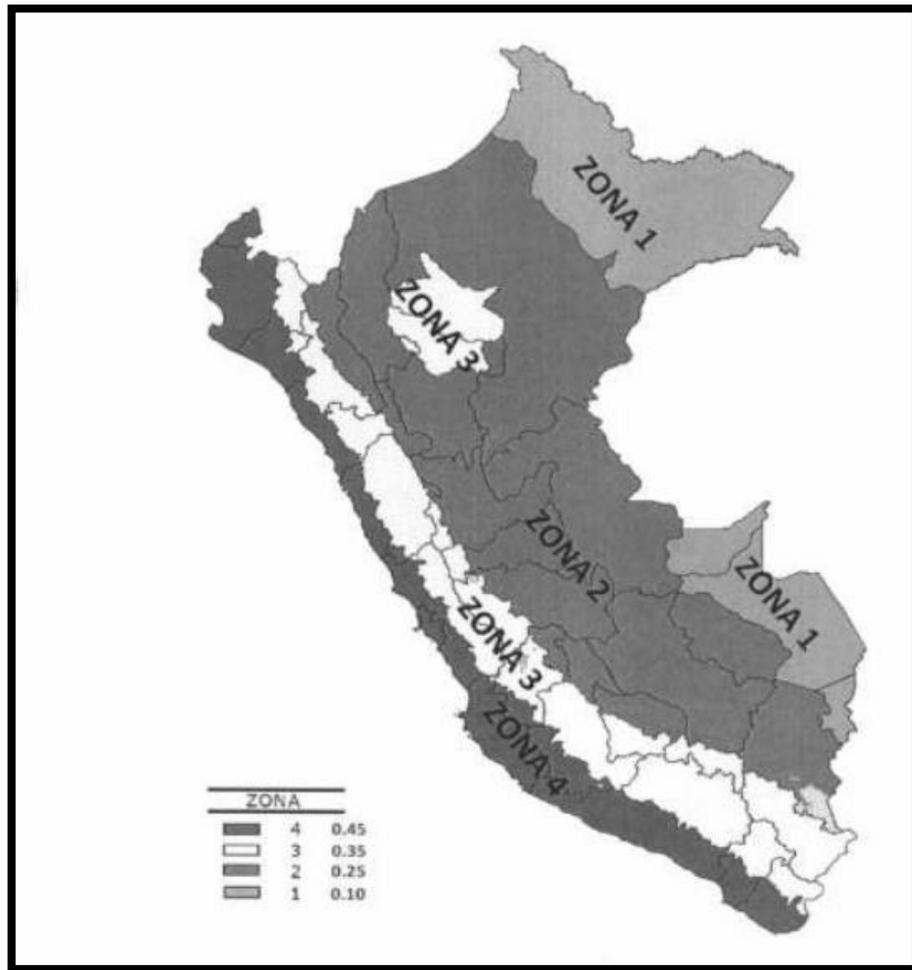


Figura 6. Zonas sísmicas

(Ministerio de Vivienda,2019, p.8) “a cada zona se asigna un factor Z según se indica en la tabla N° 5, el cual representa la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido con probabilidad de ser excedida en 50 años. El factor Z se representa como una fracción de la aceleración de la gravedad”

Tabla 5. Factores de zona “Z”

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: (Ministerio de Vivienda,2019, p.8)

B) Condiciones Geotécnicas

B.1) Perfiles de suelo

“Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{v}_s) alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{s}_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades se determinan para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación” (Ministerio de Vivienda, 2019, p. 9)

i) Perfil tipo S0: Roca dura

“A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte \bar{v}_s , mayor que 1500 m/s” (Ministerio de Vivienda, 2019, p. 9)

ii) Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos.

“A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte \bar{v}_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

II.1) Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada q_u mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).

II.2) Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.

II.3) Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{s}_u mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad” (Ministerio de Vivienda, 2019, p. 9)

III) Perfil tipo S2: Suelos intermedios

“A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{v}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

III.1) Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.

III.2) Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{s}_u entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad” (Ministerio de Vivienda, 2019, p. 10)

IV) Perfil tipo S3: Suelos blandos

“Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{v}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

IV.1) Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.

IV.2) Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{s}_u entre 25 kPa (0,25 kg/cm²) y 50 kPa (0,5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

IV.3) Cualquier perfil que no corresponda al tipo S₄ y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P mayor que 20, contenido de humedad ω mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{s}_u menor que 25 kPa” (Ministerio de Vivienda,2019, p. 10)

V) Perfil Tipo S4: Condiciones excepcionales

“A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo es necesario considerar un perfil tipo S₄ cuando el estudio de mecánica de suelos (EMS) así lo determine” (Ministerio de Vivienda,2019, p. 10)

C) Parámetros de sitio (S, TP, TL)

“Se considera el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos T_p y T_L dados en las tablas N° 6 y N° 7” (Ministerio de Vivienda,2019, p. 12)

Tabla 6. Factor de suelo “S”

Zona \ Suelo	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente:(Ministerio de Vivienda,2019, p.12)

Tabla 7. Periodos “Tp” y “TL”

	Perfil del suelo			
	S0	S1	S2	S3
T _p (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: (Ministerio de Vivienda,2019, p.12)

D) Factor de amplificación sísmica

“De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones” (Ministerio de Vivienda,2019, p.12)

$$T < T_p \quad C = 2.5 \dots \dots \dots (40)$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \dots \dots \dots (41)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \dots \dots \dots (42)$$

Espectro de pseudo aceleración espectral para reservorios

Según (Martinez Cahui,2019, p. 28) el código ACI 350.3-01 produce un Espectro de pseudo aceleración tomando en consideración periodos menores a 2.4 s los cuales se asocian a la masa impulsiva, y los periodos mayores a 2.4 s están asociados a la masa convectiva.

Tabla 8. Fómulas de la pseudo aceleración espectral para reservorios

Modo de vibración	Periodo fundamental (T)	Aceleración Pseudo espectral
Modo impulsivo	$T_i \leq 2.4 \text{ s}$	$Sa(ti) = \frac{Z * I * S * C(ti)}{Rwi} * g$
Modo convectivo	$T_i > 2.4 \text{ s}$	$Sa(tc) = \frac{Z * I * S * C(tc)}{Rwc} * g$

Fuente: (Martinez Cahui,2019, p. 28)

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

(Hernández Sampieri et al.,2014) mencionan que, respecto al enfoque cuantitativo, este es un proceso probatorio y secuencial, en el cual no se puede eludir los pasos. Se inicia en base a una idea que se va demarcando, una vez delimitado se obtienen los objetivos y preguntas de la investigación, Se encuentra la bibliografía referente al tema y se construye una base teórica. Una vez que la preguntas se han planteado se obtienen las hipótesis que dan resultado a las variables luego se elabora un plan para probar dicha hipótesis, estas variables se miden en un contexto determinado una vez obtenidas las mediciones obtenidas se usan métodos estadísticos para analizarlas, finalmente se obtiene un determinado número de conclusiones. La presente investigación será aplicada, por el tipo de investigación por el diseño será descriptiva, será de tipo descriptiva - aplicativo

3.2 Variables y operacionalización

Las Variables independientes serán: Geometría rectangular y circular del reservorio apoyado de concreto armado, la Variable dependiente será: Respuesta sísmica.

Tabla 9. Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
Geometría de reservorio apoyado	Es la configuración geométrica que adopta el reservorio de acuerdo al criterio del proyectista.	<ul style="list-style-type: none"> • Geometría Circular • Geometría Rectangular 	Forma de la cúpula y paredes del reservorio Forma de la cúpula y paredes del reservorio	Escala nominal
Respuesta sísmica de reservorio apoyado	Son las fuerzas internas que se producen en el reservorio producto las fuerzas sísmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza Axial • Fuerza cortante • Momento flector. 	Parámetro F11 en el programa sap2000 Parámetro V23 en el programa sap2000 Parámetro M22 en el programa sap2000 M22	Escala de intervalos Escala de intervalos Escala de intervalos

Fuente: Elaboración propia

3.3 Población, muestra y muestreo

Población

La población será todos los reservorios apoyados circulares y rectangulares de concreto armado con sus respectivas normas de diseños

Muestra

La muestra a usar será de tipo no probabilística, (Hernández Sampieri, Fenández Collado and Baptista Lucio,2014) mencionan que son muestras dirigidas, donde prima un procedimiento selectivo orientado de acuerdo a las características de la investigación, más que una búsqueda de generalización estadística.

Se idealizaron 14 reservorios ubicados en la ciudad de Chimbote, de los cuales 7 fueron reservorios de geometría rectangular, y 7 reservorios de geometría circular, en ambos grupos geométricos se evaluaron volúmenes de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³,1000 m³, 2000 m³,4000 m³.

Muestreo

Será no probabilístico – espontaneo pues se eligió realizar el análisis de comportamiento sísmico de 14 reservorio (7 de geometría rectangular y 7 de geometría circular) apoyados idealizados para la ciudad de Chimbote.

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Se usó el RNE : E.060 para realizar la mayoración de las cargas, la norma E.030 y ACI 360.3-06 se usaron para obtener parámetros sísmicos para el cálculo del espectro de respuesta sísmica

3.5 Procedimientos:

3.5.1 Características de los reservorios analizados.

Los reservorios analizados serán reservorios de tipo apoyado, con volúmenes variables de agua los cuales se ubican en la ciudad de Chimbote, ubicados en un perfil de suelo tipo S2: Suelos intermedios con una capacidad admisible de 1 Kg/cm². La calidad del concreto a usar en el reservorio será de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 10. Volúmenes de los reservorios rectangulares y circulares

Configuración geométrica rectangular			Configuración geométrica circular		
Descripción	Código	Volumen	Descripción	Código	Volumen
Reservorio rectangular N°1	R.R N°1	50 m ³	Reservorio circular N°1	R.C N°1	50 m ³
Reservorio rectangular N°2	R.R N°2	100 m ³	Reservorio circular N°2	R.C N°1	100 m ³
Reservorio rectangular N°3	R.R N°3	250 m ³	Reservorio circular N°3	R.C N°1	250 m ³

Reservorio rectangular N°4	R.R N°4	500 m3	Reservorio circular N°4	R.C N°1	500 m3
Reservorio rectangular N°5	R.R N°5	1000 m3	Reservorio circular N°5	R.C N°1	1000 m3
Reservorio rectangular N°6	R.R N°6	2000 m3	Reservorio circular N°6	R.C N°1	2000 m3
Reservorio rectangular N°7	R.R N°7	4000 m3	Reservorio circular N°7	R.C N°1	4000 m3

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Predimensionamiento de las estructuras contenedoras de agua

Para realizar el análisis se requiere hacer el Predimensionamiento de los reservorios de configuración geométrica rectangular y circular, los datos que se usaron fueron las siguientes como se muestra en la tabla

Tabla 11. Valores de los materiales a usar en el modelamiento de reservorios

Descripción	Símbolo	Valor
Volumen de agua almacenada (V)	V	Variable
Resistencia a la comprensión del concreto (f_c)	f_c	280 kg/cm ²
Peso específico del concreto γ_c	γ_c	2400 kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero grado 60 (f_y)	f_y	4200 kg/cm ²
Módulo de elasticidad del acero (E_s)	E_s	2000000 kg/cm ²
Peso específico del agua γ_w	γ_w	1000 kg/m ³
Peso específico del suelo γ_s	γ_s	1600 kg/m ³
Capacidad portante del suelo (q_s)	q_s	1 kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	E_c	252671.328 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Luego se realizó el Predimensionamiento

A. Predimensionamiento del reservorio rectangular.

A.1. Cálculos de los valores de B, H_L, B_L y H_T

Optaremos por la geometría rectangular de forma cuadrada cuya notación será:

L: Largo del reservorio rectangular

B: Ancho del reservorio rectangular

previo al predimensionamiento del reservorio rectangular, hallaremos la relación que existe entre la H_L (profundidad de diseño para el líquido almacenado) y B_L (bordo libre) también

se plantean las siguientes notaciones: V_V (Volumen vacío), V_T (volumen total) además se usarán las siguientes ecuaciones propuestas por (Rodriguez Morales,2019) :

la siguiente fórmula plantea una relación de que el volumen vacío sea igual o mayor al 2% del volumen total.

$$V_V \geq 2\% V_T \dots\dots\dots(43)$$

Se elige la relación:

$$V_V = 2\% V_T \dots\dots\dots(44)$$

$$V_V = B^2 \cdot B_L \dots\dots\dots(45)$$

$$V_T = B^2 \cdot H_T \dots\dots\dots(46)$$

$$V = B^2 \cdot H_L \dots\dots\dots(47)$$

Reemplazamos las ecuaciones 32 y 33 en 31:

$$B^2 \cdot B_L = \frac{2}{100} \cdot B^2 \cdot H_T \dots\dots\dots(48)$$

$$H_T = B_L + H_L \dots\dots\dots(49)$$

$$B^2 \cdot B_L = \frac{2}{100} \cdot B^2 \cdot (B_L + H_L) \dots\dots\dots(50)$$

Finalmente obtenemos las siguientes relaciones:

$$B_L = \frac{H_L}{49} \dots\dots\dots(51)$$

$$H_L = 49 \cdot B_L \dots\dots\dots(52)$$

Como lo menciona (Agüero,2004, p.8) En el reservorio de sección rectangular se considera la relación b/h , cuyo rango varía entre 0.50 y 3.00. En esta investigación la relación será B/H_L .

De acuerdo a lo mencionado asumiremos una relación de:

$$\frac{B}{H_L} = 2 \dots\dots\dots(53)$$

despejamos H_L y obtenemos:

$$H_L = \frac{B}{2} \dots\dots\dots(54)$$

Reemplazamos la ecuación 40 en la ecuación 34 obteniendo el volumen de agua contenida

$$V = B^2 \cdot \frac{B}{2} \dots\dots\dots(55)$$

Despejamos la variable B:

$$B = (2V)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(56)$$

Una vez hallado el valor de B, reemplazamos en las ecuaciones 40, 35, para calcular los valores de H_L , B_L y H_T

A.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales del reservorio de geometría rectangular (cuadrada)

Se seguirá la metodología usada por (Rodríguez Morales,2019):

a) Cálculo del espesor del muro (e_w)

según (Agüero Pittman,1997, p.82-84) Para el cálculo del espesor del muro usaremos la ecuación N°1, el valor de k lo obtenemos de la relación B/H_L que se encuentra en la figura N°1, el peso específico para todos los casos será de 1000 kg/m^3 , el valor de h en esta ecuación es equivalente a la notación H_L que corresponde a la altura del líquido para luego obtener varios valores de M (momento) se selecciona el mayor valor absoluto. Pasamos a calcular el valor de ft (esfuerzo de tracción por flexión) en la ecuación N°2 reemplazando el valor de f_c que en todos los casos corresponde a un valor de 280 kg/cm^3 , finalmente para el cálculo del espesor del muro del reservorio usamos la ecuación N°3, donde se reemplazan los valores de M, ft, b (se considera un valor de 100 cm en todos los casos).

b) Cálculo del espesor de la losa de cubierta (e_L)

Según (Agüero Pittman,1997, p. 85) para hallar la luz (L) usamos la ecuación N°4, donde reemplazamos el valor de B (dimensión interna ancho o largo del reservorio rectangular) calculado del predimensionamiento y sumamos el valor del espesor del muro (e) calculado en el item anterior. Pasamos a calcular el valor del espesor de la losa en la ecuación N°5, asignamos el valor de L dividido entre 36. Finalmente resolvemos la ecuación N°6, donde reemplazaremos el valor de C (se asume un valor de 0.036 para todos los reservorios rectangulares), reemplazamos el valor de W que se obtiene de la suma del peso propio mas la carga viva y por último reemplazamos el valor de la Luz (L)

c) Cálculo del espesor útil (d)

Según (Agüero Pittman,1997, p. 85) para calcular el valor del espesor útil reemplazamos los valores de las ecuaciones N° 12, N°10 y N° 9 en la ecuación N° 7, este último resultado lo reemplazamos en la ecuación N° 11 junto con los valores de M (Momento) y b (ancho unitario de 100 cm) nos ayudan a determinar el espesor útil.

d) Cálculo del espesor total de cubierta (e_T)

se usará la siguiente ecuación:

$$e_T = d + \text{recubrimiento} \dots \dots \dots (57)$$

según (Rodriguez Morales,2019, p.59) el espesor de la cubierta será el mayor valor entre e_L y e_T., además se considerará un recubrimiento de 2.5 cm.

Los cálculos se realizaron con la ayuda del software mathcad como se muestra en los anexos.

B. Predimensionamiento del reservorio circular.

B.1. Cálculos de los valores de D, H_L, B_L y H_T

previo al predimensionamiento del reservorio circular, hallaremos la relación que existe entre la H_L (profundidad de diseño para el líquido almacenado) y B_L (bordo libre) también se plantean las siguientes notaciones: V_V (Volumen vacío), V_T (volumen total) además se usarán las siguientes ecuaciones propuestas por (Rodriguez Morales,2019) :

la siguiente fórmula plantea una relación de que el volumen vacío sea igual o mayor al 2% del volumen total.

$$V_V \geq 2\% V_T \dots \dots \dots (58)$$

Se elige la relación:

$$V_v = 2\% V_T \dots\dots\dots(59)$$

$$V_v = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot B_L}{4} \dots\dots\dots(60)$$

$$V_T = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_T}{4} \dots\dots\dots(61)$$

Reemplazamos las ecuaciones 32 y 33 en 31:

$$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot B_L}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_T}{4}$$

$$H_T = B_L + H_L \dots\dots\dots(62)$$

$$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot B_L}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot (B_L + H_L)}{4}$$

Finalmente obtenemos las siguientes relaciones:

$$B_L = \frac{H_L}{49} \dots\dots\dots(63)$$

$$H_L = 49 \cdot B_L \dots\dots\dots(64)$$

Como lo menciona (Agüero,2004, p.8) En el reservorio de sección rectangular se considera la relación b/h, cuyo rango varía entre 0.50 y 3.00. En esta investigación la relación será B/H_L.

De acuerdo a lo mencionado asumiremos una relación de:

$$\frac{D}{H_L} = 2 \dots\dots\dots(65)$$

despejamos H_L y obtenemos:

$$H_L = \frac{D}{2} \dots\dots\dots(66)$$

Reemplazamos la ecuación 40 en la ecuación 34 obteniendo el volumen de agua contenida

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_L}{4} \dots\dots\dots(67)$$

sabemos que $H_L = \frac{D}{2}$

Reemplazando en la ecuación obtenemos:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(68)$$

Una vez hallado el valor de D, reemplazamos en las ecuaciones 40, 35, para calcular los valores de H_L , B_L y H_T

B.2 Dimensionamos los elementos estructurales del reservorio circular.

De acuerdo a (Rodriguez Morales,2019, p.51) :

a) Determinamos el espesor del muro (t_w)

El cual debe cumplir el siguiente requisito:

$$t_w = \max \left\{ \frac{H_w}{25}; \frac{H_w}{11}; 30 \right\} \text{cm}$$

b) Determinamos las dimensiones del techo.

Primera etapa

Calculamos los componentes: f, R, θ del domo circular en base al diámetro del reservorio circular con las siguientes ecuaciones:

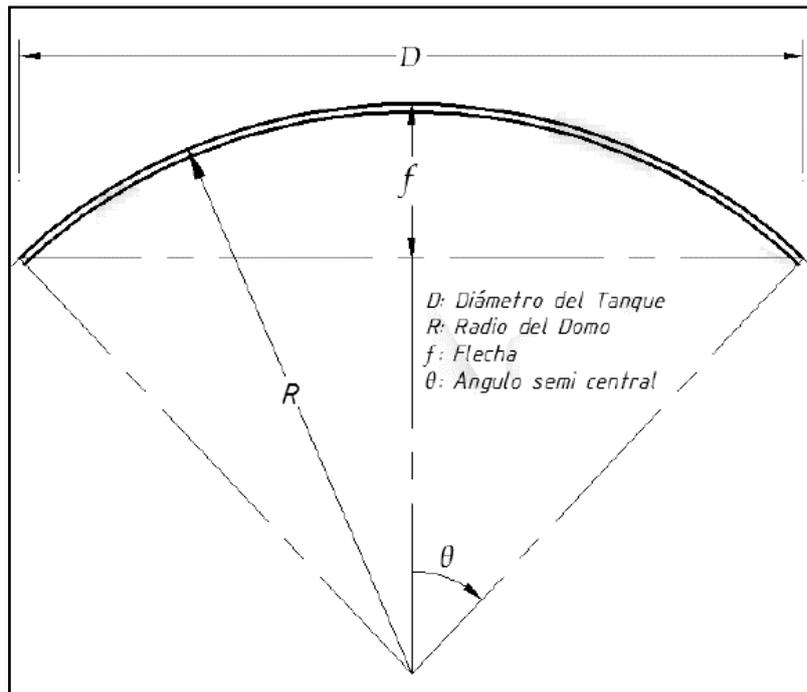


Figura 7. Detalles geométricos del domo circular del tanque

$$f = \frac{1}{5} D \dots\dots\dots(69)$$

$$(R - f)^2 = \left(R^2 - \frac{D^2}{4} \right) \dots\dots\dots(70)$$

$$R = \frac{4f^2 + D^2}{8f} \dots\dots\dots(71)$$

$$\theta = \text{Sin}^{-1} \left(\frac{D}{2R} \right) \dots\dots\dots(72)$$

Dónde:

f : Flecha

D : Diámetro

R: Radio es equivalente a r_d

θ: Ángulo semi central

Segunda etapa

Determinamos el espesor del domo de acuerdo al (ACI,2007, p. 448) que menciona que el espesor del domo tipo Shell es gobernado por cualquiera de los siguientes: resistencia al pandeo, por el espesor mínimo para la construcción práctica, o por protección del reforzamiento contra la corrosión.

a) El espesor mínimo del domo debe ser:

$$h_d = r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}} \dots\dots\dots(73)$$

Dónde:

R_d : Radio interior de la cúpula (ft)

P_u : Carga mayorada de presión en la cúpula (lb/ft²)

Φ : Factor de reducción de la resistencia $\Phi = 0.7$

B_i : Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas

B_c : Factor de reducción del pandeo por fluencia, no linealidad y fisuración del concreto

E_c : Módulo de elasticidad del concreto bajo carga (psi)

b) los valores para la ecuación N° para estos domos son:

P_u es obtenido usando los factores mínimos dados en la carpeta 9 de (ACI,2007, p. 448) para carga viva y muerta, el valor de $\phi = 0.7$

(Rodriguez Morales,2019, p. 53-54) usa las siguientes fórmulas para el cálculo de h_d

Para calcular el valor de P_u usamos la siguiente relación:

$$P_u = 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L \dots\dots\dots(75)$$

Dónde:

D: Carga muerta

L: Carga viva

Para determinar el factor de pandeo por imperfecciones geométrica usamos la siguiente ecuación:

$$B_i = \left(\frac{r_d}{r_i} \right)^2 \dots\dots\dots(76)$$

Dónde

$$r_i = 1.4 \cdot r_d \dots\dots\dots(77)$$

Para determinar el factor reducción de pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (Bc) se usa la siguiente ecuación:

$$B_c = \begin{cases} 0.44 + 0.003 \cdot C_v; \text{ para } 12 \leq C_v \leq 30 \left(\frac{Lb}{ft^2} \right) \\ 0.53; \text{ para } C_v \geq 30 \left(\frac{Lb}{ft^2} \right) \end{cases} \dots\dots\dots(78)$$

Dónde:

Cv : carga viva sin factorar

Para determinar las dimensiones de la viga anular se siguen los siguientes pasos.

Determinación de la sección del a viga anular (Ava), cuya ecuación es:

$$A_{VA} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st} \dots\dots\dots(79)$$

Dónde:

Ta: Tension anular de la viga

Fr : Módulo de ruptura a la tensión del concreto

n: relación entre el módulo de elasticidad del acero y concreto.

Ast: Área de refuerzo

Para determinar la tensión anular de la viga (Ta) usamos la siguiente ecuación

$$T_a = \frac{D}{2} \cdot T \cos(\theta) \dots\dots\dots(80)$$

$$T = \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)} \dots\dots\dots(81)$$

Dónde

D: Diámetro

Θ: es el valor del ángulo epicentral

Módulo de ruptura del concreto (f_r) se usa la presente ecuación:

$$f_r = 2 \cdot \sqrt{f'c} \dots\dots\dots(82)$$

Se calcula el valor de n usando la ecuación

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots(83)$$

Para determinar el área de refuerzo para la tensión (A_{st}) se usa la ecuación:

$$A_{st} = \frac{T_a}{\phi f_y} \dots\dots\dots(84)$$

Previamente calculamos las dimensiones de la viga tanto el ancho = b_{va} , y peralte de la viga (h_{va}), además asumimos que el valor del ancho es igual al espesor de muro (e_w)

$$h_{va} = \frac{A_{VA}}{b_{VA}} \dots\dots\dots(85)$$

Los cálculos se realizaron con la ayuda del software mathcad como se muestra en los anexos.

**ANÁLISIS DINÁMICO DEL AGUA
RESERVORIO RECTANGULAR**

Para realizar el análisis dinámico del agua se usará la metodología propuesta por (Rodriguez Morales,2019, p.63-65)

1.- Se calcula el peso del agua W_L

$$W_L = (L \cdot B \cdot H_L) \cdot \gamma_w \dots\dots\dots(86)$$

2. . Se calcula el peso impulsivo del agua W_i

$$W_i = W_L \left\{ \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)\right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{H_L}\right)} \right\} \dots\dots\dots(87)$$

3. Se calcula el peso de muros, W_w :

$$W_w = \left\{ \left[L + 2 \cdot \text{Min}(t_{w1}; t_{w2}) \right] \cdot \text{Max}(t_{w1}; t_{w2}) + B \cdot \text{Min}(t_{w1}; t_{w2}) \right\} \cdot h_w \cdot \gamma_c \dots \dots \dots (88)$$

Dónde:

t_{w1} : Espesor del muro 1 del reservorio rectangular

t_{w2} : Espesor del muro 2 del reservorio rectangular

4. Calculamos la masa efectiva ϵ con la ecuación:

$$\epsilon = \left[0.0151 \cdot \left(\frac{L}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \dots \dots \dots (89)$$

5. Calculamos la ubicación de la masa impulsiva con respecto a la base., h_i .

Para tanques con:

$$\frac{L}{H_L} < 1.333$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{H_L} \right) \dots \dots \dots (90)$$

Para tanques con:

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375 \dots \dots \dots (91)$$

6. Calculamos el peso convectivo, W_c :

$$W_c = W_L \left\{ 0.264 \cdot \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L} \right) \right) \right\} \dots \dots \dots (92)$$

7. Calculamos la posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

$$h_c = H_L \cdot \left\{ 1 - \frac{\cosh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right] - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right) \cdot \sinh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} \right\} \dots\dots\dots(93)$$

8. Calculamos la rigidez del resorte K_c

$$K_c = 0.833 \cdot \frac{W_L}{H_L} \cdot \left[\tanh\left(3.16 \cdot \frac{H_L}{D}\right) \right]^2 \dots\dots\dots(94)$$

9. Calculamos la frecuencia circular ω_i :

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(95)$$

10. Calculamos el periodo natural T_i :

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \dots\dots\dots(96)$$

11. Calculamos el factor, λ :

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left[3.16 \cdot \left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} \dots\dots\dots(97)$$

12. Cálculo de la frecuencia circular ω_c :

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots(98)$$

13. calculamos el periodo natural de vibración de la masa convectiva, T_c

$$T_c = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_c} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda}\right) \cdot \sqrt{L} \dots\dots\dots(99)$$

Reservorio circular

Para realizar el análisis dinámico del agua se usará la metodología propuesta por (Rodriguez Morales,2019, p.61-62)

1.- Se calcula el peso del agua W_L

$$W_L = \left[\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_L \right] \cdot \gamma_w \dots \dots \dots (100)$$

2. Se calcula el peso impulsivo del agua W_i

$$W_i = W_L \left\{ \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)\right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)} \right\} \dots \dots \dots (101)$$

3. Se calcula la masa efectiva ϵ

$$\epsilon = \left[0.0151 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \dots \dots \dots (102)$$

4. Calculamos la ubicación de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i .

Para tanques con:

$$\frac{D}{H_L} < 1.333$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) \dots \dots \dots (103)$$

Para tanques con:

$$\frac{D}{H_L} \geq 1.333$$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375 \dots \dots \dots (104)$$

5. Se calcula el peso convectivo, W_c :

$$W_c = W_L \left\{ 0.230 \cdot \left(\frac{D}{H_L} \right) \tanh \left(3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) \right) \right\} \dots\dots\dots(105)$$

6. Se calcula la posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc:

$$h_c = H_L \cdot \left\{ 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) \right] - 1}{3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) \cdot \sinh \left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]} \right\} \dots\dots\dots(106)$$

7. Se calcula la rigidez del resorte Kc

$$K_C = 0.836 \cdot \frac{W_L}{H_L} \cdot \left[\tanh \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]^2 \dots\dots\dots(107)$$

8. Se calcula el coeficiente Cw:

$$C_w = 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right)^5 \dots\dots\dots(108)$$

9. Se calcula el coeficiente Ci:

$$C_i = C_w \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{t_w}{12 \cdot r}} \dots\dots\dots(109)$$

10. Se calcula la frecuencia circular de la masa impulsiva, wi:

$$\omega_i = C_i \cdot \frac{12}{H_L} \cdot \sqrt{Ec \cdot \frac{g}{\gamma_C}} \dots\dots\dots(110)$$

11. Se calcula el periodo natural de vibración Ti:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \dots\dots\dots(111)$$

12. Se calcula el factor, λ:

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh \left[3.68 \cdot \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]} \dots\dots\dots(112)$$

13. Se calcula la frecuencia circular de vibración en la masa convectiva, ω_c :

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}} \dots\dots\dots(113)$$

14. Se calcula el periodo natural de vibración en la masa convectiva, T_c

$$T_c = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_c} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \right) \cdot \sqrt{D} \dots\dots\dots(114)$$

Tabla 12. Valores del predimensionamiento de los reservorios circulares

Descripción	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7
Diámetro (D)	5.00 m	6.30 m	8.60 m	10.80 m	13.70 m	17.20 m	21.70 m
Altura del líquido (HL)	2.50 m	3.15 m	4.30 m	5.40 m	6.85 m	8.60 m	10.85 m
Borde libre (BL)	0.30 m						
Altura del muro (HW)	2.80 m	3.45 m	4.60 m	5.70 m	7.15 m	8.90 m	11.15 m
Flecha (f)	1.006 m	1.27 m	1.721 m	2.17 m	2.73 m	3.44 m	4.34 m
Radio interno de la cúpula (rd)	3.65	4.60 m	6.24 m	7.90 m	9.90 m	12.47	15.72 m
Angulo semi central (θ)	43.603°	43.603°	43.603°	43.603°	43.603°	43.603°	43.603 °

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Dimensionamiento de elementos estructurales – Reservorio circulares

Descripción	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7
Espesor del muro (tw)	0.30 m	0.30 m	0.40 m	0.50 m	0.65 m	0.80 m	1.00 m
Espesor del domo (hd)	0.10 m						
Base de la viga anular (bva)	0.30 m	0.30 m	0.40 m	0.50 m	0.65 m	0.80 m	1.00 m
Peralte de la viga (hva)	0.07 m	0.10 m	0.15 m	0.20 m	0.25 m	0.30 m	0.40 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Propiedades dinámicas en los reservorios circulares

Descripción	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7
Cálculo del peso del agua (WL)	49087.385212 kg	98193.227282 kg	249778.607109 kg	494687.745605 kg	1009767.961823 kg	1998228.856872 kg	4012722.13161 kg
Peso impulsivo del agua (Wi)	26620.889307 kg	53251.788068 kg	135459.010951 kg	268277.229682 kg	547613.628651 kg	1083672.087606 kg	2176164.634191 kg
Coefficiente de masa efectiva (ε)	0.6998	0.6998	0.6998	0.6998	0.6998	0.6998	0.6998
Posición de la masa impulsiva con respecto a la base (hi)	0.9375 m	1.18125 m	1.6125 m	2.025 m	2.56875 m	3.225 m	4.06875
Peso convectivo (Wc)	21469.142 kg	42946.356 kg	109244.612 kg	216359.485 kg	441637.938 kg	873956.894 kg	1755027.288 kg
Posición de la masa convectiva con respecto a la base (hc)	1.8917 m	2.3835 m	3.2537 m	4.086 m	5.1832 m	6.5073 m	8.2098 m
Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva (kc)	14839.18594 kg/m	23558.691598 kg/m	43900.247685 kg/m	69233.705921 kg/m	111406.672361 kg/m	175600.990738 kg/m	279504.970689 kg/m
Coefficiente (Cw)	0.161111	0.161111	0.161111	0.161111	0.161111	0.161111	0.161111
Coefficiente (C)	0.558104	0.497198	0.491383	0.490244	0.49629	0.491383	0.48911
Frecuencia de vibración para la masa impulsiva (wi)	2433.253623 1/s	1720.4084271/s	1245.558348 1/s	989.534925 1/s	789.691722 1/s	622.779174 1/s	491.351354 1/s
Periodo natural de vibración para la masa impulsiva (Ti)	0.002582 s	0.003652 s	0.005044 s	0.00635 s	0.007957 s	0.010089 s	0.0127876 s
Factor λ	10.61012	10.61012	10.61012	10.61012	10.61012	10.61012	10.61012
Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva (wc)	2.619647 1/s	2.333767 1/s	1.997462 1/s	1.782444 1/s	1.582587 1/s	1.412419 1/s	1.257471 1/s
Periodo natural de vibración para la masa convectiva (Tc)	2.398486 s	2.692293 s	3.145584 s	3.525039 s	3.9702 s	4.448528 s	4.996685 s

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Valores del predimensionamiento de los reservorios rectangulares

Descripción	RR-1	RR-2	RR-3	RR-4	RR-5	RR-6	RR-7
Ancho (B)	4.64 m	5.85 m	7.94 m	10.00 m	12.60 m	15.87 m	20.00 m
Largo (L)	4.64 m	5.85 m	7.94 m	10.00 m	12.60 m	15.87 m	20.00 m
Altura del líquido (HL)	2.30 m	2.90 m	3.97 m	5.00 m	6.30 m	7.94 m	10.00 m
Borde libre (BL)	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m
Altura del muro (hw)	2.60 m	3.20 m	4.27 m	5.30 m	6.60 m	8.24 m	10.20 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Dimensionamiento de elementos estructurales – reservorios rectangulares

Descripción	RR-1	RR-2	RR-3	RR-4	RR-5	RR-6	RR-7
Espesor del muro (tw)	0.21 m	0.30 m	0.48 m	0.68 m	0.95 m	1.35 m	1.91 m
Espesor de la cubierta (et=ts)	0.14 m	0.17 m	0.23 m	0.30 m	0.38 m	0.48 m	0.65 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Propiedades dinámicas en los reservorios rectangulares

Descripción	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7
Cálculo del peso del agua (WL)	49518.08 kg	99245.25kg	250283.092 kg	500000 kg	1000188 kg	1999743.786 kg	4000000 kg
Peso impulsivo del agua (Wi)	26672.510331 kg	53460.774108 kg	135732.601332 kg	271158.15185 kg	542418.259165kg	1085028.517092 kg	2169265.214801 kg
Coefficiente de masa efectiva (ϵ)	0.697537	0.697556	0.6998	0.6998	0.6998	0.699964	0.6998
Posición de la masa impulsiva con respecto a la base (hi)	0.8625 m	1.0875 m	1.48875 m	1.875 m	2.3625 m	2.9775 m	3.75 m
Peso convectivo (Wc)	24169.388393 kg	48438.217168 kg	121392.755648 kg	242510.899714 kg	485112.983527 kg	969472.463367 kg	1940087.197714 kg
Posición de la masa convectiva con respecto a la base (hc)	1.338913 m	2.315643 m	2.315643 m	2.916427 m	3.674698 m	4.631954 m	5.832854 m
Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva (kc)	15062.482206 kg/m	44313.971926 kg/m	44313.971926 kg/m	70290.992149 kg/m	111593.979135 kg/m	177092.592882 kg/m	281163.968595 kg/m
Frecuencia de vibración para la masa impulsiva (ω_i)	1.68389 1/s	1.200756 1/s	1.200756 1/s	1.037274 1/s	0.897693 1/s	0.770681 1/s	0.663299 1/s
Periodo natural de vibración para la masa impulsiva (Ti)	3.731352 s	5.23269 s	5.23269 s	6.057404 s	6.999261 s	8.152765 s	9.47263 s
Factor λ	9.652734	9.664071	9.664071	9.664071	9.664071	9.664888	9.664071
Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva (ω_c)	4.481169 1/s	3.990955 1/s	3.42965 1/s	3.056048 1/s	2.722544 1/s	2.426098 1/s	2.160952 1/s
Periodo natural de vibración para la masa convectiva (Tc)	1.402131 s	1.574356 s	1.832019 s	2.055984 s	2.307836 s	2.589831 s	2.907601 s

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. El espectro sísmico de diseño

Respecto al espectro sísmico de diseño será el mismo para los 14 reservorios de geometría rectangular y circular ubicados en la ciudad de chimbote, se hará uso de la norma técnica peruana E.030 en el cual se usarán los parámetros factor de zona (Z) = 0.45, factor de suelo (S) = 1, periodos T_P = 0.40 y T_L = 2.50, factor de uso o importancia I = 1.25, factor de sistema estructural R_{wi} = 2 y R_{wc} = 1.

3.6 Método de análisis de datos:

Los reservorios idealizados para la ciudad de Chimbote son en total 14, de los cuales 7 pertenecen a la configuración geométrica rectangular y los 7 restantes a la configuración geométrica circular, se definió un grupo de volúmenes determinados (volúmenes de 50 m³, 100 m³, 250m³, 500 m³,1000 m³, 2000 m³,4000 m³,) los cuales serán aplicados a ambas configuraciones geométricas.

3.7 Aspectos éticos

Esta investigación cumple con los requisitos éticos, el cual no compromete la vida, el cuerpo ni la salud de ninguna persona, puesto que no se trabajó con ningún ser humano, tampoco hubo conflictos de intereses, Se respetaron los derechos de autor de los investigadores basados en los lineamientos del código de ética de la universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS

Reservorio circular

i. Fuerza axial

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto a la fuerza axial como se observa en las tablas: Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 18. Fuerza axial RC - 50 m³

Fuerza axial RC-50 m ³		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-656.83	-1985.79
0.24	860.77	-2333.02
0.47	507.54	-1699.37
0.71	824.11	-1748.10
0.94	1879.28	-2579.91
1.18	2812.97	-3301.87
1.42	3455.96	-3730.62
1.65	4188.13	-3993.82
1.89	4961.70	-4131.17
2.10	5755.03	-4003.78
2.31	6864.03	-3889.50
2.52	8447.58	-3998.83
2.73	10449.72	-4409.24

Fuente: Elaboración propia

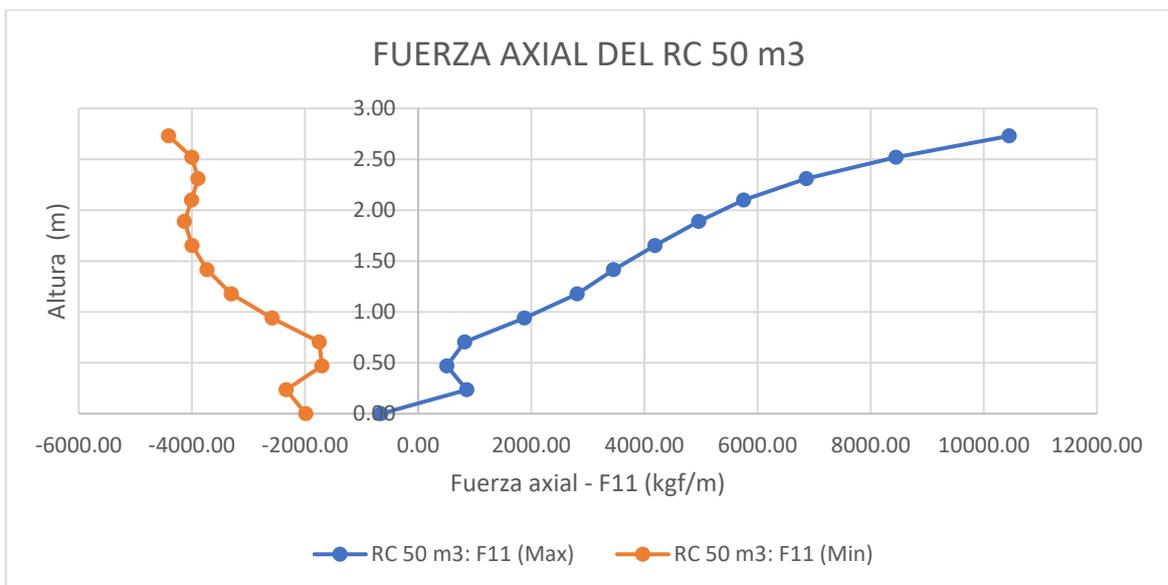


Figura 8. Gráfico de Fuerza axial RC - 50 m³

Elaboración propia

Tabla 19. Fuerza axial RC - 100 m3

Fuerza axial RC-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-814.20	-2623.60
0.24	1262.78	-3115.63
0.47	485.50	-2014.83
0.71	1095.46	-2344.36
0.94	3261.16	-4235.24
1.18	4977.19	-5778.56
1.42	5919.75	-6590.53
1.66	6226.05	-6753.72
1.90	6336.42	-6606.94
2.14	6610.79	-6419.50
2.38	7175.05	-6203.59
2.62	7876.14	-5656.40
2.87	9000.81	-5064.75
3.11	10913.88	-4719.51
3.35	13441.01	-4786.11

Fuente: Elaboración propia

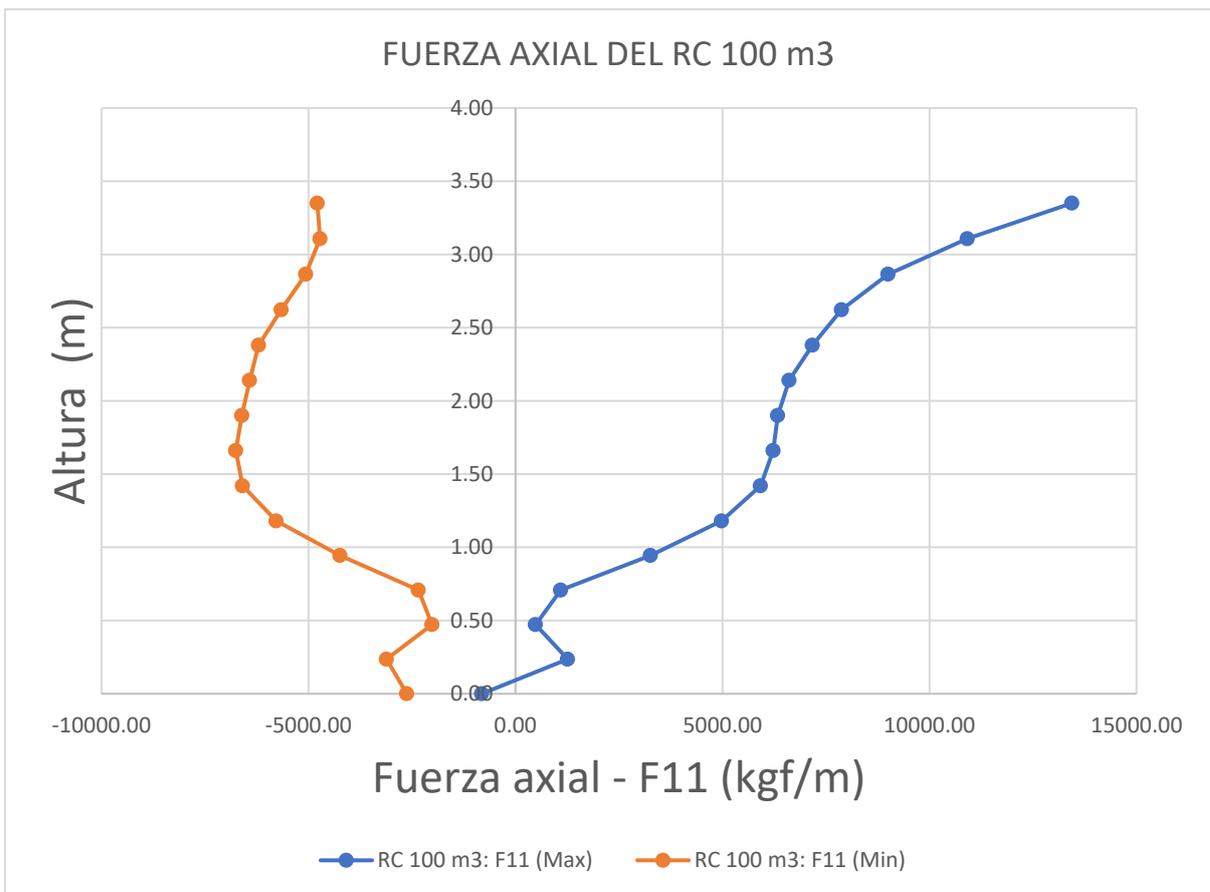


Figura 9. Gráfico de Fuerza axial RC - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 20. Fuerza axial RC-250 m3

Fuerza axial RC-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-1417.60	-4468.47
0.23	2184.85	-5493.45
0.46	1491.71	-4428.29
0.69	203.35	-2740.60
0.92	2377.23	-4545.34
1.15	5707.71	-7568.72
1.38	8718.96	-10344.89
1.61	11046.51	-12499.83
1.84	12342.67	-13660.44
2.08	12802.29	-13994.76
2.31	12666.56	-13646.67
2.55	12330.31	-13010.92
2.78	12049.02	-12168.99
3.02	12164.37	-11460.51
3.25	12631.95	-10739.95
3.49	13380.44	-9767.98
3.73	14561.32	-8720.76
3.97	16392.27	-7757.07
4.21	18962.41	-7053.02
4.45	22178.80	-6660.07

Fuente: Elaboración propia

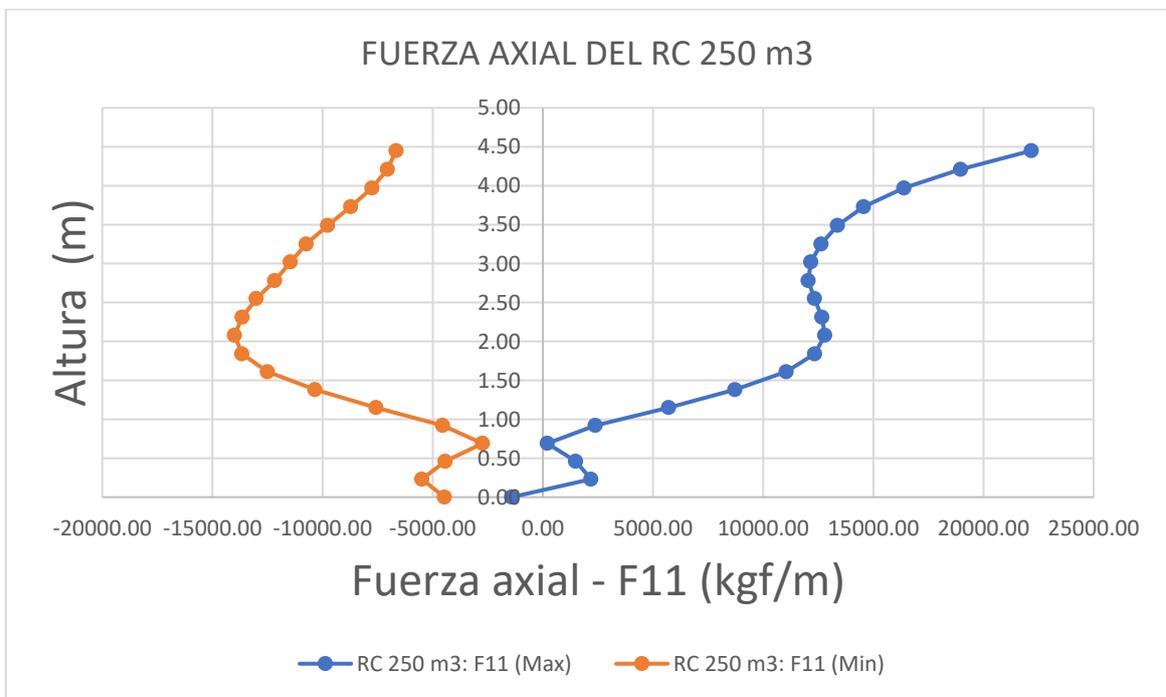


Figura 10. Gráfico de Fuerza axial RC - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 21. Fuerza axial RC - 500 m3

Fuerza axial RC-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-2007.38	-6659.42
0.34	3268.30	-8183.62
0.68	1264.73	-5360.94
1.02	1977.57	-5523.19
1.35	8421.44	-11386.98
1.69	14580.64	-17115.95
2.03	19151.86	-21391.56
2.37	21396.80	-23412.37
2.72	21692.95	-23446.87
3.06	20811.67	-22141.05
3.40	19721.59	-20203.64
3.75	19212.02	-18264.81
4.09	19540.74	-16416.00
4.44	20519.58	-14107.49
4.80	22445.39	-11635.41
5.15	25867.20	-9389.53
5.50	30648.58	-7711.33

Fuente: Elaboración propia

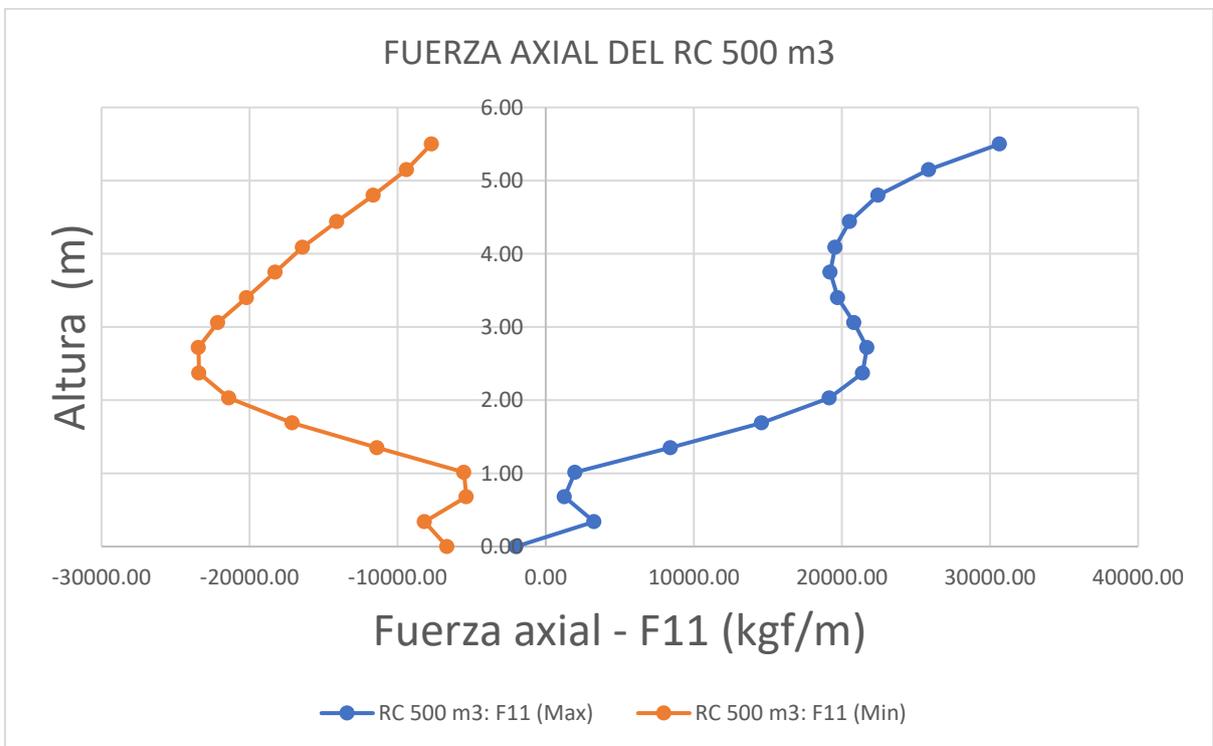


Figura 11. Gráfico de Fuerza axial RC - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 22. Fuerza axial RC-1000 m3

Fuerza axial RC-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-5452.34	-10495.00
0.37	5055.46	-13034.88
0.73	2880.51	-9971.31
1.10	-271.37	-6084.36
1.47	7369.07	-12645.60
1.84	16507.52	-21058.23
2.20	24630.93	-28198.77
2.57	30380.70	-33939.77
2.94	34294.02	-37493.87
3.32	35098.37	-37954.11
3.69	34177.46	-36429.00
4.06	32298.56	-36654.18
4.43	30174.55	-30116.46
4.81	29033.20	-26824.26
5.18	28793.56	-23531.14
5.52	29524.84	-20504.78
5.87	31336.12	-17582.04
6.21	34402.41	-14874.68
6.56	38952.95	-12503.39
6.90	44442.29	-10584.46

Fuente: Elaboración propia

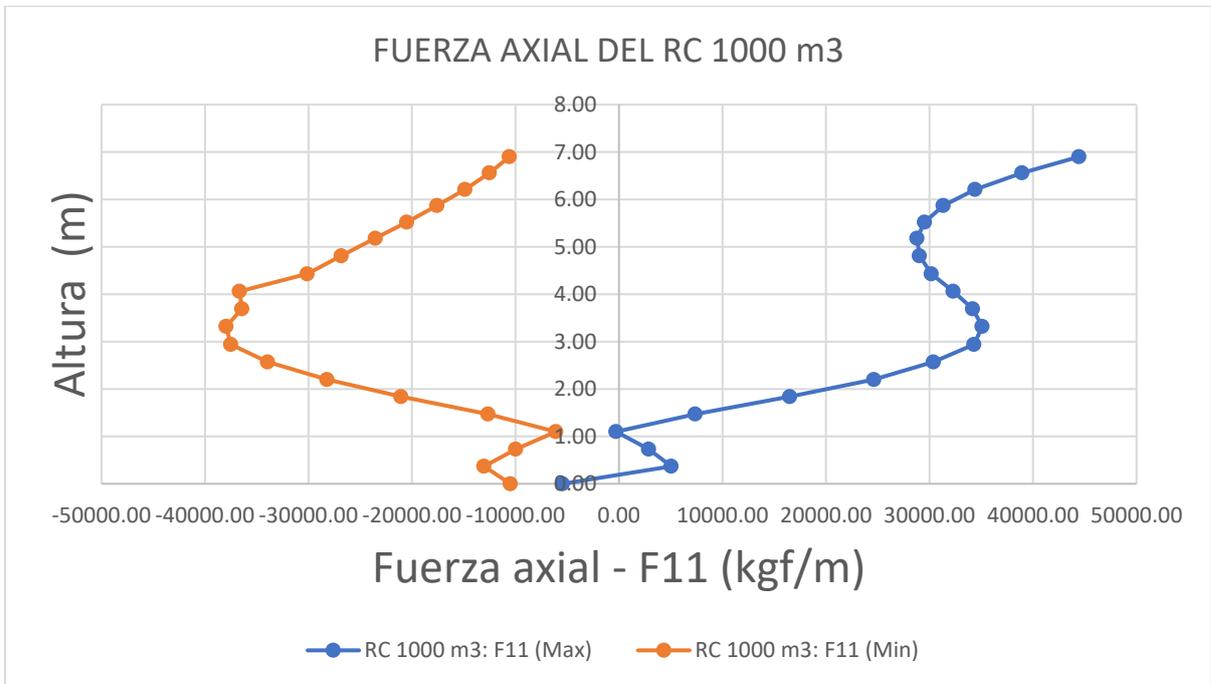


Figura 12. Gráfico de Fuerza axial RC - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 23. Fuerza axial RC-2000 m3

Fuerza axial RC-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-5407.77	-15825.91
0.81	5719.84	-17241.64
1.62	4999.87	-13655.85
2.42	29776.38	-36094.40
3.23	40075.06	-52754.10
4.05	55022.84	-59451.90
4.87	52086.88	-55483.42
5.69	46111.11	-47677.71
6.51	42339.73	-39355.58
7.37	42930.08	-30604.23
8.24	50003.54	-22394.83
9.10	65113.06	-16983.00

Fuente: Elaboración propia

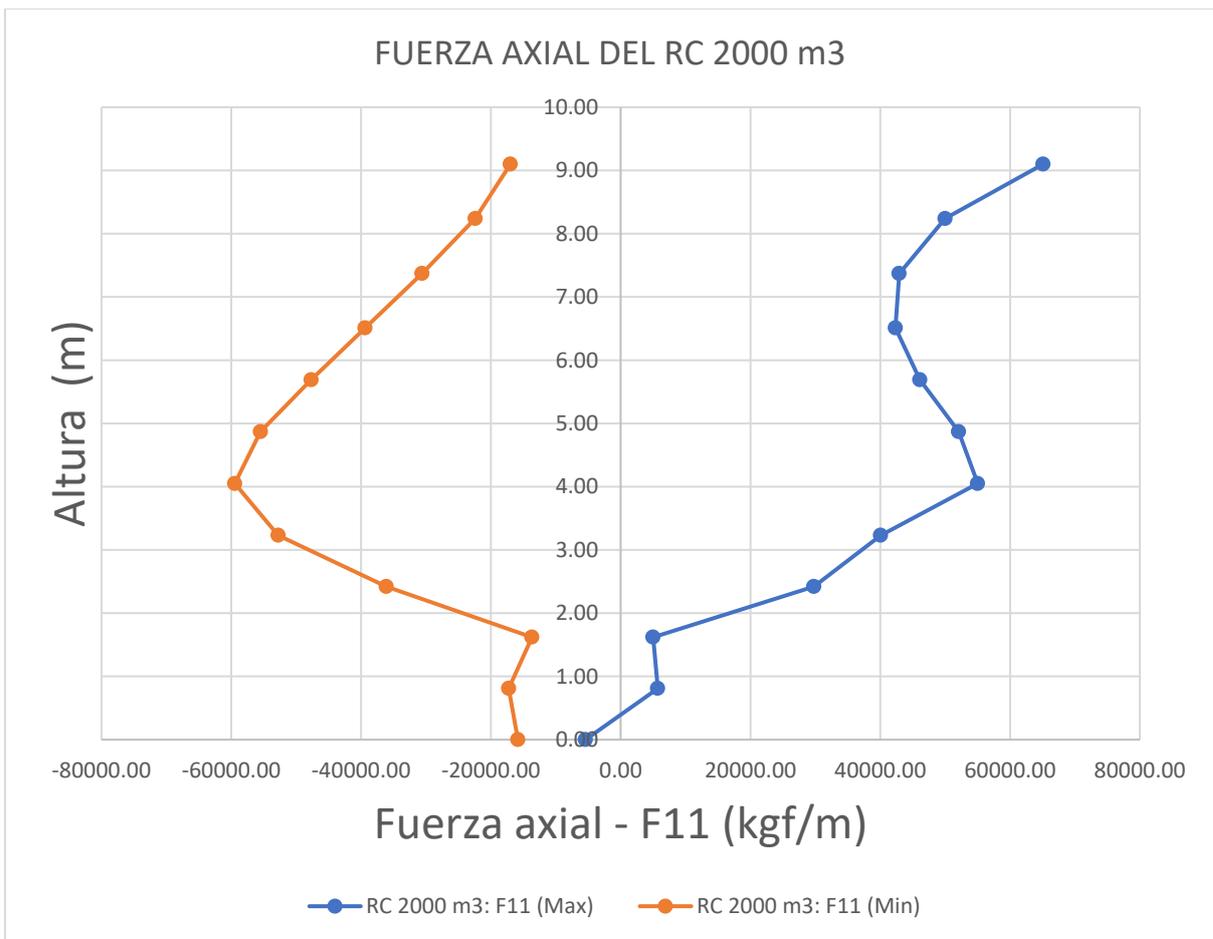


Figura 13. Gráfico de Fuerza axial RC - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla 24. Fuerza axial RC - 4000 m3

Fuerza axial RC-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-8024.29	-23616.53
0.81	9905.27	-27731.17
1.63	-2146.34	-14712.25
2.44	26299.59	-37724.74
3.26	57616.20	-66697.39
4.07	80328.38	-87965.77
4.90	89522.68	-95762.55
5.73	87184.92	-91943.83
6.55	79229.90	-81305.03
7.38	71723.56	-68825.86
8.21	65402.36	-57147.39
9.06	66942.35	-45466.38
9.90	76256.56	-35568.64
10.75	94123.49	-29698.85

Fuente: Elaboración propia

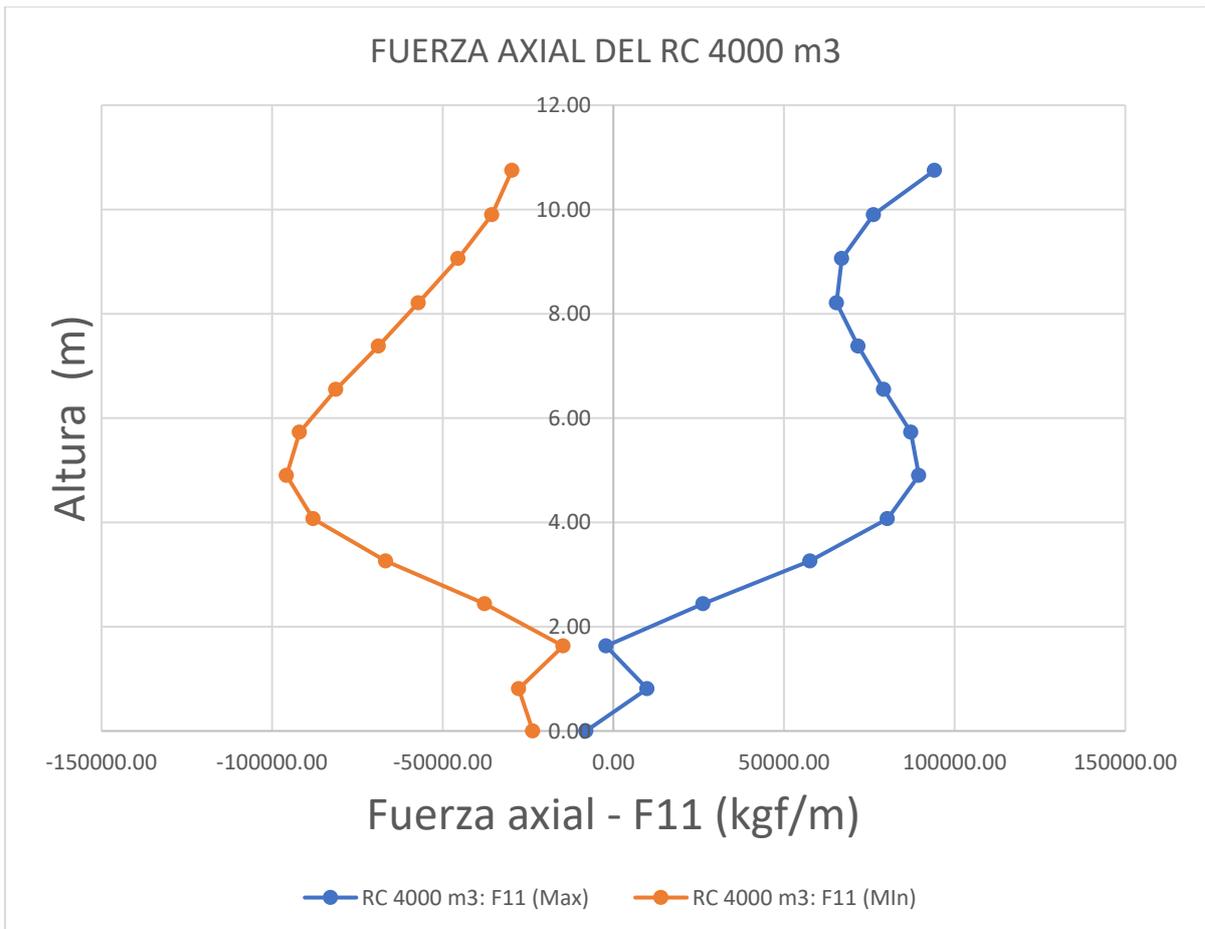


Figura 14. Gráfico de Fuerza axial RC - 4000 m3

Elaboración propia

ii. Fuerza cortante

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto a la fuerza cortante como se observa en las tablas: Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 25. Fuerza cortante RC - 50 m3

Fuerza cortante RC-50 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	1091.05	-871.26
0.24	1008.74	-844.77
0.47	853.31	-782.59
0.71	789.82	-793.97
0.94	587.67	-650.46
1.18	331.85	-430.74
1.42	301.75	-430.53
1.65	433.97	-561.13
1.89	542.75	-628.99
2.10	432.31	-433.69
2.31	346.49	-196.12
2.52	480.45	-94.25
2.73	734.53	-79.74

Fuente: Elaboración propia

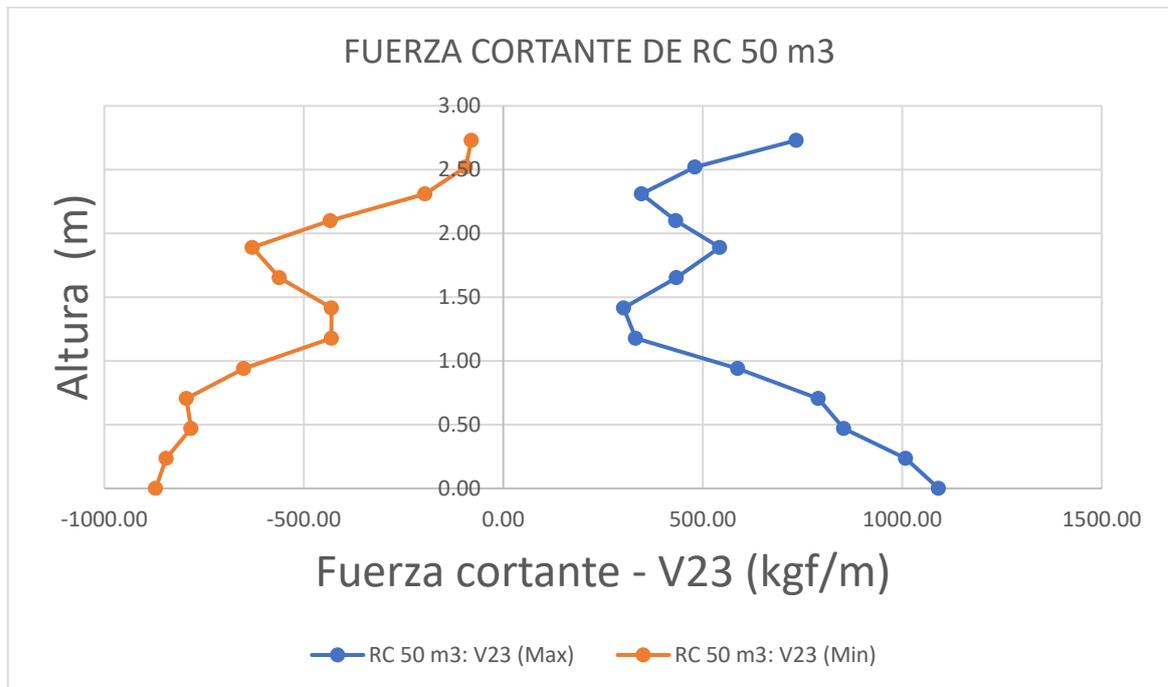


Figura 15. Gráfico de Fuerza cortante RC - 50 m3

Elaboración propia

Tabla 26. Fuerza cortante RC -100 m3

Fuerza cortante RC-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	1653.03	-1374.50
0.24	1546.41	-1326.87
0.47	1381.24	-1251.65
0.71	1252.44	-1204.60
0.94	1381.01	-1400.00
1.18	1316.66	-1386.47
1.42	829.74	-923.12
1.66	541.94	-688.94
1.90	485.12	-694.07
2.14	600.90	-771.07
2.38	740.55	-866.71
2.62	546.49	-579.91
2.87	404.48	-249.68
3.11	574.19	-114.59
3.35	903.27	-81.39

Fuente: Elaboración propia

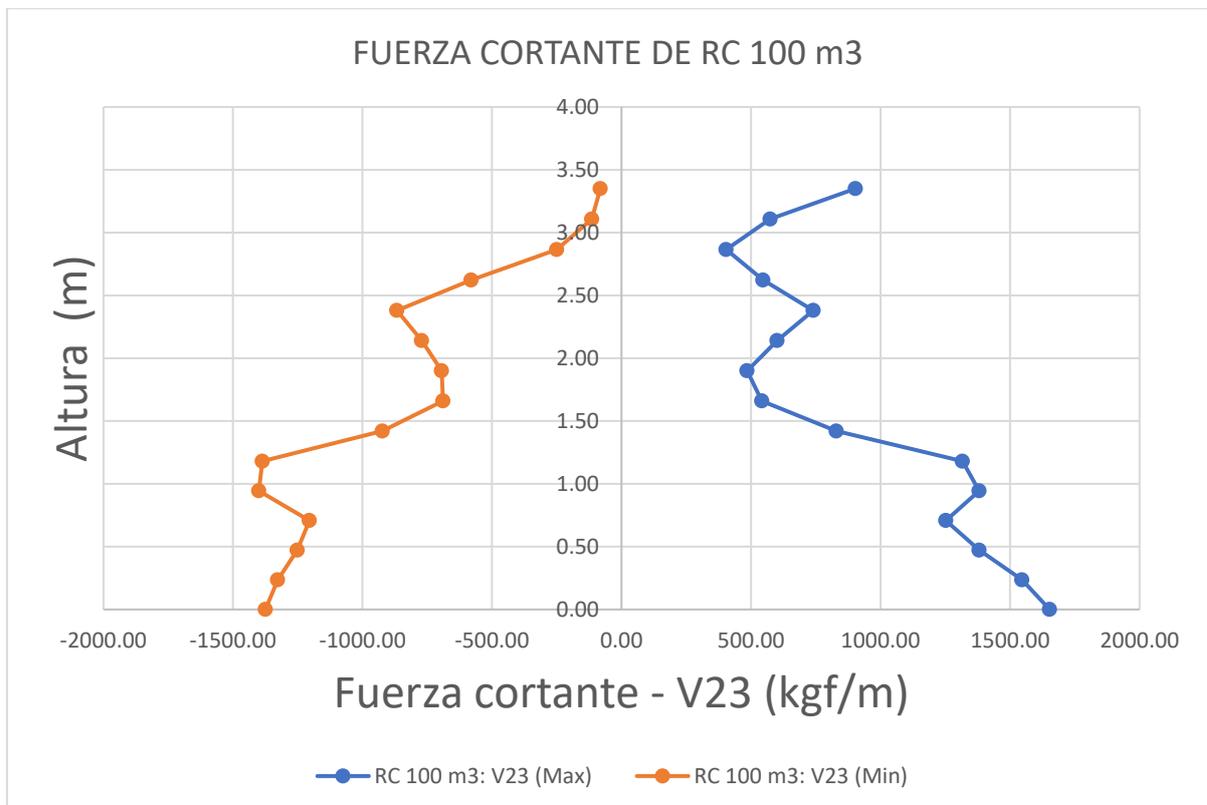


Figura 16. Gráfico de Fuerza cortante RC - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 27. Fuerza cortante RC-250 m3

Fuerza cortante RC-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	3387.23	-2879.41
0.23	3233.34	-2809.76
0.46	2959.90	-2665.79
0.69	2740.59	-2562.64
0.92	2631.06	-2568.85
1.15	2562.71	-2561.92
1.38	3201.29	-3271.29
1.61	3382.46	-3515.17
1.84	2107.05	-2258.21
2.08	1259.37	-1506.87
2.31	1098.33	-1373.58
2.55	885.38	-1201.50
2.78	780.43	-1110.40
3.02	1050.36	-1365.59
3.25	1316.47	-1573.82
3.49	947.47	-1063.40
3.73	604.08	-567.65
3.97	697.26	-322.58
4.21	973.04	-160.07
4.45	1458.23	-105.51

Fuente: Elaboración propia

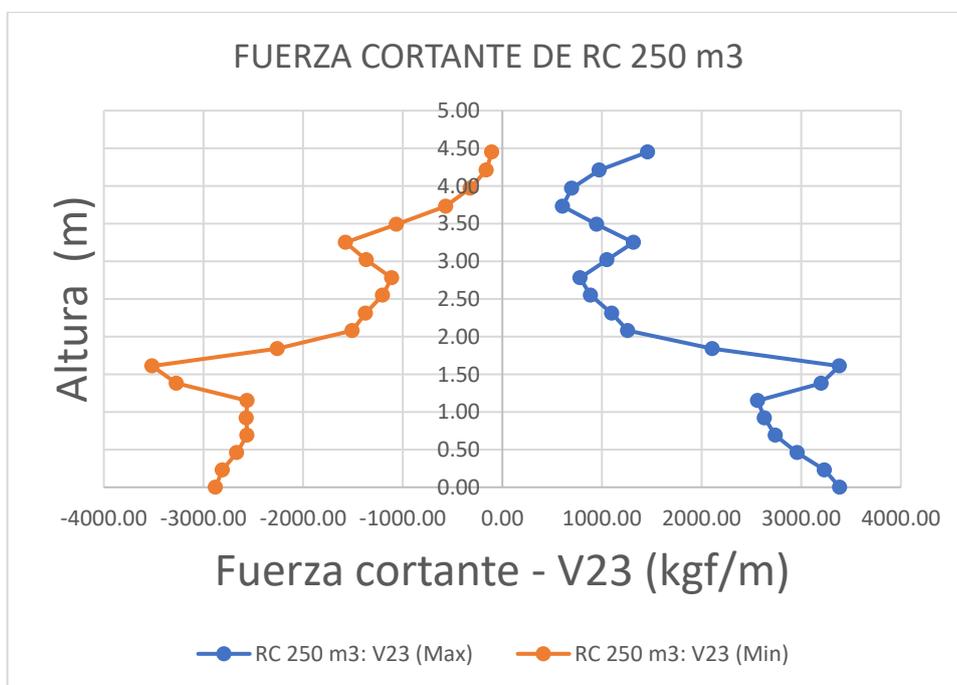


Figura 17. Gráfico de Fuerza cortante RC - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 28. Fuerza cortante RC-500 m3

Fuerza cortante RC-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	5480.30	-4769.64
0.34	5220.34	-4622.52
0.68	4727.66	-4360.68
1.02	4459.86	-4272.14
1.35	4296.55	-4264.22
1.69	5199.99	-5298.82
2.03	5304.61	-5517.46
2.37	3259.98	-3574.50
2.72	1980.77	-2396.20
3.06	1598.49	-2072.86
3.40	1231.21	-1743.90
3.75	1431.78	-1927.46
4.09	1697.75	-2086.31
4.44	1232.00	-1376.04
4.80	927.41	-635.72
5.15	1296.84	-318.38
5.50	1986.02	-123.91

Fuente: Elaboración propia

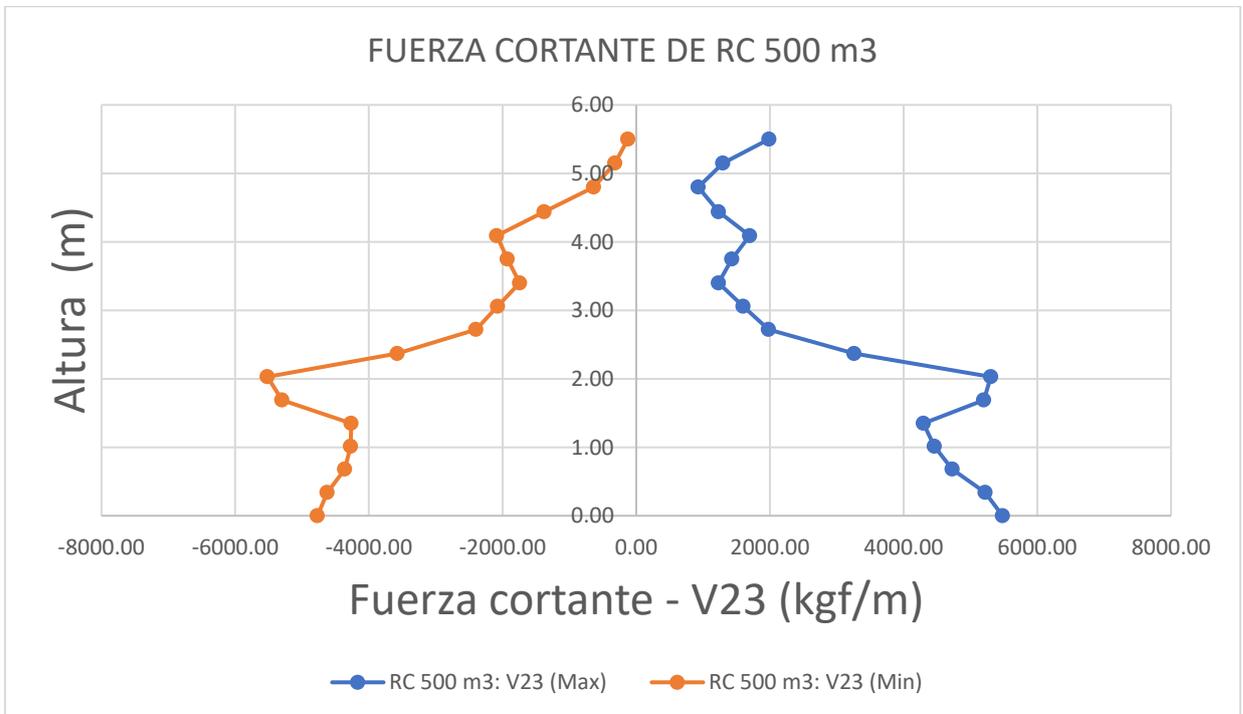


Figura 18. Gráfico de Fuerza cortante RC - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 29. Fuerza cortante RC-1000 m3

Fuerza cortante RC-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	9334.19	-8105.30
0.37	8933.53	-7927.82
0.73	8212.44	-7525.85
1.10	7671.89	-7248.20
1.47	7442.90	-7263.28
1.84	7596.90	-7616.81
2.20	8100.48	-8245.24
2.57	6755.57	-7157.92
2.94	4675.39	-5160.29
3.32	3714.72	-4285.59
3.69	2819.09	-3499.12
4.06	2037.84	-2816.95
4.43	1455.52	-2272.09
4.81	1257.00	-2008.82
5.18	1259.79	-1823.20
5.52	933.68	-1248.33
5.87	803.13	-678.46
6.21	1218.88	-471.82
6.56	1978.94	-337.16
6.90	3012.06	-243.84

Fuente: Elaboración propia

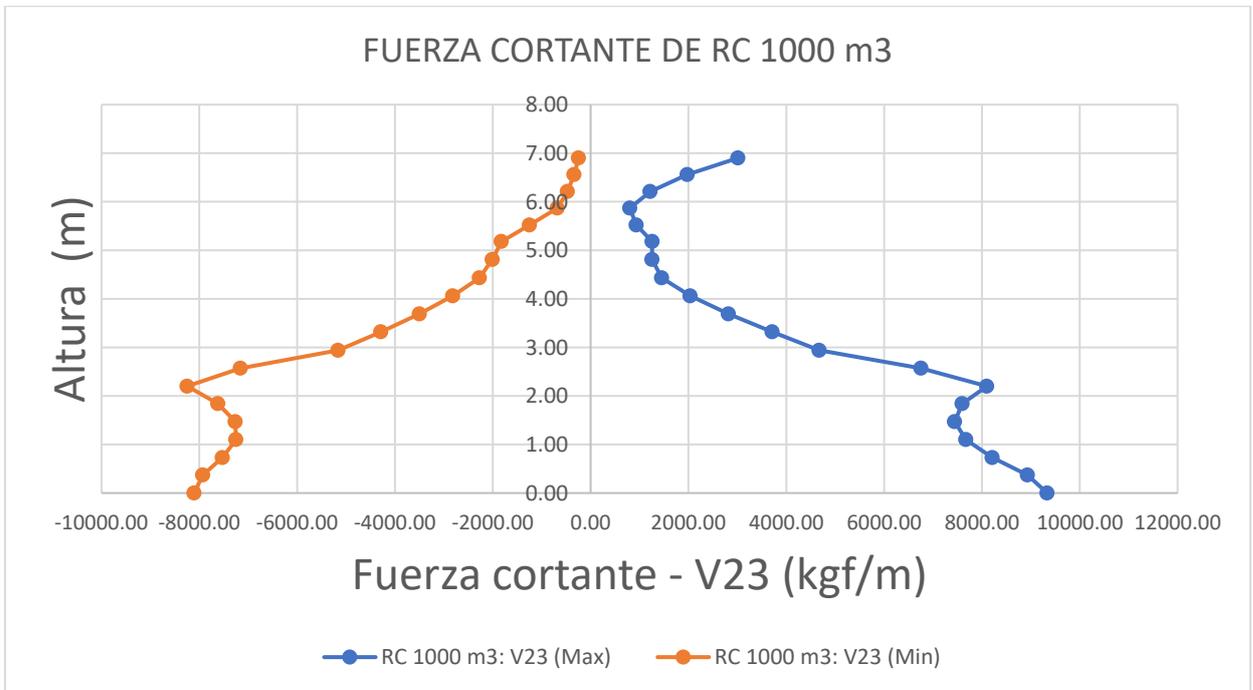


Figura 19. Gráfico de Fuerza cortante RC - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 30. Fuerza cortante RC-2000 m3

Fuerza cortante RC-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	13435.38	-11765.79
0.81	12557.48	-11258.66
1.62	11337.66	-10756.24
2.42	11696.92	-11649.12
3.23	10043.85	-10405.04
4.05	6373.60	-7089.61
4.87	4004.56	-4964.95
5.69	2761.72	-3879.36
6.51	2257.24	-3270.60
7.37	1701.58	-2070.45
8.24	2162.62	-940.14
9.10	4065.38	-585.90

Fuente: Elaboración propia

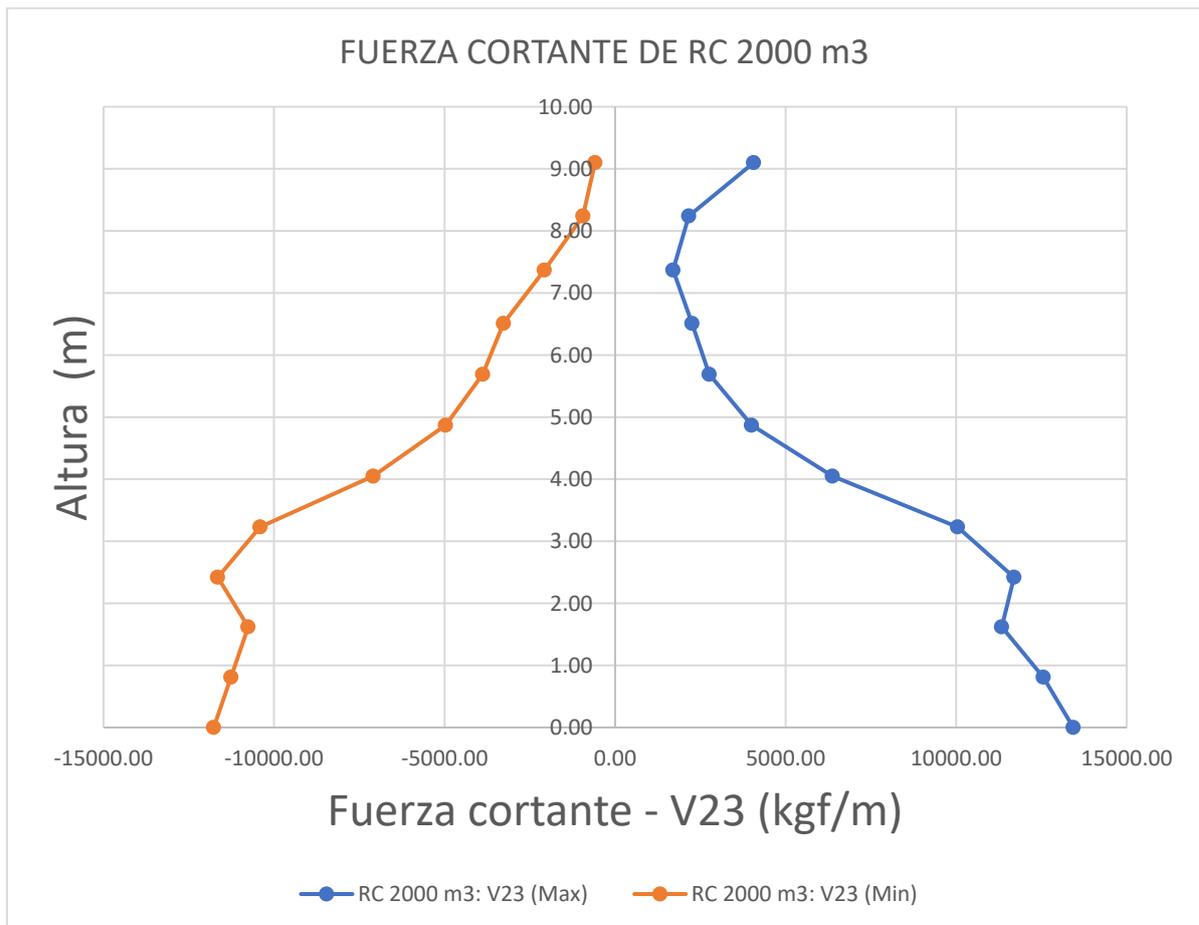


Figura 20. Gráfico de Fuerza cortante RC - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla 31. Fuerza cortante RC - 4000 m3

Fuerza cortante RC-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	21832.05	-19226.35
0.81	20531.46	-18505.03
1.63	18593.86	-17536.86
2.44	17630.59	-17254.49
3.26	20495.57	-20771.87
4.07	19416.10	-20429.83
4.90	12009.81	-13113.00
5.73	6996.30	-8407.42
6.55	4869.73	-6538.87
7.38	3759.47	-5292.68
8.21	3635.56	-4708.12
9.06	3091.43	-3055.52
9.90	3861.94	-1775.49
10.75	6556.97	-1782.50

Fuente: Elaboración propia

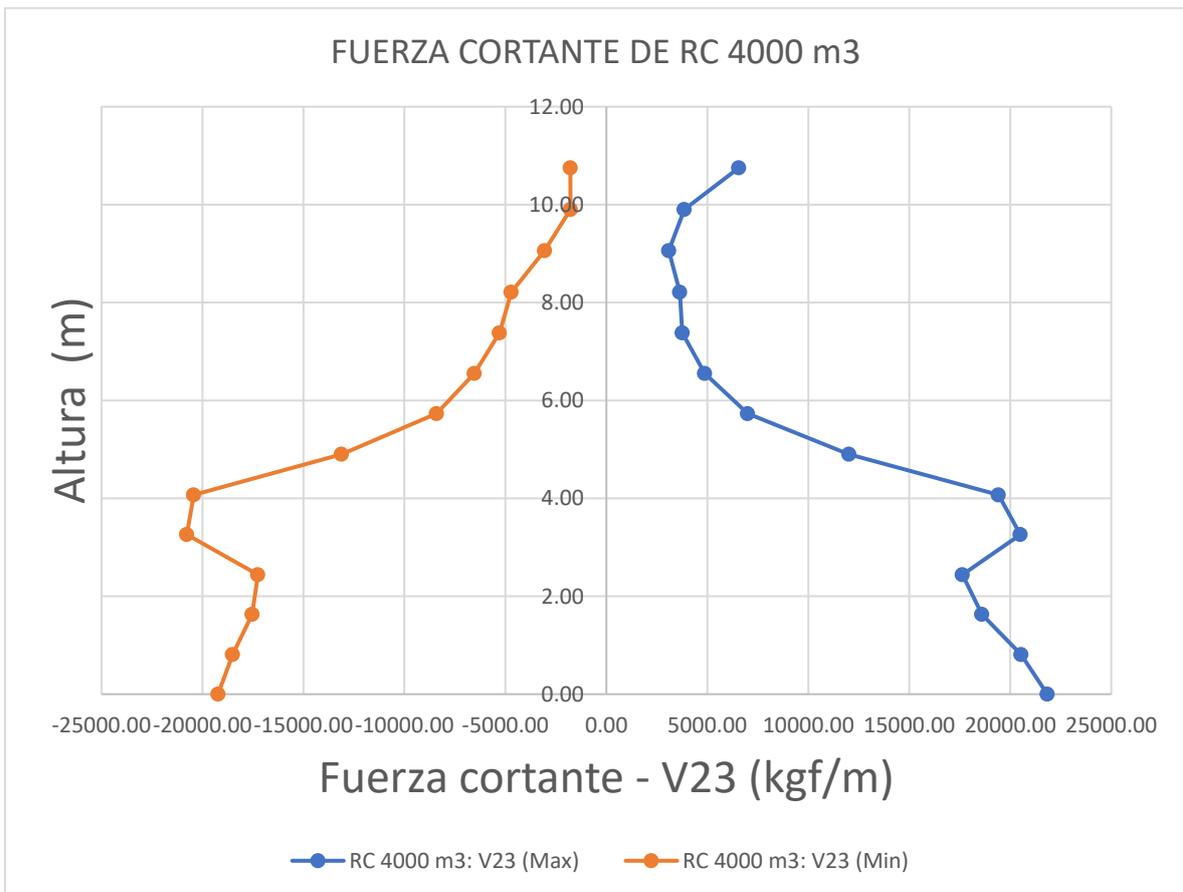


Figura 21. Gráfico de Fuerza cortante RC - 4000 m3

Elaboración propia

iii. Momento flector

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto al momento flector como se observa en las tablas: Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38.

Tabla 32. Momento flector RC-50 m3

Momento flector RC-50 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	608.64	-540.13
0.24	358.17	-337.48
0.47	151.46	-159.88
0.71	67.91	-82.87
0.94	232.34	-238.40
1.18	151.97	-137.98
1.42	115.38	-71.00
1.65	154.51	-78.42
1.89	301.07	-193.61
2.10	202.55	-85.72
2.31	148.28	-41.73
2.52	78.12	-23.92
2.73	6.40	-61.75

Fuente: Elaboración propia

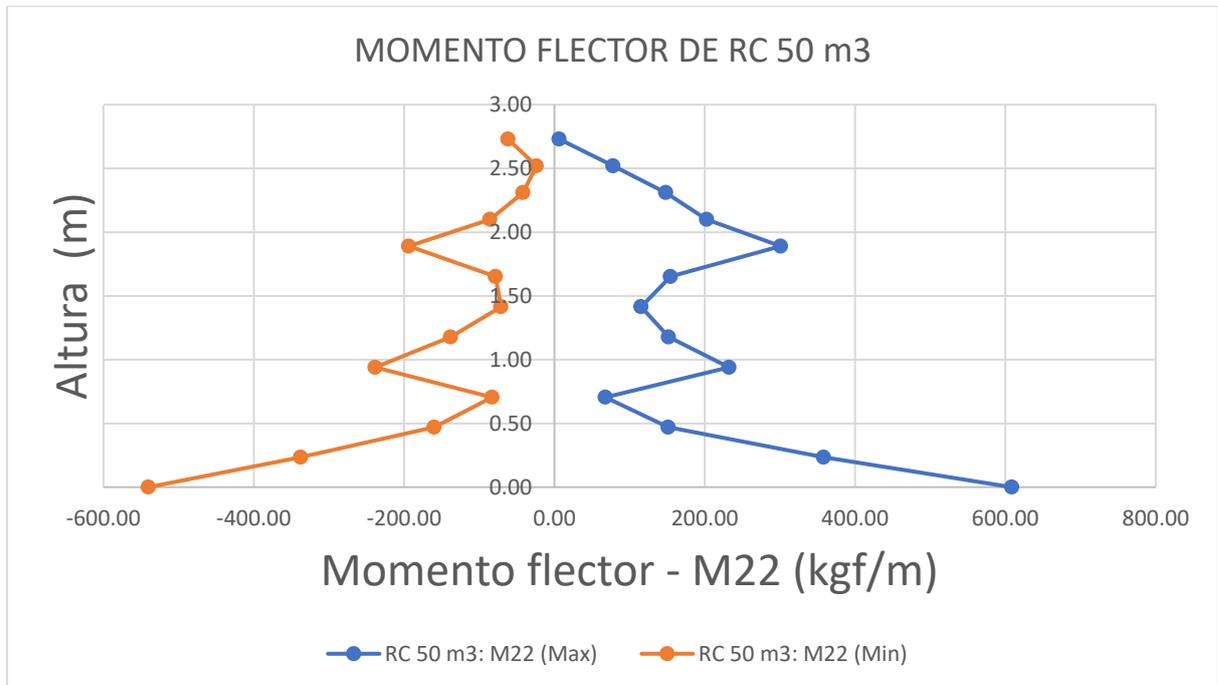


Figura 22. Gráfico de Momento flector RC - 50 m3

Elaboración propia

Tabla 33. Momento flector RC-100 m3

Momento flector RC-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	1038.00	-942.36
0.24	652.63	-622.34
0.47	328.74	-336.59
0.71	79.58	-105.32
0.94	220.12	-261.15
1.18	585.27	-586.28
1.42	344.26	-347.99
1.66	220.09	-183.75
1.90	150.66	-77.08
2.14	229.07	-112.54
2.38	441.43	-276.15
2.62	298.74	-121.25
2.87	230.26	-62.27
3.11	142.03	-36.82
3.35	20.24	-66.34

Fuente: Elaboración propia

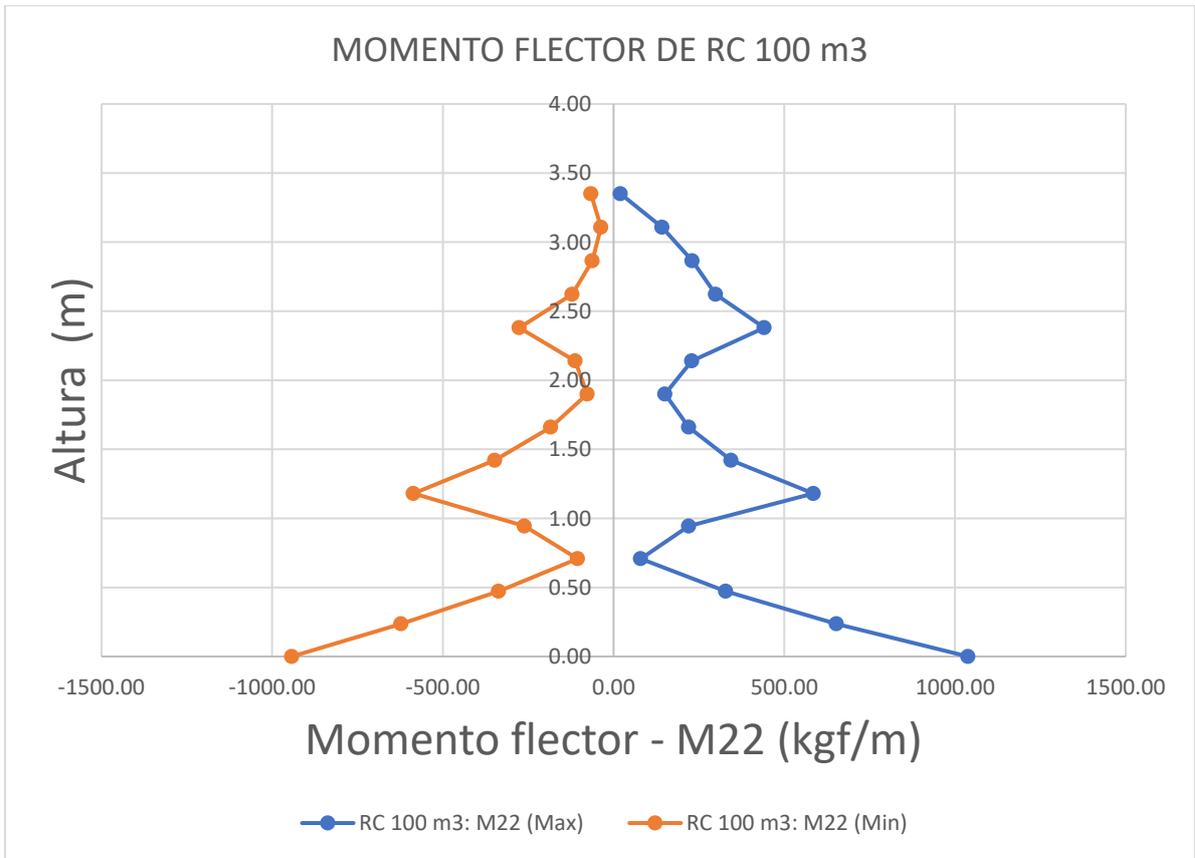


Figura 23. Gráfico de Momento flector RC - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 34. Momento flector RC - 250 m3

Momento flector RC-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	2785.94	-2570.30
0.23	2018.68	-1919.62
0.46	1339.62	-1357.16
0.69	760.63	-767.06
0.92	203.06	-263.83
1.15	410.31	-479.92
1.38	934.98	-947.30
1.61	1817.46	-1855.10
1.84	1160.11	-1167.08
2.08	876.19	-827.51
2.31	625.63	-502.77
2.55	463.12	-278.62
2.78	468.84	-207.25
3.02	629.83	-290.49
3.25	988.13	-578.48
3.49	744.45	-282.77
3.73	646.83	-170.54
3.97	526.89	-96.02
4.21	357.67	-60.00
4.45	102.47	-55.46

Fuente: Elaboración propia

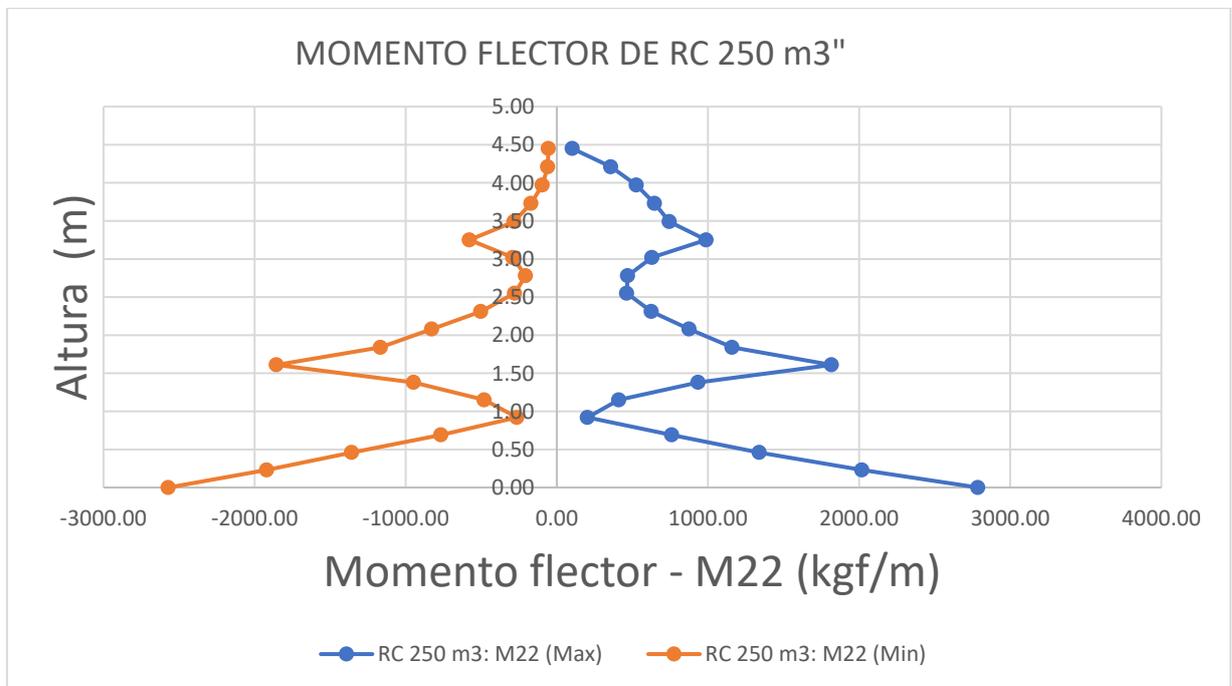


Figura 24. Gráfico de Momento flector RC - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 35. Momento flector RC - 500 m3

Momento flector RC-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	5746.94	-5325.08
0.34	3912.83	-3763.53
0.68	2321.50	-2350.34
1.02	905.83	-1004.78
1.35	558.17	-666.37
1.69	1823.01	-1943.66
2.03	3714.30	-3876.23
2.37	2391.76	-2367.02
2.72	1719.11	-1569.85
3.06	1179.76	-877.66
3.40	974.37	-499.06
3.75	1147.73	-507.21
4.09	1790.50	-994.24
4.44	1371.91	-436.32
4.80	1143.42	-222.99
5.15	831.68	-108.31
5.50	314.64	-79.84

Fuente: Elaboración propia

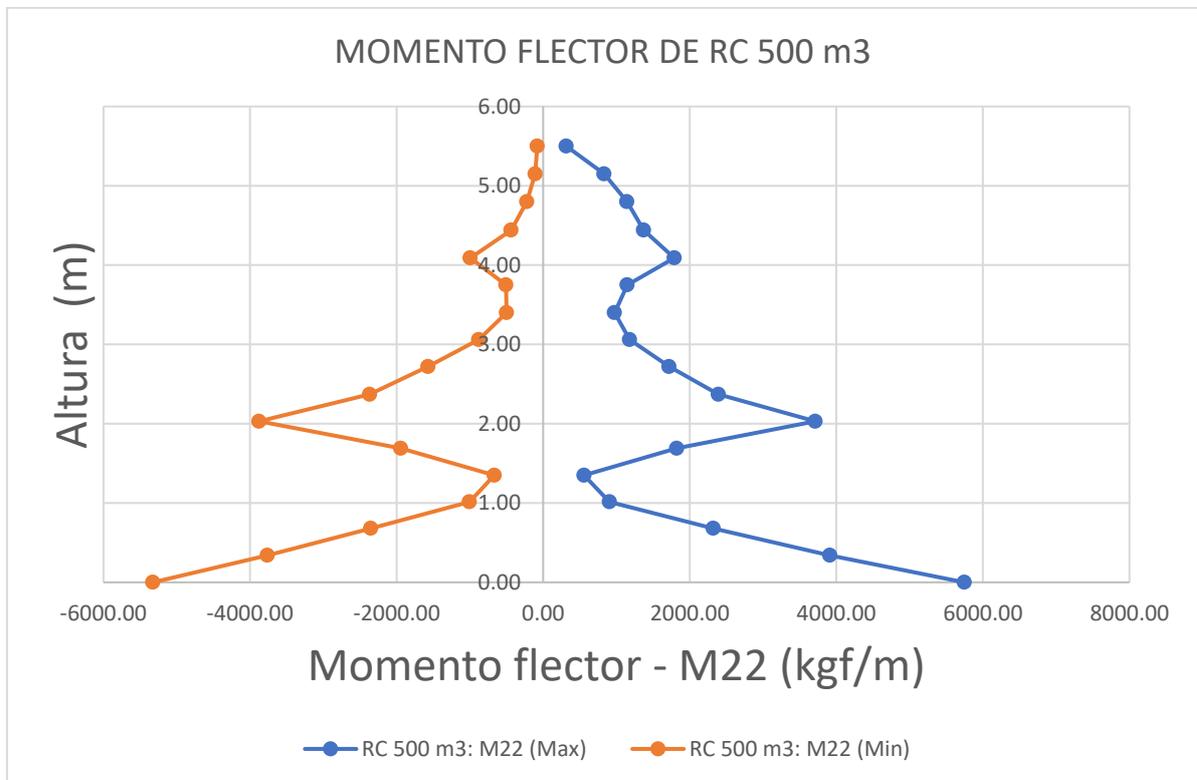


Figura 25. Gráfico de Momento flector RC - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 36. Momento flector RC - 1000 m3

Momento flector RC-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	12023.10	-11469.65
0.37	8897.45	-8534.47
0.73	5902.62	-5833.75
1.10	3201.51	-3329.88
1.47	732.05	-965.51
1.84	1826.02	-2086.03
2.20	4415.08	-4743.81
2.57	7573.45	-7691.46
2.94	5634.37	-5595.97
3.32	4142.33	-3898.70
3.69	3069.62	-2625.01
4.06	2448.06	-1611.35
4.43	2069.28	-1022.62
4.81	2091.52	-721.12
5.18	2451.93	-832.40
5.52	2299.06	-497.93
5.87	2206.38	-353.29
6.21	1961.75	-243.77
6.56	1499.74	-171.52
6.90	762.06	-135.96

Fuente: Elaboración propia

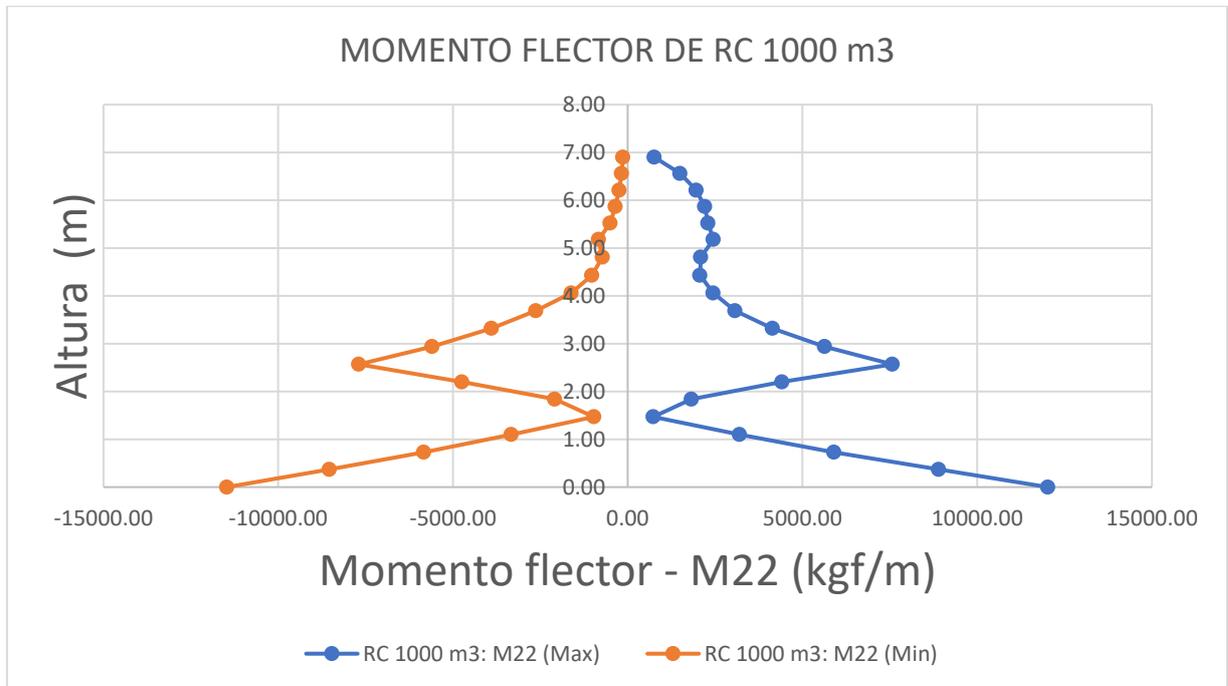


Figura 26. Gráfico de Momento flector RC - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 37. Momento flector RC - 2000 m3

Momento flector RC-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	23479.05	-21777.00
0.81	12698.46	-12370.60
1.62	3698.45	-4095.01
2.42	4740.82	-5361.03
3.23	14549.54	-15022.88
4.05	8309.76	-8319.98
4.87	4696.71	-4035.39
5.69	3690.18	-2138.56
6.51	5432.45	-2936.03
7.37	4538.13	-1288.72
8.24	3749.05	-620.85
9.10	1389.61	-249.62

Fuente: Elaboración propia

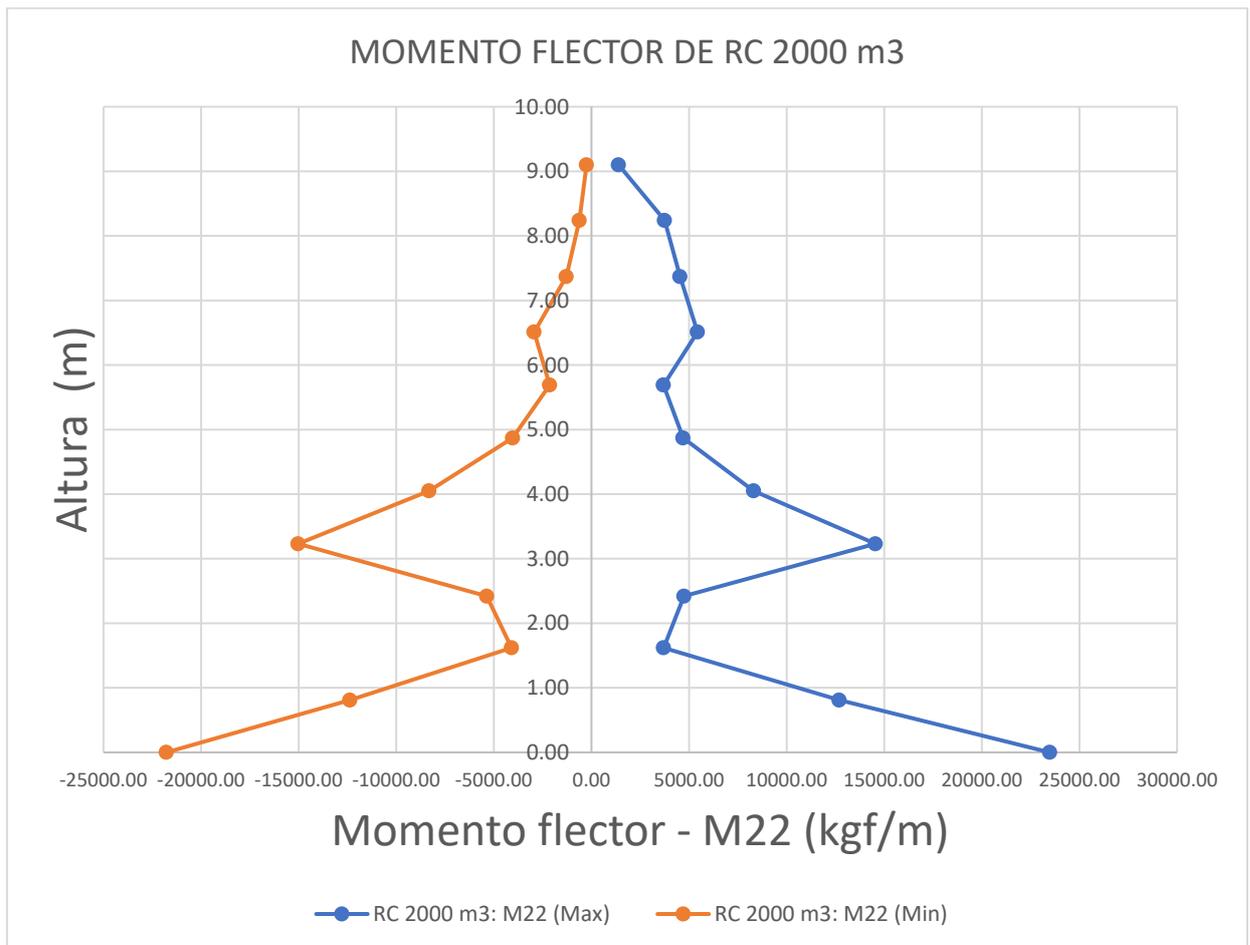


Figura 25. Gráfico de Momento flector RC - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla 38. Momento flector RC - 4000 m3

Momento flector RC-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	46081.13	-42930.58
0.81	28848.71	-27780.71
1.63	13813.10	-14161.69
2.44	1569.30	-2334.41
3.26	12783.07	-13707.59
4.07	31138.21	-32234.47
4.90	19258.33	-18354.56
5.73	12594.88	-11287.69
6.55	8902.56	-6190.93
7.38	8114.47	-4140.42
8.21	10205.96	-5063.58
9.06	8484.21	-2800.20
9.90	6787.93	-1692.82
10.75	3014.01	-768.01

Fuente: Elaboración propia

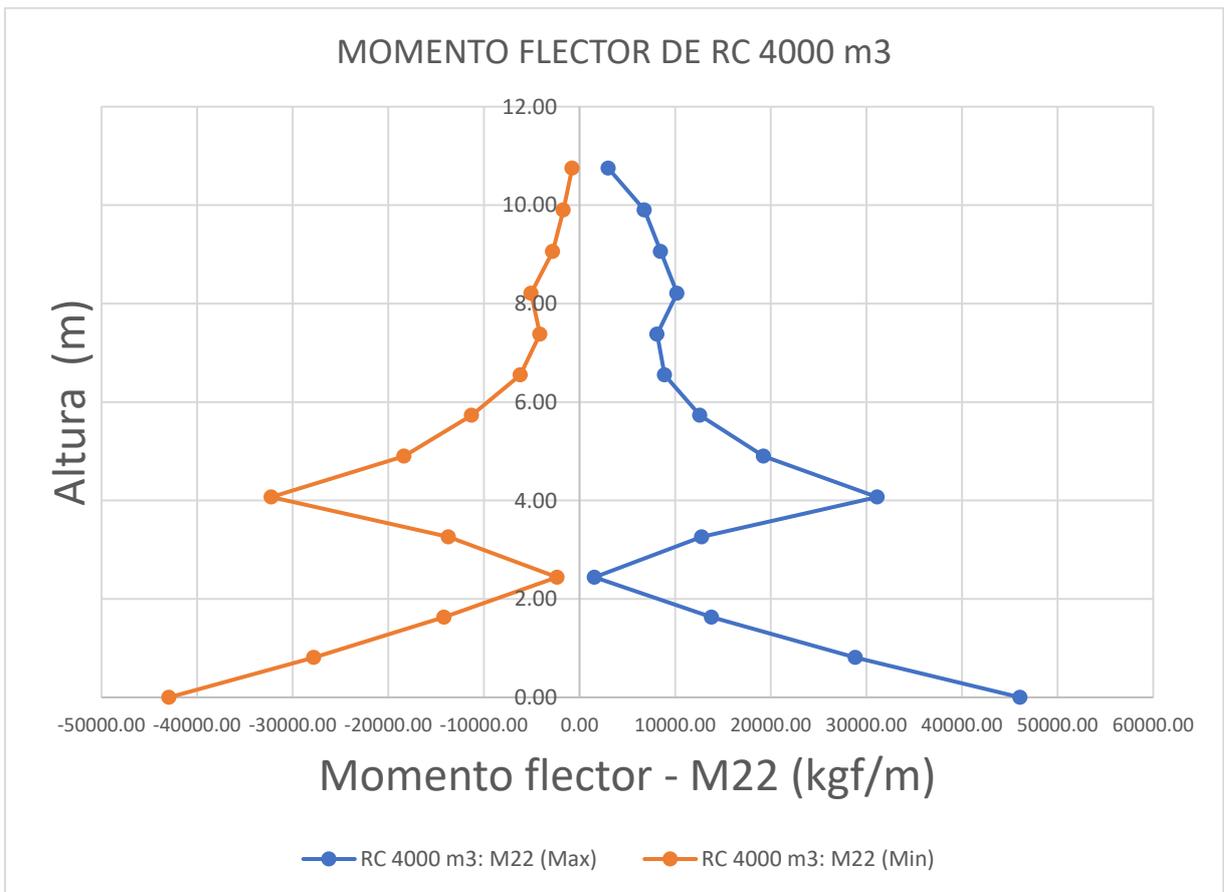


Figura 27. Gráfico de Momento flector RC - 4000 m3

Elaboración propia

Reservorio rectangular

i. Fuerza axial

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto a la fuerza cortante como se observa en las tablas: Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42, Tabla 43, Tabla 44 y Tabla 45.

Tabla 39. Fuerza axial RR-50 m3

Fuerza axial RR-50 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-317.23	-654.15
0.22	-230.47	-484.47
0.43	-121.60	-367.28
0.65	-17.92	-284.17
0.86	105.00	-248.83
1.10	301.37	-306.89
1.34	499.20	-420.69
1.56	678.22	-583.63
1.78	846.74	-821.26
2.00	1020.28	-1080.89
2.23	1229.50	-1472.78
2.45	1450.08	-1949.94
2.67	1680.08	-2524.20

Fuente: Elaboración propia

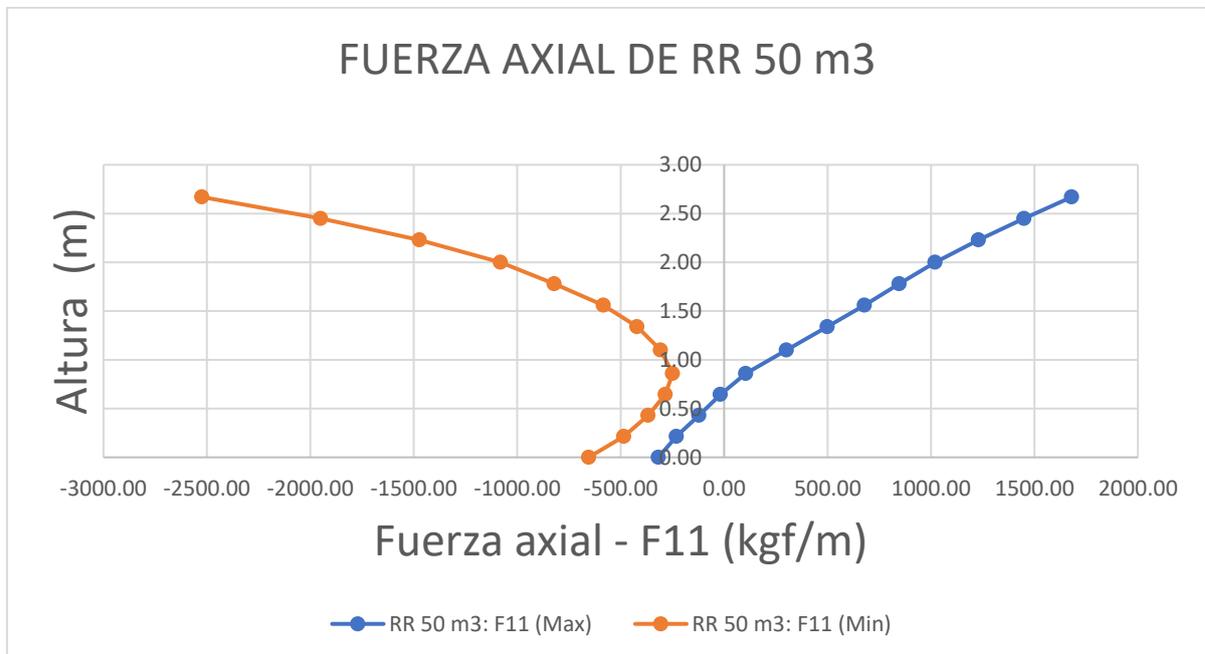


Figura 28. Gráfico de Fuerza axial RR - 50 m3

Elaboración propia

Tabla 40. Fuerza axial RR -100 m3

Fuerza axial RR-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-481.28	-1090.67
0.27	-396.69	-829.74
0.55	-243.71	-615.18
0.82	-78.37	-498.93
1.09	153.66	-459.36
1.40	470.25	-589.94
1.71	845.20	-824.50
2.01	1241.30	-1172.66
2.32	1605.70	-1695.13
2.91	2333.98	-2858.73
3.29	3101.43	-4492.87

Fuente: Elaboración propia

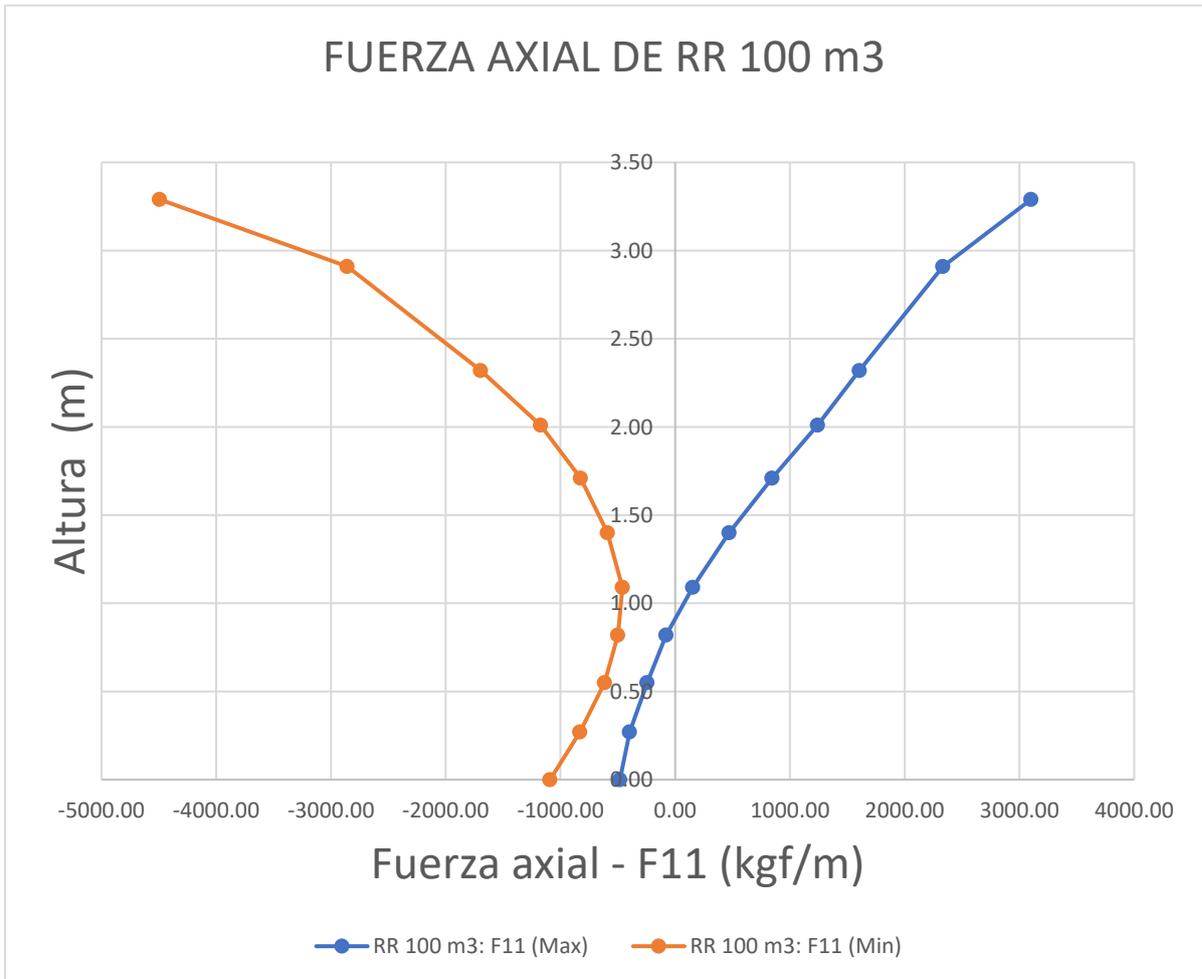


Figura 29. Gráfico de Fuerza axial RR - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 41. Fuerza axial RR-250 m3

Fuerza axial RR-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-888.61	-2229.96
0.75	-542.78	-1350.00
1.49	221.23	-1018.51
2.32	1590.32	-1817.01
3.01	3095.66	-3339.49
3.50	4870.12	-5826.76
4.39	7055.54	-9534.82

Fuente: Elaboración propia

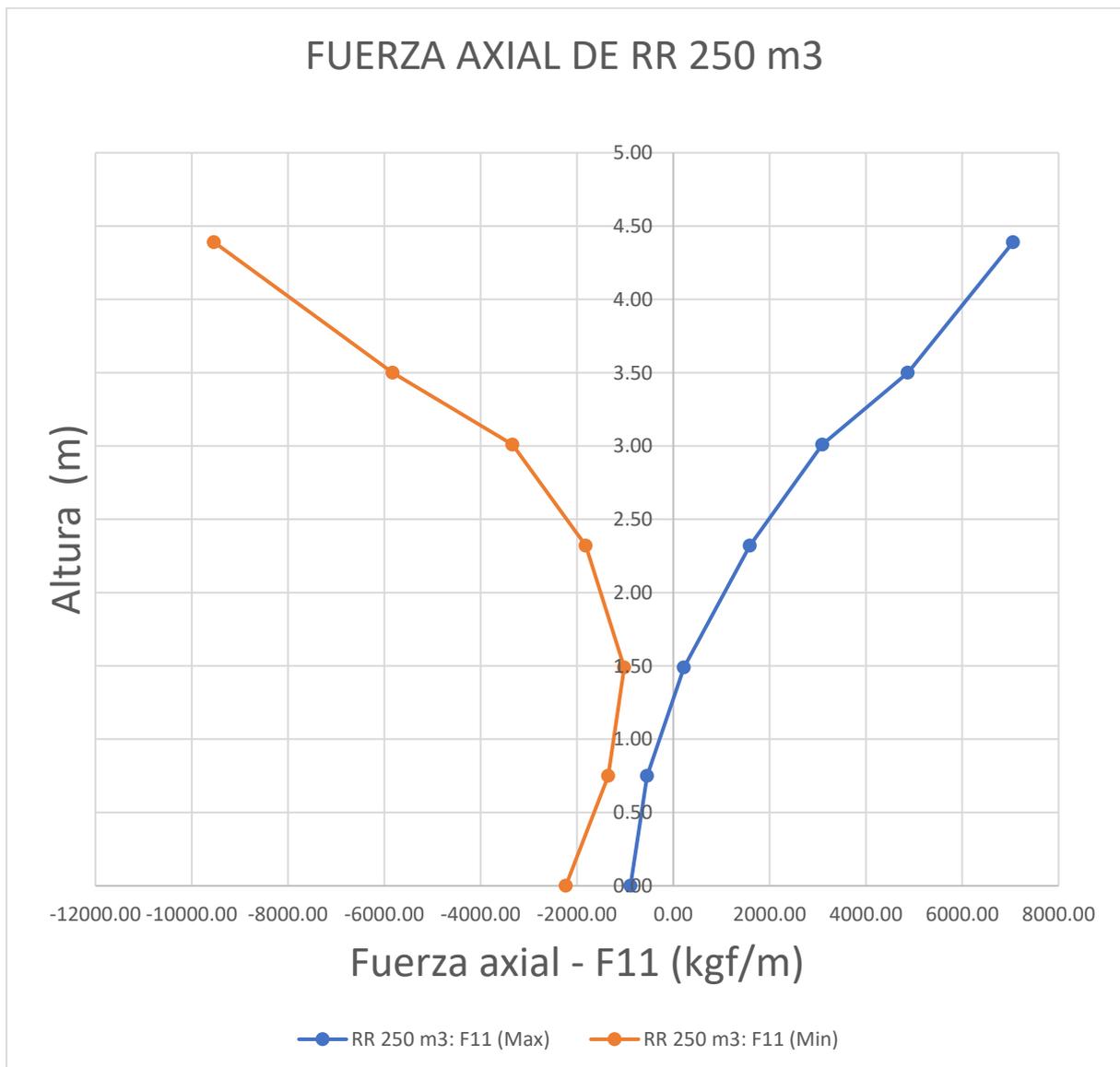


Figura 30. Gráfico de Fuerza axial RR - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 42. Fuerza axial RR-500 m3

Fuerza axial RR-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-1159.27	-3764.43
0.94	-570.11	-2362.38
1.88	1602.73	-3060.77
2.40	3586.31	-4331.26
2.92	6109.28	-6477.69
3.76	11142.58	-11665.16
4.61	17444.43	-18801.11
5.45	25255.65	-28824.11

Fuente: Elaboración propia

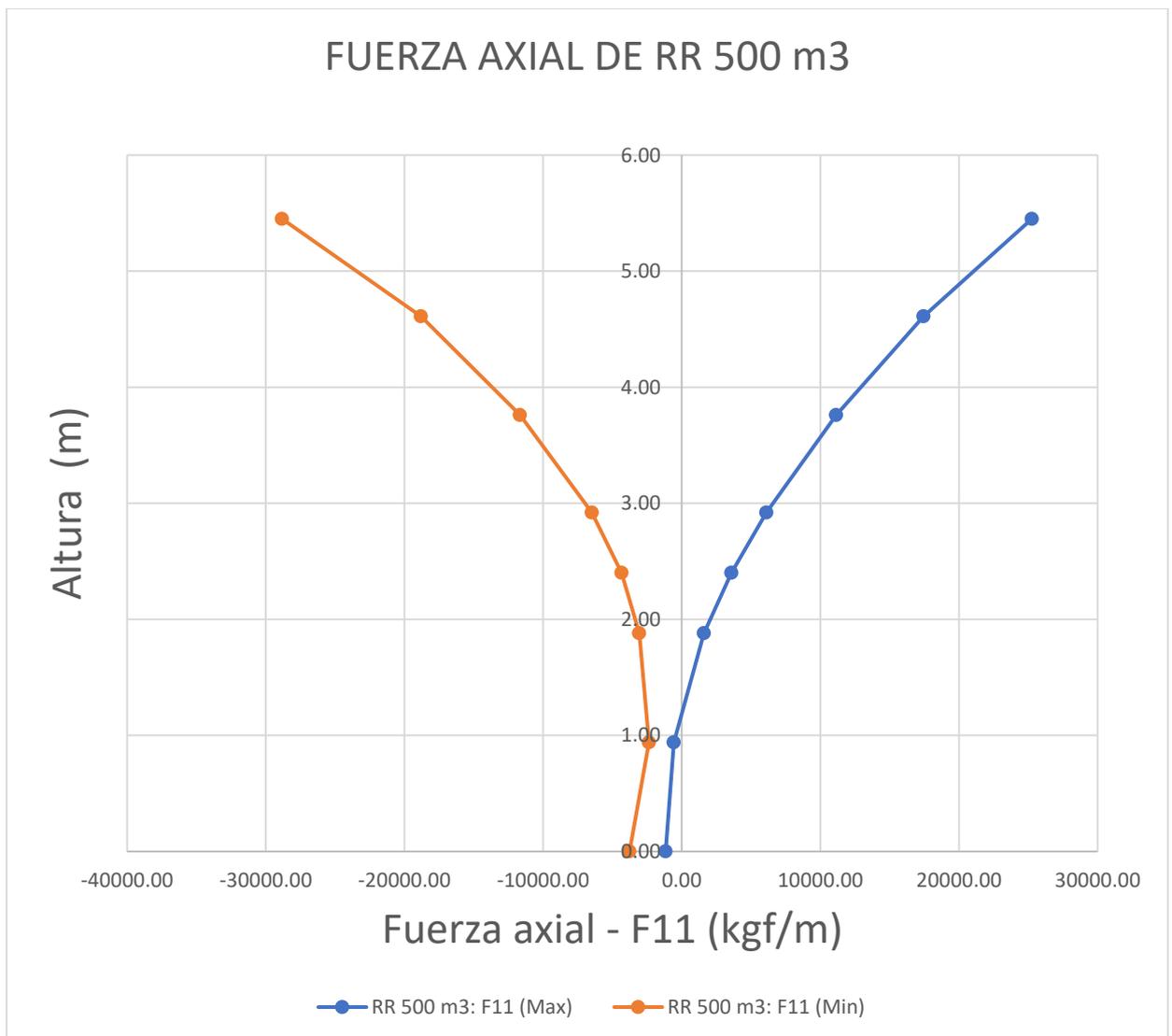


Figura 31. Gráfico de Fuerza axial RR - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 43. Fuerza axial RR - 1000 m3

Fuerza axial RR-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-2956.07	-6472.16
0.79	-2351.79	-4711.48
1.57	-969.91	-3816.19
2.36	1093.67	-4137.34
3.02	3375.87	-5352.39
3.67	6092.85	-7447.41
4.45	9843.48	-11186.62
5.23	14153.29	-16206.52
6.01	19029.51	-22750.26
6.79	24462.76	-30906.01

Fuente: Elaboración propia

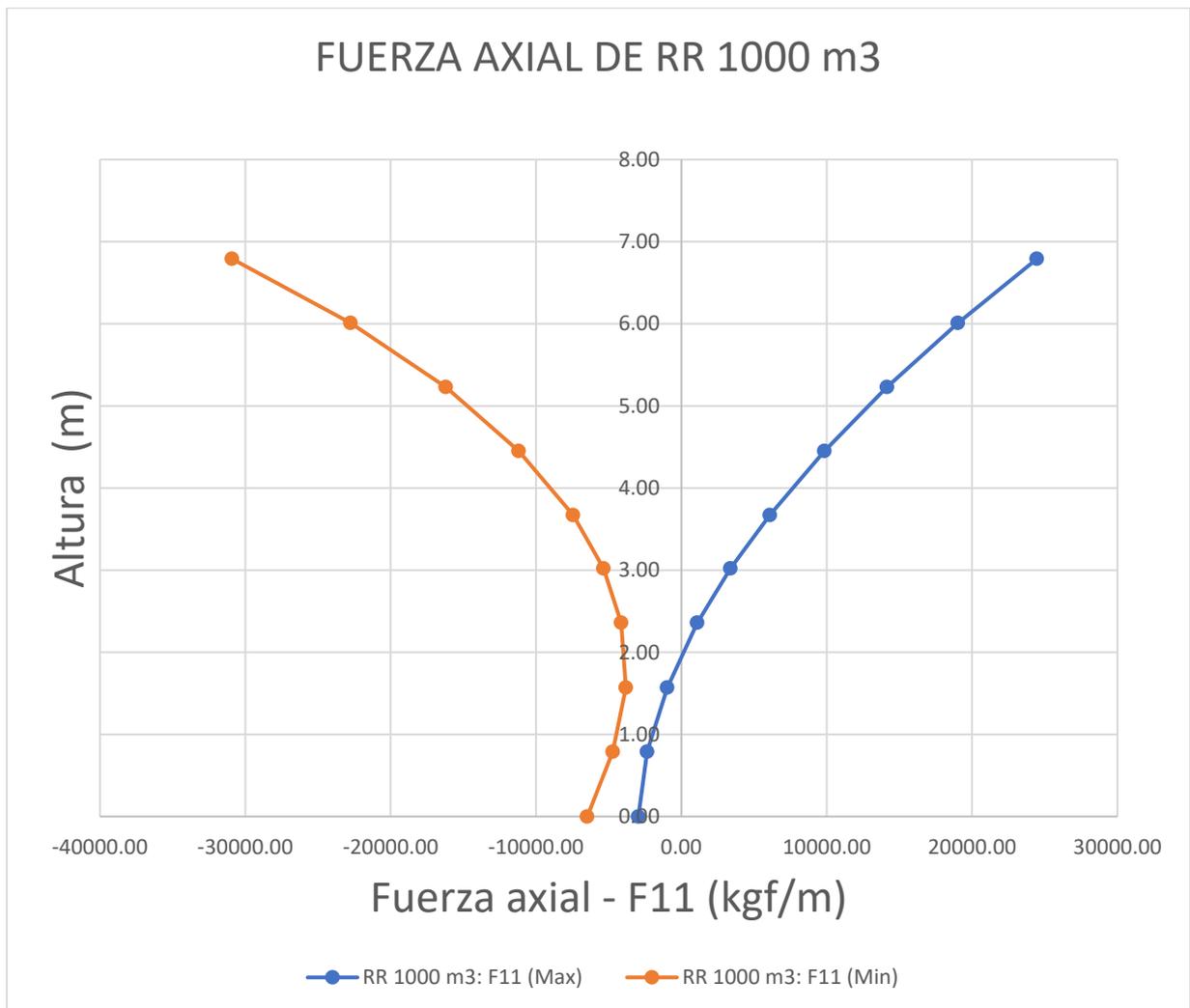


Figura 32. Gráfico de Fuerza axial RR - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 44. Fuerza axial RR-2000 m3

Fuerza axial RR-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-5089.73	-11206.42
0.99	-4084.65	-8419.56
1.99	-1593.12	-7123.68
2.98	2233.30	-8052.28
3.81	6475.29	-10516.73
4.61	11543.15	-14517.64
5.59	18410.64	-21275.27
6.56	26277.63	-30199.12
7.52	35100.41	-41395.47
8.48	44564.00	-54870.79

Fuente: Elaboración propia

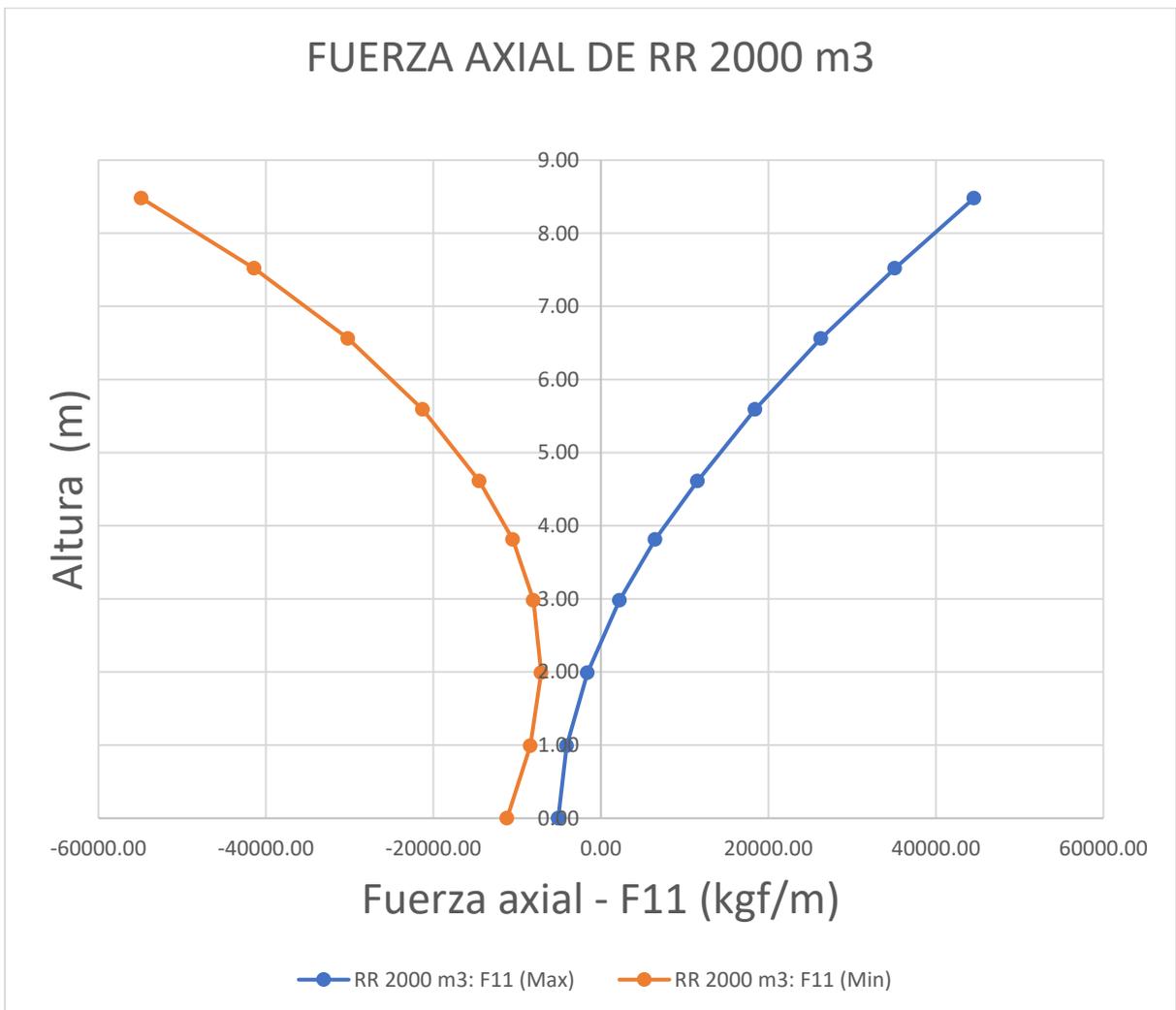


Figura 33. Gráfico de Fuerza axial RR - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla 45. Fuerza axial RR-4000 m3

Fuerza axial RR-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	-9153.15	-19627.47
0.94	-8072.31	-16002.85
1.88	-5352.63	-13575.50
2.81	-1499.60	-13059.42
3.75	3723.43	-14937.98
4.44	8868.43	-17648.02
5.14	14479.55	-21491.15
5.83	20534.82	-26430.43
6.79	29753.09	-36173.66
7.75	40481.32	-47825.24
8.71	52807.03	-61105.36
9.67	65589.79	-76986.94
10.63	79460.72	-98217.56

Fuente: Elaboración propia

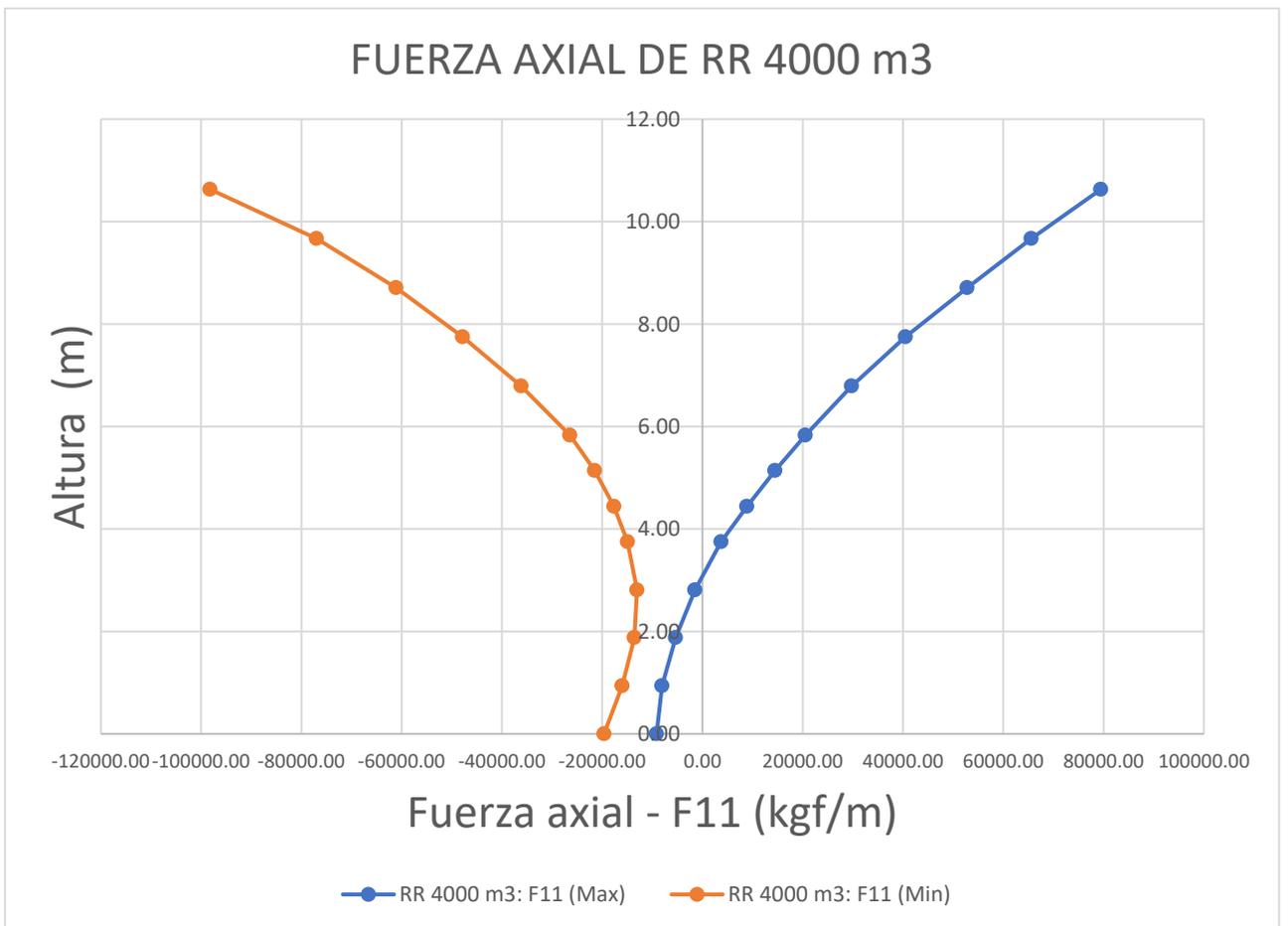


Figura 34. Gráfico de Fuerza axial RR - 4000 m3

Elaboración propia

ii. Fuerza cortante

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto a la fuerza cortante como se observa en las tablas: Tabla 46, Tabla 47, Tabla 48, Tabla 49, Tabla 50, Tabla 51 y Tabla 52.

Tabla 46. Fuerza cortante RR-50 m3

Fuerza cortante RR-50 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	3575.90	-3205.17
0.22	3477.03	-3127.07
0.43	3324.31	-3006.55
0.65	3287.79	-2981.63
0.86	2275.24	-1969.71
1.10	1245.46	-876.32
1.34	1043.70	-696.32
1.56	953.61	-565.59
1.78	978.92	-537.63
2.00	1029.11	-520.63
2.23	1101.07	-510.46
2.45	1193.38	-504.40
2.67	1244.48	-501.88

Fuente: Elaboración propia

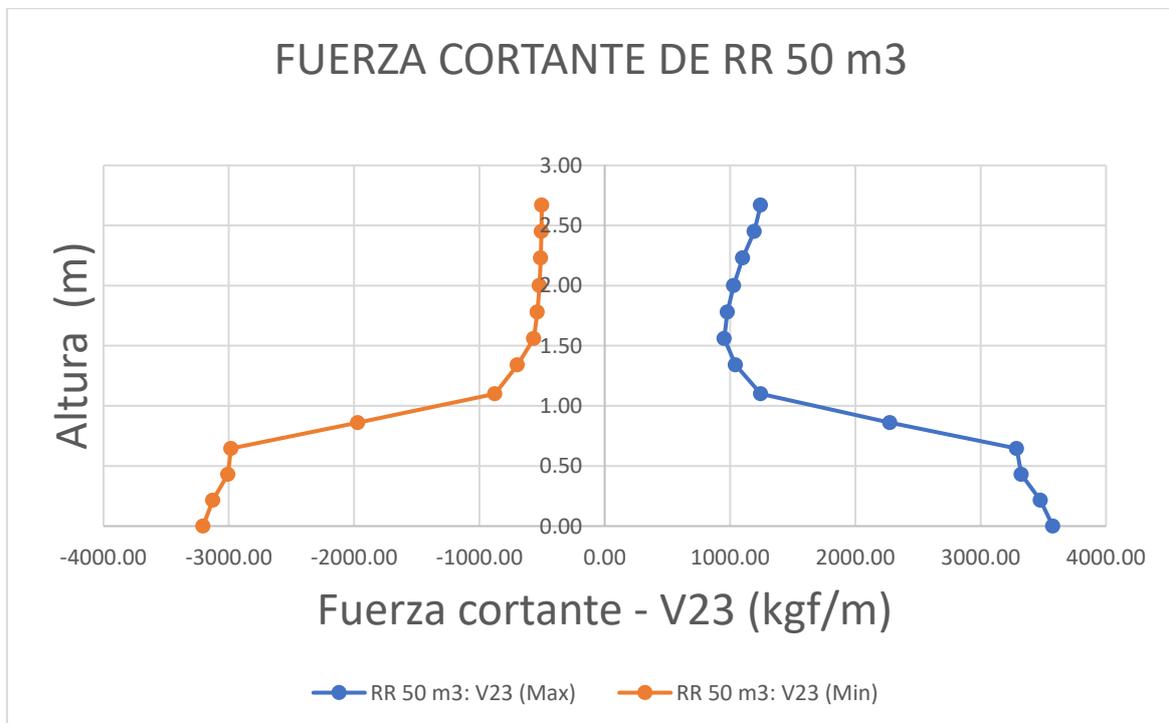


Figura 35. Gráfico de Fuerza cortante RR - 50 m3

Elaboración propia

Tabla 47. Fuerza cortante RR -100 m3

Fuerza cortante RR-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	5534.70	-4934.54
0.27	5362.35	-4791.09
0.55	5114.95	-4589.22
0.82	5062.83	-4560.38
1.09	3436.47	-2932.57
1.40	1803.32	-1111.55
1.71	1467.79	-890.90
2.01	1462.47	-810.98
2.32	1627.99	-854.29
2.91	1884.39	-901.28
3.29	1998.04	-883.40

Fuente: Elaboración propia

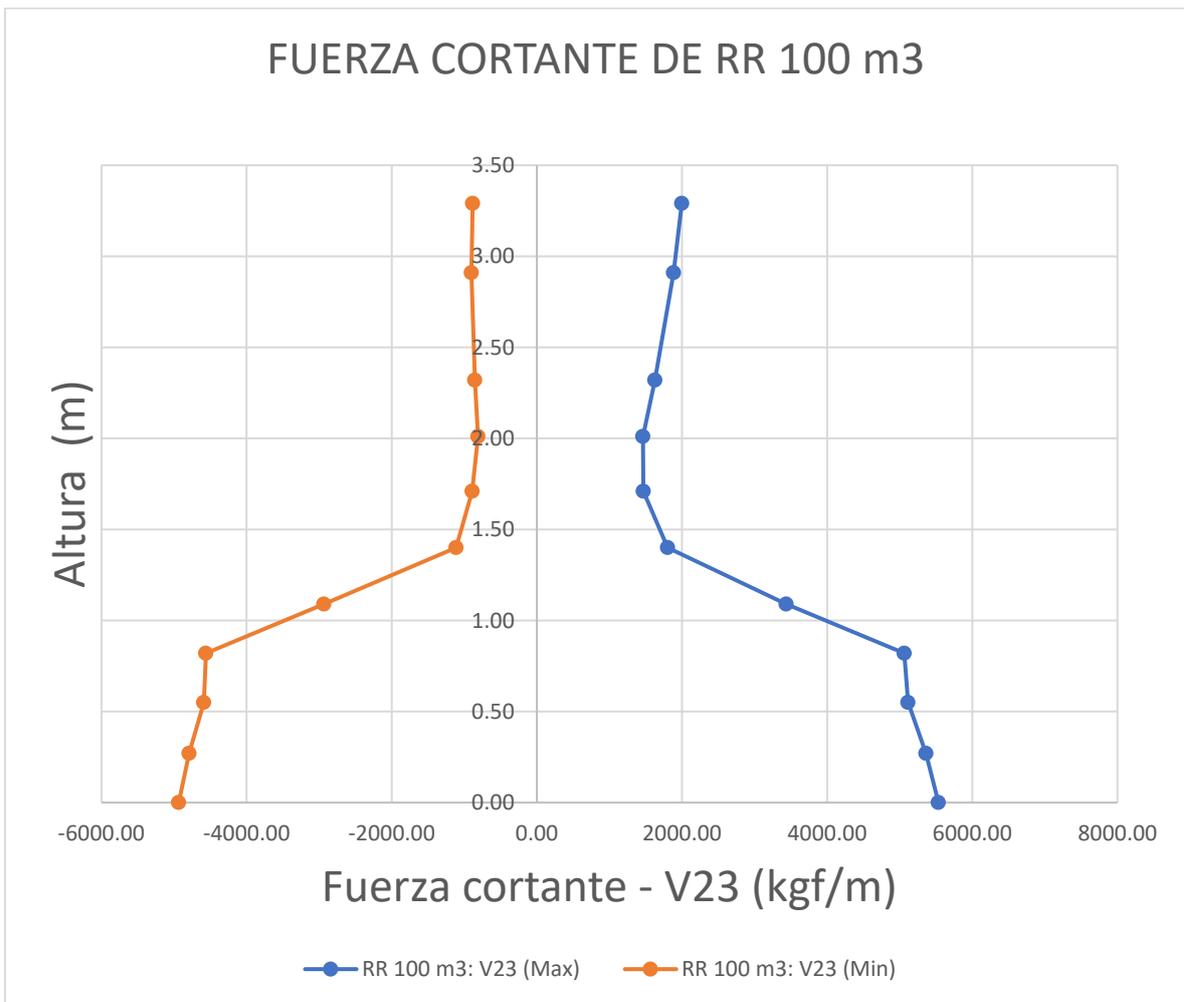


Figura 36. Gráfico de Fuerza cortante RR - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 48. Fuerza cortante RR - 250 m3

Fuerza cortante RR-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	10322.19	-9276.97
0.75	10036.09	-9038.48
1.49	6532.53	-5509.66
2.32	3015.72	-1928.02
3.01	2988.01	-1638.76
3.50	3487.49	-1717.83
4.39	3812.49	-1791.40

Fuente: Elaboración propia

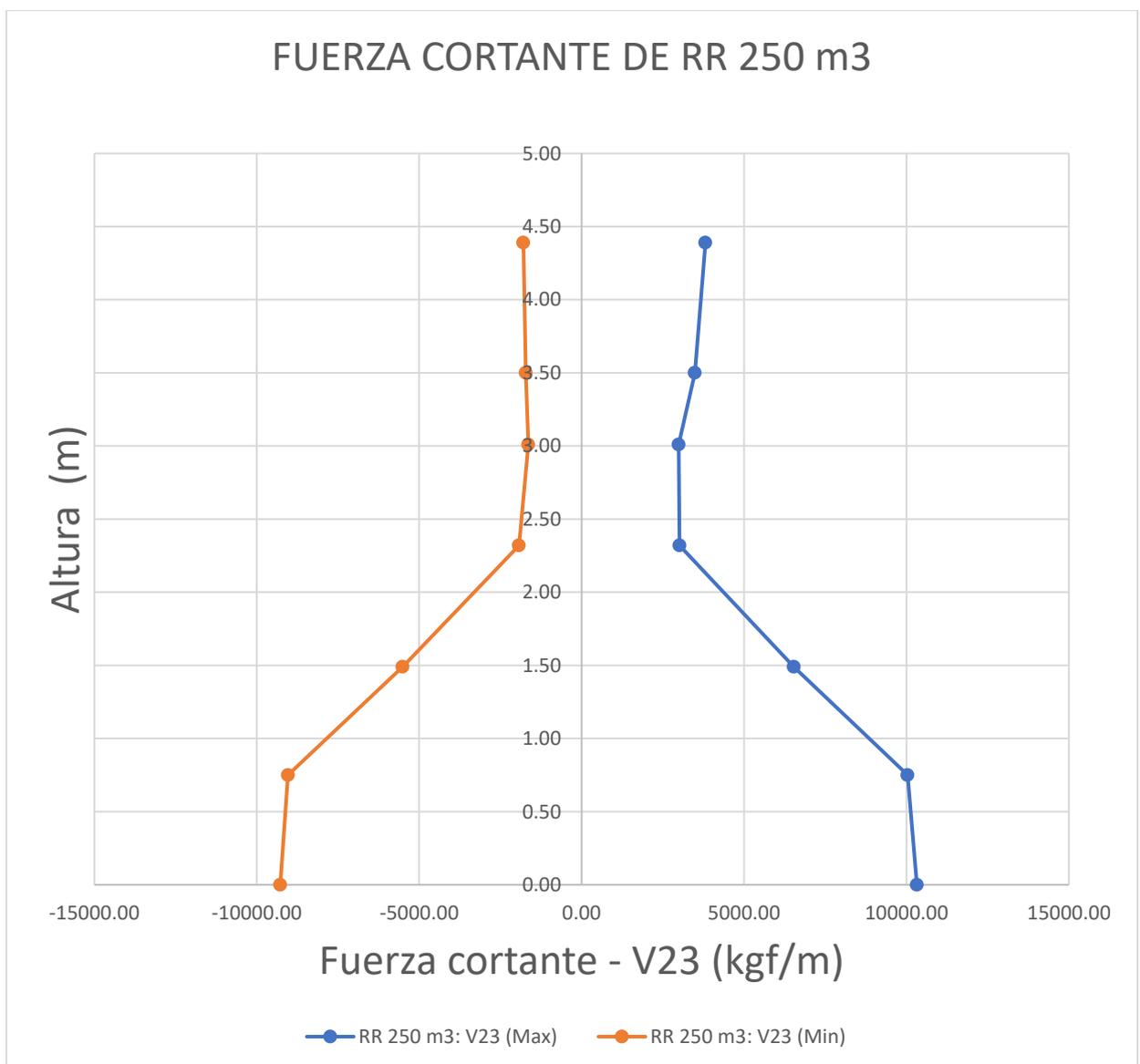


Figura 37. Gráfico de Fuerza cortante RR - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 49. Fuerza cortante RR-500 m3

Fuerza cortante RR-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	32219.45	-30612.64
0.94	31292.62	-29747.64
1.88	19330.14	-17875.72
2.40	7948.04	-6428.92
2.92	7350.67	-5658.41
3.76	7707.66	-5957.08
4.61	9137.22	-6463.25
5.45	9992.17	-6973.25

Fuente: Elaboración propia

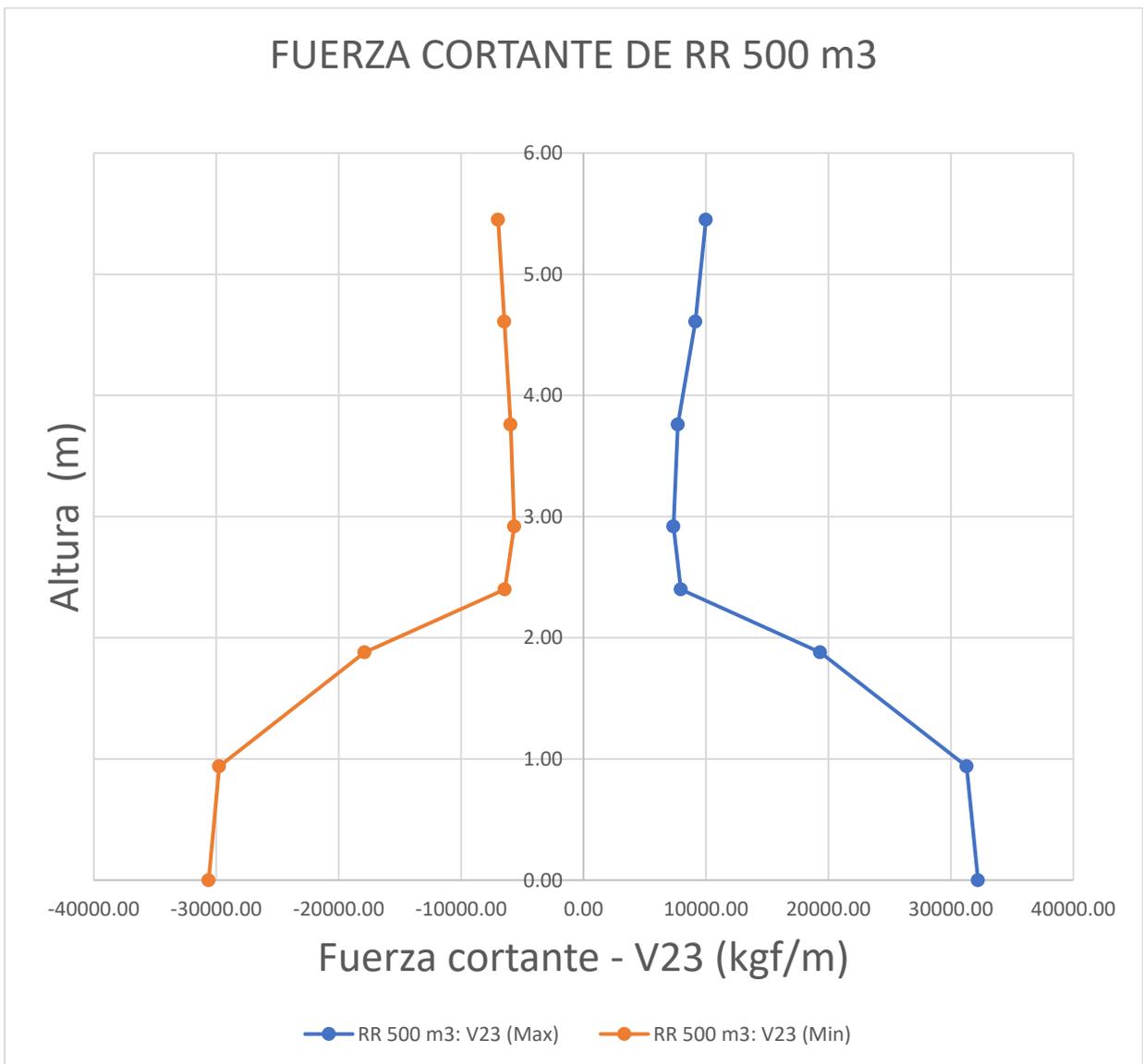


Figura 38. Gráfico de Fuerza cortante RR - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 50. Fuerza cortante RR - 1000 m3

Fuerza cortante RR-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	28927.64	-25846.86
0.79	28065.03	-25141.53
1.57	26869.82	-24155.20
2.36	17099.83	-14134.32
3.02	6729.36	-3906.78
3.67	6307.90	-3244.75
4.45	6873.57	-3345.81
5.23	8255.92	-4077.22
6.01	9993.19	-4909.38
6.79	10894.88	-5386.65

Fuente: Elaboración propia

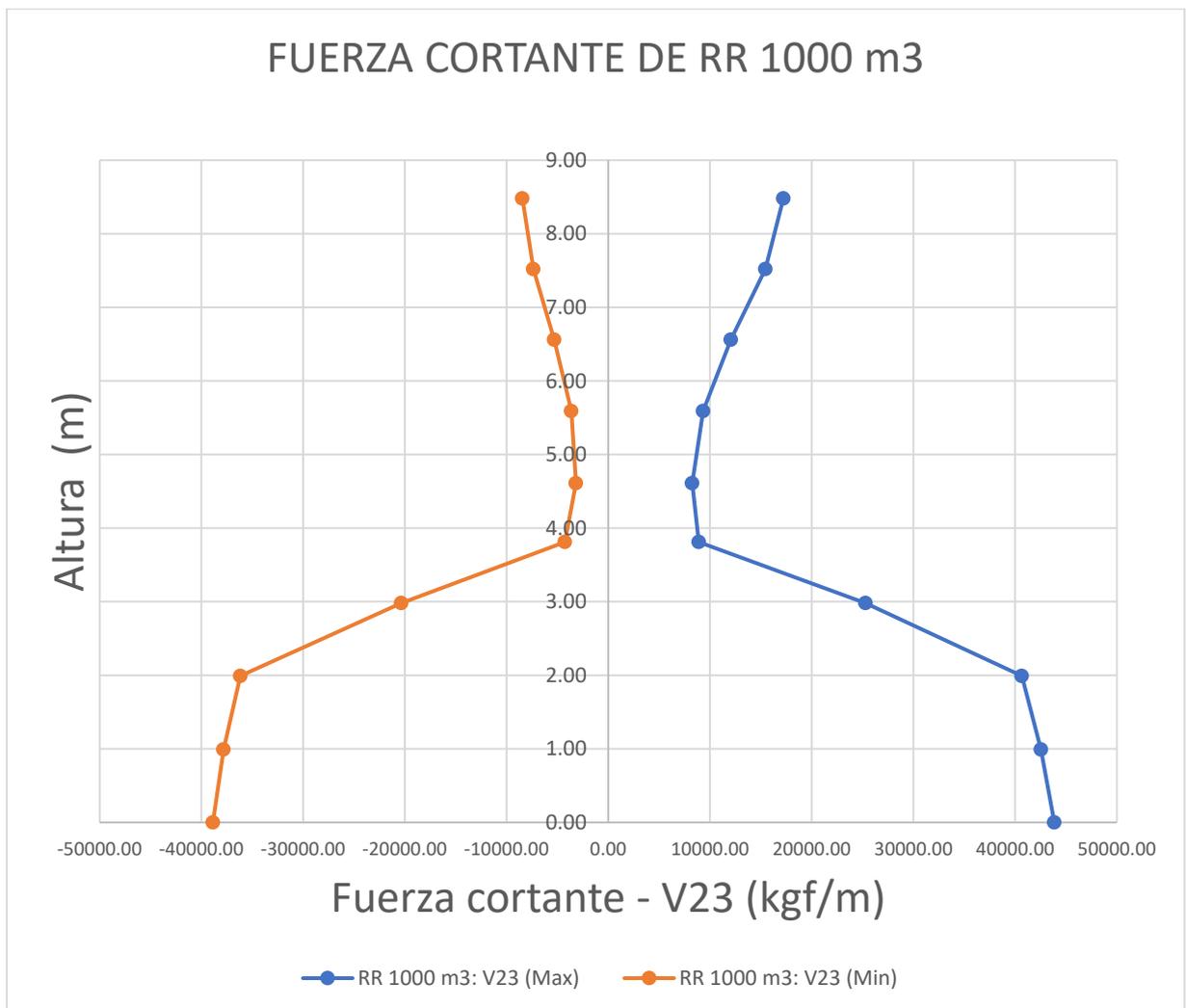


Figura 39. Gráfico de Fuerza cortante RR - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 51. Fuerza cortante RR - 2000 m3

Fuerza cortante RR-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	43851.49	-38864.20
0.99	42544.31	-37813.75
1.99	40661.41	-36162.25
2.98	25291.67	-20350.95
3.81	8903.19	-4262.46
4.61	8255.69	-3170.71
5.59	9329.47	-3626.26
6.56	12057.01	-5313.20
7.52	15455.50	-7363.28
8.48	17216.86	-8440.97

Fuente: Elaboración propia

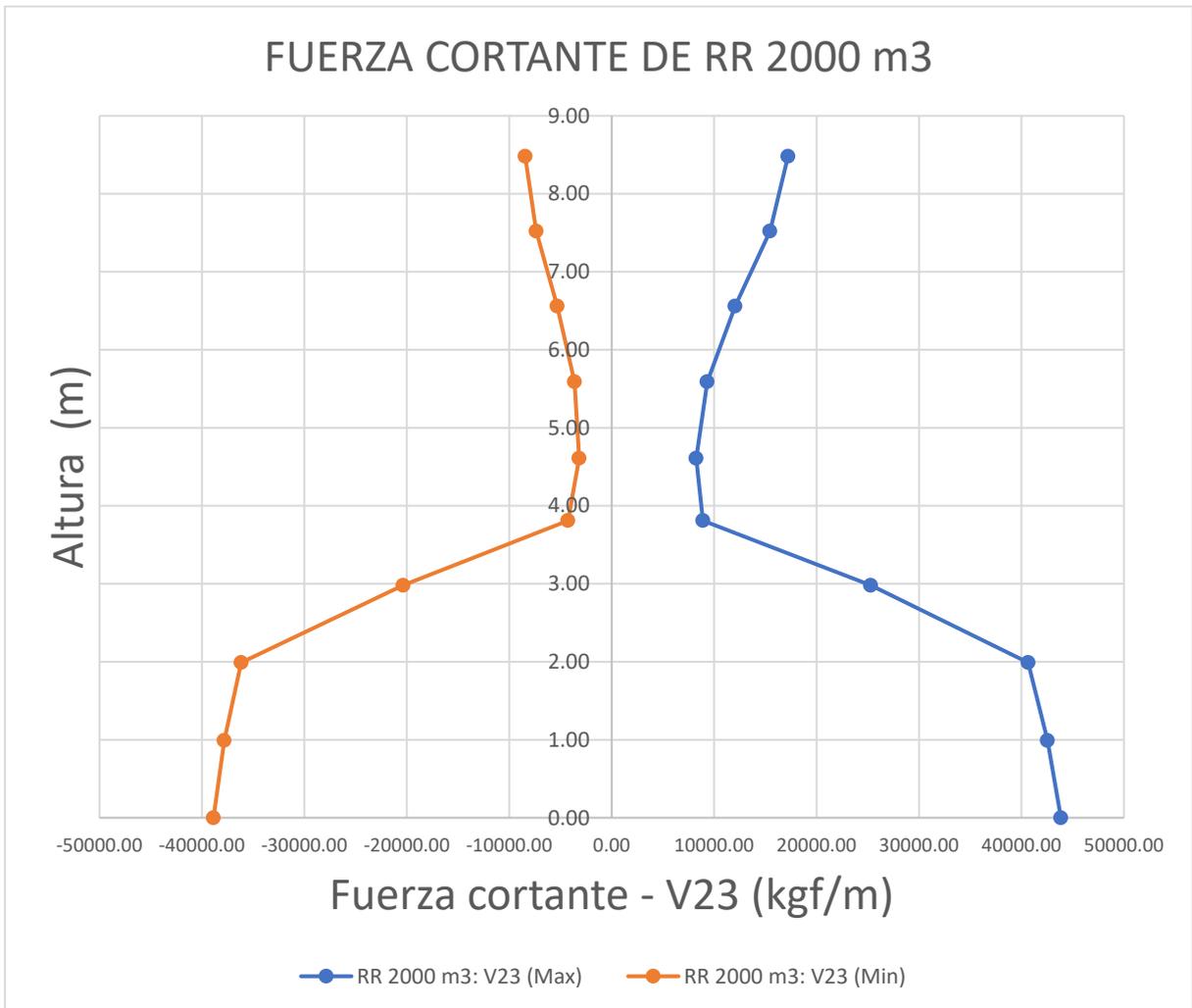


Figura 40. Gráfico de Fuerza cortante RR - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla 52. Fuerza cortante RR-4000 m3

Fuerza cortante RR-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	65003.99	-56472.75
0.94	63468.75	-55157.31
1.88	60697.96	-52828.17
2.81	58978.11	-51304.45
3.75	37395.44	-29691.69
4.44	13477.06	-5578.30
5.14	11632.12	-3414.67
5.83	10657.64	-1881.43
6.79	11549.86	-1983.14
7.75	14971.42	-4190.83
8.71	19572.44	-7090.85
9.67	24811.58	-10548.37
10.63	27875.95	-12506.46

Fuente: Elaboración propia

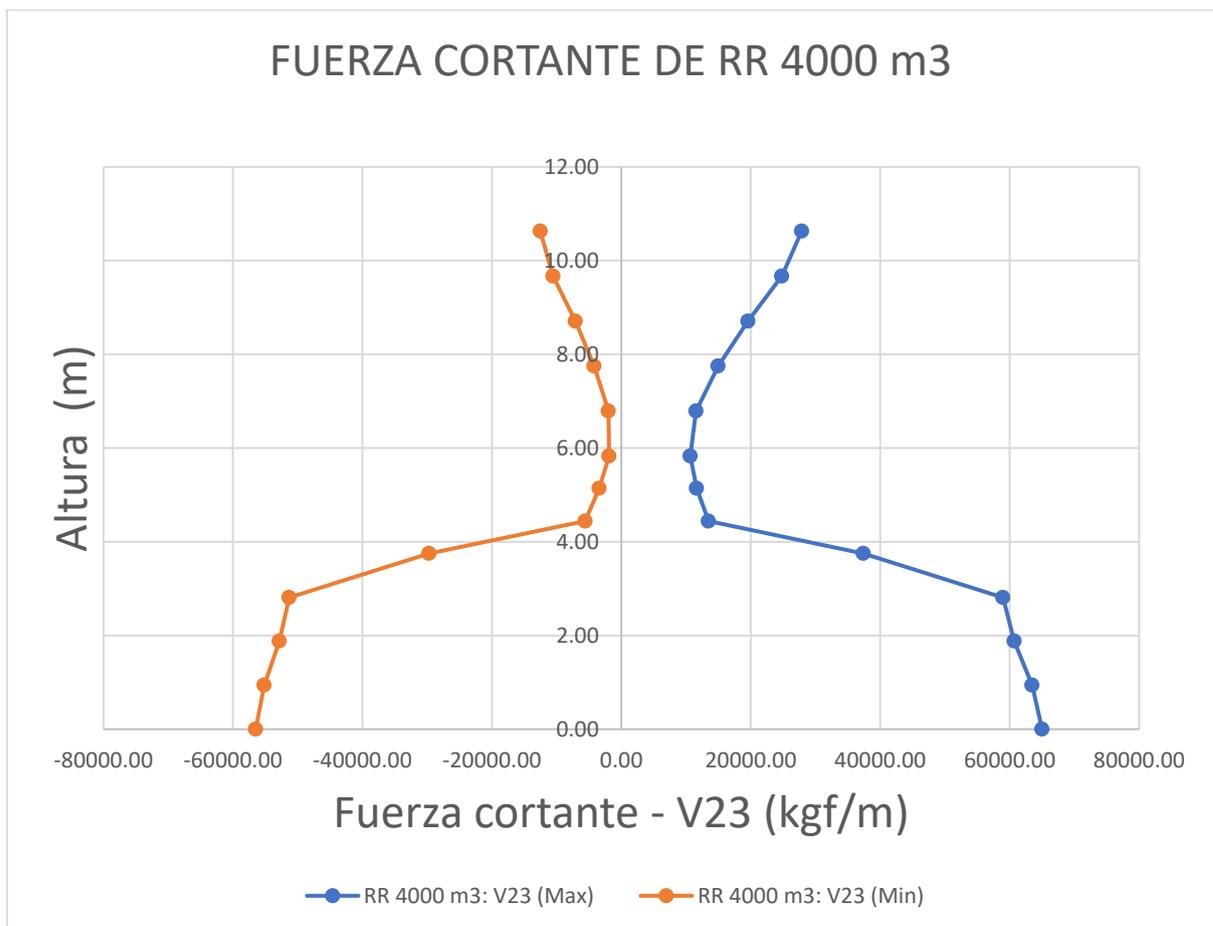


Figura 41. Gráfico de Fuerza cortante RR - 4000 m3

Elaboración propia

iii. Momento flector

Se realizó el modelamiento con el software sap2000 obteniéndose como resultado cuadros y gráficos de los reservorios circulares respecto a la fuerza cortante como se observa en las tablas: Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58 y Tabla 59.

Tabla 53 Momento flector RR - 50 m3

Momento flector RR-50 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	1932.03	-1636.90
0.22	1177.55	-976.10
0.43	485.91	-351.91
0.65	334.36	-263.65
0.86	923.48	-910.01
1.10	766.75	-817.48
1.34	687.32	-814.71
1.56	516.06	-720.44
1.78	347.36	-645.45
2.00	176.66	-576.33
2.23	1.82	-527.79
2.45	-154.89	-536.46
2.67	-142.37	-709.63

Fuente: Elaboración propia

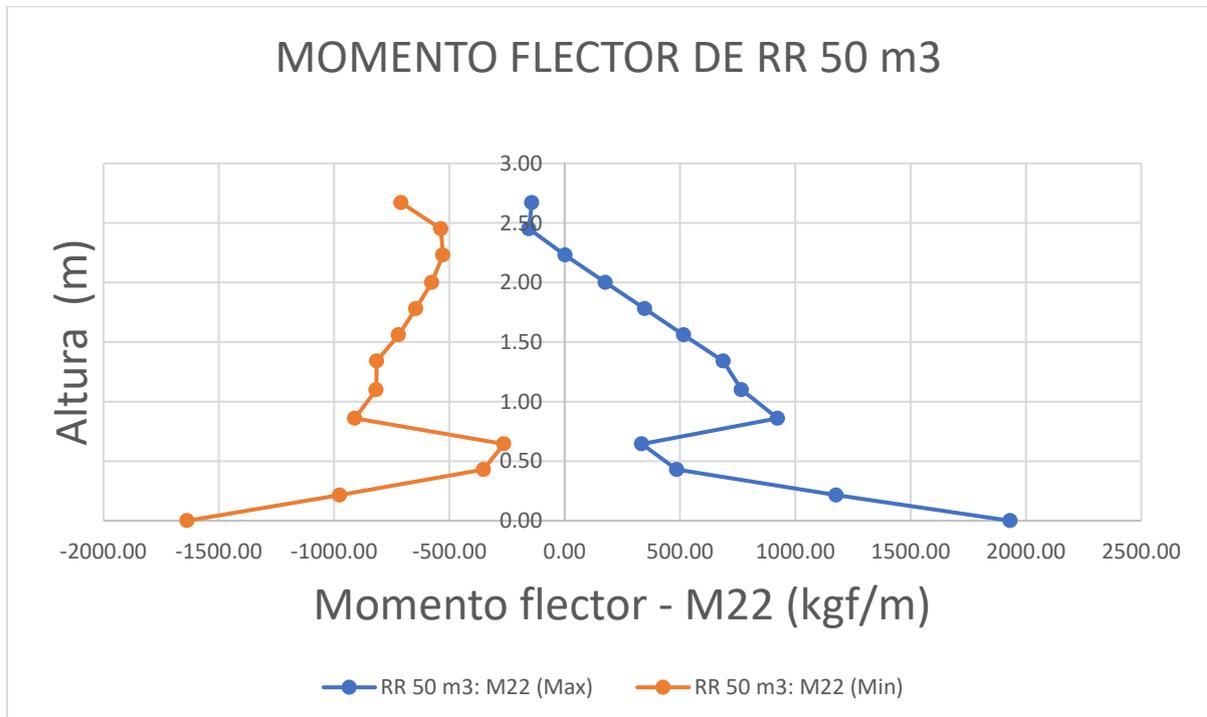


Figura 42. Gráfico de Momento flector RR - 50 m3

Elaboración propia

Tabla 54. Momento flector RR - 100 m3

Momento flector RR-100 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	3748.20	-2989.84
0.27	2330.04	-1865.84
0.55	926.92	-663.03
0.82	674.53	-537.04
1.09	1814.27	-1803.29
1.40	1433.00	-1565.95
1.71	1157.74	-1447.66
2.01	946.02	-1416.42
2.32	805.53	-1476.18
2.91	174.89	-1291.31
3.29	-156.53	-1536.63

Fuente: Elaboración propia

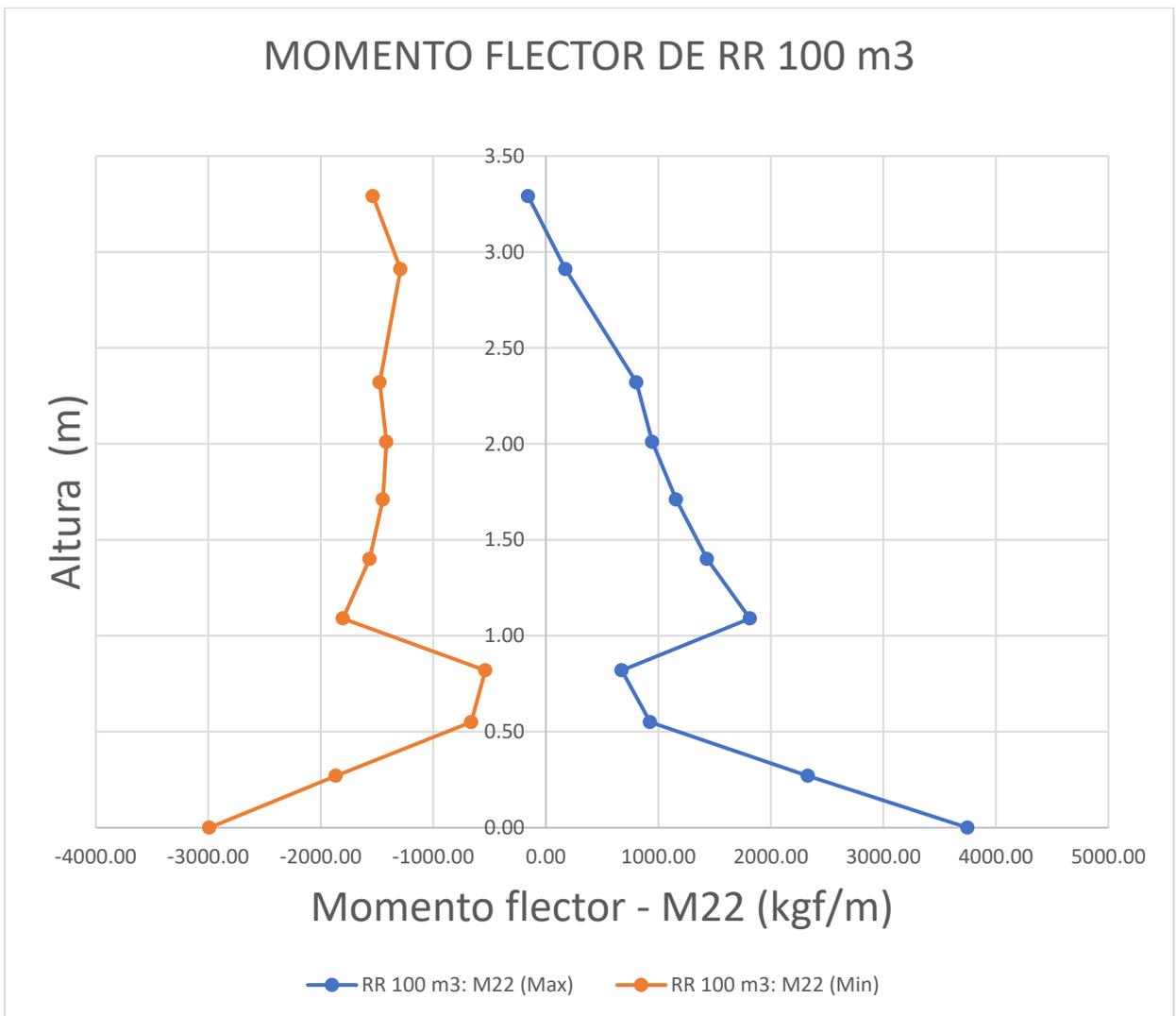


Figura 43. Gráfico de Momento flector RR - 100 m3

Elaboración propia

Tabla 55. Momento flector RR - 250 m3

Momento flector RR-250 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	9796.76	-8406.02
0.75	2499.52	-1852.62
1.49	4701.45	-4749.87
2.32	3280.00	-4039.95
3.01	1774.57	-3318.68
3.50	218.70	-2869.47
4.39	-182.85	-3962.17

Fuente: Elaboración propia

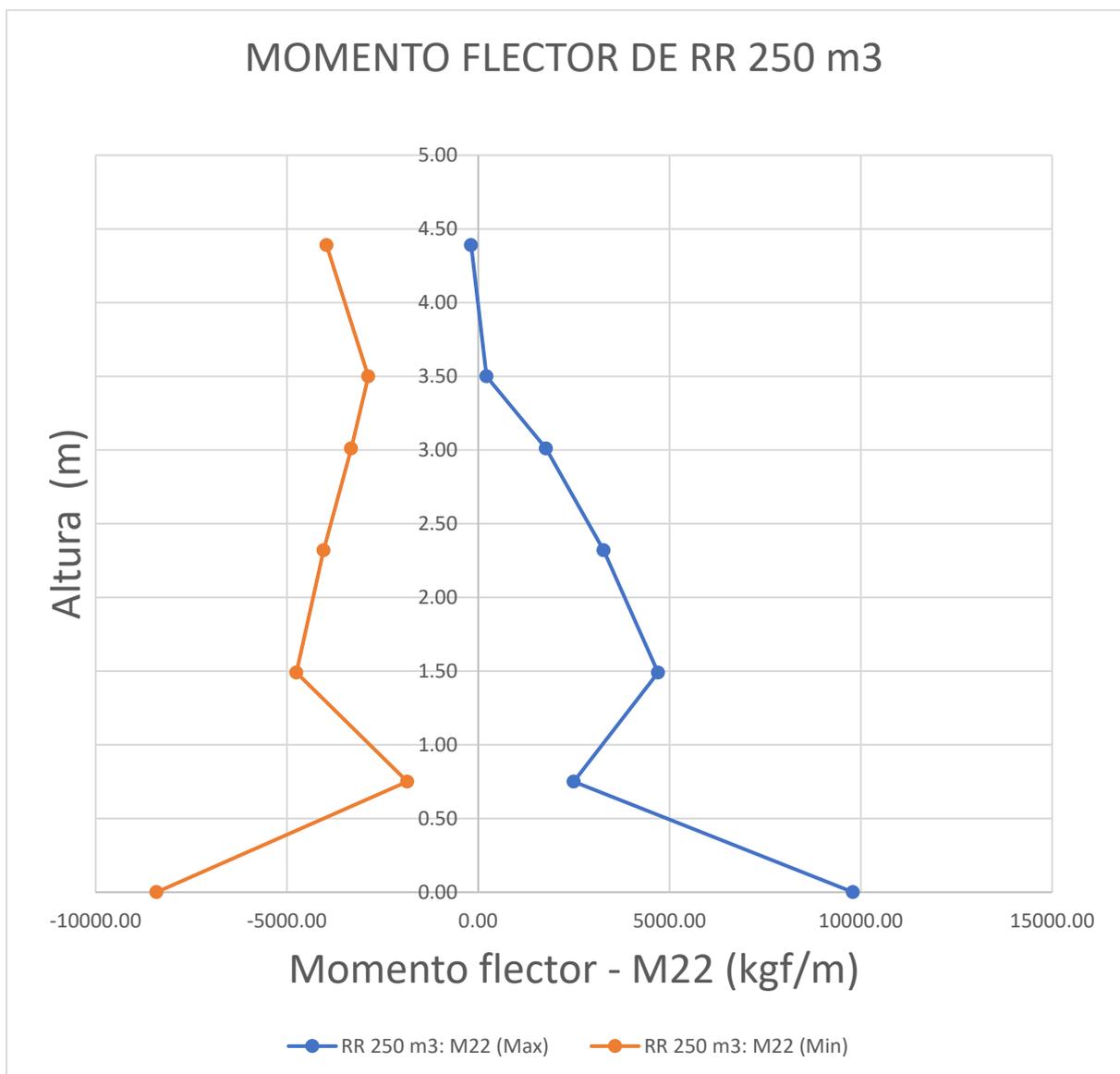


Figura 44. Gráfico de Momento flector RR - 250 m3

Elaboración propia

Tabla 56. Momento flector RR - 500 m3

Momento flector RR-500 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	38549.65	-34586.30
0.94	9068.55	-9355.32
1.88	18948.59	-19034.33
2.40	16100.22	-16771.00
2.92	13657.48	-15219.83
3.76	8247.39	-11312.21
4.61	2387.32	-8403.73
5.45	453.12	-8241.10

Fuente: Elaboración propia

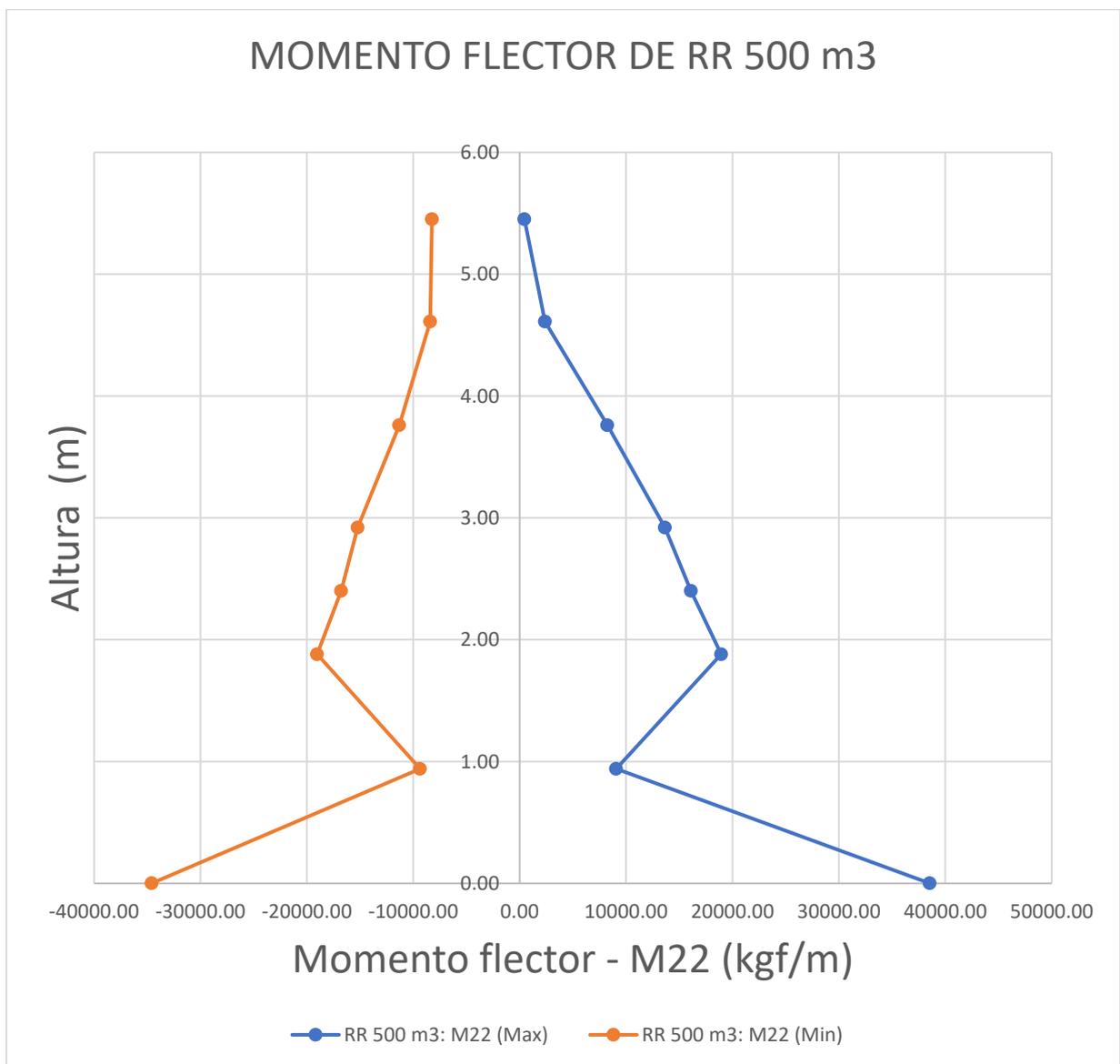


Figura 45. Gráfico de Momento flector RR - 500 m3

Elaboración propia

Tabla 57. Momento flector RR-1000 m3

Momento flector RR-1000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	44131.09	-38652.52
0.79	22348.18	-18922.32
1.57	3020.08	-1348.43
2.36	17892.14	-18085.98
3.02	16013.57	-17928.85
3.67	13616.79	-17393.25
4.45	9862.04	-15886.37
5.23	4815.57	-14090.37
6.01	-493.63	-11942.57
6.79	-4828.79	-12889.07

Fuente: Elaboración propia

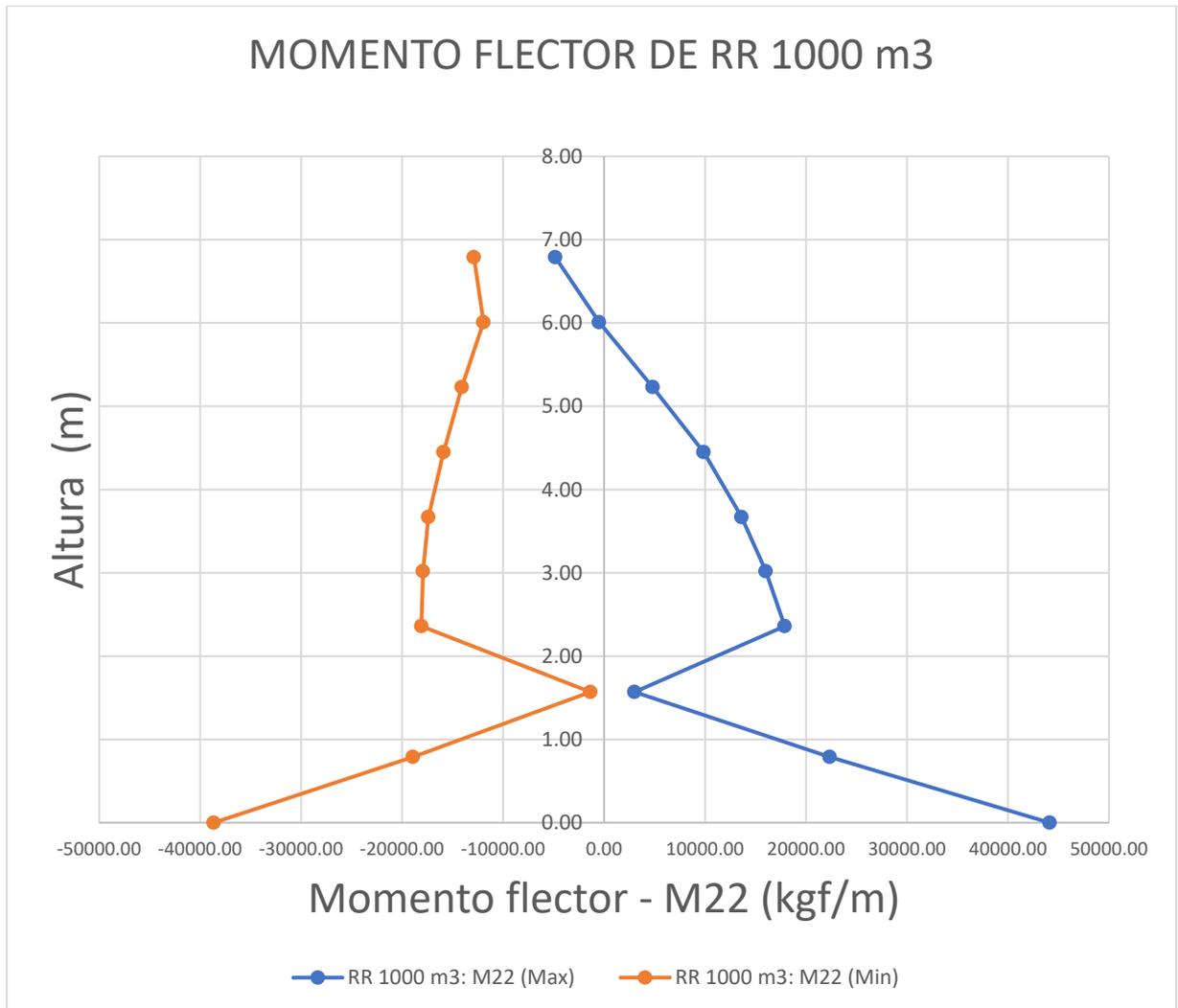


Figura 46. Gráfico de Momento flector RR - 1000 m3

Elaboración propia

Tabla 58. Momento flector RR - 2000 m3

Momento flector RR-2000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	89129.57	-76809.05
0.99	46264.36	-39546.36
1.99	8576.49	-4591.05
2.98	31628.18	-30992.35
3.81	28176.63	-32529.85
4.61	24868.06	-32980.77
5.59	19116.58	-31788.39
6.56	10390.41	-29420.79
7.52	-884.96	-25882.23
8.48	-12359.17	-25091.93

Fuente: Elaboración propia

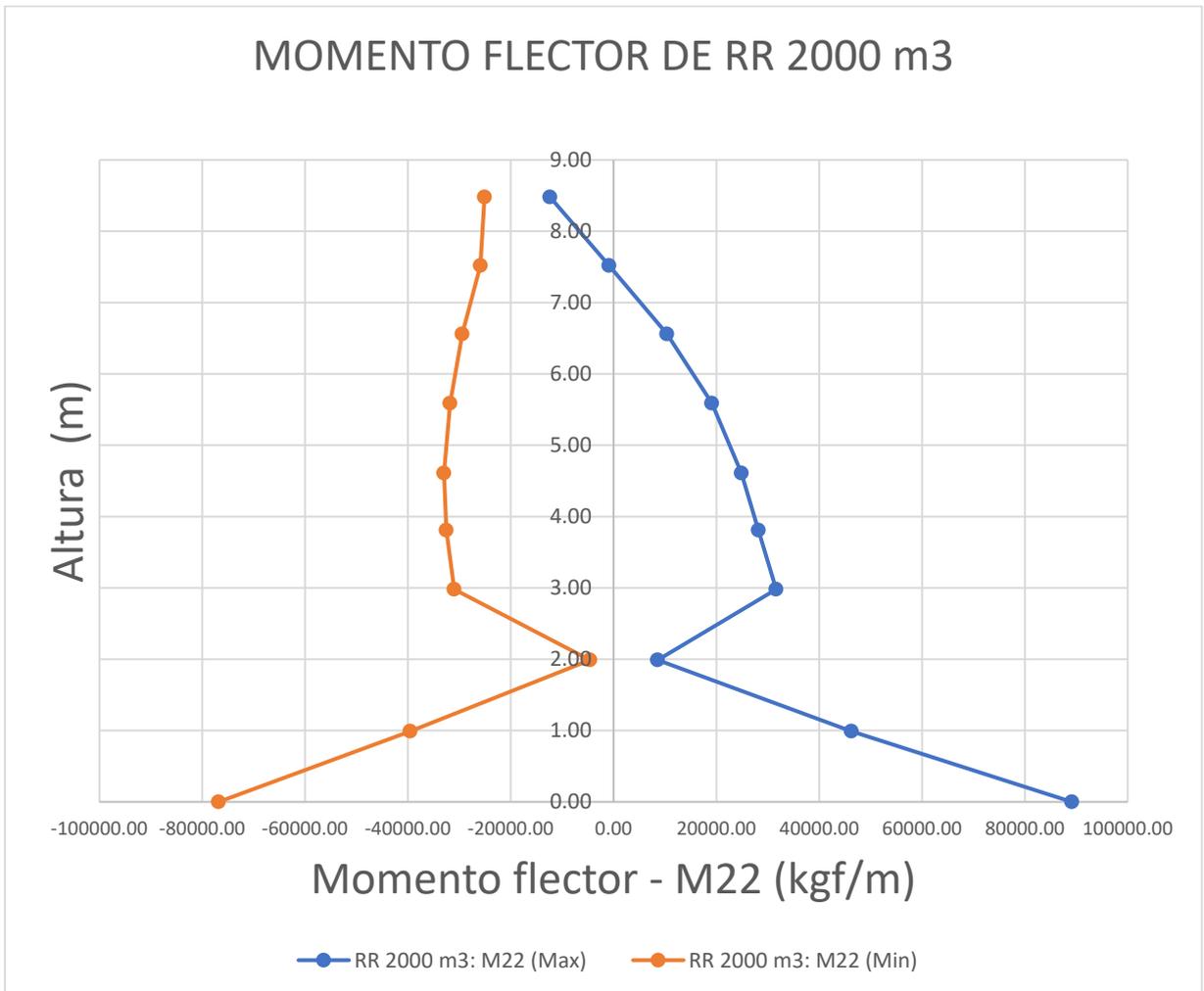


Figura 47. Gráfico de Momento flector RR - 2000 m3

Elaboración propia

Tabla N° 59. Tabla 59. Momento flector RR-4000 m3

Momento flector RR-4000 m3		
Z (m)	Max (kgf/m)	Min (kgf/m)
0.00	174492.14	-140084.79
0.94	114264.44	-95672.68
1.88	60056.97	-46663.04
2.81	9832.05	-5363.06
3.75	48153.99	-50446.53
4.44	45845.00	-53063.59
5.14	43786.55	-56203.48
5.83	41019.89	-59128.27
6.79	34190.93	-61034.38
7.75	24985.60	-60840.66
8.71	10889.88	-58477.17
9.67	-7862.14	-53868.39
10.63	-28712.05	-53283.84

Fuente: Elaboración propia

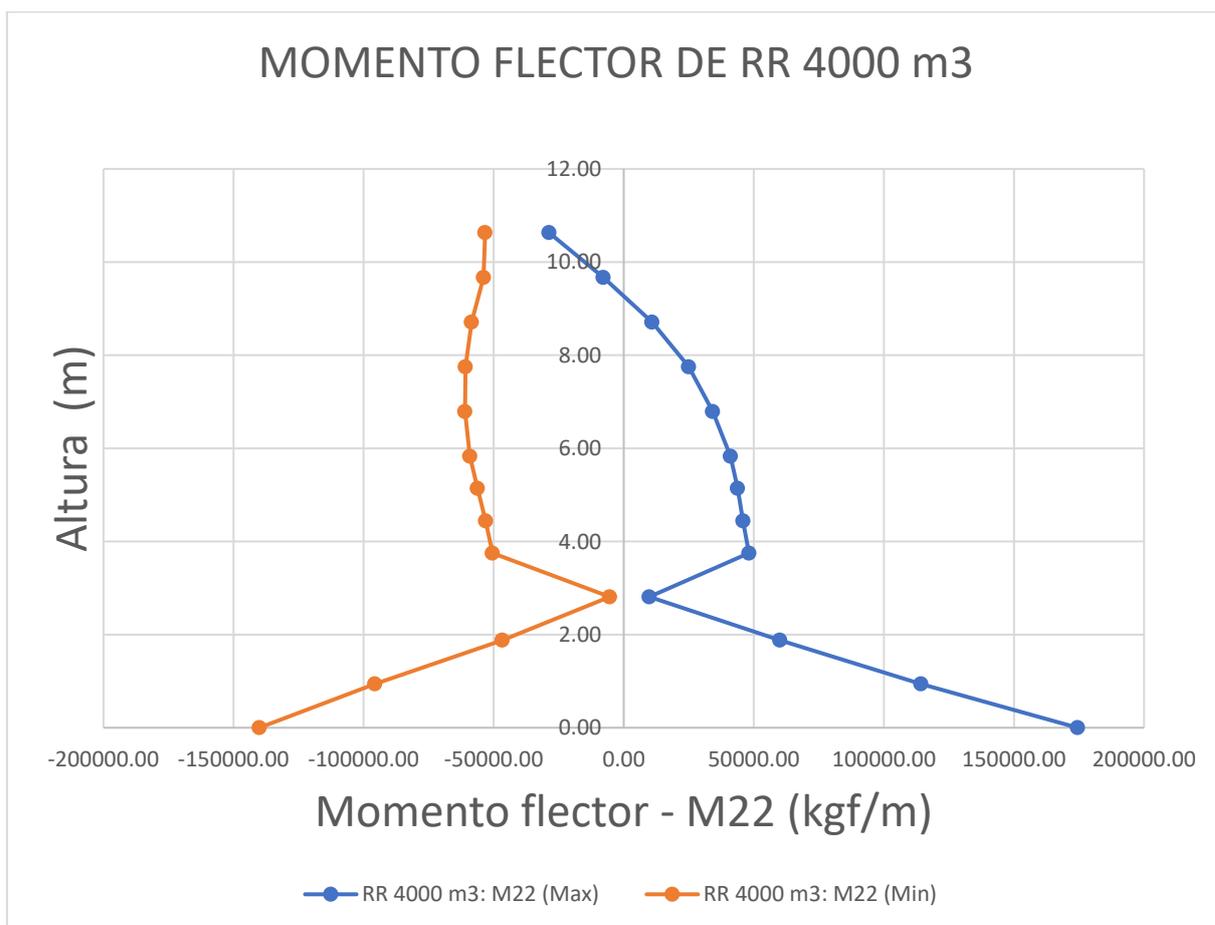


Figura 48. Gráfico de Momento flector RR - 4000 m3

Elaboración propia

1. Se realizó el análisis de los reservorios circulares respecto a sus valores máximos de sus fuerzas axiales obteniéndose la Tabla 60.

Tabla 60. Fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios circulares

Reservorio	Z (m)	F11 (kgf/m)
RC-01	2.73	10449.72
RC-02	3.35	13441.01
RC-03	4.45	22178.80
RC-04	5.50	30648.58
RC-05	6.90	44442.29
RC-06	9.10	65113.06
RC-07	10.75	94123.49

Fuente: Elaboración propia

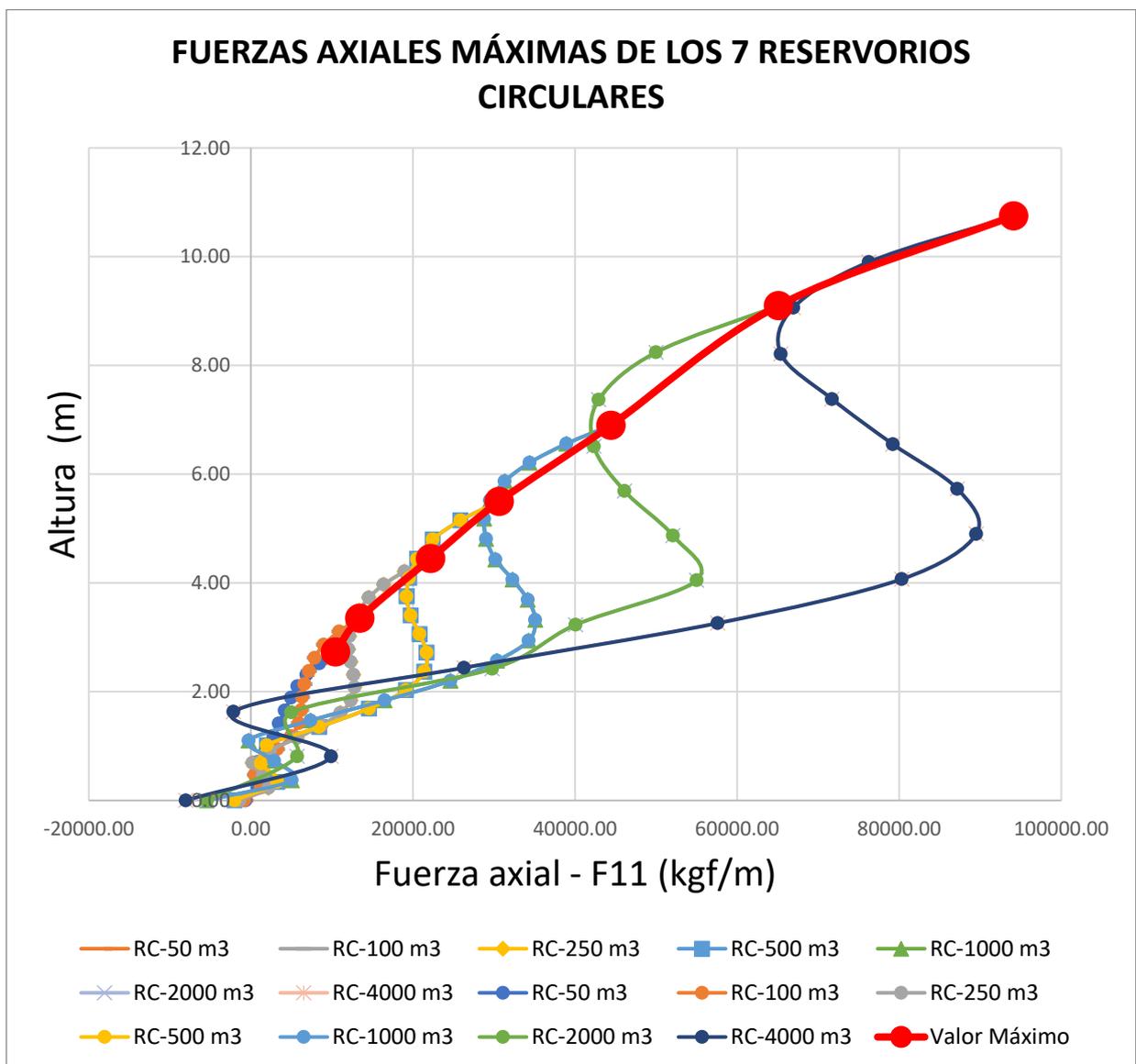


Figura 49. Gráfico de fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios circulares

Elaboración propia

2. Se realizó el análisis de los reservorios rectangulares respecto a sus valores máximos de sus fuerzas axiales obteniéndose la Tabla 61.

Tabla 61. Fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios rectangulares

Reservorio	Z (m)	F11 (kgf/m)
RR-01	2.67	1680.08
RR-02	3.29	3101.43
RR-03	4.39	7055.54
RR-04	5.45	11616.52
RR-05	6.79	24462.76
RR-06	8.48	44564.00
RR-07	10.63	79460.72

Fuente: Elaboración propia

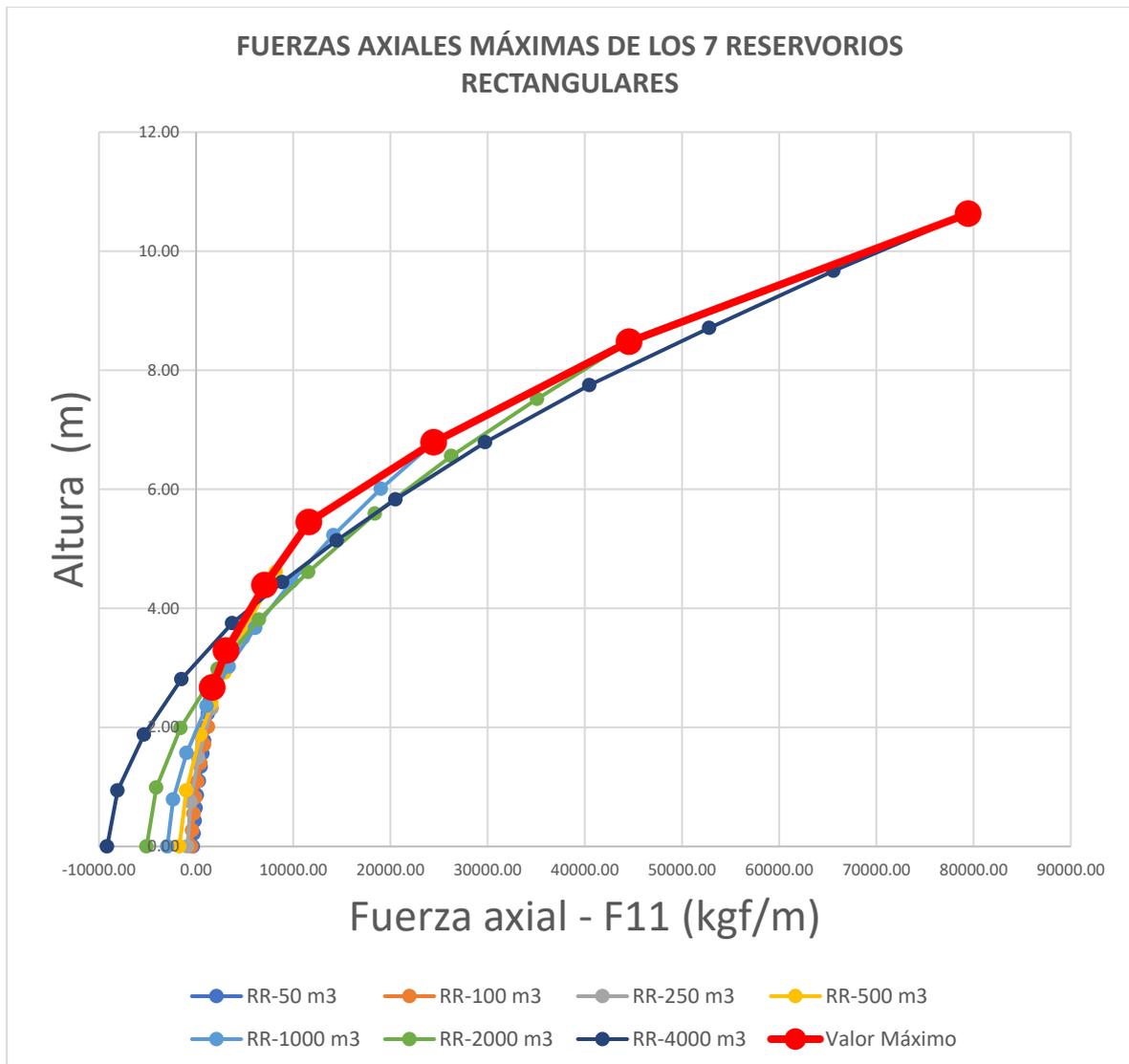


Figura 50. Gráfico de fuerzas axiales máximas de los 7 reservorios rectangulares
Elaboración propia

3. Se realizó el análisis de los reservorios circulares respecto a sus valores máximos de sus fuerzas cortantes obteniéndose la Tabla 62.

Tabla 62. Fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios circulares

Reservorio	Z (m)	V23 kgf/m)
RC-01	0.00	1091.05
RC-02	0.00	1653.03
RC-03	0.00	3387.23
RC-04	0.00	5480.30
RC-05	0.00	9334.19
RC-06	0.00	13435.38
RC-07	0.00	21832.05

Fuente: Elaboración propia

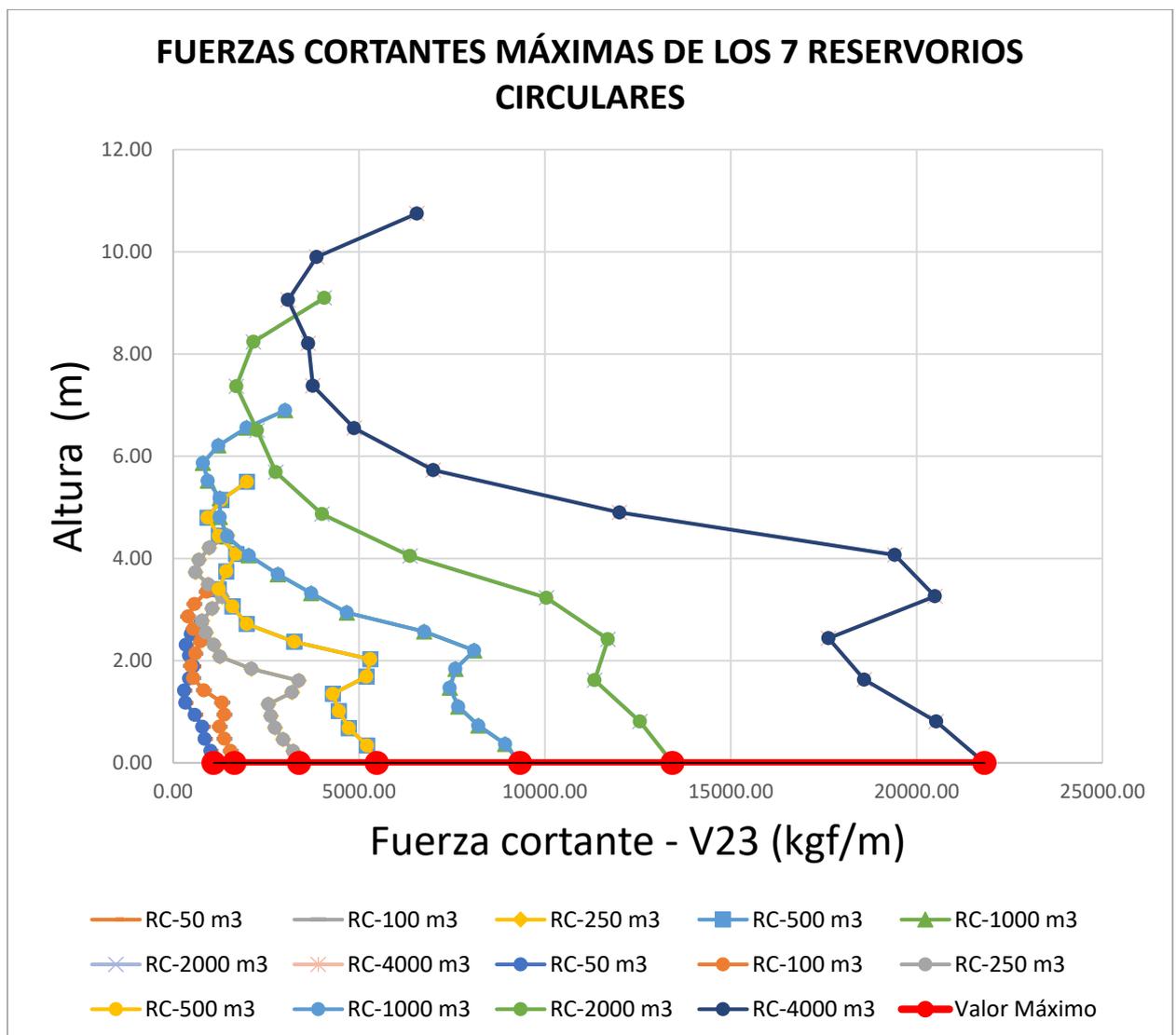


Figura 51. Gráfico de fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios circulares

Elaboración propia

4. Se realizó el análisis de los reservorios rectangulares respecto a sus valores máximos de sus fuerzas cortantes obteniéndose la Tabla 63.

Tabla 63. Fuerzas cortante máximas de los 7 reservorios rectangulares

Reservorio	Z (m)	V22 (kgf/m)
RR-01	0.00	3575.90
RR-02	0.00	5534.70
RR-03	0.00	10322.19
RR-04	0.00	16809.18
RR-05	0.00	28927.64
RR-06	0.00	43851.49
RR-07	0.00	65003.99

Fuente: Elaboración propia

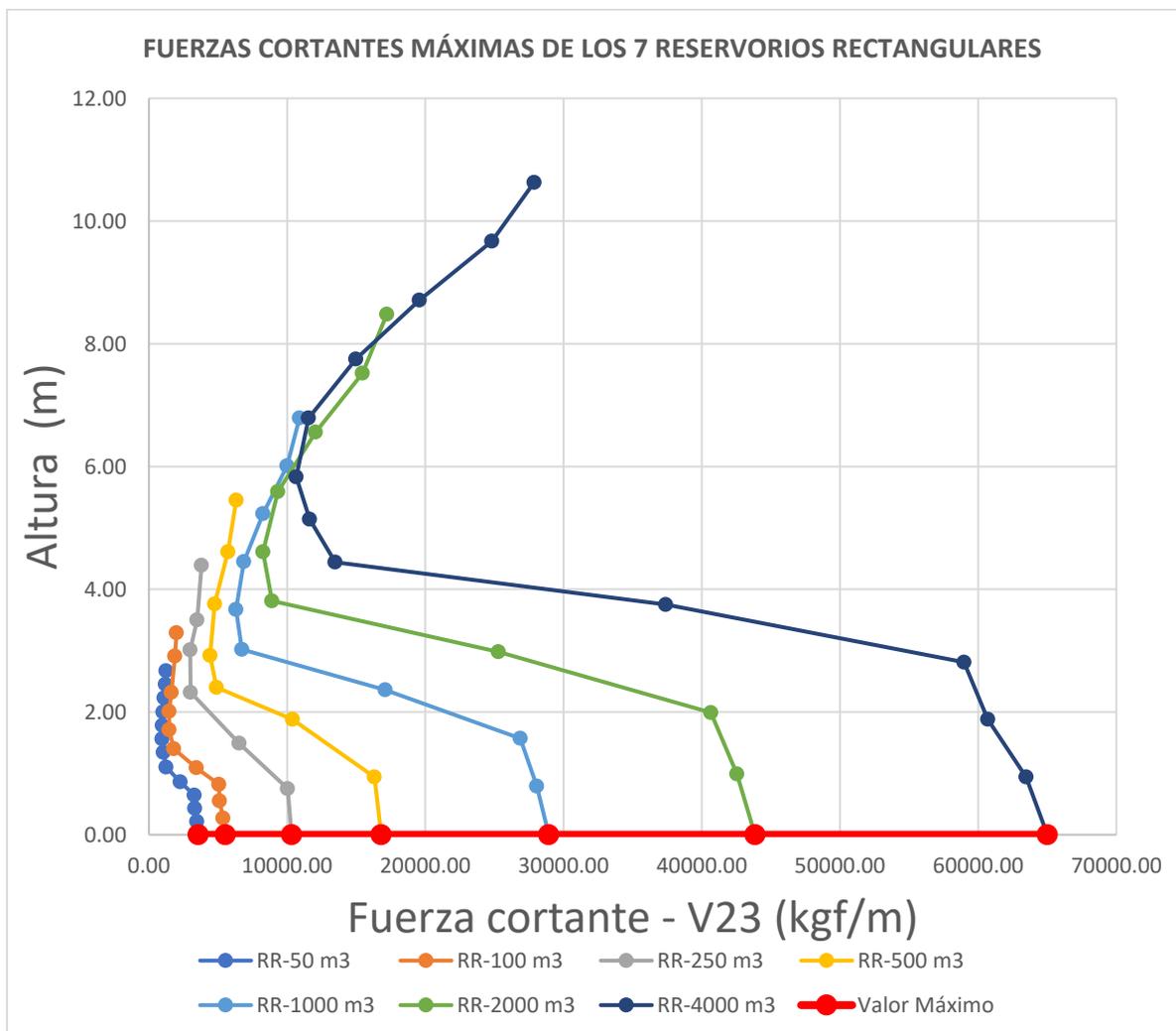


Figura 52. Gráfico de fuerzas cortantes máximas de los 7 reservorios rectangulares

Elaboración propia

5. Se realizó el análisis de los reservorios circulares respecto a sus valores máximos de momentos flectores obteniéndose la Tabla 64.

Tabla 64. Momentos flectores máximos de los 7 reservorios circulares

Reservorio	Z (m)	M22 (kgf/m)
RC-01	0.00	608.64
RC-02	0.00	1038.00
RC-03	0.00	2785.94
RC-04	0.00	5746.94
RC-05	0.00	12023.10
RC-06	0.00	23479.05
RC-07	0.00	46081.13

Fuente: Elaboración propia

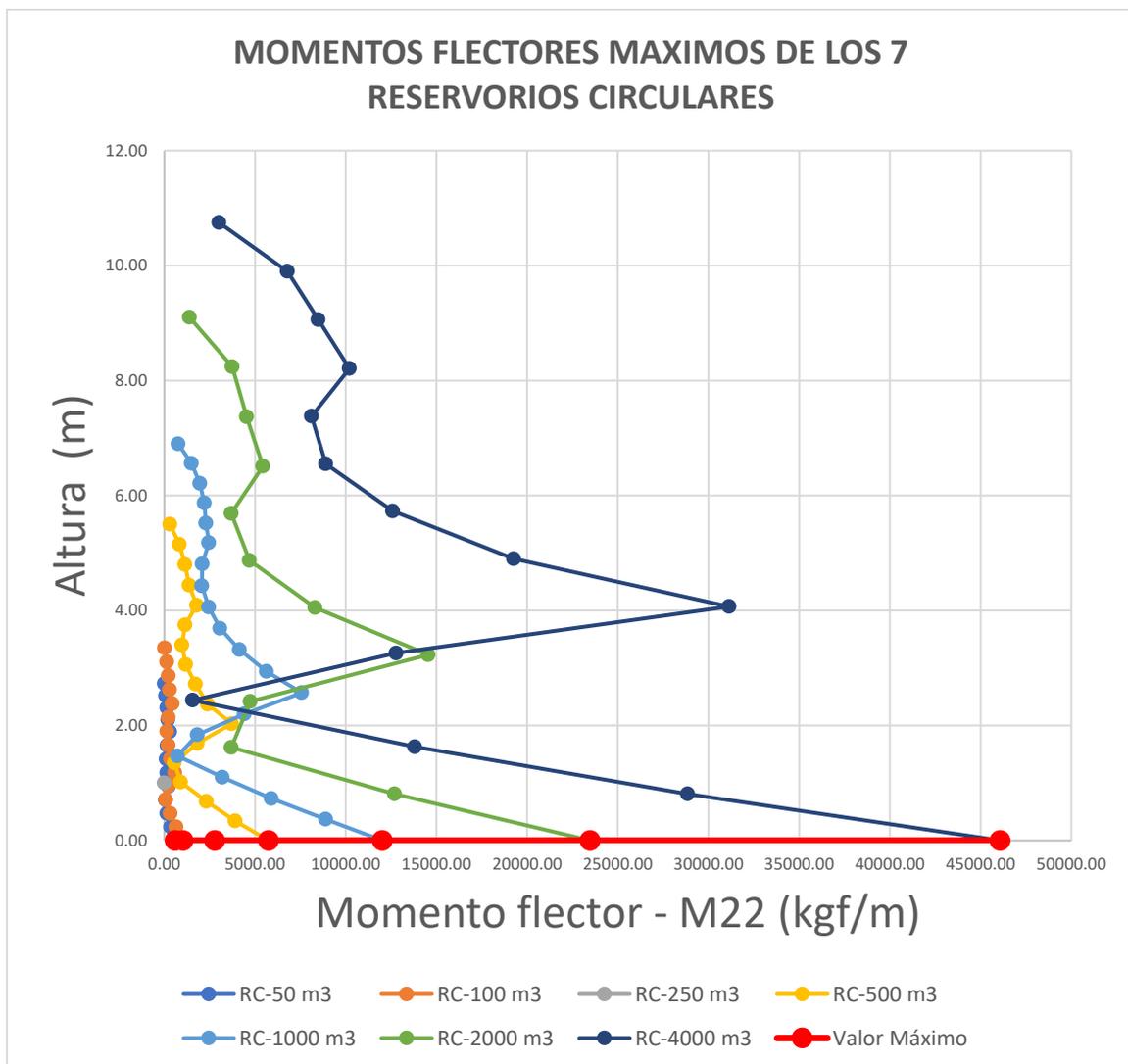


Figura 53. Gráfico de momentos flectores máximos de los 7 reservorios circulares
Elaboración propia

6. Se realizó el análisis de los reservorios rectangulares respecto a sus valores máximos de momentos flectores obteniéndose la Tabla 65.

Tabla 65. Momentos flectores máximos de los 7 reservorios rectangulares

Reservorio	Z (m)	M22 (kgf/m)
RR-01	0.00	1932.03
RR-02	0.00	3748.20
RR-03	0.00	9796.76
RR-04	0.00	20237.46
RR-05	0.00	44131.09
RR-06	0.00	89129.57
RR-07	0.00	174492.14

Fuente: Elaboración propia

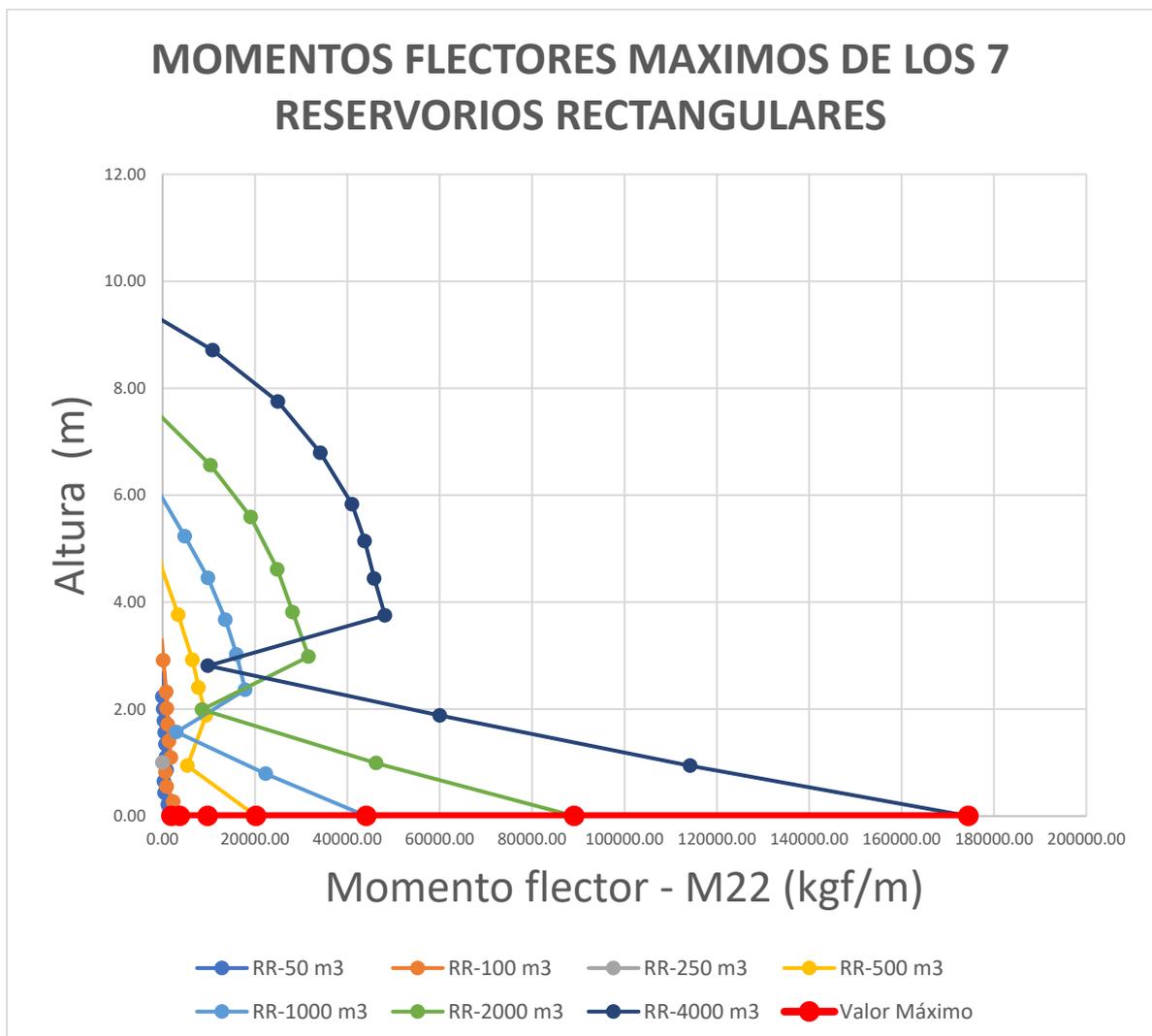


Figura 54. Gráfico de momentos flectores máximos de los 7 reservorios rectangulares
Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Los valores máximos de fuerzas axiales de los reservorios circulares y rectangulares se relacionaron con los 7 volúmenes de los reservorios obteniéndose la Tabla 66.

Tabla 66. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza axial máxima (F11)

RESERVORIO CIRCULAR				RESERVORIO RECTANGULAR			
Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	F11 (kgf/m)	Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	F11 (kgf/m)
1	RC-01	50	10449.72	1	RR-01	50	1680.08
2	RC-02	100	13441.01	2	RR-02	100	3101.43
3	RC-03	250	22178.80	3	RR-03	250	7055.54
4	RC-04	500	30648.58	4	RR-04	500	11616.52
5	RC-05	1000	44442.29	5	RR-05	1000	24462.76
6	RC-06	2000	65113.06	6	RR-06	2000	44564.00
7	RC-07	4000	94123.49	7	RR-07	4000	79460.72

Fuente: Elaboración propia

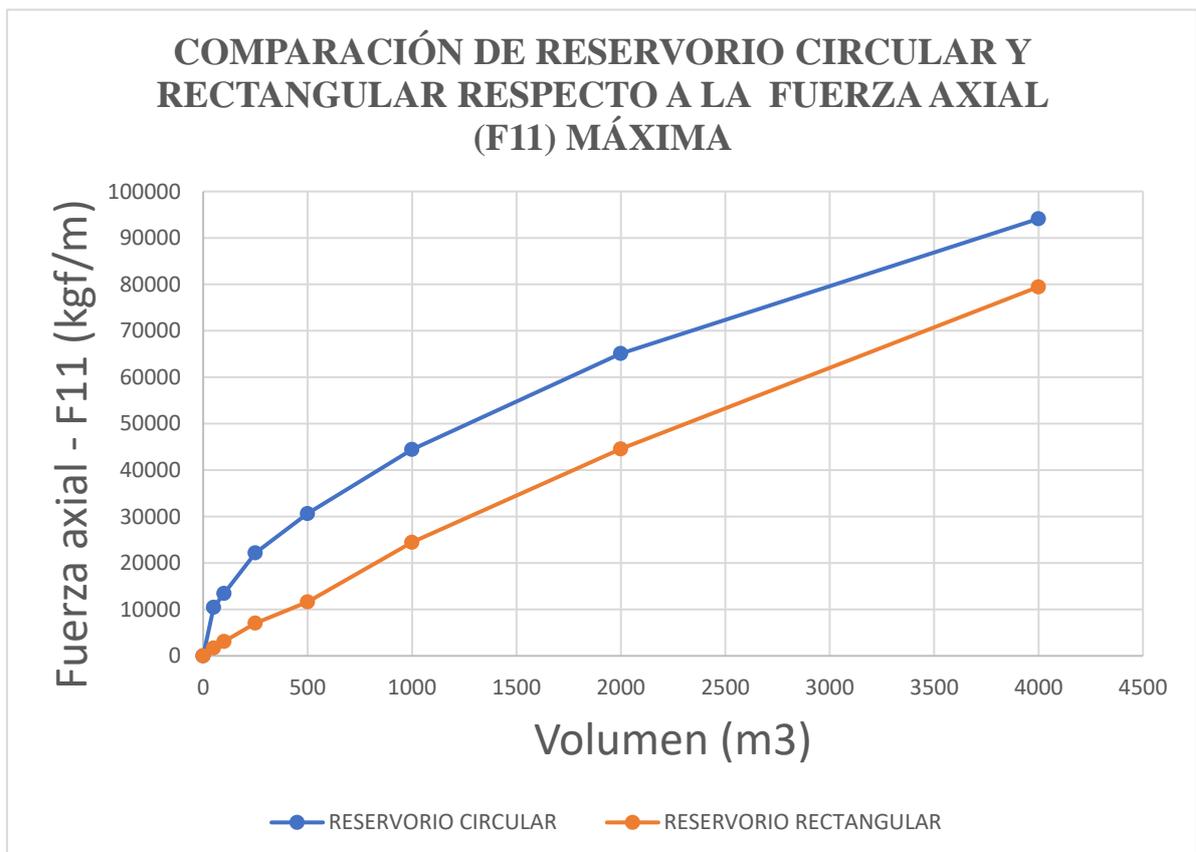


Figura 55. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza axial máxima

Elaboración propia

En la comparación de los reservorios circulares y rectangulares para un mismo volumen se observó que estos presentan una tendencia en aumento porcentual vinculado al aumento del volumen del reservorio. Asimismo, los valores de fuerza axial son mayores en los reservorios circulares comparado con el reservorio rectangular. Como se observa en la Tabla 67.

Tabla 67 Variaciones porcentuales en la fuerza axial entre reservorio rectangular y circular

Nº	VOLUMEN (m3)	Variación
1	50	16.08%
2	100	23.07%
3	250	31.81%
4	500	37.90%
5	1000	55.04%
6	2000	68.44%
7	4000	84.42%

Fuente: Elaboración propia

Los valores máximos de fuerzas cortantes de los reservorios circulares y rectangulares se relacionaron con los 7 volúmenes de los reservorios obteniéndose la Tabla 68

Tabla 68. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza cortante máxima (V23)

RESERVORIO CIRCULAR				RESERVORIO RECTANGULAR			
Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	V23 (kgf/m)	Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	V23 (kgf/m)
1	RC-01	50	1091.05	1	RR-01	50	3575.90
2	RC-02	100	1653.03	2	RR-02	100	5534.70
3	RC-03	250	3387.23	3	RR-03	250	10322.19
4	RC-04	500	5480.30	4	RR-04	500	16809.18
5	RC-05	1000	9334.19	5	RR-05	1000	28927.64
6	RC-06	2000	13435.38	6	RR-06	2000	43851.49
7	RC-07	4000	21832.05	7	RR-07	4000	65003.99

Fuente: Elaboración propia

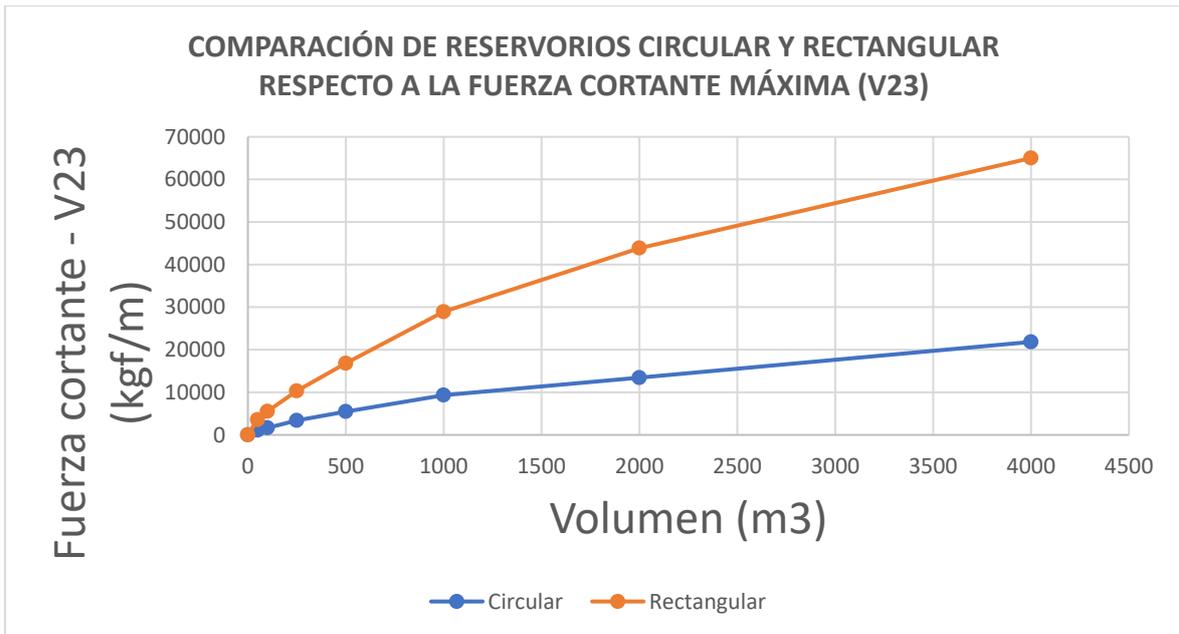


Figura 56. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto a la fuerza cortante máxima

Elaboración propia

En la comparación de los reservorios circulares y rectangulares para un mismo volumen se observó que existe una variación promedio de 31.76% vinculado con los valores de fuerza cortante, donde los valores de fuerza cortante son mayores en los reservorios rectangulares comparado con el reservorio circular. Como se observa en la Tabla 69

Tabla 69. Variaciones porcentuales en la fuerza cortante entre reservorio circular y rectangular

Nº	VOLUMEN (m3)	Variación
1	50	30.51%
2	100	29.87%
3	250	32.82%
4	500	32.60%
5	1000	32.27%
6	2000	30.64%
7	4000	33.59%
	Promedio	31.76%

Fuente: Elaboración propia

Los valores máximos de momentos flectores de los reservorios circulares y rectangulares se relacionaron con los 7 volúmenes de los reservorios obteniéndose la Tabla 70.

Tabla 70. Comparación del reservorio circular y rectangular respecto al momento flector máximo (M22)

RESERVORIO CIRCULAR				RESERVORIO RECTANGULAR			
Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	M22 (kgf/m)	Nº	RESERVORIO	VOLUMEN (m3)	M22 (kgf/m)
1	RC-01	50	608.64	1	RR-01	50	1932.03
2	RC-02	100	1038.00	2	RR-02	100	3748.20
3	RC-03	250	2785.94	3	RR-03	250	9796.76
4	RC-04	500	5746.94	4	RR-04	500	20237.46
5	RC-05	1000	12023.10	5	RR-05	1000	44131.09
6	RC-06	2000	23479.05	6	RR-06	2000	89129.57
7	RC-07	4000	46081.13	7	RR-07	4000	174492.14

Fuente: Elaboración propia

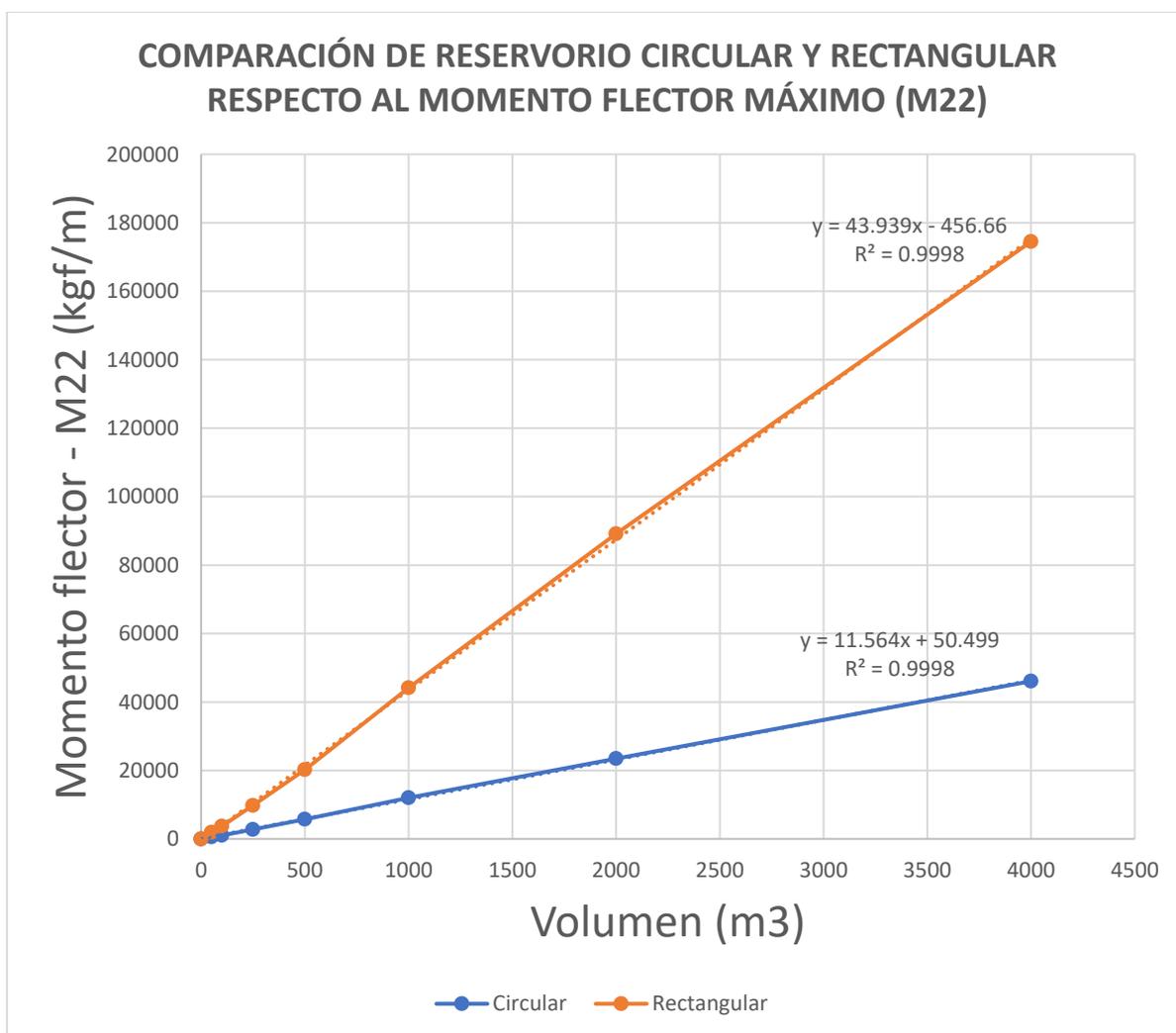


Figura 57. Comparación de reservorios circular y rectangular respecto al momento flector máximo

Elaboración propia

En la comparación de los reservorios circulares y rectangulares para un mismo volumen se observó que existe una variación promedio de 28% vinculado con los valores de momento flector, donde los valores de momento flector son mayores en los reservorios rectangulares comparado con los reservorios circulares. Como se observa en la Tabla 71

Tabla 71. Variaciones porcentuales en el momento flector entre reservorio circular y rectangular

Nº	VOLUMEN (m3)	Variación
1	50	31.50%
2	100	27.69%
3	250	28.44%
4	500	28.40%
5	1000	27.24%
6	2000	26.34%
7	4000	26.41%
	Promedio	28.00%

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

- De la comparación de reservorios rectangulares y circulares se observó que, para un mismo volumen, la fuerza axial máxima es mayor en los reservorios circulares que los reservorios rectangulares, asimismo de la relación de fuerzas axiales máximas entre los reservorios rectangulares y circulares de volúmenes de 50 m³, 100 m³, 250 m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, estos tienen una variación porcentual creciente de 16.08%, 23.07%, 31.81%, 37.90%, 55.04%, 68.44%, 84.42%.
- De la comparación de reservorios rectangulares y circulares se observó que, para un mismo volumen, la fuerza cortante máxima es mayor en los reservorios rectangulares que los reservorios circulares, asimismo de la relación de fuerzas cortantes máximas entre los reservorios circulares y rectangulares de volúmenes de 50 m³, 100 m³, 250 m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, estos tienen una variación porcentual de 30.51%, 29.87%, 32.82%, 32.60%, 32.27%, 33.59%, 31.76%. Mostrando un valor porcentual promedio de 31.76%.
- De la comparación de reservorios rectangulares y circulares se observó que, para un mismo volumen, el momento flector máximo es mayor en los reservorios rectangulares que los reservorios circulares, asimismo de la relación de momentos flectores máximos entre los reservorios circulares y rectangulares de volúmenes de 50 m³, 100 m³, 250 m³, 500 m³, 1000 m³, 2000 m³, 4000 m³, estos tienen una variación porcentual de 31.50%, 27.69%, 28.44%, 28.40%, 27.24%, 26.34%, 26.41%. Mostrando un valor porcentual promedio de 28%.
- De las ecuaciones de regresión lineal de momentos flectores de reservorios rectangulares y circulares generados para la ciudad de Chimbote se observó que para volúmenes con valores entre 0 y 15.67 m³ se deben seleccionar reservorios rectangulares y para volúmenes mayores de 15.67 m³ deben seleccionarse reservorios circulares.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio considerando la zona sísmica 2 manteniendo los mismos parámetros sísmicos de este estudio, para determinar la influencia de la zona sísmica 2 en la respuesta sísmica de reservorios circulares y rectangulares.
- Se recomienda replicar el estudio modificando un parámetro sísmico, pero manteniendo constantes los otros parámetros sísmicos en diferentes zonas sísmicas del Perú, para evaluar la respuesta sísmica de reservorios circulares y rectangulares en las 4 zonas sísmicas del Perú.
- Se recomienda replicar este estudio en reservorios enterrados y elevados de geometría circular y rectangular en las 4 zonas sísmicas del Perú.

REFERENCIAS

- A.C.I. Seismic Design of Liquid - Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06). Miami: 2006.
- ACI. Code requirements for environmental engineering concrete structures and comentary (ACI 350 - 06). In *ACI 350 - 06*. U.S.A: ACI, 2007, p. 485.
- AGÜERO PITTMAN, R. *Agua potable para poblaciones rurales*. edited by SER. Edtion ed., 1997. 169 p.
- AGÜERO, R. Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados. Organización panamericana de la salud, 2004.
- BERNAL, J. *Hormigon armado/ Reinforced concrete, Slabs*. Edtion ed. Buenos Aires: Nobuko, 2005.
- DIAZ CALDERON, A. E. M. V., BRIGITTE CAROLINA. Evaluación estructural de reservorios apoyados de concreto armado en Lima Metropolitana considerando la norma ACI 350-06 y las normativas peruanas. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
- GESTIÓN. Sismo en Loreto: Gobierno garantiza abastecimiento de agua potable en Yurimaguas y Requena. Lima: 2019.
- GRASES, J. Ejemplos de efectos de sismos en sistemas de tuberías (1969-1997). Venezuela: 1997.
- HERNÁNDEZ, H., A. HERNÁNDEZ AND G. VALDÉS Efecto del oleaje no lineal en tanques de almacenamiento sometidos a sismos intensos. Non-linear sloshing effect on storage tanks subjected to high earthquake ground motion (English), 07/01/July 2015 2015, 31(3), 198-206.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., C. FENÁNDEZ COLLADO AND M. D. P. BAPTISTA LUCIO *Metodología de la investigación*. Edtion ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2014. ISBN ISBN:978-1-4562-2396-0.
- HOLDEN, L. Concrete Water Tank Collapses; Kills Four, Destroys Nine Homes. In *AP NEWS*. Mexico, 1988.
- HOUSNER, G. W. The dynamic behavior of water tanks. In F. 1. Bulletin of the Seismological Society of America, 1963, p. Sistema dinámico equivalente para un reservorio de agua.
- HUGHES, M. W., M. NAYYERLOO, X. BELLAGAMBA, J. MORRIS, et al. Impacts of the 14th November 2016 Kaikōura earthquake on three waters systems in Wellington, Marlborough and Kaikōura, New Zealand: Preliminary observations. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 06/30 2017, 50(2), 306-317.

- HUISA CHURA, J. C. Formulación de una Guía de Diseño para Mejorar la Respuesta Sísmica en Reservorios de Concreto Armado para Almacenamiento de Agua. Masters Thesis, 2017.
- JAVEED A., M. *Rectangular Concrete Tanks*. Edtion ed. Washington: Portland Cement Association, 1998.
- LOAIZA PEÑA, D. I. Determinación de la respuesta sísmica lineal y no lineal, por efecto de la variación de los niveles de agua máximos y mínimos, en reservorios apoyados aplicando norma ACI 350 casos de estudio: reservorios Picchu Alto y Hatun Huaylla de la ciudad del Cusco, 2019 2019 2019.
- MANTILLA CALDERÓN, L. A. Comportamiento sísmico de reservorios apoyados de concreto armado de sección circular y rectangular 2018 2018.
- MARTINEZ CAHUI, H. Evaluación del Comportamiento Sísmico de un Reservorio Elevado de Concreto Armado de Cuba de Sección Circular y Rectangular, Aplicando la Normativa Norteamericana -Tacna 2019 2019 2019.
- MATI, B. Underground tanks. 2022.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y. S. Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente. In. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, p. 80.
- MOHAMMAD MANSOUR, A., M. MOUFID KASSEM AND F. NAZRI MOHAMED Seismic vulnerability assessment of elevated water tanks with variable staging pattern incorporating the fluid - structure interaction 2021, Structures 34(61-77).
- MONTESINOS, E. Perú: una revisión de los sismos más intensos en los últimos 60 años. In.: Convoca, 2019.
- PECHE VILLAFANE, G. M. Diseño automatizado de reservorios circulares apoyados de concreto armado. Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, 2003.
- PERUCONSTRUYE. Invertirán S/ 23 millones en servicios de agua para Chimbote, Casma y Huarney. In *peruconstruye.net*. 2018. Available from Internet: <https://rainwatertanksdirect.com.au/blogs/what-benefits-are-there-in-installing-concrete-watertanks/#:~:text=A%20concrete%20water%20tank%20or,material%E2%80%94that%20is%2C%20concrete>.
- RASHA, H., R. HUSSAM AND H. HAITHAM Sesismic behavior of reinforced concrete rectandular water tank on grade with wall opening 2021, 15(1).

RODRIGUEZ MORALES, A. G. Evaluacion de la influencia de la configuración geométrica en la respuesta sísmica de estructuras de concreto contenedoras de agua, en la ciudad de Huaraz – 2017. Masters Thesis, 2019.

SEDACHIMBOTE. Reservorios de agua potable. In. Chimbote: SEDACHIMBOTE S.A, 2016.

SOROUSHNIA, S., S. T. TAFRESHI, F. OMIDINASAB, N. BEHESHTIAN, et al. Seismic Performance of RC Elevated Water Tanks with Frame Staging and Exhibition Damage Pattern. Procedia Engineering, 2011, 14, 3076-3087.

TRIPATHI, S. S. AND K. B. THAPA Seismic Performance of Elevated Reinforced Concrete Water Tanks. Journal of the Institute of Engineering, 01// 2021, 16(1), 51-60.

WSP Impacto económico del terremoto de 2007 en el sector de agua potable y saneamiento en cuatro provincias del Perú. Banco Mundial, 2011, 1-93.

ANEXOS

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE $50 m^3$

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 50 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío (V_{vacio}) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$V_{vacio} = 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 4.642 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 4.64 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 2.32 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 2.30 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.047 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 2.6 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el cálculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 2.3 \text{ m}$$

$$B' = 4.64 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2.017$$

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ HL' &= 2.3 \text{ m} \\ B' &= 4.64 \text{ m} \end{aligned}$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.02	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y=B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.02	0	0.000	328.509	0.000	109.503	0.000	-730.020
	1/4	158.171	279.841	73.002	121.670	-146.004	-717.853
	1/2	182.505	194.672	121.670	121.670	-121.670	-596.183
	3/4	-97.336	36.501	-24.334	36.501	-60.835	-328.509
	1	-1046.362	-206.839	-717.853	-146.004	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 1046.362 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

$$M = 1046.362 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 0.21 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 21 \text{ cm}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 4.852 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.135 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.14 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Dónde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 336 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 486 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = 411.836 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 411.836 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.068 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.093 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.10 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.14 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN $50 m^3$ (RR-01):**

Ancho: $B' = 4.64 m$

Altura del líquido: $HL' = 2.3 m$

Borde libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW' = 2.6 m$

Espesor del muro $ew' = 0.21 m$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.14 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE $100 m^3$

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 100 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío (V_{vacio}) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$V_{vacio} = 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 5.848 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 5.85 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 2.925 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 2.90 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.059 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 3.2 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el cálculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 2.9 \text{ m}$$

$$B' = 5.85 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2.017$$

$\gamma_w =$	1000 kg/m ³
$HL' =$	2.9 m
$B' =$	5.85 m

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.02	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.02	0	0.000	658.503	0.000	219.501	0.000	-1463.340
	1/4	317.057	560.947	146.334	243.890	-292.668	-1438.951
	1/2	365.835	390.224	243.890	243.890	-243.890	-1195.061
	3/4	-195.112	73.167	-48.778	73.167	-121.945	-658.503
	1	-2097.454	-414.613	-1438.951	-292.668	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 2097.454 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 2097.454 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 0.297 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 0.30 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 6.145 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.171 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.17 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Donde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 408 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 558 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = 758.665 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 758.665 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.096 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.121 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.12 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.17 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN 100 m^3 (RR-02):**

Ancho: $B' = 5.85\text{ m}$

Altura del líquido: $HL' = 2.9\text{ m}$

Borde libre $BL' = 0.3\text{ m}$

Altura del muro $HW' = 3.2\text{ m}$

Espesor del muro $ew' = 0.3\text{ m}$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.17\text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE $250 m^3$

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 250 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío (V_{vacio}) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$V_{vacio} = 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 7.937 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 7.94 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 3.97 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 3.97 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.081 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 4.27 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el cálculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 3.97 \text{ m}$$

$$B' = 7.94 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2$$

$\gamma_w =$	1000 kg/m ³
$HL' =$	2.3 m
$B' =$	7.94 m

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	1689.411	0.000	563.137	0.000	-3754.246
	1/4	813.420	1439.128	375.425	625.708	-750.849	-3691.676
	1/2	938.562	1001.132	625.708	625.708	-625.708	-3065.968
	3/4	-500.566	187.712	-125.142	187.712	-312.854	-1689.411
	1	-5381.086	-1063.703	-3691.676	-750.849	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 5381.086 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 5381.086 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 0.476 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 0.48 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 8.413 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.234 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.23 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Dónde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 552 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 702 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = (1.789 \cdot 10^3) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 1788.907 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.179 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.18 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.23 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN 250 m^3 (RR-03):**

Ancho: $B' = 7.94\text{ m}$

Altura del líquido: $HL' = 3.97\text{ m}$

Borde libre $BL' = 0.3\text{ m}$

Altura del muro $HW' = 4.27\text{ m}$

Espesor del muro $ew' = 0.48\text{ m}$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.23\text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE 500 m^3

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 500 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío ($V_{\text{vacío}}$) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{\text{vacío}} \geq 2\% V_{\text{total}}$$

$$V_{\text{vacío}} = 2\% V_{\text{total}}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 10 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 10 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 5 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 5 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.102 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 5.3 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el cálculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 5 \text{ m}$$

$$B' = 10 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2$$

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ HL' &= 5 \text{ m} \\ B' &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	3375.000	0.000	1125.000	0.000	-7500.000
	1/4	1625.000	2875.000	750.000	1250.000	-1500.000	-7375.000
	1/2	1875.000	2000.000	1250.000	1250.000	-1250.000	-6125.000
	3/4	-1000.000	375.000	-250.000	375.000	-625.000	-3375.000
	1	-10750.000	-2125.000	-7375.000	-1500.000	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 10750 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 10750 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 0.673 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 0.68 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 10.673 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.296 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.30 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Dónde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 720 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 870 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = (3.568 \cdot 10^3) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 3568.028 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.218 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.243 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.25 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.3 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN 500 m^3 (RR-04):**

Ancho: $B' = 10\text{ m}$

Altura del líquido: $HL' = 5\text{ m}$

Borde libre $BL' = 0.3\text{ m}$

Altura del muro $HW' = 5.3\text{ m}$

Espesor del muro $ew' = 0.68\text{ m}$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.3\text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE $1000 m^3$

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 1000 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO

RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío (V_{vacio}) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$V_{vacio} = 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 12.599 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 12.60 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 6.3 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 6.3 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.129 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 6.6 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el cálculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 6.3 \text{ m}$$

$$B' = 12.6 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2$$

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ HL' &= 6.3 \text{ m} \\ B' &= 12.6 \text{ m} \end{aligned}$$

B/HL	x/HL	$\gamma = 0$		$\gamma = B/4$		$\gamma = B/2$	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	6751.269	0.000	2250.423	0.000	-15002.820
	1/4	3250.611	5751.081	1500.282	2500.470	-3000.564	-14752.773
	1/2	3750.705	4000.752	2500.470	2500.470	-2500.470	-12252.303
	3/4	-2000.376	750.141	-500.094	750.141	-1250.235	-6751.269
	1	-21504.042	-4250.799	-14752.773	-3000.564	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 21504.042 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 21504.042 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 0.952 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 0.95 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 13.552 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.376 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.38 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Donde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 912 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 1062 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = (7.021 \cdot 10^3) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 7021.199 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.309 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.334 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.34 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.38 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN $1000 m^3$ (RR-05):**

Ancho: $B' = 12.6 m$

Altura del líquido: $HL' = 6.3 m$

Borde libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW' = 6.6 m$

Espesor del muro $ew' = 0.95 m$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.38 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE 2000 m^3

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 2000 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío ($V_{\text{vacío}}$) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{\text{vacío}} \geq 2\% V_{\text{total}}$$

$$V_{\text{vacío}} = 2\% V_{\text{total}}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 15.874 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 15.87 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 7.935 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 7.94 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.162 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 8.24 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el calculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 7.94 \text{ m}$$

$$B' = 15.87 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 1.999$$

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ HL' &= 7.94 \text{ m} \\ B' &= 15.87 \text{ m} \end{aligned}$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma_w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	13515.287	0.000	4505.096	0.000	-30033.971
	1/4	6507.360	11513.022	3003.397	5005.662	-6006.794	-29533.405
	1/2	7508.493	8009.059	5005.662	5005.662	-5005.662	-24527.743
	3/4	-4004.529	1501.699	-1001.132	1501.699	-2502.831	-13515.287
	1	-43048.692	-8509.625	-29533.405	-6006.794	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 43048.692 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 43048.692 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 1.348 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 1.35 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 17.222 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.478 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.48 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Donde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 1152 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 1302 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = (1.39 \cdot 10^4) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 13901.457 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.437 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.462 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.47 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.48 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN 2000 m^3 (RR-06):**

Ancho: $B' = 15.87\text{ m}$

Altura del líquido: $HL' = 7.94\text{ m}$

Borde libre $BL' = 0.3\text{ m}$

Altura del muro $HW' = 8.24\text{ m}$

Espesor del muro $ew' = 1.35\text{ m}$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.48\text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO

RECTANGULAR DE VOLUMEN DE 4000 m^3

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V):

$$V := 4000 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c):

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y):

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s):

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (γ_w)

$$\gamma_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s):

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Angulo de fricción del suelo δ

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c):

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO

RECTANGULAR

Se escoge una sección cuadrada para el análisis comparativo ya que es la sección mas regular.

Asumimos, $L = B$

Donde

L = Largo del reservorio

B = Ancho del reservorio

1.1 Se recomienda que el volumen vacío ($V_{\text{vacío}}$) sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), determinaremos el Borde libre (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{\text{vacío}} \geq 2\% V_{\text{total}}$$

$$V_{\text{vacío}} = 2\% V_{\text{total}}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4}; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$B = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{B}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{B}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = B^2 \cdot HL \quad \text{reemplazamos } HL = \frac{B}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$B := (2V)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 20 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad B' := 20 \text{ m}$$

Resolviendo se obtiene:

$$HL := \frac{B'}{2} \quad HL = 10 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad HL' := 10 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL'}{49} \quad BL = 0.204 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.20 \text{ m}$$

$$HW' := HL' + BL' \quad HW' = 10.2 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO RECTANGULAR

2.1 Pre dimensionamiento del espesor del muro (ew):

El cálculo se realiza cuando el reservorio se encuentra lleno y sujeto a la presión del agua.

A) Cálculo de Momentos en la Pared:

Para el calculo de los momentos se utilizan los coeficientes (k) que se muestran en el cuadro, los cuales dependen de la relación del ancho de la pared (B) y la altura de agua (HL).

Siendo:

$$HL' = 10 \text{ m}$$

$$B' = 20 \text{ m}$$

$$\gamma w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Los coeficientes (k) que usaremos son los que se muestran en el cuadro:

$$k := \frac{B'}{HL'} \quad k = 2$$

$$\begin{aligned} \gamma w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ HL' &= 10 \text{ m} \\ B' &= 20 \text{ m} \end{aligned}$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	0.027	0.000	0.009	0.000	-0.060
	1/4	0.013	0.023	0.006	0.010	-0.012	-0.059
	1/2	0.015	0.016	0.010	0.010	-0.010	-0.049
	3/4	-0.008	0.003	-0.002	0.003	-0.005	-0.027
	1	-0.086	-0.017	-0.059	-0.012	0.000	0.000

Los momentos se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$M = k \cdot \gamma w \cdot HL^3$$

B/HL	x/HL	y = 0		y = B/4		Y = B/2	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My
2.00	0	0.000	27000.000	0.000	9000.000	0.000	-60000.000
	1/4	13000.000	23000.000	6000.000	10000.000	-12000.000	-59000.000
	1/2	15000.000	16000.000	10000.000	10000.000	-10000.000	-49000.000
	3/4	-8000.000	3000.000	-2000.000	3000.000	-5000.000	-27000.000
	1	-86000.000	-17000.000	-59000.000	-12000.000	0.000	0.000

Del cuadro anterior podemos ver que el máximo momento absoluto es:

$$M := 86000 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

El espesor de la pared (ew) originando por un momento M y el esfuerzo de tracción por flexión (ft) en cualquier de la pared, se determina mediante el "método elástico sin agrietamientos".

Por tanto:

$$ew = \left(\frac{6 M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$M = 86000 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$ft := 0.85 \cdot \left(\frac{f'c}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = 14.223 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

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

Por tanto

$$ew := \left(\frac{6 \cdot M}{ft \cdot b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ew = 1.905 \text{ m}$$

Tomamos el valor redondeado:

$$ew' := 1.91 \text{ m}$$

2.2 Predimensionamiento de la losa de la cubierta (et)

Se considera la losa de cubierta como una losa armada en dos direcciones y apoyada en sus cuatro lados.

A) Cálculo del espesor mínimo de la losa

$$et' = \frac{Lc}{36} \geq 9 \text{ cm}$$

Luz calculada

$$Lc = B + ew$$

$$Lc := B + ew$$

$$Lc = 21.905 \text{ m}$$

$$et' := \frac{Lc}{36}$$

$$et' = 0.608 \text{ m}$$

asumimos

$$et'' := 0.61 \text{ m}$$

B) Según el RNE para losas macizas en dos direcciones, cuando la relación de las dos es igual a la unidad los momentos flexionantes en las fajas centrales son iguales.

Donde:

$$C' := 0.036$$

L = Luz calculada

W = Peso total (carga muerta + carga viva) en kg/m²

$$Wm := \gamma c \cdot et''$$

$$Wv := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Wm = 1464 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$W := Wm + Wv$$

$$W = 1614 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Además se tiene que :

$$MA = MB = CW Lc^2$$

Reemplazando valores obtenemos

$$MA := C' \cdot W \cdot Lc^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$MA = 27879.214 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Conocidos los valores de los momentos, se calcula el espesor útil "d" mediante el método elástico con la siguiente relación.

$$MA = MB = M$$

$$MA = 27879.214 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Es = 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ec = 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

i)

$$fs := \frac{1}{3} \cdot fy$$

$$fs = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

ii)

$$fc := 0.45 \cdot f'c$$

$$fc = 126 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

iii)

$$n := \frac{Es}{Ec}$$

$$n = 7.915$$

iv)

$$k''' := \frac{1}{\left(1 + \frac{fs}{n \cdot fc}\right)}$$

$$k''' = 0.416$$

v)

$$j := 1 - \frac{k'''}{3}$$

$$j = 0.861$$

vi)

$$R := \frac{1}{2} \cdot fc \cdot j \cdot k'''$$

$$R = 22.575 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d := \sqrt[2]{\frac{M}{R \cdot b}}$$

$$d = 0.617 \text{ m}$$

$$\text{recubrimiento} := 0.025 \text{ m}$$

$$eT := d + \text{recubrimiento}$$

$$eT = 0.642 \text{ m} \quad \text{asumimos}$$

$$eT' := 0.65 \text{ m}$$

Elegiremos para el espesor del techo (et) el mayor valor entre eTmin y eT

$$eT'' := \max(et'', eT')$$

$$eT'' = 0.65 \text{ m}$$

**RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO RECTANGULAR
VOLUMEN 250 m^3 (RR-01):**

Ancho: $B' = 20\text{ m}$

Altura del líquido: $HL' = 10\text{ m}$

Borde libre $BL' = 0.2\text{ m}$

Altura del muro $HW' = 10.2\text{ m}$

Espesor del muro $ew' = 1.91\text{ m}$

Espesor del la cubierta $eT'' = 0.65\text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE $50 m^3$ (RC - 01)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 50 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del liquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 5.031 \text{ m}$ asumimos

$D' := 5 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 2.5 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.051 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 2.8 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 2.8 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

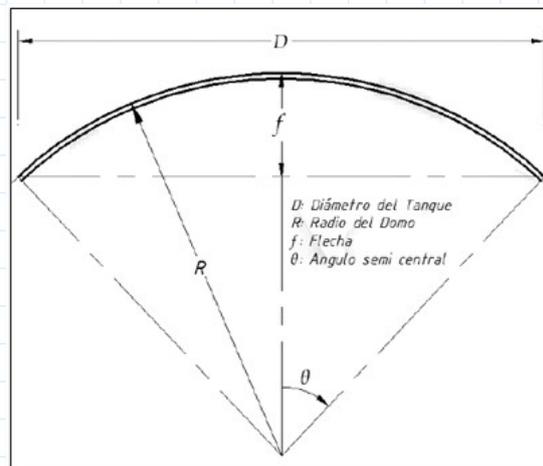
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.3 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



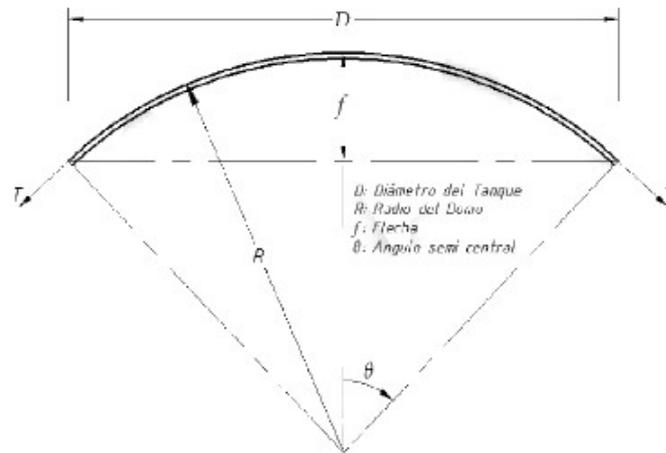
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 1.006 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 3.647 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (Bf)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (Bc)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 3.647 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 11.966 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.158 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 0.401 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 1032.339 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 5 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 1880.401 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = 1880.401 \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 0.64 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = 207.483 \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 30 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 30 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 6.916 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 30 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 6.916 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 7 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 5 \text{ m}$

Altura del líquido: $HL = 2.5 \text{ m}$

Bordo libre $BL' = 0.3 \text{ m}$

Altura del muro $HW = 2.8 \text{ m}$

Flecha $f = 1.006 \text{ m}$

Radio interno de la cúpula $rd = 3.647 \text{ m}$

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 \text{ deg}$

Espesor del muro $tw = 0.3 \text{ m}$

Espesor del domo $hd' = 0.1 \text{ m}$

Base de la viga anular $bva = 0.3 \text{ m}$

Peralte de la viga $hva' = 0.07 \text{ m}$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE 100 m^3 (RC - 02)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 100\text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 6.338 \text{ m}$ asumimos

$D' := 6.30 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 3.15 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.064 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 3.45 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 3.45 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

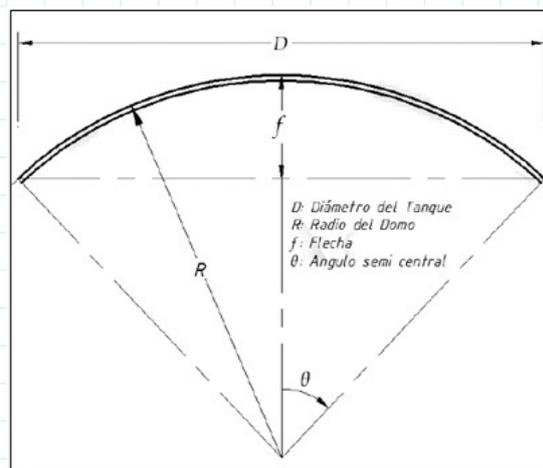
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.314 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



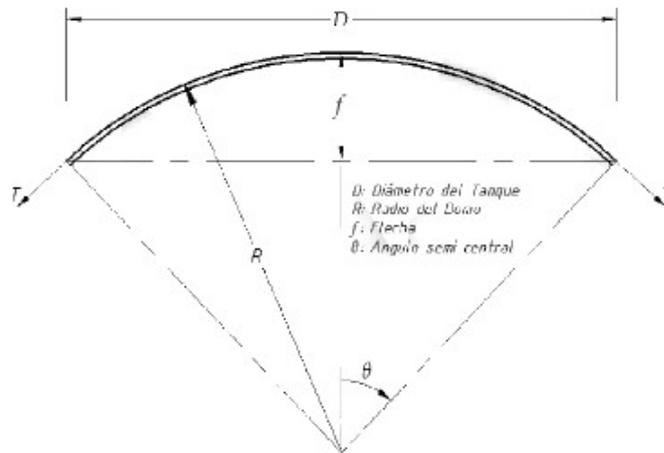
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 1.268 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 4.595 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (Bf)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (Bc)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \quad \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \quad \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 4.595 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 15.077 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.199 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 0.505 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 1300.666 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 6.3 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 2984.951 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (2.985 \cdot 10^3) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 1.015 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = 329.358 \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 31.364 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 31.364 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 10.501 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 31.364 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 10.501 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 11 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 6.3 m$

Altura del líquido: $HL = 3.15 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 3.45 m$

Flecha $f = 1.268 m$

Radio interno de la cúpula $rd = 4.595 m$

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 0.314 m$

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 0.314 m$ redondeando **$bva = 0.30 m$**

Peralte de la viga $hva' = 0.11 m$ redondeando **$hva' = 0.10 m$**

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE 250 m³ (RC - 03)

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 250 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del liquido (HL)

$$V_{\text{vacio}} \geq 2\% V_{\text{total}}$$

Consideramos:

$$V_{\text{vacio}} \geq 2\% V_{\text{total}}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 8.603 \text{ m}$ asumimos

$D' := 8.60 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 4.3 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.088 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 4.6 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 4.6 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

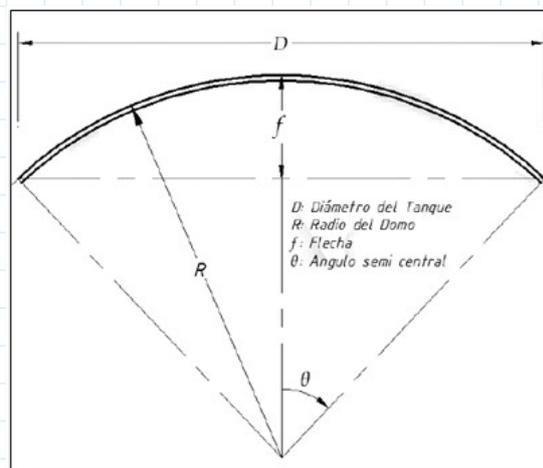
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.418 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



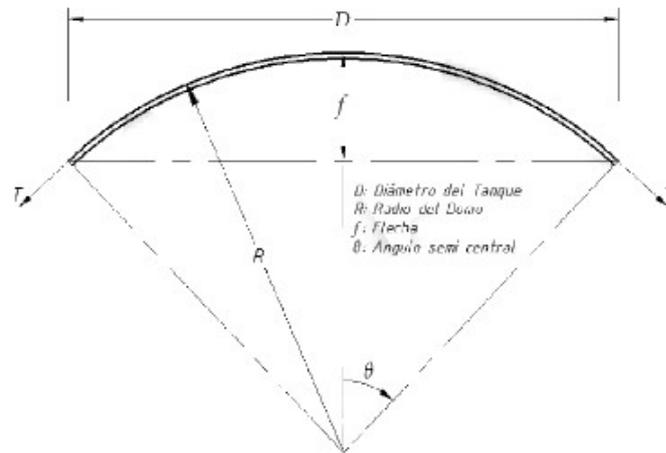
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 1.721 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 6.237 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (B_f)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (B_c)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \quad \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \quad \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 6.237 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 20.462 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.27 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 0.686 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 1765.276 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 8.6 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 5498.327 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (5.498 \cdot 10^3) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 1.87 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = 606.683 \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 41.818 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 41.818 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 14.508 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 41.818 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 14.508 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 15 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 8.6 m$

Altura del líquido: $HL = 4.3 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 4.6 m$

Flecha $f = 1.721 m$

Radio interno de la cúpula $rd = 6.237 m$ *asumimos* **$rd = 6.24 m$**

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 0.418 m$ *asumimos* **$bva = 0.40 m$**

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 0.418 m$ *redondeando* **$bva = 0.40 m$**

Peralte de la viga $hva' = 0.15 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE $500 m^3$ (RC - 04)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 500 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 10.839 \text{ m}$ asumimos

$D' := 10.80 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 5.4 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.11 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 5.7 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 5.7 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

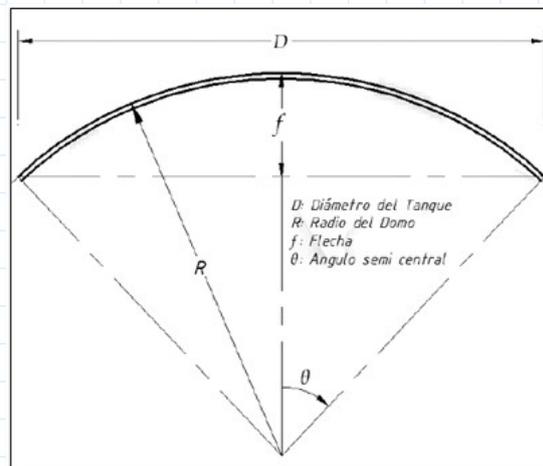
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.518 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



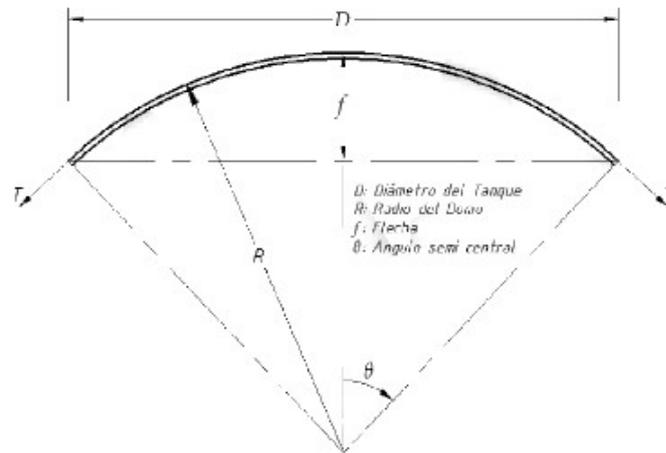
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 2.168 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 7.858 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (B_f)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (B_c)

$$B_c = 0.44 + 0.0003C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \quad \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \quad \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 7.858 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 25.781 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.34 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 0.864 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 2224.108 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 10.8 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 8728.05 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (8.728 \cdot 10^3) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 2.969 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = 963.049 \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 51.818 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 51.818 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 18.585 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 51.818 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 18.585 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 20 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 10.8 m$

Altura del líquido: $HL = 5.4 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 5.7 m$

Flecha $f = 2.168 m$

Radio interno de la cúpula $rd = 7.858 m$ *asumimos*

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 0.518 m$ *asumimos* **tw = 0.50 m**

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 0.518 m$ redondeando **bva = 0.50 m**

Peralte de la viga $hva' = 0.2 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE 1000 m^3 (RC - 05)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 1000 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del líquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 13.656 \text{ m}$ asumimos

$D' := 13.70 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 6.85 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.14 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 7.15 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 7.15 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

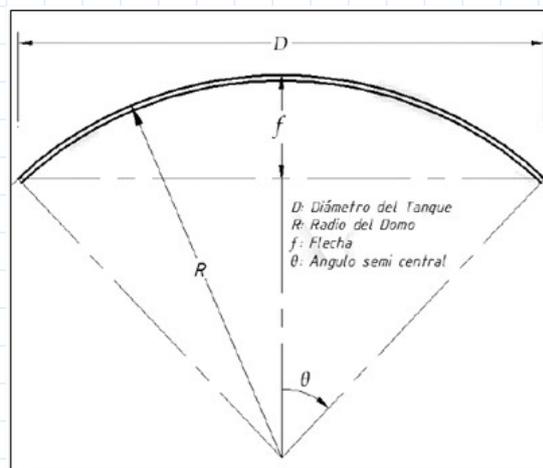
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.65 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



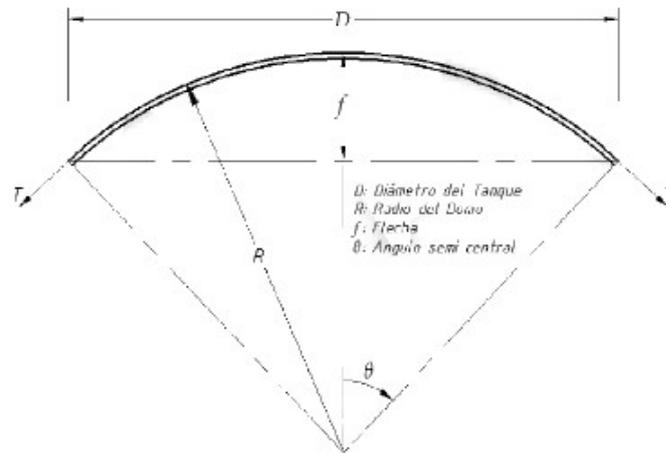
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 2.731 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 9.9 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (Bf)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (Bc)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 9.9 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 32.482 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.429 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 1.089 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 2802.2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 13.7 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 13854.915 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (1.385 \cdot 10^4) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 4.713 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = (1.529 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 65 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 65 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 23.519 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 65 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 23.519 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 25 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 13.7 m$

Altura del líquido: $HL = 6.85 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 7.15 m$

Flecha $f = 2.731 m$

Radio interno de la cúpula $rd = 9.9 m$ *asumimos*

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 0.65 m$ *asumimos* **$tw = 0.65 m$**

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 0.65 m$ redondeando **$bva = 0.65 m$**

Peralte de la viga $hva' = 0.25 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE 2000 m^3 (RC - 06)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 2000 \text{ m}^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del liquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 17.205 \text{ m}$ asumimos

$D' := 17.20 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 8.6 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.176 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 8.9 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 8.9 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

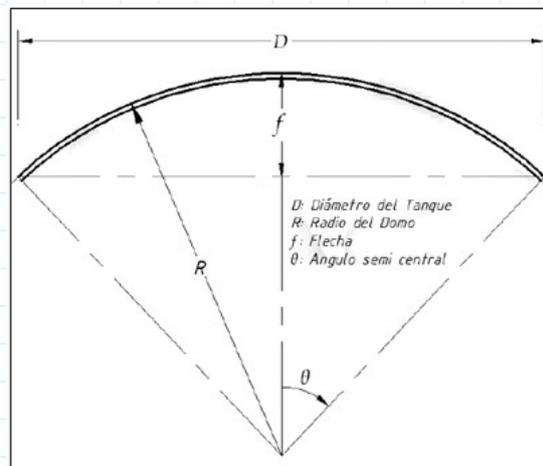
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 0.809 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



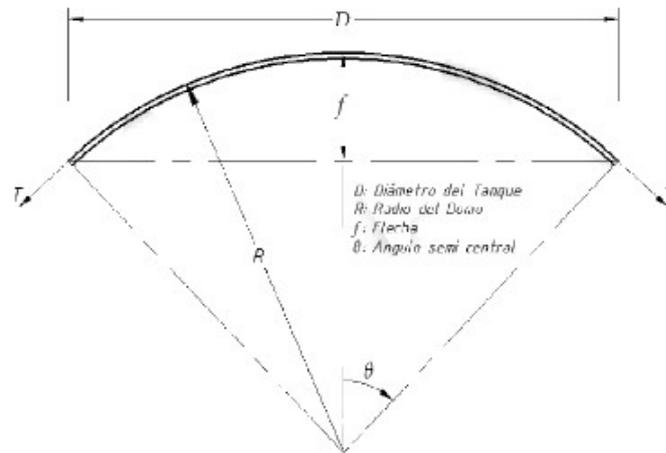
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 3.441 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 12.474 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (Bf)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (Bc)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 12.474 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 40.924 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.54 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 1.372 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 3530.551 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 17.2 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 21993.307 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (2.199 \cdot 10^4) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 7.481 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = (2.427 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 80.909 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 80.909 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 29.993 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 80.909 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 29.993 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 30 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 17.2 m$

Altura del líquido: $HL = 8.6 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 8.9 m$

Flecha $f = 3.441 m$

Radio interno de la cúpula $rd = 12.474 m$ *asumimos* **$rd = 12.47 m$**

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 0.809 m$ *asumimos* **$tw = 0.80 m$**

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 0.809 m$ *asumimos* **$bva = 0.80 m$**

Peralte de la viga $hva' = 0.3 m$

1. PREDIMENSIONAMIENTO DEL RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN DE $4000 m^3$ (RC - 07)

DATOS:

Volumen de agua almacenada (V)

$$V := 4000 m^3$$

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del concreto (γ_c)

$$\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$$

Esfuerzo de fluencia del acero corrugado grado 60 (f_y)

$$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

Modulo de elasticidad del acero (E_s)

$$E_s := 2000000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Densidad del agua (ρ_w)

$$\rho_w := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del suelo (γ_s)

$$\gamma_s := 1600 \frac{kgf}{m^3}$$

Capacidad portante del suelo (q_s)

$$q_s := 2 \frac{kgf}{cm^2}$$

Ángulo de fricción interna del suelo (δ)

$$\delta := 28 \text{ deg}$$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c)

$$E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$E_c = 3593831.042 \text{ psi}$$

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL RESERVORIO CIRCULAR

1.1 Por teoría se recomienda que el volumen vacío del reservorio sea mayor o igual al 2% del volumen total (V_{total}), luego determinamos el borde libre del reservorio (BL) y la altura del liquido (HL)

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

Consideramos:

$$V_{vacio} \geq 2\% V_{total}$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 HT}{4} ; HT = BL + HL$$

$$\frac{\pi D^2 BL}{4} = \frac{2}{100} \cdot \frac{\pi D^2 (BL + HL)}{4}$$

Desarrollando se tiene:

$$BL = \frac{HL}{49} \quad Y \quad HL = 49BL$$

1.2 Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura del agua (d/h), la misma que varía entre 0.50 y 3.00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores se considera la relación del ancho de la base y altura (b/h) del líquido. (Aguero, 2004)

Usaremos: $\frac{D}{HL} = 2$

Despejamos HL tenemos: $HL = \frac{D}{2}$

1.3 El volumen de agua almacenada es calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 HL}{4} \quad \text{y sabemos } HL = \frac{D}{2}$$

Quedando la fórmula del diámetro D en función del volumen de agua almacenada V:

$$D = \left(\frac{8V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Resolviendo se obtiene:

$$D := \left(\frac{8 \cdot V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$D = 21.677 \text{ m}$ asumimos

$D' := 21.70 \text{ m}$

Resumen de valores calculados en función a D:

$$HL := \frac{D'}{2} \quad HL = 10.85 \text{ m}$$

$$BL := \frac{HL}{49} \quad BL = 0.221 \text{ m} \quad \text{asumimos} \quad BL' := 0.30 \text{ m}$$

$$HW := HL + BL' \quad HW = 11.15 \text{ m}$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL RESERVORIO CIRCULAR

2.1 Predimensionamiento del espesor del muro (tw)

Tenemos:

$$HW = 11.15 \text{ m}$$

$$X := 30 \text{ cm}$$

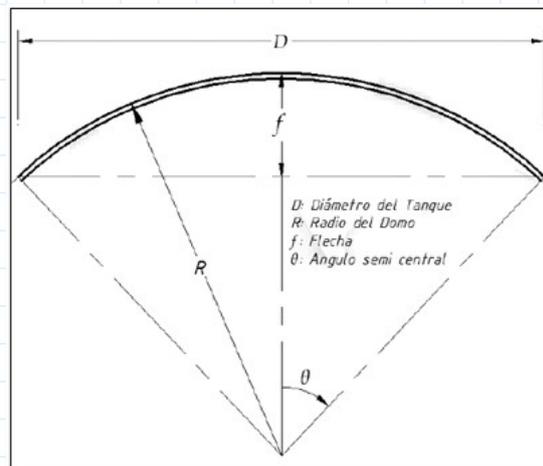
$$tw = \max \left\{ \frac{HW}{25}; \frac{HW}{11}; X \right\} \text{ cm}$$

$$tw := \max \left(\frac{HW}{25}, \frac{HW}{11}, X \right)$$

$$tw = 1.014 \text{ m}$$

2.2 Pre dimensionamiento del techo

2.2.1. Componentes geométricos del domo circular del tanque



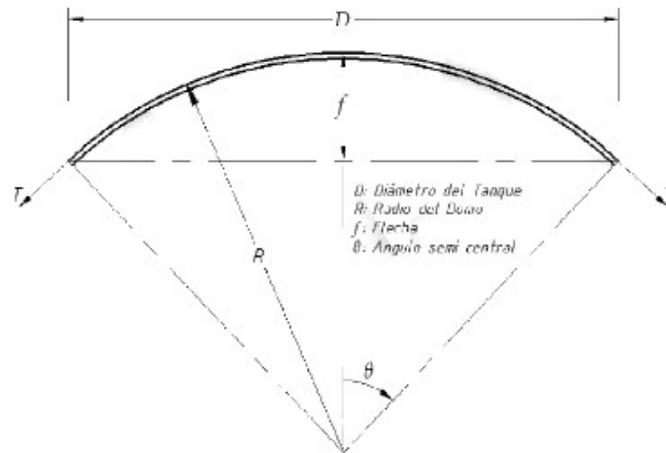
Cálculo de la flecha (f)

Nota: Con el fin de que el oleaje producido por un sismo, no tenga efectos sobre la cúpula, se considera entre el 10% - 20% del diámetro (D). Para el diseño se considero el maximo 20%.

$$f := 20\% \cdot D$$

$$f = 4.335 \text{ m}$$

Cálculo del radio interno de la cúpula (rd)



Relación de triángulo rectángulo (Pitágoras)

$$(rd - f)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = rd^2$$

Despejando rd tenemos

$$rd = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd := \frac{4f^2 + D^2}{8f}$$

$$rd = 15.716 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo semi central θ

$$\theta := \arcsin\left(\frac{D}{2rd}\right)$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

2.2.2. Cálculo del espesor del domo (ACI 350. 3R -06 - Anexo G)

El espesor mínimo para un techo de esta forma se describe mediante la ecuación G-1 del ACI 350-06

$$hd = rd \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot Pu}{\phi \cdot Bi \cdot Bc \cdot Ec}}$$

a) Calculamos P_u (lb/ft^2)

$$\begin{aligned} \text{Carga viva sin factorar (Cv):} & \quad L := 50 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Peso propio (PP):} & \quad PP := 240 \frac{kgf}{m^2} \\ \text{Carga muerta sin factorar (Cm)} & \quad Cm := 100 \frac{kgf}{m^2} \end{aligned}$$

$$D'' := PP + Cm$$

$$D'' = 340 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u := (1.2 \cdot D'' + 1.6 \cdot L)$$

$$P_u = 488 \frac{kgf}{m^2}$$

$$P_u = 99.95 \text{ psf}$$

b) Factor de reducción del pandeo por imperfecciones geométricas (B_f)

$$r_i := 1.4 \text{ rd}$$

$$B_i := \frac{rd}{r_i}$$

$$B_i = 0.714$$

c) Factor de reducción del pandeo por creep, no linealidad y fisuración del concreto (B_c)

$$B_c = 0.44 + 0.0003 C_v ; \text{ para } \frac{12 \text{ Lb}}{ft^2} \leq C_v \leq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$0.53 ; \text{ para } C_v \geq \frac{30 \text{ Lb}}{ft^2}$$

$$C_v := 13 \frac{lb}{ft^2}$$

$$B_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 12 \frac{lb}{ft^2} \leq C_v \leq 30 \frac{lb}{ft^2} \\ \quad \left\| 0.44 + 0.003 \cdot C_v \cdot \frac{ft^2}{lb} \right\| \\ \text{else if } C_v > 30 \\ \quad \left\| 0.53 \right\| \end{array} \right\|$$

$$B_c = 0.479$$

d) Radio interno del domo r_d (ft)

Tenemos el valor calculado:

$$r_d = 15.716 \text{ m}$$

Convirtiendo en unidades del sistema inglés

$$r_d = 51.561 \text{ ft}$$

e) Hallamos el espesor del Domo

$$\phi := 0.7$$

$$h_d := r_d \cdot \sqrt{\frac{1.5 P_u}{\phi \cdot B_i \cdot B_c \cdot E_c}}$$

Por tanto

$$h_d = 0.681 \text{ in}$$

Convirtiendo en unidades compatibles

$$h_d = 1.728 \text{ cm}$$

El espesor elegido considerando que el mínimo es 10 cm

$$h_d' := 10 \text{ cm}$$

2.3 Predimensionamiento de la viga anular

1. Hallamos el área de la sección de la viga anular (A_{va}):

$$A_{va} = \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) A_{st}$$

Determinamos los siguientes parámetros:

a) Hallamos la tensión anular de la viga (T_a)

$$T_a = \frac{D}{2} T \cdot \cos(\theta)$$

Necesitamos hallar la tensión meridional en la unión Muro - Domo (T)

$$T := \frac{P_u \cdot r_d}{1 + \cos(\theta)}$$

Por tanto

$$T = 4448.216 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Para hallar T_a sabemos que:

$$D' = 21.7 \text{ m}$$

$$\theta = 43.603 \text{ deg}$$

Por tanto

$$T_a := \frac{D}{2} \cdot T \cdot \cos(\theta)$$

$$T_a = 34912.198 \text{ kgf}$$

b) Módulo de ruptura a la tensión del concreto (f_r)

$$f_r := 2 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{\text{psi}}} \cdot \text{psi}$$

$$f'_c = 3982.536 \text{ psi}$$

Tenemos:

$$f_r = 126.215 \text{ psi}$$

$$f_r = 8.874 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c) Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = 24778.593 \text{ MPa}$$

$$E_s = 196133 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = 7.915$$

d) Hallamos el área de refuerzo para la tensión (A_{st})

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

Tenemos:

$$T_a = (3.491 \cdot 10^4) \text{ kgf}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi' := 0.9$$

Por tanto:

$$A_{st} := \frac{T_a}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_{st} = 11.875 \text{ cm}^2$$

Finalmente hallamos el área de la sección de la viga anular empleando la fórmula

$$A_{va} := \frac{T_a}{f_r} - (n - 1) \cdot A_{st}$$

$$A_{va} = (3.852 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$$

2. Calculamos las dimensiones de la viga anular (bva, hva):

a) Teniendo como base de la base de la viga anular (bva) el espesor del muro:

$$t_w = 101.364 \text{ cm}$$

$$b_{va} := t_w$$

$$b_{va} = 101.364 \text{ cm}$$

b) Hallamos el peralte de la viga (hva)

$$h_{va} := \frac{A_{va}}{b_{va}}$$

$$h_{va} = 38.004 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones finales de la viga anular serán:

$$b_{va} = 101.364 \text{ cm}$$

$$h_{va} = 38.004 \text{ cm}$$

Asumimos por proceso constructivo

$$h_{va}' := 40 \text{ cm}$$

RESULTADOS DE PREDIMENSIONAMIENTO RESERVORIO CIRCULAR VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Diámetro: $D' = 21.7 m$

Altura del líquido: $HL = 10.85 m$

Bordo libre $BL' = 0.3 m$

Altura del muro $HW = 11.15 m$

Flecha $f = 4.335 m$ *asumimos* **$f = 4.34 m$**

Radio interno de la cúpula $rd = 15.716 m$ *asumimos* **$rd = 15.72 m$**

Angulo semi central (θ) $\theta = 43.603 deg$

Espesor del muro $tw = 1.014 m$ *asumimos* **$tw = 1.00 m$**

Espesor del domo $hd' = 0.1 m$

Base de la viga anular $bva = 1.014 m$ *asumimos* **$bva = 1.00 m$**

Peralte de la viga $hva' = 0.4 m$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR CON VOLUMEN DE 50 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto $f'c$: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 2.30 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 4.64 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 4.64 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro ($tw1$): $tw1 := 21 \text{ cm}$

Espesor de muro ($tw2$): $tw2 := 21 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 14 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 15 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 2.60 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 49518.08 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi' = 26672.510331 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi'' = 26672.510331 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 25421.76 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.69753674$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.69753674$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 0.8625 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 0.8625 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 24169.388393 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 24169.388393 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 1.338913 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 1.338913 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 15062.482206 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 15062.482206 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 26672.504891 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 25421.754815 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 52094.259707 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 1.68389 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 26672.504891 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 25421.754815 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 52094.259707 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 1.68389 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 3.731352 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 3.731352 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.652734$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.652734$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 4.481169$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 4.481169$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 1.402131 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 1.402131 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Peso del agua	$WL = 49518.08 \text{ kgf}$
Peso impulsivo del agua	$Wi' = 26672.510331 \text{ kgf}$
Coefficiente de masa efectiva	$\varepsilon = 0.697537$
Posición de la masa impulsiva con respecto a la base	$hi = 0.8625 \text{ m}$
Peso convectivo	$Wc' = 24169.388393 \text{ kgf}$
Posición de masa convectiva con respecto a la base	$hc' = 1.338913 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 15062.482206 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 1.68389 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 3.731352 s$

Factor $\lambda' = 9.652734$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 4.481169 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 1.402131 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR CON VOLUMEN DE 100 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto $f'c$: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 2.90 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 5.85 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 5.85 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro ($tw1$): $tw1 := 30 \text{ cm}$

Espesor de muro ($tw2$): $tw2 := 30 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 17 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 15 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 3.20 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 99245.25 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi' = 53460.774108 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi'' = 53460.774108 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 56678.4 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.69755621$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.69755621$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 1.0875 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 1.0875 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 48438.217168 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 48438.217168 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 1.688223 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 1.688223 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 23943.62948 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 23943.62948 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 53460.763205 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 56678.388441 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 110139.151646 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 1.460106 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 53460.763205 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 56678.388441 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 110139.151646 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 1.460106 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 4.303238 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 4.303238 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.652832$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.652832$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 3.990955$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 3.990955$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 1.574356 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 1.574356 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $100 m^3$ (RC-02):

Peso del agua $WL = 99245.25 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 53460.774108 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.697556$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.0875 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 48438.217168 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 1.688223 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 23943.62948 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 1.460106 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 4.303238 s$

Factor $\lambda' = 9.652832$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 3.990955 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 1.574356 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR CON VOLUMEN DE 250 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto f'_c : $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 3.97 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 7.94 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 7.94 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw1): $tw1 := 48 \text{ cm}$

Espesor de muro (tw2): $tw2 := 48 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 23 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 18 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 4.27 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 250283.092 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

Lado corto:

$$Wi' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi'' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi' = 135732.601332 \text{ kgf}$$

$$Wi'' = 135732.601332 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 165673.2672 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.6998$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 1.48875 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{ ----- } \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 1.48875 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 121392.755648 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 121392.755648 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 2.315643 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 2.315643 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 44313.971926 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 44313.971926 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 135732.57365 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 165673.233412 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 301405.807062 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 1.200756 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 135732.57365 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 165673.233412 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 301405.807062 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 1.200756 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 5.23269 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 5.23269 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.664071$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.664071$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 3.42965$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 3.42965$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 1.832019 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 1.832019 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $250 m^3$ (RC-03):

Peso del agua $WL = 250283.092 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 135732.601332 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.48875 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 121392.755648 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 2.315643 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 44313.971926 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 1.200756 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 5.23269 s$

Factor $\lambda' = 9.664071$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 3.42965 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 1.832019 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR CON VOLUMEN DE 500 m³

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto f'_c : $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 3.97 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 7.94 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 7.94 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw1): $tw1 := 48 \text{ cm}$

Espesor de muro (tw2): $tw2 := 48 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 23 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 18 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 4.27 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 250283.092 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)}$$

$$Wi' = 135732.601332 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)}$$

$$Wi'' = 135732.601332 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 165673.2672 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.6998$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 1.48875 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 1.48875 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 121392.755648 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 121392.755648 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 2.315643 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 2.315643 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 44313.971926 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 44313.971926 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 135732.57365 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 165673.233412 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 301405.807062 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 1.200756 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 135732.57365 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 165673.233412 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 301405.807062 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 1.200756 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 5.23269 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 5.23269 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.664071$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.664071$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 3.42965$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 3.42965$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 1.832019 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 1.832019 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $500 m^3$ (RC-04):

Peso del agua $WL = 250283.092 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 135732.601332 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.48875 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 121392.755648 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 2.315643 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 44313.971926 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 1.200756 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 5.23269 s$

Factor $\lambda' = 9.664071$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 3.42965 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 1.832019 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR CON VOLUMEN DE 1000 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto $f'c$: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 5 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 10 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 10 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro ($tw1$): $tw1 := 68 \text{ cm}$

Espesor de muro ($tw2$): $tw2 := 68 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 30 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 25 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 5.30 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 500000 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)}$$

$$Wi' = 271158.15185 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)}$$

$$Wi'' = 271158.15185 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 369510.912 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left\| \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \right\| \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ \left\| 1 \right\| \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.6998$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \right\| \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 1.875 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 1.875 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 242510.899714 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 242510.899714 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 2.916427 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 2.916427 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 70290.992149 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 70290.992149 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 271158.096549 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 369510.836641 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 640668.93319 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 1.037274 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 271158.096549 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 369510.836641 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 640668.93319 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 1.037274 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 6.057404 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 6.057404 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.664071$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.664071$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 3.056048$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 3.056048$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 2.055984 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 2.055984 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $1000 m^3$ (RC-05):

Peso del agua $WL = 500000 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 271158.15185 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.875 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 242510.899714 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 2.916427 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 70290.992149 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 1.037274 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 6.057404 s$

Factor $\lambda' = 9.664071$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 3.056048 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 2.055984 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN 2000 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto $f'c$: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 7.94 \text{ m}$

Longitud (L): $L := 15.87 \text{ m}$

Ancho (B): $B := 15.87 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw1): $tw1 := 135 \text{ cm}$

Espesor de muro (tw2): $tw2 := 135 \text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 48 \text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 50 \text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 8.24 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 1999743.786 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi' = 1085028.517092 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \left(\frac{\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)} \right)$$

$$Wi'' = 1085028.517092 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 1838930.688 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \left. \begin{array}{l} \text{if} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left\| \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \right. \\ \text{else if} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ \left. \left\| 1 \right. \right\} \end{array} \right|$$

$$\varepsilon = 0.69996426$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.69996426$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 2.9775 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{array}{l} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{array}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 2.9775 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 969472.463367 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 969472.463367 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 4.631954 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 4.631954 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 177092.592882 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 177092.592882 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 1085028.295808 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 1838930.312963 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 2923958.608771 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 0.770681 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 1085028.295808 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 1838930.312963 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 2923958.608771 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 0.770681 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 8.152765 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 8.152765 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.664888$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.664888$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 2.426098$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 2.426098$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 2.589831 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 2.589831 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $2000 m^3$ (RC-06):

Peso del agua $WL = 1999743.786 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 1085028.517092 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.699964$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 2.9775 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 969472.463367 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 4.631954 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 177092.592882 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 0.770681 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 8.152765 s$

Factor $\lambda' = 9.664888$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 2.426098 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 2.589831 s$

1. PROPIEDADES DINÁMICAS DEL RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN 4000 m^3

Datos generales para el cálculo:

Resistencia del concreto $f'c$: $f'c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad del concreto (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Peso específico del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 10\text{ m}$

Longitud (L): $L := 20\text{ m}$

Ancho (B): $B := 20\text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw1): $tw1 := 191\text{ cm}$

Espesor de muro (tw2): $tw2 := 191\text{ cm}$

Espesor de losa de techo (tr): $tr := 65\text{ cm}$

Espesor de losa de fondo (ts): $ts := 70\text{ cm}$

Altura del muro (hw): $hw := 10.20\text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua WL

$$WL := (L \cdot B \cdot HL) \cdot \gamma_w$$

$$WL = 4000000 \text{ kgf}$$

2. Cálculo del peso impulsivo del agua, Wi

Lado Largo:

$$Wi' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)}$$

$$Wi' = 2169265.214801 \text{ kgf}$$

Lado corto:

$$Wi'' := WL \cdot \frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)}$$

$$Wi'' = 2169265.214801 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del peso de muros, Ww

$$Ww := \left((L + 2 \cdot \min(tw1, tw2)) \cdot 2 \max(tw1, tw2) + 2 \cdot B \cdot \min(tw1, tw2) \right) \cdot hw \cdot \gamma_c$$

$$Ww = 4097765.952 \text{ kgf}$$

4. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

Lado Largo:

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

Lado Corto:

$$\varepsilon' := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon' = 0.6998$$

5. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, h_i :

Lado largo

$$\begin{aligned} \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} < 1.333 \right) & \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{L}{HL} \geq 1.333 \right) & \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{aligned}$$

$$h_i := \begin{cases} \frac{L}{HL} < 1.333 \\ \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{L}{HL} \right) \cdot HL \\ \text{else if } \frac{L}{HL} \geq 1.333 \\ 0.375 \cdot HL \end{cases}$$

$$h_i = 3.75 \text{ m}$$

Lado corto

$$\begin{aligned} \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} < 1.333 \right) & \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \\ \text{Para tanques con } \left(\frac{B}{HL} \geq 1.333 \right) & \text{-----} \frac{h_i}{HL} = 0.375 \end{aligned}$$

$$hi' := \begin{cases} \text{if } \frac{B}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \frac{B}{HL} \right) \cdot HL \right. \\ \text{else if } \frac{B}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 \cdot HL \right. \end{cases}$$

$$hi' = 3.75 \text{ m}$$

6. Cálculo del peso convectivo, Wc :

Lado largo: Wc'

$$Wc' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{L}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)$$

$$Wc' = 1940087.197714 \text{ kgf}$$

Lado corto: Wc''

$$Wc'' := WL \cdot \left(0.264 \cdot \left(\frac{B}{HL} \right) \right) \cdot \tanh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B} \right) \right)$$

$$Wc'' = 1940087.197714 \text{ kgf}$$

7. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, hc

Lado largo: hc'

$$hc' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \sinh \left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{L} \right) \right)} \right)$$

$$hc' = 5.832854 \text{ m}$$

Lado corto: hc''

$$hc'' := HL \cdot \left(1 - \frac{\cosh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right) - 1}{3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right) \sinh\left(3.16 \cdot \left(\frac{HL}{B}\right)\right)} \right)$$

$$hc'' = 5.832854 \text{ m}$$

8. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, Kc

Lado largo: Kc'

$$Kc' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right) \right)^2$$

$$Kc' = 281163.968595 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Lado corto: Kc''

$$Kc'' := 0.833 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{B}\right) \right)^2$$

$$Kc'' = 281163.968595 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

9. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva, ωi :

Lado largo: $\omega i'$

$$mi' := \frac{Wi'}{g} \quad mi' = 2169264.772394 \text{ kg}$$

$$mw := \frac{Ww}{g} \quad mw = 4097765.116288 \text{ kg}$$

$$m' := mw + mi'$$

$$m' = 6267029.888682 \text{ kg}$$

$$\omega i' := \sqrt{\frac{Kc'}{m'}}$$

$$\omega i' = 0.663299 \frac{1}{s}$$

Lado corto: $\omega i''$

$$m i'' := \frac{W i''}{g} \quad m i'' = 2169264.772394 \text{ kg}$$

$$m w := \frac{W w}{g} \quad m w = 4097765.116288 \text{ kg}$$

$$m'' := m w + m i'$$

$$m'' = 6267029.888682 \text{ kg}$$

$$\omega i'' := \sqrt{\frac{K c''}{m''}}$$

$$\omega i'' = 0.663299 \frac{1}{s}$$

10. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

Lado largo: T_i'

$$T_i' := \frac{2 \pi}{\omega i'}$$

$$T_i' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i' = 9.47263 \text{ s}$$

Lado corto: T_i''

$$T_i'' := \frac{2 \pi}{\omega i''}$$

$$T_i'' = 2 \pi * \sqrt{\frac{m'}{K c'}}$$

$$T_i'' = 9.47263 \text{ s}$$

11. Cálculo del factor, λ

Lado largo: λ'

$$\lambda' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda' = 9.664071$$

Lado corto: λ''

$$\lambda'' = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' := \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.16 \cdot \frac{HL}{L}\right)}$$

$$\lambda'' = 9.664071$$

12. Cálculo de frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ωc :

Lado largo: $\omega c'$

$$\omega c' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c' = 2.160952$$

Lado corto: $\omega c''$

$$\omega c'' = \frac{\lambda'}{\sqrt{L}}$$

$$\omega c'' := \frac{\lambda'}{\sqrt{\frac{L}{m}}}$$

$$\omega c'' = 2.160952$$

13. Cálculo periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c

Lado largo: $\omega c'$

$$Tc' := \frac{2 \pi}{\omega c'} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc' = 2.907601 \quad s$$

Lado corto: $\omega c''$

$$Tc'' := \frac{2 \pi}{\omega c''} \quad Tc = \left(\frac{2 \pi}{\lambda} \right) * \sqrt{L}$$

$$Tc'' = 2.907601 \quad s$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO RECTANGULAR DE VOLUMEN $4000 m^3$ (RC-07):

Peso del agua $WL = 4000000 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi' = 2169265.214801 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 3.75 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc' = 1940087.197714 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc' = 5.832854 \text{ m}$

**Rigidez del resorte
equivalente para la masa
convectiva** $Kc' = 281163.968595 \frac{kgf}{m}$

**Frecuencia de vibración
para la masa impulsiva** $\omega i' = 0.663299 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración
para la masa impulsiva** $Ti' = 9.47263 s$

Factor $\lambda' = 9.664071$

**Frecuencia circular de vibración
para la masa convectiva** $\omega c' = 2.160952 \frac{1}{s}$

**Periodo natural de vibración para
la masa convectiva** $Tc' = 2.907601 s$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 50

m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{m}{s^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{kgf}{m^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 2.50 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 5.00 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 2.5 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw): $tw := 30 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (hd): $hd := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (hs): $hs := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (hw): $hw := 2.85 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 7 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 1 \text{ m}$

Radio interior (rd): $rd := 3.65 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 49087.385212 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 26620.889307 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 0.9375 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 21469.141828 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 1.891663 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, K_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 14839.18594 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 11.811 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 8.202 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.558104$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{\frac{Ec \cdot g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{Ec'}{\text{psi}} \cdot \frac{g \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}{\text{psi}}}$$

$$\omega_i = 2353.38281 \text{ 1/s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.00267 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 16.404 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 2.619647$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 2.398$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN $50 m^3$ (RC-01):

Peso del agua $WL = 49087.385212 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 26620.889307 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 0.9375 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 21469.142 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 1.8917 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 14839.18594 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.558104$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 2353.38281 \frac{1}{s}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.00267 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 2.619647 \frac{1}{s}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 2.398486 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 100

m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{m}{s^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{kgf}{m^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 3.15 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 6.30 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 3.15 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (t_w): $t_w := 30 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (h_d): $h_d := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (h_s): $h_s := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (h_w): $h_w := 3.45 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 10 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 1.27 \text{ m}$

Radio interior (r_d): $r_d := 4.60 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 98193.227282 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 53251.788068 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 1.18125 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 42946.356053 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 2.383496 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, k_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 23558.691598 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 11.811 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 10.335 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.497198$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{\frac{Ec \cdot g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{Ec'}{\text{psi}} \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}{\text{psi}}}$$

$$\omega_i = 1663.936541 \quad 1/\text{s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.003776 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 20.669 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 2.333767$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 2.692$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 100 m^3 (RC-02):

Peso del agua $WL = 98193.227282 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 53251.788068 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.18125 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 42946.356 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 2.3835 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 23558.691598 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.497198$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 1663.936541 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.003776 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 2.333767 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 2.692293 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 250

m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{m}{s^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{kgf}{m^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 3.15 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 6.30 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 3.15 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw): $tw := 30 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (hd): $hd := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (hs): $hs := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (hw): $hw := 3.45 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 10 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 1.27 \text{ m}$

Radio interior (rd): $rd := 4.60 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 98193.227282 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 53251.788068 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 1.18125 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 42946.356053 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 2.383496 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, k_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 23558.691598 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 11.811 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 10.335 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.497198$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{Ec' \cdot \frac{g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{Ec' \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\text{psi}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}$$

$$\omega_i = 1663.936541 \quad 1/\text{s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.003776 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 20.669 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 2.333767$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 2.692$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 100 m^3 (RC-02):

Peso del agua $WL = 98193.227282 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 53251.788068 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 1.18125 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 42946.356 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 2.3835 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 23558.691598 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.497198$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 1663.936541 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.003776 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 2.333767 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 2.692293 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 500

m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{kgf}{cm^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{kgf}{cm^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{m}{s^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{kgf}{m^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{kgf}{m^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 5.40 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 10.80 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 5.40 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw): $tw := 50 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (hd): $hd := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (hs): $hs := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (hw): $hw := 5.70 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 20 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 2.17 \text{ m}$

Radio interior (rd): $rd := 7.90 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 494687.745605 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 268277.229682 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 2.025 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 216359.484723 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 4.085993 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, k_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 69233.705921 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 19.685 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 17.717 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.490244$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{Ec' \cdot \frac{g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{Ec' \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\text{psi}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}$$

$$\omega_i = 957.05374 \quad 1/\text{s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.006565 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 35.433 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 1.782444$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 3.525$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 100 m^3 (RC-02):

Peso del agua $WL = 494687.745605 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 268277.229682 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 2.025 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 216359.485 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 4.086 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 69233.705921 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.490244$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 957.05374 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.006565 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 1.782444 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 3.525039 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 1000 m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 6.85 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 13.70 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 6.85 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw): $tw := 65 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (hd): $hd := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (hs): $hs := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (hw): $hw := 7.15 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 25 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 2.73 \text{ m}$

Radio interior (rd): $rd := 9.90 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 1009767.961823 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 547613.628651 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 2.56875 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 441637.937973 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 5.183157 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, K_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 111406.672362 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 25.591 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 22.474 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.49629$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{Ec' \cdot \frac{g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{Ec' \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\text{psi}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}$$

$$\omega_i = 763.77033 \quad 1/\text{s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.008227 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 44.948 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 1.582587$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 3.97$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 1000 m^3 (RC-05):

Peso del agua $WL = 1009767.961823 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 547613.628651 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 2.56875 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 441637.938 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 5.1832 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 111406.672362 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.49629$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 763.77033 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.008227 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 1.582587 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 3.9702 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 2000 m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 8.60 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 17.20 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 8.60 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (tw): $tw := 80 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (hd): $hd := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (hs): $hs := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (hw): $hw := 7.15 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 30 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 3.44 \text{ m}$

Radio interior (rd): $rd := 12.47 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 1998228.856872 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 1083672.087606 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 3.225 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 873956.894368 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 6.507322 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, K_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 175600.990738 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 31.496 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 28.215 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.491383$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{Ec' \cdot \frac{g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{Ec' \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\text{psi}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}$$

$$\omega_i = 602.336636 \text{ 1/s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.010431 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 56.43 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 1.412419$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 4.449$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 2000 m^3 (RC-06):

Peso del agua $WL = 1998228.856872 \text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 1083672.087606 \text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 3.225 \text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 873956.894 \text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 6.5073 \text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 175600.990738 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.491383$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 602.336636 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.010431 \text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 1.412419 \frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 4.448528 \text{ s}$

I. PROPIEDADES DINAMICAS DEL RESERVORIO CIRCULAR CON VOLUMEN DE 4000 m^3

Resistencia del concreto f_c : $f'_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Modulo de elasticidad (E_c): $E_c := 252671.328 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Aceleración de la gravedad (g): $g := 9.806652 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Densidad del concreto (γ_c): $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Densidad del agua (γ_w): $\gamma_w := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Dimensiones del tanque (condición tanque lleno)

Altura del líquido (HL): $HL := 10.85 \text{ m}$

Diámetro interior del tanque (D): $D := 21.70 \text{ m}$

Radio del tanque (R): $R := 10.85 \text{ m}$

Parámetros de muros, losa de fondo y techo

Espesor del muro (t_w): $t_w := 100 \text{ cm}$

Espesor de losa techo (domo) (h_d): $h_d := 0.1 \text{ m}$

Espesor de losa fondo (h_s): $h_s := 0.15 \text{ m}$

Altura del muro + viga (h_w): $h_w := 11.15 \text{ m}$

Peralte de la viga (h): $h := 40 \text{ cm}$

Flecha (f): $f := 4.34 \text{ m}$

Radio interior (r_d): $r_d := 15.72 \text{ m}$

1. Cálculo del peso del agua, WL

$$WL := \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot HL}{4} \right) \gamma_w$$

$$WL = 4012722.13161 \text{ kgf}$$

2. Cálculo peso impulsivo del agua, Wi

$$Wi := \left(\frac{\left(\tanh \left(0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \right)}{0.866 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)} \right) \cdot WL$$

$$Wi = 2176164.634191 \text{ kgf}$$

3. Cálculo del coeficiente de masa efectiva, ε :

$$\varepsilon = \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0$$

$$\varepsilon := \begin{cases} \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \leq 1.0 \\ \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) \\ \text{else if } \left(0.0151 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right)^2 - 0.1908 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) + 1.021 \right) > 1 \\ 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon = 0.6998$$

4. Cálculo de la posición de la masa impulsiva con respecto a la base, hi:

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} < 1.333 \quad \text{----- } hi = \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \right) \cdot HL$$

$$\text{Para tanques con } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \quad \text{----- } hi = 0.375 \cdot HL$$

$$h_i := \begin{cases} \text{if } \frac{D}{HL} < 1.333 \\ \left\| \left(0.5 - 0.09375 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot HL \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{D}{HL} \geq 1.333 \\ \left\| 0.375 HL \right\| \end{cases}$$

$$h_i = 4.06875 \text{ m}$$

5. Cálculo del peso convectivo, W_c

$$W_c := WL \cdot \left(0.230 \cdot \left(\frac{D}{HL} \right) \cdot \tanh \left(3.68 \left(\frac{HL}{D} \right) \right) \right)$$

$$W_c = 1755027.288313 \text{ kgf}$$

6. Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base, h_c :

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

$$h_c = 8.209819 \text{ m}$$

7. Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva, k_c .

$$K_c := 0.836 \cdot \frac{WL}{HL} \cdot \left(\tanh \left(3.68 \cdot \frac{HL}{D} \right) \right)^2$$

$$K_c = 279504.970689 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

8. Cálculo del coeficiente C_w :

$$C_w := 0.09375 + 0.2039 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right) - 0.1034 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^2 - 0.1253 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^3 + 0.1267 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^4 - 0.03186 \cdot \left(\frac{HL}{D} \right)^5$$

$$C_w = 0.161111$$

9. Cálculo del coeficiente Ci:

Donde:

tw' en pulgadas

r' en pies

$$tw' := tw$$

r'

$$tw' = 39.37 \text{ in}$$

$$r' := R$$

$$r' = 35.597 \text{ ft}$$

$$Cl = Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{tw'}{12 \cdot r'}}$$

$$Cl := Cw \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{\frac{tw'}{\text{in}}}{12 \cdot \frac{r'}{\text{ft}}}}$$

$$Cl = 0.489113$$

10. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa impulsiva , ω_i :

$$Ec' := Ec$$

$$Ec' = 3593831.04201 \text{ psi}$$

$$g' := g$$

$$g' = 32.174055 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma c' := \gamma c$$

$$\gamma c' = 149.827105 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\omega_i = Cl \cdot \frac{12}{HL} \cdot \sqrt{Ec' \cdot \frac{g}{\gamma c}}$$

$$\omega_i := Cl \cdot \frac{12}{\frac{HL}{m}} \cdot \sqrt{\frac{Ec' \cdot \frac{g' \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{ft}}}{\text{psi}}}{\gamma c' \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}}$$

$$\omega_i = 475.222894 \text{ 1/s}$$

11. Calculo periodo natural de vibración para la masa impulsiva, T_i

$$T_i := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i}$$

$$T_i = 0.013222 \text{ s}$$

12. Calculo del factor, λ :

Donde:

g en pies/ s^2

$$\lambda = \sqrt{3.68 \cdot g \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{HL}{D}\right)\right)}$$

$$\lambda := \sqrt{3.68 \cdot g' \cdot \frac{s^2}{ft} \cdot \tanh\left(3.68 \cdot \left(\frac{\frac{HL}{m}}{\frac{D}{m}}\right)\right)}$$

$$\lambda = 10.61012$$

13. Cálculo de la frecuencia circular de vibración para la masa convectiva ω_c :

$$D' := D$$

$$D' = 71.194 \text{ ft}$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c := \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{D'}{ft}}}$$

$$\omega_c = 1.257471$$

14. Cálculo del periodo natural de vibración para la masa convectiva, T_c :

$$T_c := \frac{2 \pi}{\omega_c}$$

$$T_c = \left(\frac{2 \pi}{\lambda}\right) \sqrt{D}$$

$$T_c = 4.997$$

RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE RESERVORIO CIRCULAR DE VOLUMEN 4000 m^3 (RC-07):

Peso del agua $WL = 4012722.13161\text{ kgf}$

Peso impulsivo del agua $Wi = 2176164.634191\text{ kgf}$

Coefficiente de masa efectiva $\varepsilon = 0.6998$

Posición de la masa impulsiva con respecto a la base $hi = 4.06875\text{ m}$

Peso convectivo $Wc = 1755027.288\text{ kgf}$

Posición de masa convectiva con respecto a la base $hc = 8.2098\text{ m}$

Rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva $Kc = 279504.970689\frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Coefficiente $Cw = 0.161111$

Coefficiente $Cl = 0.489113$

Frecuencia de vibración para la masa impulsiva $\omega i = 475.222894\frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa impulsiva $Ti = 0.013222\text{ s}$

Factor $\lambda = 10.61012$

Frecuencia circular de vibración para la masa convectiva $\omega c = 1.257471\frac{1}{\text{s}}$

Periodo natural de vibración para la masa convectiva $Tc = 4.996685\text{ s}$



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, JORGE LUIS MEZA RIVAS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - HUARAZ, asesor de Tesis titulada: "Geometría y respuesta sísmica en reservorios apoyados de concreto armado en la ciudad de Chimbote. 2022", cuyo autor es GARRO ESPINOZA NESTOR DAMASCENO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 22.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

HUARAZ, 14 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE LUIS MEZA RIVAS DNI: 17902304 ORCID: 0000-0002-4258-4097	Firmado electrónicamente por: JLMEZAR el 14-12- 2022 06:30:47

Código documento Trilce: TRI - 0487203