

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN
RESERVORIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO DE CUBA
DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULAR, APLICANDO LA
NORMATIVA NORTEAMERICANA -TACNA 2019”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Br. Henry Martinez Cahui

TACNA-PERÚ

2019

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis/Trabajo de investigación


“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN RESERVORIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO DE CUBA DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULAR, APLICANDO LA NORMATIVA NORTEAMERICANA -TACNA 2019”

Tesis sustentada y aprobada el 28 de junio del 2019; estando el jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE:


Mtro. Ing. Edgar Hipólito Chaparro Quispe

SECRETARIO:


Mtro. Ing. Wilber Percy Mendoza Ramírez

VOCAL:


Mtro. Ing. Giancarlos Javier Machaca Frias

ASESOR:


Ing. Luis Enrique Valle Castro

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Henry Martinez Cahui, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado(a) con DNI 74294672.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:
“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN RESERVORIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO DE CUBA DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULAR, APLICANDO LA NORMATIVA NORTEAMERICANA -TACNA 2019”
la misma que presento para optar:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados ni duplicados, ni copiados.

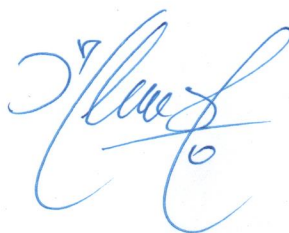
Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentado. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con

motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha : Tacna, 28 de junio del 2019

Firma :

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Henry Martinez Cahui', written in a cursive style.

Nombres y apellidos : Henry Martinez Cahui

DNI : 74294672

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por permitirme llegar hasta este momento trascendental.

A mis padres, Cristina y Silverio a mi hermana Leidi Diana por sus consejos y apoyo constante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada de Tacna y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por sus enseñanzas impartidas que me permitieron desarrollarme en mi formación académica.

Quiero agradecer al asesor Ing. Luis Valle Castro por su orientación y consejos en el desarrollo de la investigación.

Agradezco a todos los profesores de la I.E Aurelia Arce Vildoso que mostraron su preocupación y dedicación para seguir adelante en este camino del conocimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. PREGUNTA GENERAL	3
1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. HIPÓTESIS	4
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	4
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	5
2.1.1. internacionales	5
2.1.2. NACIONALES	7
2.2. BASES TEÓRICAS	9
2.2.1. LOS SISMOS	9
2.2.2. LOS SISMOS Y SUS CAUSAS	10
2.2.2.1. ESTRUCTURA DE LA TIERRA Y LA TECTÓNICA DE PLACAS	10
2.2.3. Ondas sísmicas	13
2.2.4. Reservorios elevados	14
2.2.4.1. TIPO DE reservorios elevados	14

2.2.5. Método de housner.....	17
2.2.5.1. Modelo mecánico para reservorios elevados.....	17
2.2.5.2. Modelo matemático para reservorio y/o tanques circulares.....	18
2.2.5.3. Modelo matemático para reservorio y/o tanques rectangulares.....	19
2.2.6. ANÁLISIS DINÁMICO MODAL.....	20
2.2.7. NORMATIVa americana para análisis sísmico DINÁMICO de reservorios elevados.....	21
2.2.7.1. caracteríSTICAS DINáMICAs.....	21
2.2.7.2. PARÁMETROS SíSMICOS.....	25
2.2.7.3. P-seudo aceleraciÓn espectral.....	28
2.2.7.4. COMBINACIONES DE CARGAS.....	29
2.2.7.5. Factor de durabilidad.....	30
2.3. DEFINICIÓn DE TÉRMINOS.....	30
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	33
3. MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓn.....	33
3.1.1. Tipo de investigaciÓn.....	33
3.1.2. Nivel de investigaciÓn.....	33
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓn.....	33
3.3. POBLACIÓn Y/O MUESTRA DE ESTUDIO.....	33
3.3.1. POBLACIÓn.....	33
3.3.2. MUESTRA DE ESTUDIO.....	34
3.4. OPERACIONALIZACIÓn DE VARIABLES.....	35
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓn DE DATOS.....	35
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	36
4. RESULTADOS.....	36
4.1. RESULTADO DEL ANÁLISIS EN LA DIRECCIOn XX.....	36
4.1.1. ANálISIS MODAL.....	36
4.1.1.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓn CIRCULAR.....	36
4.1.1.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓn RECTANGULAR L/B=0.5.....	37
4.1.1.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓn RECTANGULAR L/B=0.75.....	38
4.1.1.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓn CUADRADA L/B=1.....	39
4.1.2. TENSIÓn ANULAR F11.....	40
4.1.2.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓn CIRCULAR.....	40

4.1.2.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	41
4.1.2.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$	42
4.1.2.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA $L/B=1$	43
4.1.2.5. GRÁFICO COMPARATIVO DE LA TENSIÓN ANULAR.....	44
4.1.3. MOMENTOS EN LA PARED DE LA CUBA M22	44
4.1.3.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR	44
4.1.3.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	45
4.1.3.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$	46
4.1.3.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA $L/B = 1$	47
4.1.3.5. GRÁFICO COMPARATIVO DEL MOMENTO A FLEXIÓN	48
4.1.4. esfuerzo CORTANTE EN LA PARED DE LA CUBA V23.....	49
4.1.4.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN Circular	49
4.1.4.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN rectangular $L/B = 0.5$	50
4.1.4.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN rectangular $L/B = 0.75$	51
4.1.4.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA $L/B = 1$	52
4.1.4.5. GRÁFICO COMPARATIVO DE FUERZA DE CORTE.....	53
4.1.5. DESPLAZAMIENTOS	53
4.1.5.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN Circular	53
4.1.5.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	54
4.1.5.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN Circular $L/B=0.75$	54
4.1.5.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA $L/B=1$	55
4.2. RESULTADO DEL ANÁLISIS EN LA DIRECCIÓN YY	56
4.2.1. Análisis modal	56
4.2.1.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	56
4.2.1.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$	57
4.2.2. TENSIÓN ANULAR F11	58
4.2.2.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	58
4.2.2.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$	59
4.2.2.3. GRÁFICO COMPARATIVO DE LA TENSIÓN ANULAR.....	60
4.2.2.4. MOMENTOS EN LA PAREDE DE LA CUBA M22 RESERVORIO	60
4.2.2.5. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	60
4.2.2.6. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$	61
4.2.2.7. GRÁFICO COMPARATIVO DEL MOMENTO FLECTOR	62
4.2.3. FUERZA CORTANTE EN LA PARED DE LA CUBA V23.....	63
4.2.3.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$	63

4.2.3.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75	64
4.2.3.3. GRÁFICO COMPARATIVO DE FUERZA DE CORTE	65
4.2.4. DESPLAZAMIENTOS	65
4.2.4.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5	65
4.2.4.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75	66
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS MÁXIMOS DE LOS RESERVORIOS ELEVADOS	67
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	68
5. DISCUSIÓN	68
5.1. CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	68
5.1.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	68
5.1.2. HIPÓTESIS GENERAL	71
5.2. CONCLUSIONES	75
5.3. RECOMENDACIONES	76
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
Bibliografía	77
7. ANEXO	80
7.1. ANEXO A – MATRIZ DE CONSISTENCIA	80
7.2. ANEXO B-MODELAMIENTO SÍSMICO DE RESERVORIO ELEVADO –SECCION CIRCULAR	81
7.3. ANEXO C- MODELAMIENTO SÍSMICO DE RESERVORIO ELEVADO –SECCIÓN RECTANGULAR DIRECCION XX.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Factor de zona “Z”	25
Tabla 2.Factor de suelo "S"	26
Tabla 3.Períodos T_p y T_l	26
Tabla 4.Amortiguamiento y factor de coeficiente sísmico.....	27
Tabla 5.Factor de categoría de la estructura.....	27
Tabla 6.Coficiente de reducción de la fuerza sísmica	28
Tabla 7.Valores de Seudo aceleración espectral	28
Tabla 8.Operacionalización de variables.....	35
Tabla 9.Períodos y porcentaje de participación de masa-sección circular xx	36
Tabla 10.Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=0.5 xx	37

Tabla 11. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección $L/B=0.75$ xx	38
Tabla 12. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección $L/B=1$ xx	39
Tabla 13. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección circular.....	40
Tabla 14. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	41
Tabla 15. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$	42
Tabla 16. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=1$	43
Tabla 17. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección circular.....	44
Tabla 18. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	45
Tabla 19. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$	46
Tabla 20. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=1$	47
Tabla 21. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección circular.....	49
Tabla 22. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	50
Tabla 23. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$	51
Tabla 24. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=1$	52
Tabla 25. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección $L/B=0.5$ yy	56
Tabla 26. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección $L/B=0.75$ yy	57
Tabla 27. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	58
Tabla 28. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$	59
Tabla 29. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	60
Tabla 30. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$	61
Tabla 31. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.5$	63

Tabla 32.Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.75.....	64
Tabla 33.Resumen de valores máximo de los esfuerzos, desplazamientos y periodos	67
Tabla 34.Matriz de consistencia.....	80
Tabla 35.Distribución de la rigidez convectiva sección circular	83
Tabla 36.Espectro de diseño	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Estructura estratificada de la tierra.....	10
Figura 2.Bordes de placas tectónicas	12
Figura 3.Clasificación general de reservorios de almacenamiento	14
Figura 4.Reservorio elevado I.E Francisco Antonio de Zela.....	15
Figura 5.Reservorio elevado I.E. Coronel Bolognesi.....	15
Figura 6.Reservorio elevado EPS Tacna	16
Figura 7.Reservorio elaborado Hospital de la Solidaridad Tacna	16
Figura 8.Reservorio elevado Instituto Superior Vigil Tacna	17
Figura 9.Modelo mecánico Housner	17
Figura 10.(a)Modelo mecánico equivalente,(b)Modelo de dos masas.....	20
Figura 11.Espectro de respuesta de un reservorio elevado	29
Figura 12.Fuerza anular F11 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx.....	40
Figura 13.Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección xx.....	41
Figura 14.Fuerza anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección xx.....	42
Figura 15.Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=1 - Dirección xx.....	43
Figura 16.Gráfico comparativos de la variación de la tensión anular vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX.....	44
Figura 17.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx.....	45
Figura 18.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección xx.....	46

Figura 19.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.75$ - Dirección xx.....	47
Figura 20.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=1$ - Dirección xx.....	48
Figura 21.Gráfico comparativos de la variación del momento vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX.....	48
Figura 22.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx.....	49
Figura 23.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección xx.....	50
Figura 24.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.75$ - Dirección xx.....	51
Figura 25.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=1$ - Dirección xx.....	52
Figura 26.Gráfico comparativos de la variación de la fuerza cortante vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX.....	53
Figura 27.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección circular- Dirección xx.....	53
Figura 28.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección xx.....	54
Figura 29.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección $L/B=0.75$ - Dirección xx.....	54
Figura 30.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección $L/B=1$ - Dirección xx.....	55
Figura 31.Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de $L/B=0.5$ - Dirección YY.....	58
Figura 32.Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de $L/B=0.75$ - Dirección YY.....	59
Figura 33.Gráfico comparativos de la variación de la tensión anular vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY.....	60
Figura 34.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección YY.....	61
Figura 35.Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.75$ - Dirección YY.....	62
Figura 36.Gráfico comparativos de la variación del momento vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY.....	62

Figura 37.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección YY.....	63
Figura 38.Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección YY.....	64
Figura 39.Gráfico comparativos de la variación de la fuerza cortante vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY.....	65
Figura 40.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección YY.....	65
Figura 41.Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección YY.....	66
Figura 42.Distribución de tensión anular F11 – Sección circular.....	68
Figura 43.Distribución de la tensión anular F11 – Sección rectangular.....	69
Figura 44.Distribución de momentos M22 - Sección circular.....	69
Figura 45.Distribución de momentos M22 - Sección rectangular.....	70
Figura 46.Distribución de la fuerza cortante V23 - Sección circular.....	70
Figura 47.Distribución de la fuerza cortante V23 - Sección rectangular.....	71
Figura 48.Espectro de diseño.....	87
Figura 49.Programa SAP 2000.....	88
Figura 50.Información de la grilla -coordinada cilíndrica.....	88
Figura 51.Creación de material concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	89
Figura 52.Creación de sección columna 0.5mx0.5m.....	89
Figura 53.Creación de sección viga 0.5mx0.5m.....	90
Figura 54.Creación de sección -cuba $e=0.25\text{m}$	90
Figura 55.Creación de sección -losa inferior $e=0.25\text{m}$	91
Figura 56.Creación de sección - losa superior $e=0.15\text{m}$	91
Figura 57.Reservorio elevado de sección circular en SAP 2000.....	92
Figura 58.Restricción de nudos en la base-empotramiento.....	92
Figura 59.Creación de patrones de cargas.....	93
Figura 60.Espectro de diseño para análisis sísmico.....	93
Figura 61.Creación de Joint Pattern para asignación de la presión de agua.....	94
Figura 62.Elaboración de la función de presión de agua.....	94
Figura 63.Asignación de la presión de agua.....	95
Figura 64.Resultado de la asignación de la presión de agua.....	95
Figura 65.Creación de resorte para masa convectiva.....	96
Figura 66.Asignación de valor a propiedad de resorte.....	96
Figura 67.Asignación de rigidez al resorte.....	97

Figura 68. Asignación de masa convectiva -dirección XX	97
Figura 69. Resortes y masa convectiva asignada	98
Figura 70. Asignación de masa impulsiva a las paredes de la cuba.....	98
Figura 71. Masa impulsiva asignada.....	99
Figura 72. Asignación de coeficiente de masa efectiva.....	99
Figura 73. Caso de carga sxx	100
Figura 74. Designación de caso de carga para sismoxx	100
Figura 75. Asignación de la cantidad de modos.....	101
Figura 76. Combinaciones de cargas.....	101
Figura 77. Asignación de la masa.....	102
Figura 78. Programa SAP2000	105
Figura 79. Información de la grilla-coordenada cilíndrica	106
Figura 80. Creación de material concreto $f'c=280$ Kg/cm ²	106
Figura 81. Creación de sección columna 0.5m x 0.5m.....	107
Figura 82. Creación de sección viga 0.5m x 0.5m.....	107
Figura 83. Creación de sección-cuba $e=0.25$ m.....	108
Figura 84. Creación de sección-losa inferior $e=0.25$ m	108
Figura 85. Creación de sección-losa superior $e=0.15$ m	109
Figura 86. Reservorio elevado de sección rectangular $L/B=0.75$ en SAP 2000.....	109
Figura 87. Restricción de nudos en la base-empotramiento.....	110
Figura 88. Creación de patrones de cargas.....	110
Figura 89. Espectro de diseño para análisis sísmico.....	111
Figura 90. Creación de Joint Pattern para asignación de la presión de agua	111
Figura 91. Elaboración de la función de presión de agua.....	112
Figura 92. Asignación de la presión de agua	112
Figura 93. Resultado de la asignación de la presión de agua	113
Figura 94. Creación de resorte para masa convectiva	113
Figura 95. Asignación de valor a propiedad de resorte	114
Figura 96. Asignación de rigidez al resorte	114
Figura 97. Asignación de masa convectiva-dirección XX.....	115
Figura 98. Resorte y masa convectiva asignada.....	115
Figura 99. Asignación de masa impulsiva a las paredes de la cuba.....	116
Figura 100. Masa impulsiva asignada.....	116
Figura 101. Asignación de coeficiente de masa efectiva.....	117
Figura 102. Caso de carga sismoxx.....	117
Figura 103. Asignación de caso de carga para sismo en dirección XX	118

Figura 104.Asignación de la cantidad modos.....	118
Figura 105.Combinaciones de cargas.....	119
Figura 106.Asignación de masa.....	119

RESUMEN

La presente investigación “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN RESERVORIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO DE CUBA DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULAR, APLICANDO LA NORMATIVA NORTEAMERICANA -TACNA 2019” se realizó con el objetivo de comparar el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana ACI.03-03 “Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures” y parámetros de sitio de la normativa peruana E 030 “Diseño Sismorresistente”. Se consideró para la investigación cuatro reservorios elevados de 35 m³ de sección circular, sección rectangular L/B=0.5, sección rectangular L/B=0.75 y sección cuadrada L/B=1. El modelamiento sísmico se realizó mediante el programa SAP 2000 obteniendo así los esfuerzos, desplazamientos y períodos permitiendo concluir que los reservorios elevados de concreto armado de cuba de sección circular tienen un mejor comportamiento sísmico en comparación a los de sección rectangular, mediante los siguientes resultados obtenidos; los esfuerzos de tensión anular en la sección rectangular tienen un incremento máximo de 33.73% respecto a la sección circular, los momentos positivos de las secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 93.90% , los momentos negativos de la secciones rectangulares tiene un decremento máximo de 14.11% respecto a la sección circular, los esfuerzos de corte en las secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 58.51%, los desplazamientos de los reservorios elevados de secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 11.42% respecto al reservorio elevado de sección circular y los periodos convectivos e impulsivos de los reservorios elevados de secciones rectangulares tienen un incremento de 13.65% y 12.14% respectivamente, respecto al reservorio elevado de sección circular.

Palabras claves: Comportamiento sísmico, reservorio elevado, esfuerzo, desplazamiento, período

ABSTRACT

The present investigation EVALUATION OF THE SEISMIC BEHAVIOR OF AN ELEVATED RESERVOIR OF REINFORCED CONCRETE OF CIRCULAR AND RECTANGULAR SECTION, APPLYING THE NORMATIVE AMERICAN -TACNA 2019 was carried out with the objective of comparing the seismic behavior of an elevated reservoir of reinforced concrete of circular section against another one of rectangular section by means of the application of the North American Normative ACI.03-03 "Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures" and site parameters of the Peruvian Norm E 030 "Seismic Resistant Design". The investigation considered four elevated reservoirs of 35 m³ circular section, section L/B=0.5, section L/B=0.75 and section L/B=1. The seismic modeling was carried out with the SAP 2000 program, thus obtaining the stresses, displacements and periods allowing to conclude that the elevated reinforced concrete reservoirs of circular section tanks have a better seismic behavior compared to those of rectangular section, by means of the following results obtained; the internal forces of annular tension in the rectangular section have a maximum increase of 33.73% with respect to the circular section, the positive moments of the rectangular sections have a maximum increase of 93.90%, the negative moments of the rectangular sections have a maximum decrease of 14.11% with respect to the circular section, shear forces in rectangular sections have a maximum increase of 58.51%, the displacements of the elevated reservoirs of rectangular sections have a maximum increase of 11.42% with respect to the elevated reservoir of circular section and the convective and impulsive periods of the elevated reservoirs of rectangular sections have an increase of 13.65% and 12.14% respectively, with respect to the elevated reservoir of circular section.

Keywords: Seismic behavior, elevated reservoir, stress, displacement, period.

INTRODUCCIÓN

Nuestro territorio peruano está constantemente propenso a desastres naturales como es el caso de los sismos, por encontrarse en el cinturón de fuego, la región de Tacna dentro del territorio peruano presenta un alto riesgo sísmico por tal razón las estructuras deben tener un buen comportamiento sísmico como son los reservorios elevados de concreto armado distinguiéndose en la región de Tacna dos tipos más usados de reservorios elevados, la de sección circular y la otra de sección rectangular con la proliferación de esta última. Los profesionales como son los ingenieros analizan y diseñan estructuras teniendo en cuenta la normativa peruana E030 "Diseño Sismo resistente" del reglamento nacional de edificaciones, pero para estructuras especiales como los reservorios de almacenamiento no presentan consideraciones para el análisis y diseño de dichas estructuras, que son de importancia debido a uno de sus funciones principales el de abastecimiento de agua potable en asentamientos urbanos, siendo así de gran importancia que los reservorios elevados mantengan su funcionalidad ante eventos sísmicos. Al no contar con una norma peruana que nos permita analizar y diseñar reservorios de almacenamiento recurrimos a normas internacionales como Estándar ACI 350.3 – 2006 (USA), Reglamento IBC 2012, ASCE 2010 (USA), Reglamento NZSEE 2008 (Nueva Zelanda), Reglamento EUROCÓDIGO 8 – 2004 (Europa), Reglamento IITK – GSDMA – 2007 (India), etc. tales normas toman como punto de partida la investigación hechas por el ingeniero George W. Housner que plantea un modelo simplificado para el análisis de reservorios de almacenamiento.

La presente investigación aborda la evaluación comparativa del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular frente a otra de sección rectangular mediante la aplicación de una de las normativas internacionales como es la normativa norteamericana ACI 350.-06 teniendo en cuenta algunos parámetros de sitio considerado en la normativa peruana E 030, comprobando así la hipótesis realizada, los reservorios elevados de sección circular tienen un mejor comportamiento sísmico en comparación a los reservorios elevados de sección rectangular.

Para llevar a cabo la investigación se ha estructurado en cinco capítulos:

En el capítulo I “Planteamiento del problema” Se describe la problemática del comportamiento sísmico de reservorios elevados de concreto armado de cuba sección circular y rectangular y se realiza la correspondiente hipótesis, justificación y objetivos

En el capítulo II” Marco teórico” se aborda las definiciones más importantes los sismos, los reservorios de almacenamiento, la teoría de Housner y los criterios para el análisis sísmico a través de la normativa norteamericana ACI 350.03-06 y los parámetros de sitio de la normativa peruana E030.

En el capítulo III “Marco metodológico” se describe el tipo de investigación, la identificación de variables, hasta centrarse en la metodología para la recolección de datos, su procesamiento y análisis de la información a través de la utilización de programas como el Excel y SAP 2000 (versión de prueba) para el procesamiento de resultados y modelamiento sísmico de los reservorios elevados respectivamente.

En el capítulo IV “Resultados” se muestran los resultados obtenidos del modelamiento sísmico realizado considerando los criterios de análisis presentes en la normativa norteamericana y parámetros de sitio de la normativa peruana.

En el capítulo V “Discusión” se realiza la contratación de las hipótesis específicas y la general para luego obtener las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad en la región de Tacna se viene ejecutando proyectos de edificaciones que incluyen estructuras como son los reservorios elevados de concreto armado, pudiendo observar distintos tipos entre los que destacan, los de cubas de sección circular y rectangular.

Tacna siendo una región de actividad sísmica requiere que las diferentes construcciones como son los tanques elevados sigan operando ante eventos sísmicos, debido a la importancia de la distribución de agua en la población, es tal el propósito de la presente investigación llegar a la conclusión de que tanque elevado se comporta mejor sísmicamente mediante la aplicación de la normativa norteamericana, de tal manera diseñar estructuras confiables, prevenir colapsos y fallas estructurales que generan pérdidas económicas y malestar en la población.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PREGUNTA GENERAL

¿Se podrá evaluar la diferencia del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado considerando el uso de una cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular aplicando la normativa norteamericana?

1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- ¿Cuál es el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular aplicando la normativa norteamericana?
- ¿Cuál es el comportamiento sísmico del reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular aplicando la normativa norteamericana?

1.3. JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACION CIENTÍFICA

La evaluación del comportamiento sísmico de los reservorios elevados nos permitirá conocer qué tipo de sección circular o rectangular se comporta mejor ante las sollicitaciones sísmicas.

JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Tras solucionar el problema planteado, Permitirá a los proyectistas y estudiantes tomar una mejor decisión en sus diseños de reservorio elevados.

JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Garantizar la seguridad de la población en la distribución de agua que contiene los reservorios elevados tras un evento sísmico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la diferencia en el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado considerando el uso de una cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.
- Analizar el comportamiento sísmico del reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los reservorios elevados de sección circular tienen un mejor comportamiento sísmico en comparación a los reservorios elevados de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular desarrollará un comportamiento uniforme en toda su sección mediante la aplicación de la normativa norteamericana.
- El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular desarrollará un comportamiento no uniforme en toda su sección.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Se indagaron las siguientes bibliografías en base a la investigación efectuada, tales como:

2.1.1. INTERNACIONALES

Según (Housner, 1957) en la publicación *THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA* denominado *DYNAMIC PRESSURES ON ACCELERATED FLUID CONTAINERS*, donde introdujo en el análisis de depósitos con fluidos las presiones impulsivas que están relacionadas a las fuerzas de inercia producida por movimientos impulsivos de las paredes del depósito y las presiones convectivas que están relacionadas a la oscilación del fluido, siendo el análisis de las presiones de manera separada.

Según (Housner, *The Dynamic Behavior of Water Tanks*, 1963) en la publicación *THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA* denominado *THE DYNAMIC BEHAVIOR OF WATER TANKS*, donde manifiesta la importancia del comportamiento de los reservorios de agua durante un terremoto y en base al terremoto sucedido en Chile en 1960, donde muchos reservorios elevados sufrieron graves daños, sostiene que se debe tener en cuenta la interacción del líquido con la estructura (reservorio elevado) y la estructura con relación al suelo. Cuando el líquido está completamente lleno de agua se considera en general una sola masa en la simplificación del modelado, pero cuando el líquido está parcialmente lleno la superficie del agua ante el movimiento sísmico producirá oscilaciones del agua y esto esencialmente hace que se considere dos masas en la simplificación del modelado.

(Doğangün & Livaoğlu, 2008) Manifestaron en *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* la investigación denominada *A COMPARATIVE STUDY OF THE SEISMIC ANALYSIS OF RECTANGULAR TANKS ACCORDING TO DIFFERENT CODES*. En la investigación se realizó análisis sísmicos de reservorios rectangulares considerando los requerimientos de los códigos sísmicos de EE.UU., La comunidad europea y los países de Europa central y Oriental. Se dieron las siguientes conclusiones importantes:

- Con la normativa ACI 350 se obtiene una masa impulsiva menor y una masa convectiva mayor que el EUROCODIGO 8.

- La distribución y magnitud de la presión hidrodinámica obtenida por el ACI 350 y el EUROCODIGO tienen gran similitud.
- Las diferencias entre las presiones hidrodinámicas dieron en la parte superior e inferior de la pared del reservorio.

(Martínez Contreras, 2008) Manifestó en el XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, mediante su investigación VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS PARA ALMACENAMIENTO lo siguiente:

- Los tanques elevados de almacenamiento que contengan por lo menos un eje de simetría, así como el centroide de la estructura de apoyo coincida con el centroide de la cuba restringiendo las excentricidades, mantendrá una geometría óptima.
- Para conocer los materiales y la configuración geométrica adecuada en los tanques elevados de almacenamiento es conveniente aplicar un modelo dinámico, ya que permite conocer el periodo y modo fundamental de vibración.
- Se logrará la operación normal de un tanque elevado de almacenamiento, así como poseer un estructura segura y económica ante un evento sísmico mientras se mantenga dentro de los límites aceptados por los reglamentos como los estados de servicio y de resistencia.

(Bhandari & Singh, 2014) Desarrollaron en la investigación publicada en *IJMER* ISSN denominado ECONOMIC DESIGN OF WATER TANK OF DIFFERENT SHAPES WITH REFERENCE TO IS: 3370 2009. Realizaron diseños comparativos de reservorios elevados de forma circular, cuadrada y rectangular basados en el código IS 3370 (2009), obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La cantidad de materiales necesarios a utilizar en cada uno de los reservorios (circular, cuadrada y rectangular) no son necesariamente proporcionales al aumento de sus capacidades.
- La cantidad de materiales utilizados en los reservorios rectangulares y cuadrados es superior al de los reservorios circulares.
- Los resultados muestran que el encofrado a utilizar es mínimo en reservorios circulares con respecto a los reservorios cuadrados y rectangulares.

- Se muestra que los reservorios elevados circulares son más económicos entre las otras dos formas según IS3370-2009 adoptando el método de diseño de estado límite.

(Restrepo Ocampo & Hernández Martínez, 2017) en su investigación publicado en la revista de divulgación científica JÓVENES EN LA CIENCIA denominado COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE TANQUES TIPO PARA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, desarrollan un análisis estático y sísmico mediante el software de análisis estructural LARSA 4D en donde se determinan la diferencia de los esfuerzos entre el análisis estático y sísmico, cuyas conclusiones fueron:

En el análisis sísmico las cargas axiales son mayores al del análisis estático teniendo como resultado en las columnas de 2.25 ton y 1.8ton respectivamente y en las paredes del tanque elevado existe una gran diferencia presentando en el análisis sísmico presentando una fuerza de 420kgf distribuido en dos apoyos laterales y en el análisis estático presenta una carga de 7200 kg-f distribuido entre 4 apoyos. Finalmente denota la importancia de la simulación y su análisis para un correcto diseño de la estructura.

2.1.2. NACIONALES

(Acero Martínez & Mejía Zúñiga) en la investigación difundido por el ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia) denominado ANALISIS DINÁMICO DE TANQUES SUPERFICIALES, CIRCULARES Y RECTANGULAR realizó el análisis en base a la teoría de Housner y el código ACI 350.3-01 donde la teoría hace referencia a las masas convectivas que generan oscilaciones en la parte superior y a las masas impulsivas que no generan oscilaciones, siendo uno de sus conclusiones de importancia que en los tanques superficiales no se debe prescindir en el diseño, la presión hidrodinámica, debido a que en condiciones de servicio se incrementa como máximo en un 40 %.

(Martos Salas, 2013) desarrolló la tesis en la Universidad Nacional de Cajamarca denominado EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE UN RESERVORIO CIRCULAR ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO Y EL MÉTODO DINÁMICO DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE da a conocer que el método dinámico muestra una mayor precisión al tener en cuenta las acciones mecánicas ofreciendo así una aproximación más real con respecto al método estático, en el

cálculo de los esfuerzos anular, flexión y cortante a lo largo de la pared del reservorio circular.

(Llaza Funes) en el artículo ANÁLISIS SÍSMICO DE RESERVORIOS, Realiza un análisis sísmico de reservorios considerando cargas gravitacionales y cargas de sismo que generan la interacción hidrodinámica líquido - estructura y utiliza códigos internacionales como el código americano ACI 350 en conjunción con los parámetros plasmados en la norma peruana E030 para un correcto estudio sísmico en reservorios apoyados como elevados.

(Nuñez Barboza, 2014) desarrolló la tesis en la Universidad Nacional de Cajamarca denominado ESFUERZOS HIDRODINÁMICOS EN RESERVORIOS CIRCULARES DE CONCRETO ARMADO, POR LA VARIACIÓN DE ESBELTEZ; ALTURA DEL AGUA-DIÁMETRO en su investigación el autor evalúa los esfuerzos hidrodinámicos de un reservorio circular de concreto armado variando la altura del agua y su diámetro, obteniendo un rango donde el comportamiento de esfuerzos es muy parecido de $H_L/D = 0.3$ hasta $\frac{H_L}{D} = 1.20$.

(Julca Varas, 2017) desarrolló la tesis en la Universidad Nacional de Cajamarca denominado COMPARACIÓN DEL COMPORAMIENTO DINÁMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS CON ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO MARCO, EVALUADOS CON LA NORMAS NORTEAMERICANAS Y NEOZELANDESA sostiene al realizar la evaluación del análisis dinámico de tres reservorios de acuerdo al entorno del territorio nacional, que los reservorios elevados con estructura de soporte tipo marco evaluados con la norma norteamericana ACI 350.03-06 presenta un mejor comportamiento dinámico en comparación a los reservorios elevados evaluados con la norma NEOZELANDESA SDST NZ.

(Anconeira Rojas, 2017) desarrolló la tesis en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa denominado IMPORTANCIA DE CONSIDERAR MODELOS DINÁMICOS DE LOS TANQUES ELEVADOS EN EL ANALISIS SÍSMICO EN EDIFICACIONES concluye tras 60 modelos realizados y analizando los periodos de vibración, así como la respuesta estructural, que los tanques que sintonizan su periodo impulsivo con el periodo fundamental de la estructura general reduce la respuesta estructural de la estructura primaria (sin el tanque elevado) en relación de la estructura general (incluye el tanque elevado).

(Castro Prieto Huancachoque & Mendoza Quiñonez, 2017) Desarrolló la tesis en la Universidad andina del Cusco denominado EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL MEDIANTE UN ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DE UN TANQUE ELEVADO DE SECCIÓN OCTAGONAL FRENTE A UNO RECTANGULAR EN EL PROYECTO DE SANEAMIENTO ALTO QOSCO-CUSCO Realizó una investigación comparativa de la respuesta estructural de un tanque elevado de configuración octagonal frente a uno rectangular evaluados en conjunción de la normativa ACI 350 (norteamericana) y las normativas peruanas NTP 030 concluyendo que el tanque elevado octagonal presenta un mejor desempeño frente a las solicitaciones sísmicas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LOS SISMOS

Etimológicamente la palabra sismo proviene del griego *seísmo* que significa terremoto, sacudimiento de tierra, diversos autores definen los sismos o terremotos como:

(Lutgens & Lutgens, 2005) Sostiene que los sismos son vibraciones de la tierra originado por la rápida liberación de energía en forma de onda que se propaga en todas las direcciones desde el origen del terremoto denominado foco. La gran parte de los terremotos ocurren a lo largo de inmensas fracturas denominadas fallas.

(Rivadenería, y otros, 2007) Menciona que los sismos son el resultado de la ruptura de las rocas, liberando instantáneamente energía en un punto determinado de la corteza terrestre y se transmiten en forma de ondas sísmicas que se propagan alejándose de un punto de origen. Se denomina hipocentro al lugar bajo la tierra en donde se genera el sismo, y epicentro su proyección hacia la superficie.

(Estrada, 2012, p.7) Menciona que los sismos son una liberación de energía acumulada durante mucho tiempo que se origina por esfuerzos y tensiones en la parte superior de la tierra. Es de recalcar que el término proviene del latín y significa movimiento de tierra sin diferenciar si es pequeño o grande.

2.2.2. LOS SISMOS Y SUS CAUSAS

Es de gran importancia conocer el planeta tierra y comprender que es un sistema dinámico que está en constante movimiento y transformación para conocer así el origen de los sismos.

2.2.2.1. ESTRUCTURA DE LA TIERRA Y LA TECTÓNICA DE PLACAS

Diversos estudios en los últimos 50 años ha podido demostrar que la tierra está compuesta por cuatro capas concéntricas principales: Litosfera, estenosfera, mesosfera y endosfera.

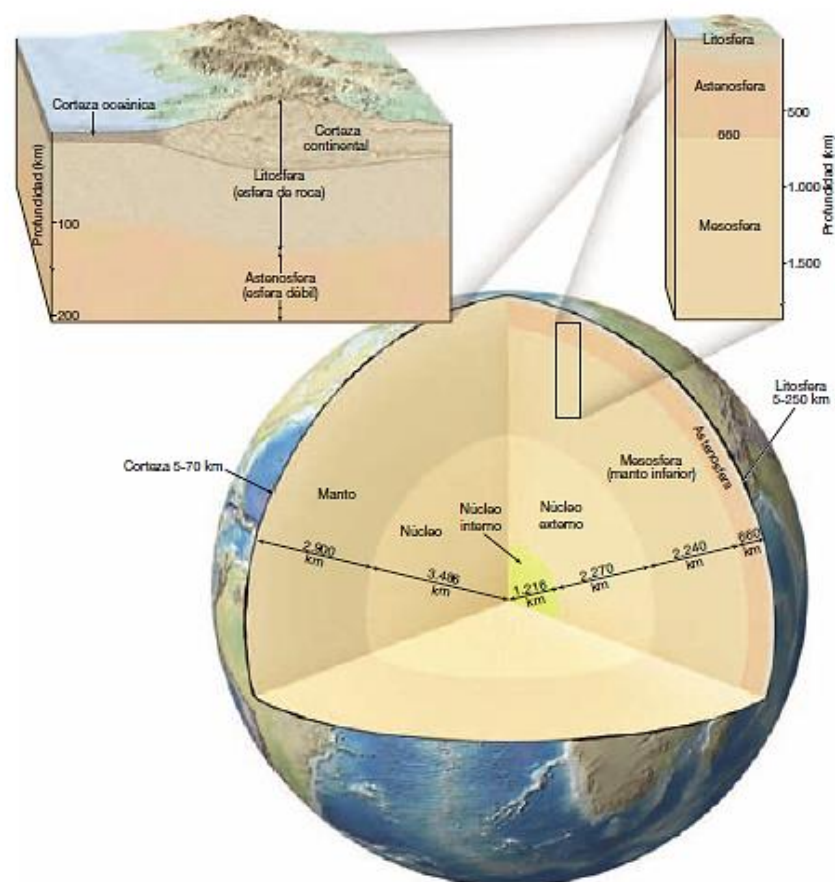


Figura 1. Estructura estratificada de la tierra

Fuente: (Lutgens & Lutgens, 2005, pág. 345)

- a) **Litósfera** : Es la capa más externa y superficial de la tierra de espesor entre 50 a 300 km. Se caracteriza por ser rígida y por estar formada por la corteza continental y oceánica, y la parte externa del manto superior. Está fragmentada por varias placas tectónicas, en

cuyos bordes se genera los fenómenos como el magmatismo, la sismicidad y la formación de cordilleras.

- b) Estenósfera** : Corresponde al resto del manto superior y se caracteriza por comportarse como un fluido denso. Por esta razón no produce sismos, pero tiene una importancia fundamental para explicar el movimiento de las placas tectónicas. Su límite inferior se encuentra a 2900 km de profundidad.
- c) Mesósfera** : Es el manto inferior, se caracteriza porque los minerales se vuelven más densos sin cambiar su composición química. Está formada por rocas calientes y sólidas, pero con cierta plasticidad.
- d) Endósfera** : Corresponde al núcleo que está formado por el núcleo externo, que se caracteriza por ser de material fundido, cuya composición es de hierro y níquel, y el núcleo interno sólido y formado principalmente por hierro. Se cree que en esta capa se origina el campo magnético terrestre.

Según (Rivadeneria, y otros, 2007) la teoría de tectónica de placas se originó en la década de 1960, a través de un gran movimiento científico que estructuró y desarrolló con fundamentos irrefutables la idea inicial de la deriva de los continentes propuesta por el alemán Alfred Wegener en la primera década del siglo XX. Al comparar la forma de las costas orientales de Sudamérica y África occidental, descubrió que aquellas se podían unir casi a la perfección.

Como resultado de esta teoría se ha determinado que el planeta tierra está dividido en al menos quince placas tectónicas que interactúan entre sí, moviéndose en diferentes direcciones.

Según (Lutgens & Lutgens, 2005) Los segmentos litosféricos tienen la capacidad de desplazarse unos con respecto a otros, con magnitudes promedio a los cinco cm/año, este movimiento es impulsado en última instancia por la distribución desigual del calor interno de la Tierra, lo que genera las corrientes convectivas estado en que el material más caliente asciende y el más frío desciende.

(CENAPRED, 2001) Los investigadores alegan que las placas tectónicas poseen límites donde existen zonas de creación de nueva litosfera y otras zonas donde la litosfera se consume o se reabsorbe. En función de esto se establecieron tres límites básicos: Convergentes, divergentes y transformantes.

- a) **Divergentes:** Donde las placas se están distanciados; un claro ejemplo son las cordilleras oceánicas.
- b) **Convergentes:** Se produce cuando dos placas colisionan entre sí y una de las placas queda debajo de la otra. Un ejemplo representativo del es la colisión entre las placas indoaustralinas y euroasiática, cuyos resultados son la cadena montañosa del Himalaya.
- c) **De transformación o transcurrentes:** Se da cuando dos placas se mueven entre sí lateralmente, un ejemplo claro es La falla de San Andrés, que cruza el estado de California en los Estados Unidos y que llega a afectar la parte norte de la península de Baja California. Esta falla no se prolonga en la región del mar de Cortés ni en la costa occidental de México.

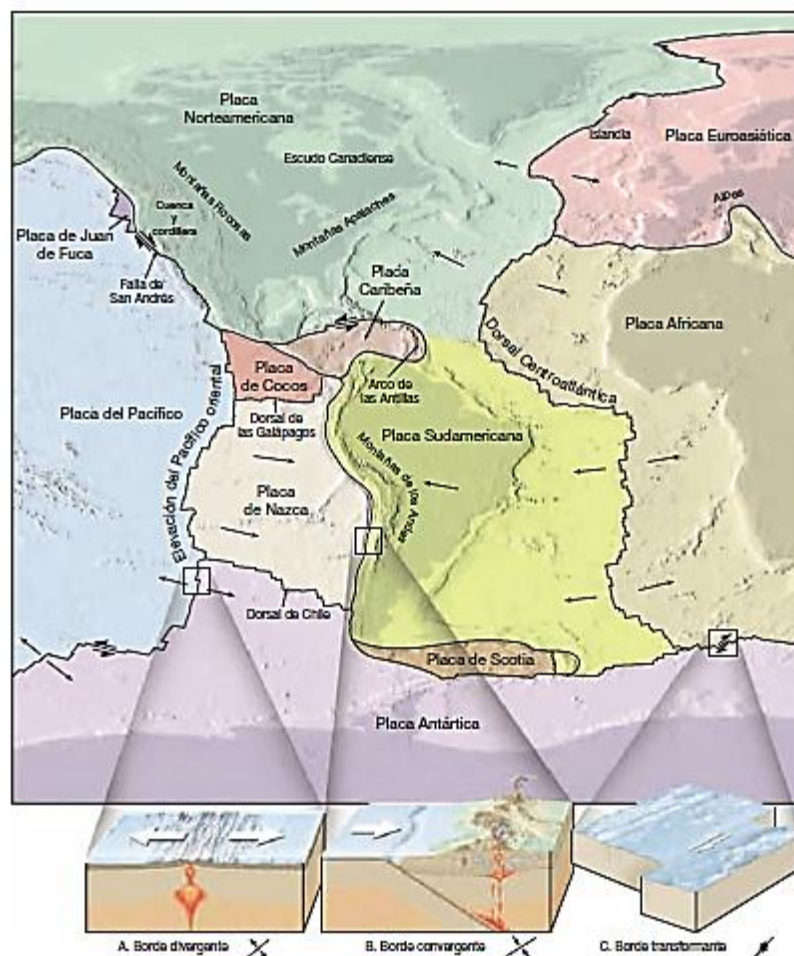


Figura 2. Bordes de placas tectónicas

Fuente: (Lutgens & Lutgens, 2005, pág. 52)

2.2.3. ONDAS SÍSMICAS

(Hernández Ortiz, 2012) Menciona que las ondas sísmicas según el contexto de los terremotos que las ondas reciben el nombre de sísmicas porque tienen su génesis al fracturarse las rocas, esto permite que surjan ondas en el interior de la tierra llegando a la superficie y prolongándose sobre ella. Las ondas sísmicas se clasifican en internas y superficiales, en el caso de las internas inician su recorrido desde el foco hacia todas las direcciones hasta llegar a la superficie en donde las ondas superficiales se originan por composición de las internas, y su punto de acción es en el terreno exterior de la tierra.

a) ONDAS INTERNAS

Viajan en todas direcciones desde el foco. Son de dos tipos S y P.

- **Ondas P:** Son conocidas también como primarias. Estas ondas de compresión se caracterizan por que generan un movimiento de partículas en la dirección de propagación de las ondas, producen en la roca compresiones y dilataciones, son las ondas más rápidas aproximadamente entre 5 Km/s y 11Km/s valores que dependen de la composición de la roca.
- **Ondas S:** Se denominan también como ondas de corte o secundarias. Generan en las rocas un movimiento vibratorio lateral o perpendicular a la dirección de propagación de la onda, esta característica hace que el terreno sobre el cual está actuando se vea sometido a deformaciones tipo cizalla, por tal motivo no logran desplazarse en líquidos debido a que ellos no soportan esfuerzos de tipo cortante.

La velocidad de estas ondas es menor a las P, pero su amplitud al ser mayor que una P las hace más fuerte.

b) ONDAS SUPERFICIALES

Se identifican dos fundamentales, su característica principal es el transporte de gran cantidad de energía, lo cual hace que sean las que generen mayores destrozos a las estructuras físicas humanas.

- **Ondas Rayleigh:** Aparecen por interacción de las ondas internas, describen un movimiento elipsoidal, su rapidez es del orden de uno o cuatro kilómetros por segundo.
- **Ondas Love:** Tienen un movimiento vibratorio horizontal, perpendicular a la dirección de propagación y suelen ser un tanto más rápidas que las de tipo Rayleigh.

2.2.4. RESERVORIOS ELEVADOS

Los reservorios elevados son recipientes para almacenamiento de fluidos que se encuentran sobre el nivel del terreno natural y son soportados por columnas, pilas, muros de concreto reforzado, pres forzado o de mampostería.

Desempeñan un papel importante en los sistemas de distribución de agua, desde el punto de vista económico, así como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente. Los reservorios elevados tienen dos principales funciones: compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día y mantener las presiones de servicio en la red de distribución.

2.2.4.1. TIPO DE RESERVORIOS ELEVADOS

La investigación realizada encuentra un amplio criterio para clasificar reservorios de almacenamiento entre los cuales tenemos un resumen mediante el siguiente esquema.

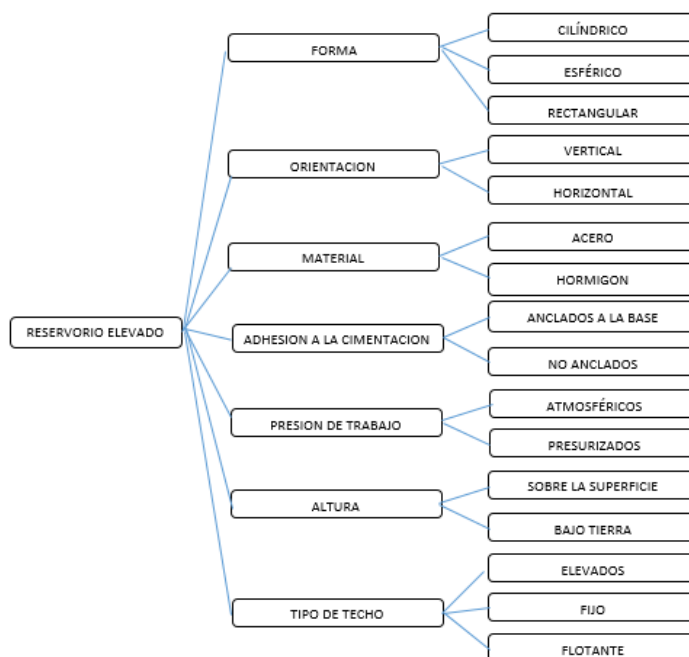


Figura 3. Clasificación general de reservorios de almacenamiento

Fuente: (Pupiales Valdivieso, 2013, pág. 28)

Se muestra imágenes de algunos reservorios elevados de sección rectangular y circular de concreto armado que fueron construidos en la ciudad de Tacna.



Figura 4. Reservorio elevado I.E Francisco Antonio de Zela

FUENTE: Elaboración propia



Figura 5. Reservorio elevado I.E. Coronel Bolognesi

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Reservorio elevado EPS Tacna

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Reservorio elaborado Hospital de la Solidaridad Tacna

Fuente: Elaboración propia



Figura 8. Reservorio elevado Instituto Superior Vigil Tacna

Fuente: Elaboración propia

2.2.5. MÉTODO DE HOUSNER

2.2.5.1. MODELO MECÁNICO PARA RESERVORIOS ELEVADOS

El modelo más difundido es aquel plantado por G.W. Housner. Con este modelo se determina la respuesta sísmica máxima y utiliza como sollicitación un espectro de diseño que vendría a ser aquel que pertenezca a la zona de análisis.

Housner, en su modelo representa el movimiento del agua ante acciones sísmicas considerando dos tipos de masa la primera la masa impulsiva M_0 que se mantiene fija a la pared rígida del tanque y la masa convectiva M_1 que se encuentra móvil conectada a la pared del tanque por medio de resortes.

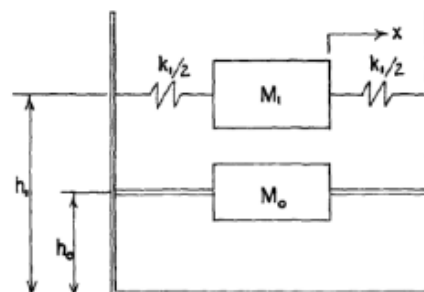


Figura 9. Modelo mecánico Housner

Fuente: (Housner, *The Dynamic Behavior of Water Tanks*, 1963, pág. 2)

Según (Housner, 1963) la presión hidrodinámica del fluido ejercida en las paredes del tanque está dada por la superposición del movimiento del fluido convectivo causado por la oscilación del líquido en la parte superior y la presión del líquido impulsivo que se acelera con la estructura.

2.2.5.2. MODELO MATEMÁTICO PARA RESERVORIO Y/O TANQUES CIRCULARES

La formulación matemática para reservorios circulares de pared rígida se muestra a continuación:

Para los efectos impulsivos:

$$M_o = M \frac{\tan(h) 1.7R/h}{1.7 R/h} \quad Ec.(1)$$

$$h_o = \frac{3}{8}h \left\{ 1 + \alpha \left[\frac{M}{M_1} \left(\frac{R}{h} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad Ec. (2)$$

$$\alpha = 1.33$$

Para los efectos convectivo:

$$M_1 = M(0.6) \frac{\frac{\tan(h) 1.8h}{R}}{1.8 \frac{h}{R}} \quad Ec. (3)$$

$$h_1 = h \left\{ 1 - 0.185 \left(\frac{M}{M_1} \right) \left(\frac{R}{h} \right)^2 - 0.56\beta \frac{R}{h} \sqrt{\left(\frac{MR}{3M_1h} \right)^2 - 1} \right\} \quad Ec. (4)$$

$$\beta = 2.0$$

$$K_1 = 5.4 \frac{M_1^2 gh}{M R^2} \quad Ec. (5)$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M_1}{k_1}} \quad Ec. (6)$$

Donde:

R = Radio interior del estanque, m

h = Altura del fluido almacenado, m

g = Aceleración de la gravedad, m/s²

M = Masa total del líquido almacenado, tn

M_o = Masa impulsiva del líquido, tn

h_o = Altura a la cual se ubica la masa impulsiva, m

M_1 = Masa convectiva del líquido, tn

h_1 = Altura a la cual se ubica la masa convectiva, m

k = Rigidez requerida para la oscilación de la masa convectiva, tn-f/m

T_1 = Periodo de oscilación de la masa convectiva, rad/s

2.2.5.3. MODELO MATEMÁTICO PARA RESERVORIO Y/O TANQUES RECTANGULARES

La formulación matemática para reservorios rectangulares de pared rígida se muestra a continuación:

Para los efectos impulsivos:

$$M_o = M \frac{\tan(h) 1.7L/h}{1.7 L/h} \quad Ec. (7)$$

$$h_o = \frac{3}{8}h \left\{ 1 + \alpha \left[\frac{M}{M_1} \left(\frac{L}{h} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad Ec. (8)$$

$$\alpha = 1.33$$

Para los efectos convectivo:

$$M_1 = M(0.83) \frac{\tan(h) 1.6h}{1.6 \frac{h}{L}} \quad Ec. (9)$$

$$h_1 = h \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{M}{M_1} \right) \left(\frac{L}{h} \right)^2 - 0.63\beta \frac{L}{h} \sqrt{0.28 \left(\frac{ML}{M_1 h} \right)^2 - 1} \right\} \quad Ec. (10)$$

$$\beta = 2.0$$

$$K_1 = 3 \frac{M_1^2 gh}{M L^2} \quad Ec. (11)$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M_1}{k_1}} \quad Ec. (12)$$

Donde:

R = Radio interior del estanque, m

h = Altura del fluido almacenado, m

g = Aceleración de la gravedad, m/s²

M = Masa total del líquido almacenado, tn

M_o = Masa impulsiva del líquido, tn

h_o = Altura a la cual se ubica la masa impulsiva, m

M_1 = Masa convectiva del líquido, tn

h_1 = Altura a la cual se ubica la masa convectiva, m

k = Rigidez requerida para la oscilación de la masa convectiva, tn-f/m

T_1 = Periodo de oscilación de la masa convectiva, rad/s

2.2.6. ANÁLISIS DINÁMICO MODAL

Es un procedimiento que nos permite determinar la fuerza sísmica y se basa en que ante una ocurrencia de un evento sísmico la estructura se deforma según los modos propios de oscilación.

En un reservorio elevado se puede realizar el análisis modal considerando un modelo equivalente que consta de dos masas teniendo así un sistema de dos grados de libertad que mediante los criterios de la dinámica estructural se puede determinar la respuesta del sistema de dos grados de libertad asemejándose así a la realidad.

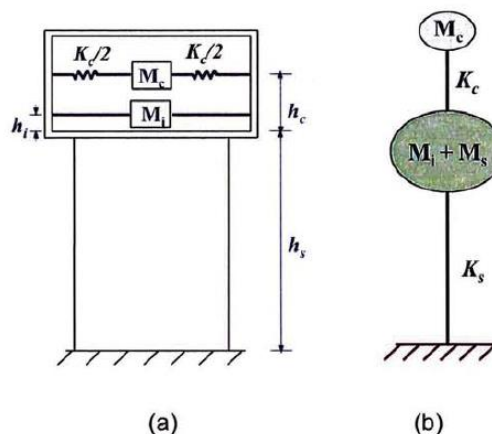


Figura 10.(a)Modelo mecánico equivalente,(b)Modelo de dos masas

Fuente: (Huamani Camargo, 2015, pág. 52)

Podemos obtener los periodos de vibración y los modos de vibración mediante las siguientes expresiones.

$$|K - \omega^2 M| = 0 \quad \text{Ec. (13)}$$

Matriz de rigidez

$$K = \begin{bmatrix} K_c + K_s & -K_s \\ -K_s & K_s \end{bmatrix}$$

Matriz de masa

$$M = \begin{bmatrix} M_i + M_s & 0 \\ 0 & M_s \end{bmatrix}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad Ec.(14)$$

$$|K - \omega^2 M| \phi_n = 0 \quad Ec.(15)$$

Donde:

M= Matriz de masas

K=Matriz de rigideces

ω = Frecuencia angular

ϕ_n =Vector de modo de vibración

2.2.7. NORMATIVA AMERICANA PARA ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS

En la normativa peruana no se dispone de una norma particular para realizar el análisis y diseño de estructuras hidráulicas como los reservorios elevados. Existen códigos extranjeros que brindan recomendaciones mínimas a tener en cuenta durante la etapa de análisis y diseño como la normativa norteamericana ACI 350.3-06.

Diversos investigadores muestran como alternativa la aplicación del código ACI 350.3-06, adaptándolo a las recomendaciones de diseño sismo resistente de la NTP E030.

2.2.7.1. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

En el capítulo 9 del ACI 350.3-06, modelo dinámico, se muestran las ecuaciones para modelo hidrodinámico equivalente adaptado del modelo propuesto por Housner en 1963.

Para el caso de los **reservorios circulares**, se tienen las siguientes ecuaciones tomadas del capítulo 9 del **ACI 350.3-06**.

Cálculo de la masa impulsiva

$$m_i = \frac{\tanh(0.866 \cdot \frac{D}{H_L})}{0.866 \cdot \frac{D}{H_L}} \cdot m_L \quad Ec.(16)$$

Donde m_i es la masa equivalente de la componente impulsiva, D es el diámetro interior de la cuba del reservorio elevado en metros, H_L es la altura de agua libre en la cuba en metros, y m_L la masa total del agua del reservorio.

Cálculo de la masa impulsiva

$$m_c = 0.23 \frac{D}{H_L} \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right) m_L \quad Ec. (17)$$

Donde m_c es la masa equivalente de la componente impulsiva.

Cálculo de posición de la masa impulsiva con respecto a la base.

$$h_i = H_L \left(0.5 - \frac{0.09375}{\frac{D}{H_L}} \right) \quad \frac{D}{H_L} < 1.333 \quad Ec. (15)$$

$$h_i = 0.375H_L \quad \frac{D}{H_L} \geq 1.333 \quad Ec. (16)$$

Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base.

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right) - 1}{3.68 \frac{H_L}{D} - \sinh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)} \right] \cdot H_L \quad Ec. (18)$$

Cálculo de las frecuencias naturales de vibración para la componente convectiva y para la componente impulsiva.

- Para la componente impulsiva se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_I = C_I \frac{1}{H_L} \sqrt{10^3 E_c \frac{g}{\gamma_c}} \quad Ec. (19)$$

$$C_I = c_w \sqrt{\frac{t_w}{10r}} \quad Ec. (20)$$

$$T_I = \frac{2\pi}{\omega_I} \quad Ec. (21)$$

Donde ω_I es frecuencia del modo impulsivo de vibración, C_I y C_w coeficiente para determinar la frecuencia impulsiva, E_c es la elasticidad del concreto, γ_c es densidad del concreto, g es aceleración de la gravedad, r es radio del reservorio circular, T_I es el periodo impulsivo de vibración.

- Para la componente convectiva se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}} \quad Ec. (22)$$

$$\lambda = \sqrt{3.68g \tanh\left[3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right]} \quad Ec. (23)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} \quad Ec. (24)$$

Donde ω_c es frecuencia del modo convectivo de vibración, H_L es altura de agua, D es diámetro del reservorio circular y T_c es periodo del modo convectivo.

Cálculo de la rigidez para la oscilación de la masa convectiva.

$$K_c = 0.836m_L \frac{g}{H} \left(\tanh \left(3.68 \frac{H}{D} \right) \right)^2 \quad Ec. (25)$$

Donde K_c es la rigidez del resorte de la masa convectiva en tonf/m, m_L masa total del agua, H altura desde la base del reservorio elevado hasta el nivel del líquido.

Calculo del coeficiente de masa efectivo ε :

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1 \quad Ec. (26)$$

Para el caso de los **reservorios rectangulares**, se tienen las siguientes ecuaciones tomadas del capítulo 9 del **ACI 350.3-06**.

Calculo de la masa impulsiva

$$m_i = \frac{\tanh(0.866 \cdot \frac{L}{H_L})}{0.866 \cdot \frac{L}{H_L}} \cdot m_L \quad Ec. (27)$$

Donde m_i es la masa equivalente de la componente impulsiva, L es la longitud en la dirección del análisis sísmico, H_L es la altura de agua libre en la cuba en metros, y m_L la masa total del agua del reservorio.

Calculo de la masa impulsiva

$$m_c = 0.264 \frac{L}{H_L} \cdot \tanh\left(\frac{3.16H_L}{L}\right) m_L \quad Ec. (28)$$

Donde m_c es la masa equivalente de la componente impulsiva.

Cálculo de posición de la masa impulsiva con respecto a la base.

$$h_i = H_L \left(0.5 - \frac{0.09375}{\frac{L}{H_L}} \right) \quad \frac{L}{H_L} < 1.333 \quad Ec. (29)$$

$$h_i = 0.375H_L \quad \frac{L}{H_L} \geq 1.333 \quad Ec. (30)$$

Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base.

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.16 \frac{H_L}{L}\right) - 1}{3.16 \frac{H_L}{L} - \sinh\left(3.16 \frac{H_L}{L}\right)} \right] \cdot H_L \quad Ec. (31)$$

Cálculo de las frecuencias naturales de vibración para la componente convectiva y para la componente impulsiva.

- Para la componente impulsiva se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_I = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad Ec. (32)$$

$$m = m_w + m_i \quad Ec. (33)$$

$$m = \frac{h_w m_w + h_i m_i}{m_w + m_i} \quad Ec. (34)$$

$$m_w = H_w \frac{t_w}{10^3} \left(\frac{\gamma_c}{g}\right) \quad Ec. (35)$$

$$h_w = 0.5 H_w \quad Ec. (36)$$

$$m_i = \left(\frac{w_i}{w_L}\right) \left(\frac{L}{2}\right) H_L \left(\frac{\gamma_L}{g}\right) \quad Ec. (37)$$

$$K = \frac{E_c}{4 \times 10^4} \left(\frac{t_w}{h}\right)^3 \quad Ec. (38)$$

$$T_I = \frac{2\pi}{\omega_I} = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad Ec. (39)$$

Donde ω_I es frecuencia del modo impulsivo de vibración, k es rigidez a la flexión por unidad de ancho de la pared, m es masa total por unidad de ancho de la pared rectangular, m_w y m_i son masa por unidad de ancho de la pared rectangular y masa impulsiva de líquido contenido por unidad de ancho de la pared rectangular respectivamente, H_w es altura de la pared del tanque, t_w es espesor de la pared del tanque, γ_c es densidad del concreto, g es aceleración de la gravedad, h_w altura desde la base de la pared al centro de gravedad de la carcasa del tanque, w_i es la masa equivalente de la componente impulsiva, w_L es la masa total del líquido, H_L es altura máxima de la columna de agua, γ_L es densidad del líquido, K es rigidez del líquido de la masa convectiva, E_c es módulo de elasticidad del concreto, T_I es periodo de vibración impulsiva.

- para la componente convectiva se calcula de la siguiente manera:

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\sqrt{L} \quad Ec. (40)$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} \quad Ec. (41)$$

$$\lambda = \sqrt{3.16g \tanh\left[3.16\left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} \quad Ec. (42)$$

Donde T_c es periodo de vibración convectivo de vibración .

Cálculo de la rigidez para la oscilación de la masa convectiva.

$$K_c = 0.833m_L \frac{g}{H} \left(\tanh\left(3.16\frac{H}{L}\right)\right)^2 \quad Ec. (43)$$

Donde K_c es la rigidez del resorte de la masa convectiva en tonf/m, m_L masa total del agua, H altura desde la base del reservorio elevado hasta el nivel del líquido.

Calculo del coeficiente de masa efectivo ε :

$$\varepsilon = \left[0.0151\left(\frac{L}{H_L}\right)^2 - 0.1908\left(\frac{L}{H_L}\right) + 1.021\right] \leq 1 \quad Ec. (44)$$

2.2.7.2. PARÁMETROS SÍSMICOS

a) ZONIFICACIÓN

En el territorio peruano se divide en cuatro zonas, a cada zona se le asigna un factor de acuerdo al Tabla N°1. Es te factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 1. Factor de zona "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.4
2	0.3
1	0.15

Fuente: Tabla N°1 –NTP E-030

(Ministerio de Vivienda, 2016, pág. 5)

b) CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Los perfiles de suelo se clasifican en cuatro tipos tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración de propagación de las ondas de corte.

Tabla 2. Factor de suelo "S"

ZONA	SUELO			
	So	S1	S2	S3
Z4	0.8	1.00	1.05	1.10
Z3	0.8	1.00	1.15	1.20
Z2	0.8	1.00	1.20	1.4
Z1	0.8	1.00	1.6	2.00

Fuente: Tabla N°3 – NTP E-0.30 (Ministerio de Vivienda, 2016, pág. 7)

Tabla 3. Períodos T_p y T_I

	Perfil de suelo			
	So	S1	S2	S3
T_p(s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_I(s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Tabla N°3 – NTP E-0.30 (Ministerio de Vivienda, 2016, pág. 7)

Donde:

T_p : Periodo que define la plataforma del espectro y donde desciende la curva C.

S: Factor de amplificación del suelo.

c) FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

De acuerdo al artículo de la norma ACI 350.3-06, para el caso del reservorio de concreto armado, la aceleración espectral del modo impulsivo se obtiene a partir de un amortiguamiento del 5% del espectro de respuesta elástico y la aceleración espectral del modo convectivo se obtiene a partir de un amortiguamiento 0.5% en todos los casos. Según la normativa presente la relación aproximada entre los coeficientes de respuesta basados en un amortiguamiento de 0.5% y los basados en 5% de amortiguamiento vendría ser 1.5.

Tabla 4. Amortiguamiento y factor de coeficiente sísmico

Modos de vibración	Amortiguamiento	Coeficiente de Respuesta Sísmica
Modos Impulsivos Asociado a la masa impulsiva	$\xi = 5\%$	$C_i = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \leq 2.5$
Modo convectivo Asociado a la masa convectiva	$\xi = 0.5\%$	$C_i = 1.5 \times 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \leq 3.75$

Fuente: (Huamani Camargo, 2015, pág. 57)

d) FACTOR DE IMPORTANCIA

La mayoría de los códigos exigen la aplicación de un factor de importancia para incrementar el margen de seguridad relacionado al diseño estructural.

La Norma ACI 350.3-06 da los siguientes valores para el factor de importancia:

Tabla 5. Factor de categoría de la estructura

	Uso del tanque	FACTOR I
III	Tanques que contienen materiales peligrosos	1.5
II	Tanques que se busca permanezcan utilizables luego de un terremoto o tanques que son parte del sistema de línea de vida.	1.25
I	Tanques no listados en las categorías II o III	1

Fuente: ACI 350.3-06, Tabla N°4.1.1(a) (ACI Committee 350, 2006, pág. 20)

e) COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA

El coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R) permite pasar del espectro elástico al espectro de diseño inelástico.

La norma ACI 350.3-06 da los siguientes valores para el factor de reducción:

Tabla 6. Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica

Tipo de estructura	Ri		Rc
	Sobre terreno	Enterrados	
Anclados, Tanques con base flexible	3.25	3.25	1
Tanques con base empotrada o rotulada	2	3	1
Tanques apoyados	1.5	2	1
Tanques sobre pedestales	2		1

Fuente: ACI 350.3-06, Tabla N°4.1.1 (b) (ACI Committee 350, 2006, pág. 20)

Teniéndose para un reservorio elevado los siguientes valores:

Ri=2 (Peso estructural y masa impulsiva)

Rc=1 (Masa convectiva del agua)

2.2.7.3. P-SEUDO ACELERACIÓN ESPECTRAL

El código ACI 350.3-01, genera un espectro de pseudo aceleraciones considerando que los periodos menores de 2.4 s deben estar asociados a la masa impulsiva y los periodos mayores a 2.4s se deben asociar a la masa convectiva.

Considerando el espectro teórico del reglamento peruano combinado con los parámetros de la normativa americana, tendremos los siguiente:

Tabla 7. Valores de Seudo aceleración espectral

Modos de vibración	T(s)	Pseudo aceleración espectral
Modo impulsivo Asociado a la masa impulsiva	$T_i \leq 2.4 s$	$Sa(ti) = \frac{Z \cdot I \cdot Ci \cdot S}{Ri} \cdot g$
Modo convectivo Asociado a la masa convectivo	$T_i > 2.4 s$	$Sa(tc) = \frac{Z \cdot I \cdot Cc \cdot S}{Rc} \cdot g$

Fuente: (Huamani Camargo, 2015, pág. 65)

Se puede definir al espectro de respuesta de pseudo aceleraciones como un gráfico de la respuesta máxima expresada en términos de aceleración que produce una acción dinámica determina en una estructura. En el gráfico siguiente, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura y en las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento.

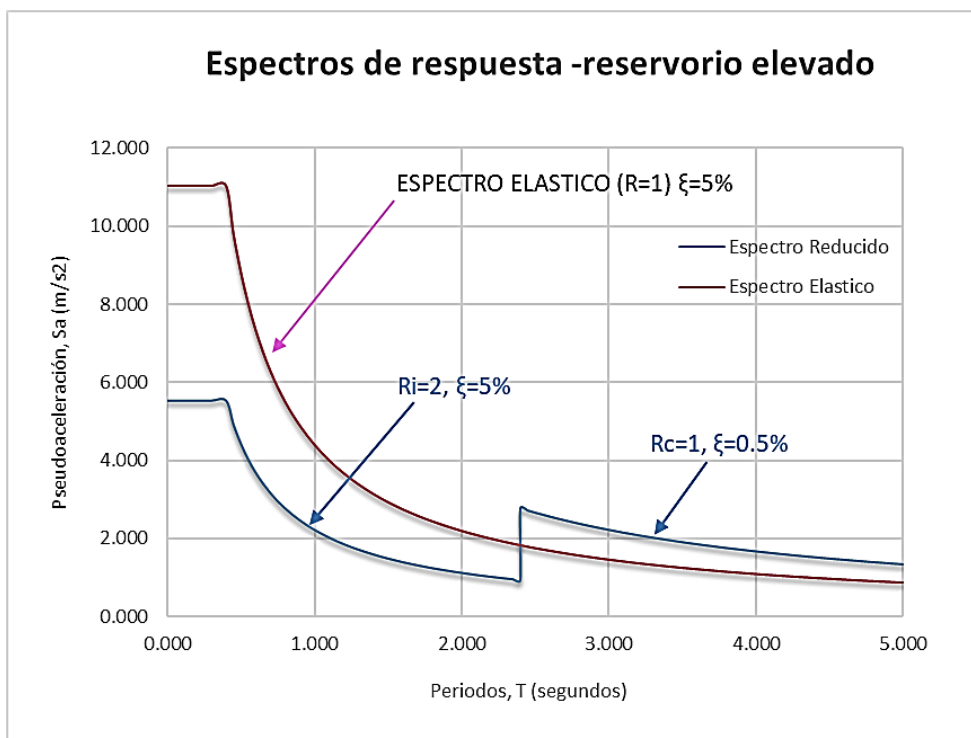


Figura 11. Espectro de respuesta de un reservorio elevado

Fuente: Elaboración propia

2.2.7.4. COMBINACIONES DE CARGAS

Para el modelado de los reservorios de concreto armado en la sección 9.2.1 del ACI 350-06, se indica las siguientes combinaciones de carga para diseño:

$$U1 = 1.4CM + 1.7CL$$

$$U2 = 1.2(CM + CL) + 1.6CV$$

$$U3 = 1.2CM + 1.0CV$$

$$U4 = 1.2CM + 1.2CL \pm 1.0CS + 1.0CV$$

$$U4 = 0.9CM + 1.2CL \pm 1.0CS$$

Donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

CL: Carga de Líquido

CS: Carga de sismo

2.2.7.5. FACTOR DE DURABILIDAD

Para un menor agrietamiento en el concreto se utiliza un factor de seguridad adicional.

$$\text{Esfuerzo requerido} = S_d \times \text{Carga Factorada} = S_d \times U$$

En la sección C9.2.9 del ACI 350-06, se indica los factores de durabilidad (S_d) considerandos en la Norma:

Elementos sujetos a efectos de flexión	$S_d=1.30$
Elementos sujetos a efectos axiales de tensión	$S_d=1.65$
Por fuerzas cortantes que toma el acero de refuerzo	$S_d=1.30$
Por fuerzas cortantes que toma el concreto	$S_d=1.00$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

CONCRETO

Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009).

CONCRETO ARMADO

Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero, pre esforzado o no (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009).

EFFECTOS HIDRODINÁMICOS

Una estructura al contener agua en su interior y que se mueve como cuerpo rígido permite que las paredes y el fondo tengan la misma aceleración, esa masa ejerce sobre las paredes una fuerza lateral impulsiva proporcional a la aceleración del recipiente. Por otra parte, el líquido actúa como si fuera un cuerpo sólido de masa unido elásticamente a las paredes debido al soporte flexible se presenta un fenómeno de amplificación dinámica (chapoteo del líquido), por lo que esa masa ejerce sobre las paredes una fuerza lateral convectiva proporcional a la aceleración amplificada que esta experimenta (Centurion Vargas , 2018).

COMPORTAMIENTO SÍSMICO

En relación a las estructuras es la forma o modo de respuesta ante sollicitaciones sísmicas.

ANÁLISIS SÍSMICO

Es el encargado de encontrar las fuerzas y momentos internos debidos a cargas sísmicas en cada uno de los elementos del sistema estructural para luego proceder en el diseño (Castro Prieto Huancachoque & Mendoza Quiñonez, 2017).

ESPECTRO DE DISEÑO

Son espectros suavizados que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos. Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes se realiza a partir de espectros de diseño (Cusihuallpa Mamani, 2016).

TENSION ANULAR

Tipo de esfuerzo de elementos de forma esférica y cilíndrica, como resultado de una presión externa o interna.

ESFUERZO

es la fuerza que hace un elemento de la estructura para no ser deformado por las cargas. (CC.OO, 2008)

FUERZA AXIAL

Es la fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme (Cusihuallpa Mamani, 2016).

FUERZA CORTANTE

Es la fuerza interna o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar (Cusihuallpa Mamani, 2016).

MOMENTO FLECTOR

Es un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión (Cusihuallpa Mamani, 2016).

PERIODO DE VIBRACIÓN

Es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda. El concepto aparece tanto en las matemáticas como en la física y otras áreas de conocimiento (Cusihuallpa Mamani, 2016).

MASA CONVECTIVA

Es la masa que observándolo desde un plano de referencia estático está en un movimiento desordenado que se mueve impactando contra las paredes del reservorio (Evangelista Ruiz, 2017).

MASA IMPULSIVA

Es la masa que observándolo desde un plano de referencia estático esta firme y al producirse un movimiento sísmico esta se mueve con la misma frecuencia que las paredes del reservorio (Evangelista Ruiz, 2017).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tuvo un carácter Aplicativo, porque está orientado a resolver un problema, el cuál es determinar el mejor comportamiento sísmico entre un reservorio de concreto armado de cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Es aprehensivo porque implica comparar y analizar el comportamiento sísmico de reservorios elevados de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó según la secuencia de las siguientes etapas detalladas a continuación.

- Estudio preliminar de la revisión bibliográfica, normativa norteamericana ACI 350.3-06 (Seismic Design of Liquid-containing Concrete Structures) y afines al tema.
- Integración de la bibliografía estudiada en un programa (software EXCEL), el cual nos permitirá procesar los datos.
- Definir las características de las muestras de estudio (reservorio elevado).
- Modelamiento de las muestras de estudio en el programa SAP 2000 versión 20.2.0
- Análisis, comparación e interpretación de los resultados obtenidos de cada modelamiento realizado.
- Finalmente realizar las conclusiones de la investigación

3.3. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

3.3.1. POBLACIÓN

La investigación está enfocada hacia los reservorios elevados de concreto armado de la ciudad de Tacna cuyas funciones principales son la distribución de agua para el consumo de la población y mantener la presión de servicio en la red de distribución en las edificaciones.

3.3.2. MUESTRA DE ESTUDIO

Las muestras de estudio para la investigación son cuatro reservorios elevados con configuración que se adecuan a los reservorios elevados que se encuentran en la ciudad de Tacna. Se describe a continuación las características de cada muestra.

- **PRIMERA MUESTRA:** Es un reservorio elevado de concreto armado con soporte tipo marco de 12 m de altura con vigas y columnas de sección 50x50 cm, la cuba es de sección circular con un espesor de 25 cm con una losa inferior de 25 cm y una losa superior de 15 cm, la capacidad de almacenamiento del reservorio elevado es de 35 m³.
- **SEGUNDA MUESTRA:** Es un reservorio elevado de concreto armado con soporte tipo marco de 12 m de altura con vigas y columnas de sección 50x50 cm, la cuba es de sección rectangular con una relación de su lado mayor y lado menor de $L/B=0.5$ y con un espesor de 25 cm tiene una losa inferior de 25 cm y una losa superior de 15 cm y la capacidad de almacenamiento del reservorio elevado es de 35 m³.
- **TERCERA MUESTRA:** Es un reservorio elevado de concreto armado con soporte tipo marco de 12 m de altura con vigas y columnas de sección 50x50 cm, la cuba es de sección rectangular con una relación de su lado mayor y lado menor de $L/B=0.75$ y con un espesor de 25 cm tiene una losa inferior de 25 cm y una losa superior de 15 cm y la capacidad de almacenamiento del reservorio elevado es de 35 m³.
- **CUARTA MUESTRA:** Es un reservorio elevado de concreto armado con soporte tipo marco de 12 m de altura con vigas y columnas de sección 50x50 cm, la cuba es de sección rectangular con una relación de su lado mayor y lado menor de $L/B=1$ y con un espesor de 25 cm tiene una losa inferior de 25 cm y una losa superior de 15 cm y la capacidad de almacenamiento del reservorio elevado es de 35 m³.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 8. Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	ESCAL DE MEDICION	INDICADORES	INSTRUMENTOS Y/O MODELO
Normativa norteamericana	Independiente (x)	Documento que describe el procedimiento para el análisis y diseño de estructuras de concreto armado para el almacenamiento de líquido sometidas a cargas sísmicas.	Cuantitativa	-Parámetros sísmicos ACI 350.3-06	Modelo de Housner.
Comportamiento sísmico de los reservorios elevados de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular.	Dependiente (y)	Es la forma o modo de respuesta de la estructura sometido a acciones sísmicas.	Cuantitativa	-Propiedades dinámicas -Esfuerzos -Desplazamientos	-Software SAP2000 V20 -AutoCAD 2018 -Software Microsoft (Word y Excel)

Fuente: Elaboración propia

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la elaboración de esta investigación se realizó el análisis documental mediante el estudio de la normativa norteamericana ACI 350.3-06 (Seismic Design of Liquid-containing Concrete Structures) plasmando así la información a través del uso de tablas, el cual permitió modelar los cuatro reservorios elevados tipo marco de acuerdo con las metodologías descritas, para luego obtener los esfuerzos, desplazamientos y periodos.

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En la investigación se realizó un estudio cuantitativo y comparativo de la variable dependiente, comportamiento sísmico de los reservorios elevados de concreto armado de sección circular y rectangular, mediante la utilización del software SAP 2000 versión 20.2.0 y elaboración de tablas que permitió comparar los resultados obtenidos tales como los esfuerzos, desplazamientos y periodos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4. RESULTADOS

En esta investigación se realizó en cada reservorio elevado la comparación de las respuestas obtenidas mediante el análisis sísmico según la normativa norteamericana ACI 350-06R. Los resultados a comparar son los esfuerzos de tensión anular, los momentos en la pared de la cuba, la fuerza cortante, desplazamientos y periodos según la dirección del análisis.

4.1. RESULTADO DEL ANÁLISIS EN LA DIRECCION XX

4.1.1. ANÁLISIS MODAL

4.1.1.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR

Tabla 9. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección circular xx

	N° modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Modo	1	2.45	0.14	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	2	0.45	0.76	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	3	0.41	0.00	0.87	0.00	0.90	0.87	0.00	0.00	0.00
Modo	4	0.30	0.00	0.00	0.00	0.90	0.87	0.00	0.88	0.88
Modo	5	0.09	0.08	0.00	0.00	0.97	0.87	0.00	0.00	0.88
Modo	6	0.09	0.00	0.10	0.00	0.97	0.96	0.00	0.00	0.88
Modo	7	0.08	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.00	0.09	0.97
Modo	8	0.05	0.02	0.00	0.00	0.99	0.96	0.00	0.00	0.97
Modo	9	0.05	0.00	0.03	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.97
Modo	10	0.04	0.00	0.00	0.81	0.99	0.99	0.81	0.00	0.97
Modo	11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.81	0.03	0.99
Modo	12	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99	0.81	0.00	0.99
Modo	13	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99	0.81	0.00	0.99
Modo	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99	0.81	0.00	0.99
Modo	15	0.03	0.00	0.01	0.00	1.00	1.00	0.81	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.45$ s.
- ✓ El segundo periodo fundamental es $T_2=0.45$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 14% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).

- ✓ Se puede apreciar que el segundo modo de vibración muestra un 76% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.1.1.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 10. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=0.5 xx

	N° modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Mode	1	2.74	0.15	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Mode	2	0.51	0.74	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Mode	3	0.43	0.00	0.86	0.00	0.90	0.86	0.00	0.00	0.00
Mode	4	0.29	0.00	0.00	0.00	0.90	0.86	0.00	0.85	0.85
Mode	5	0.11	0.07	0.00	0.00	0.97	0.86	0.00	0.00	0.85
Mode	6	0.10	0.00	0.10	0.00	0.97	0.96	0.00	0.00	0.85
Mode	7	0.08	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.00	0.10	0.96
Mode	8	0.05	0.02	0.00	0.00	0.99	0.96	0.00	0.00	0.96
Mode	9	0.05	0.00	0.03	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.96
Mode	10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.00	0.03	0.99
Mode	11	0.04	0.00	0.00	0.84	0.99	0.99	0.84	0.00	0.99
Mode	12	0.04	0.00	0.01	0.00	0.99	1.00	0.84	0.00	0.99
Mode	13	0.03	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.00	0.99
Mode	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.01	1.00
Mode	15	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.74$ s.
- ✓ El segundo periodo fundamental es $T_2=0.51$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 15% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).
- ✓ Se puede apreciar que el segundo modo de vibración muestra un 74% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.1.1.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

Tabla 11. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=0.75 xx

	N° Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Modo	1	2.56	0.14	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	2	0.49	0.76	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	3	0.43	0.00	0.87	0.00	0.90	0.87	0.00	0.00	0.00
Modo	4	0.30	0.00	0.00	0.00	0.90	0.87	0.00	0.86	0.86
Modo	5	0.10	0.07	0.00	0.00	0.97	0.87	0.00	0.00	0.86
Modo	6	0.10	0.00	0.10	0.00	0.97	0.96	0.00	0.00	0.86
Modo	7	0.08	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.00	0.10	0.96
Modo	8	0.05	0.02	0.00	0.00	0.99	0.96	0.00	0.00	0.96
Modo	9	0.05	0.00	0.03	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.96
Modo	10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.00	0.03	0.99
Modo	11	0.04	0.00	0.00	0.83	0.99	0.99	0.83	0.00	0.99
Modo	12	0.03	0.00	0.01	0.00	0.99	1.00	0.83	0.00	0.99
Modo	13	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99
Modo	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99
Modo	15	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.56$ s.
- ✓ El segundo periodo fundamental es $T_2=0.49$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 14% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).
- ✓ Se puede apreciar que el segundo modo de vibración muestra un 76% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.1.1.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA L/B=1

Tabla 12. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=1 xx

	N° Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Modo	1	2.49	0.13	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	2	0.48	0.77	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Modo	3	0.44	0.00	0.87	0.00	0.90	0.87	0.00	0.00	0.00
Modo	4	0.31	0.00	0.00	0.00	0.90	0.87	0.00	0.86	0.86
Modo	5	0.10	0.08	0.00	0.00	0.97	0.87	0.00	0.00	0.86
Modo	6	0.10	0.00	0.09	0.00	0.97	0.96	0.00	0.00	0.86
Modo	7	0.09	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.00	0.10	0.96
Modo	8	0.05	0.02	0.00	0.00	0.99	0.96	0.00	0.00	0.96
Modo	9	0.05	0.00	0.03	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.96
Modo	10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.00	0.03	0.99
Modo	11	0.04	0.00	0.00	0.83	0.99	0.99	0.83	0.00	0.99
Modo	12	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99	0.83	0.00	0.99
Modo	13	0.03	0.00	0.01	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99
Modo	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99
Modo	15	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.83	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.49$ s.
- ✓ El segundo periodo fundamental es $T_2=0.48$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 13% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).
- ✓ Se puede apreciar que el segundo modo de vibración muestra un 77% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.1.2. TENSIÓN ANULAR F11

4.1.2.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR

Tabla 13. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección circular

NIVEL	Altura (m)	T (Tn-f/m)
BORDE LIBRE	2.410	5.004
NIVEL DEL AGUA	1.920	6.392
	1.647	6.741
	1.373	7.178
	1.100	7.529
	0.720	8.611
	0.480	9.05
	0.240	7.136
	0.000	6.178

Fuente: Elaboración propia

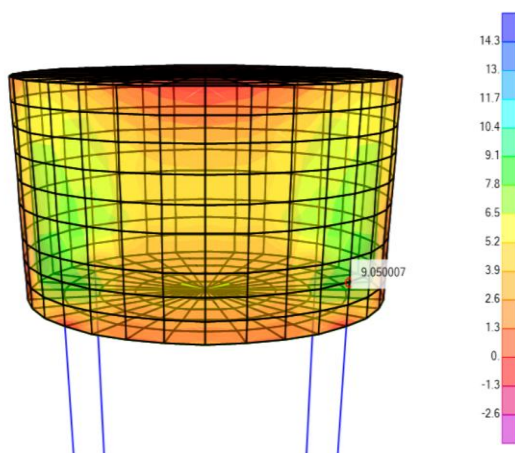


Figura 12. Fuerza anular F11 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultado de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 9.05 Tn /m.

4.1.2.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 14. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	4.708
NIVEL DEL AGUA	1.92	1.356
	1.65	1.199
	1.37	1.643
	1.03	2.595
	0.72	3.542
	0.48	4.901
	0.24	7.789
	0.00	10.048

Fuente: Elaboración propia

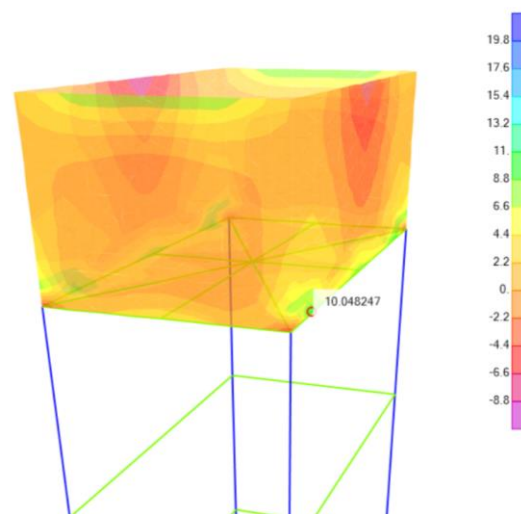


Figura 13. Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultados de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 10.048 Tn/m.

4.1.2.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

Tabla 15. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.75

L	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	3.091
NIVEL DEL AGUA	2.17	1.334
	1.92	1.077
	1.65	1.359
	1.37	2.016
	1.06	3.069
	0.72	4.781
	0.48	5.629
	0.24	10.044
	0.00	6.859

Fuente: Elaboración propia

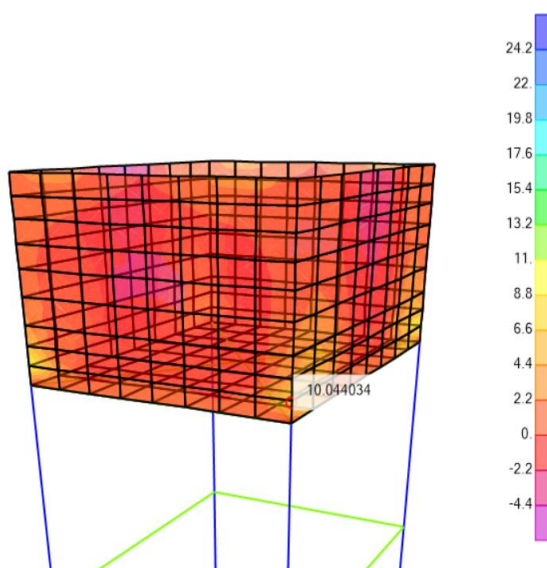


Figura 14. Fuerza anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección xx

Fuente: elaboración propia

Resultados de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 10.044 Tn/m.

4.1.2.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA L/B=1

Tabla 16. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección L/B=1

L	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	1.959
	2.17	1.359
NIVEL DEL AGUA	1.92	1.352
	1.65	1.620
	1.37	2.315
	1.09	3.284
	0.72	5.431
	0.48	6.737
	0.24	10.880
	0.00	6.695

Fuente: Elaboración propia

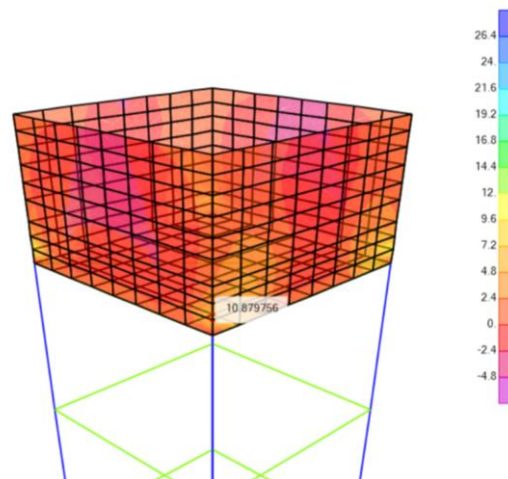


Figura 15. Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de sección L/B=1 - Dirección xx

Fuente: elaboración propia

Resultados de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 10.88 Tn/m.

4.1.2.5. GRÁFICO COMPARATIVO DE LA TENSIÓN ANULAR

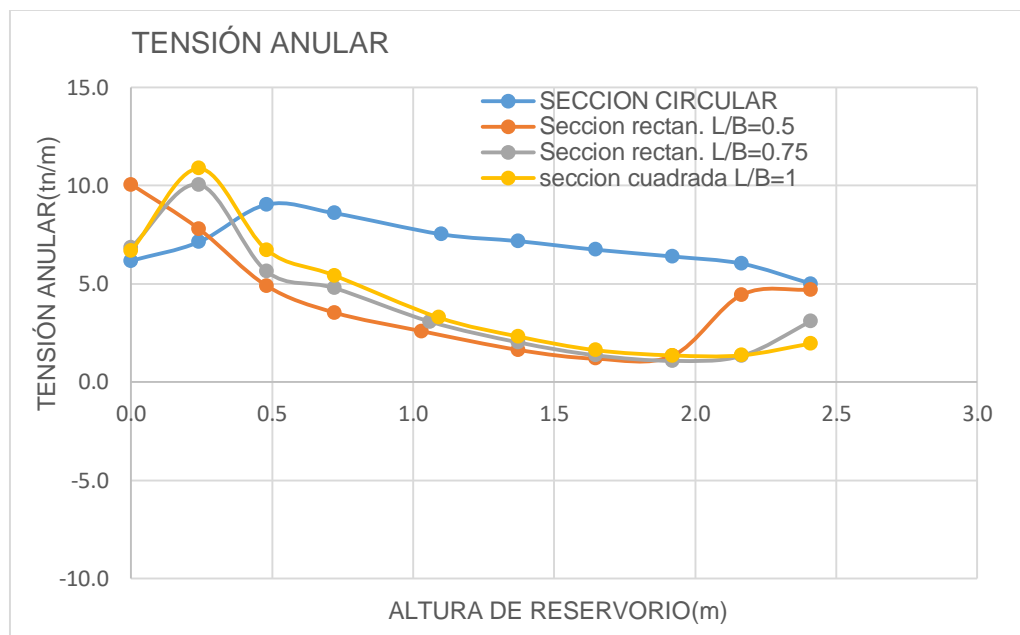


Figura 16. Gráfico comparativos de la variación de la tensión anular vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. MOMENTOS EN LA PARED DE LA CUBA M22

4.1.3.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR

Tabla 17. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección circular

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.151
	2.17	-0.213
NIVEL DEL AGUA	1.92	-0.134
	1.65	0.101
	1.37	0.132
	1.10	0.164
	0.72	0.649
	0.48	1.585
	0.24	3.728
	0.00	6.27

Fuente: Elaboración propia

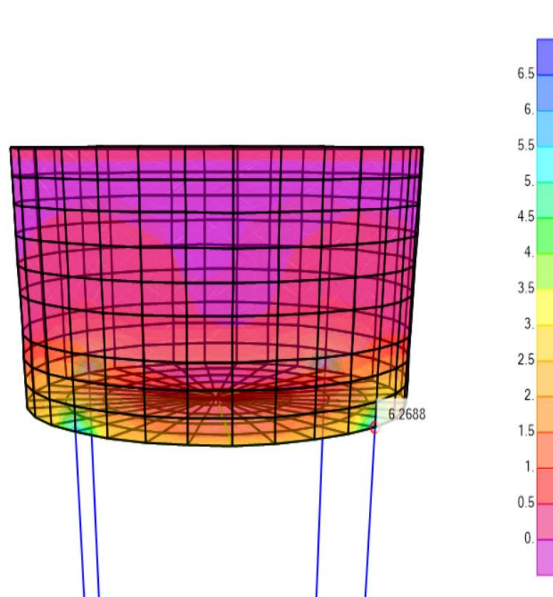


Figura 17. Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M22, corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 6.27 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.213 Tn-m.

4.1.3.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 18. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	-0.356
	2.17	-0.145
NIVEL DEL AGUA	1.92	-0.047
	1.65	0.114
	1.37	0.280
	1.03	0.519
	0.72	0.851
	0.48	1.382
	0.24	2.374
	0.00	5.385

Fuente: Elaboración propia

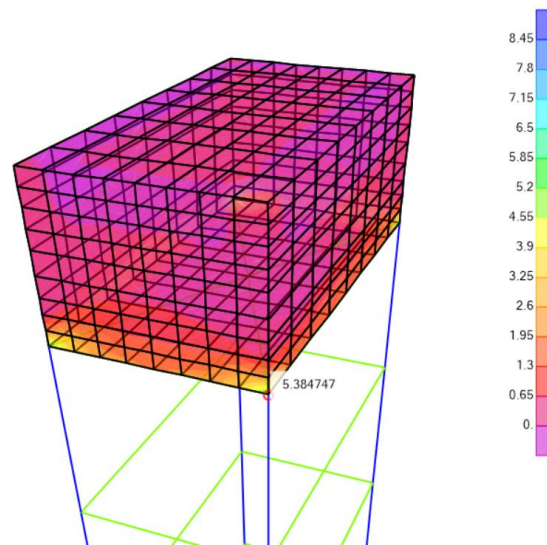


Figura 18. Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M22, corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 5.385 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.356 Tn-m.

4.1.3.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$

Tabla 19. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	-0.413
	2.17	-0.304
NIVEL DEL AGUA	1.92	-0.190
	1.65	0.155
	1.37	0.325
	1.06	0.577
	0.72	0.943
	0.48	1.449
	0.24	2.340
	0.00	5.750

Fuente: Elaboración propia

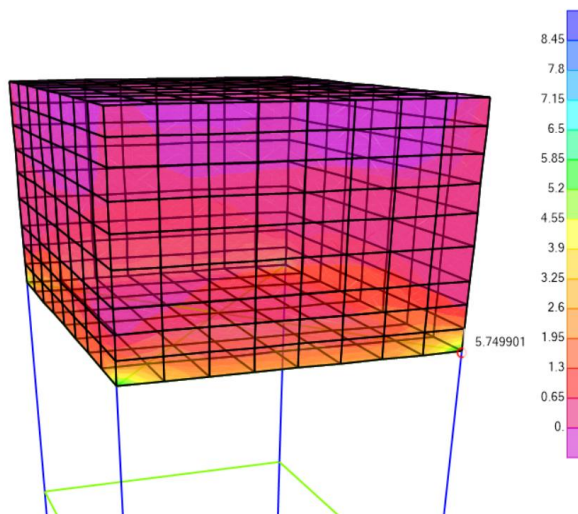


Figura 19. Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M22, corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 5.75 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.413 Tn-m.

4.1.3.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA L/B =1

Tabla 20. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección L/B=1

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	-0.395
	2.17	-0.293
NIVEL DEL AGUA	1.92	-0.182
	1.65	0.173
	1.37	0.382
	1.09	0.555
	0.72	0.974
	0.48	1.450
	0.24	2.251
	0.00	6.090

Fuente: Elaboración propia

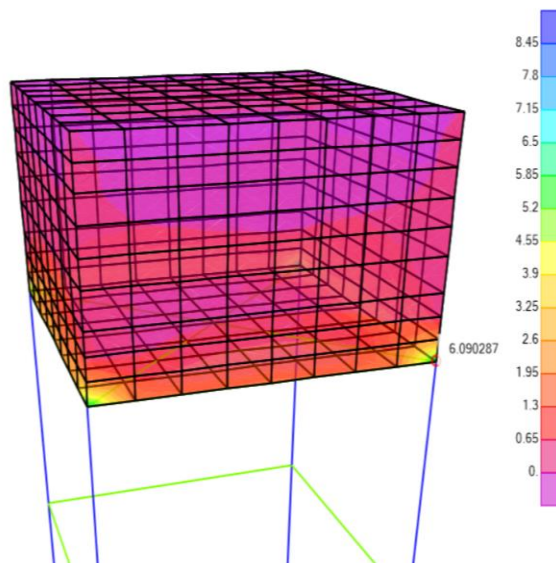


Figura 20. Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección L/B=1 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M22, corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 6.09 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.395 Tn-m.

4.1.3.5. GRÁFICO COMPARATIVO DEL MOMENTO A FLEXIÓN

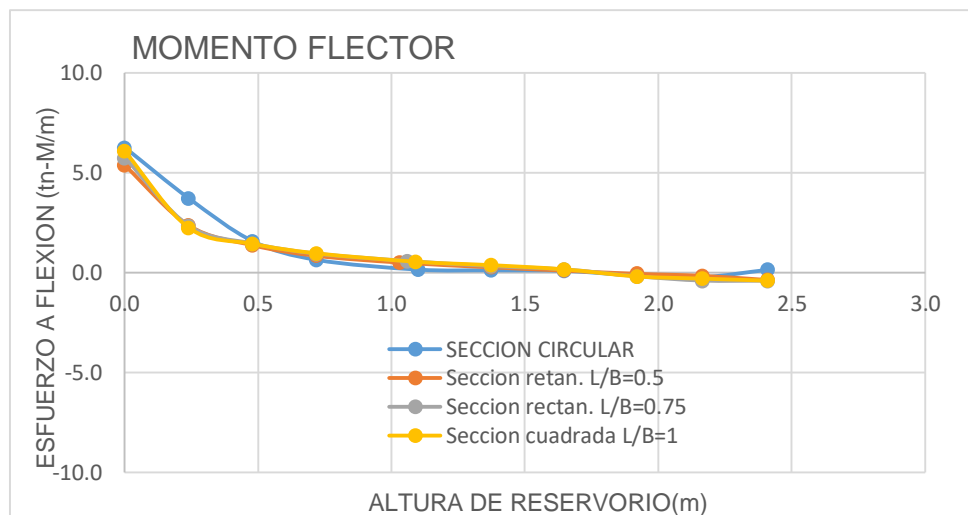


Figura 21. Gráfico comparativos de la variación del momento vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. ESFUERZO CORTANTE EN LA PARED DE LA CUBA V23

4.1.4.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR

Tabla 21. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección circular

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.407
NIVEL DEL AGUA	2.17	1.198
	1.92	0.888
	1.65	0.672
	1.37	0.644
	1.10	1.125
	0.72	2.386
	0.48	3.884
	0.24	5.454
	0.00	6.300

Fuente: Elaboración propia

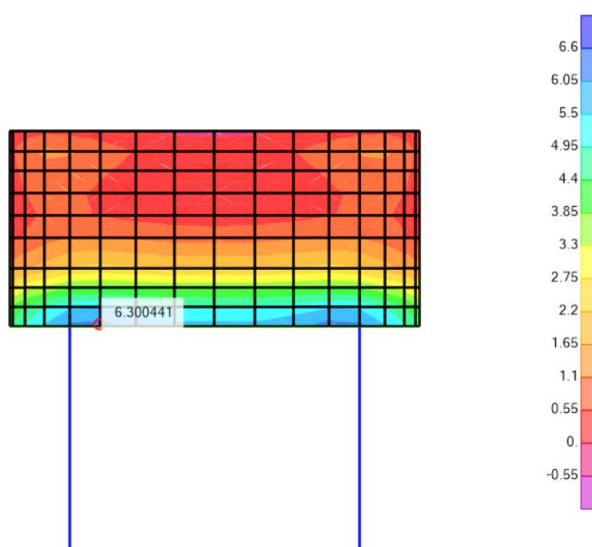


Figura 22. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección circular - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a los esfuerzos cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 6.3 Tn/m.

4.1.4.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B =0.5

Tabla 22. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.515
NIVEL DEL AGUA	2.17	0.977
	1.92	1.014
	1.65	1.125
	1.37	1.420
	1.03	1.970
	0.72	2.805
	0.48	4.121
	0.24	7.577
	0.00	9.986

Fuente: Elaboración propia

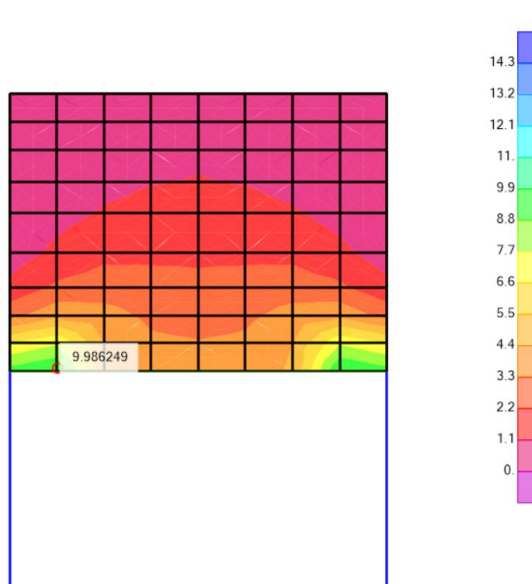


Figura 23. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a los esfuerzos cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 9.986 Tnf/m.

4.1.4.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B =0.75

Tabla 23. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.75

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.558
NIVEL DEL AGUA	2.17	1.043
	1.92	1.067
	1.65	1.142
	1.37	1.370
	1.06	1.848
	0.72	2.643
	0.48	3.808
	0.24	7.090
	0.00	9.339

Fuente: Elaboración propia

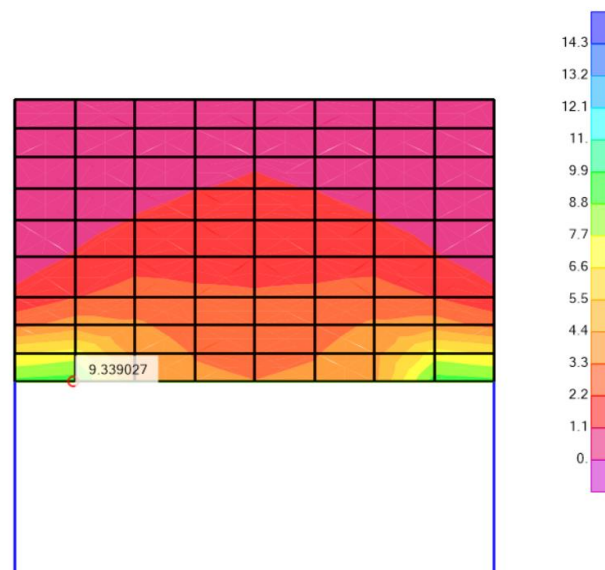


Figura 24. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a las fuerzas cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 9.339 Tn-f/m.

4.1.4.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA L/B =1

Tabla 24. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=1

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.427
	2.17	1.049
NIVEL DEL AGUA	1.92	1.048
	1.65	1.092
	1.37	1.265
	1.09	1.687
	0.72	2.431
	0.48	3.560
	0.24	6.732
	0.00	9.254

Fuente: Elaboración propia

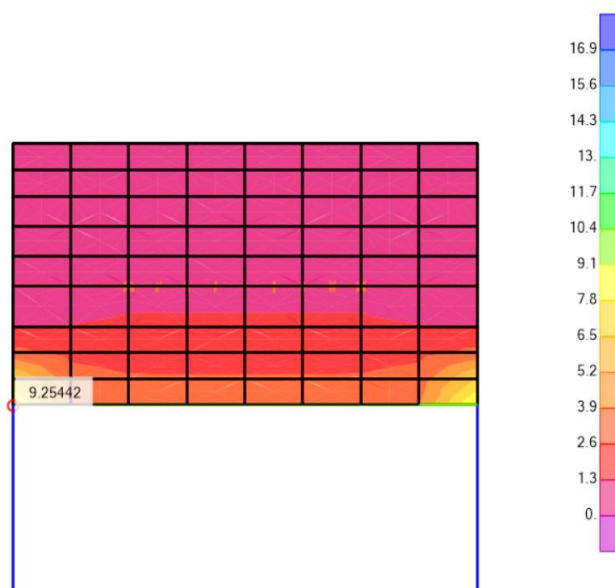


Figura 25. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=1 - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a las fuerzas cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección cuadrada L/B=1 con un valor máximo de 9.254 Tn-f/m.

4.1.4.5. GRÁFICO COMPARATIVO DE FUERZA DE CORTE

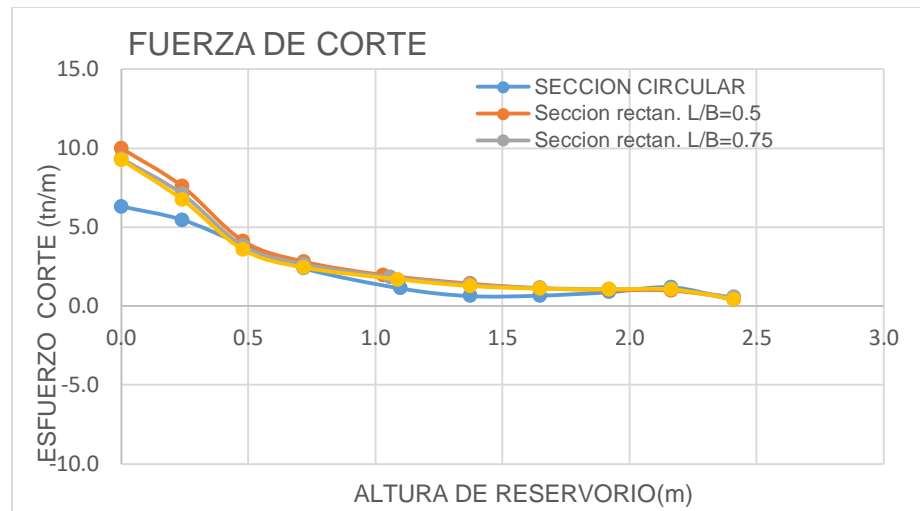


Figura 26. Gráfico comparativos de la variación de la fuerza cortante vs la altura de los reservorios elevados – Dirección XX

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. DESPLAZAMIENTOS

4.1.5.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR

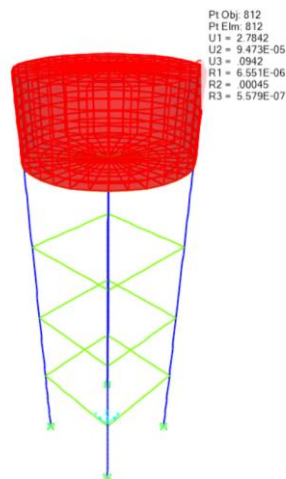


Figura 27. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección circular- Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 2.784 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular.

4.1.5.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.5$

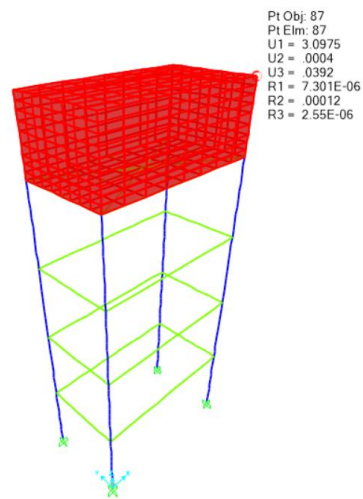


Figura 28. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 3.098 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular.

4.1.5.3. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CIRCULAR $L/B=0.75$

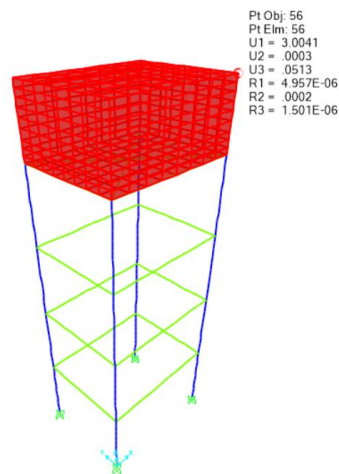


Figura 29. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección $L/B=0.75$ - Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 3.004 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular.

4.1.5.4. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN CUADRADA L/B=1

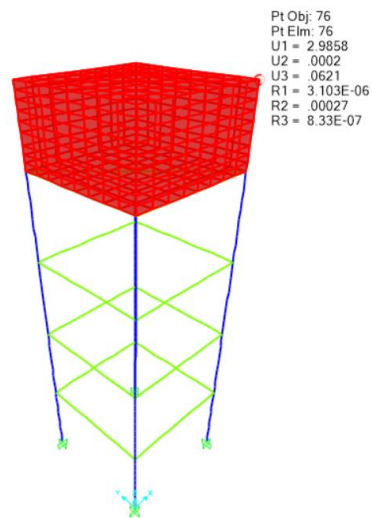


Figura 30. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección L/B=1 -
Dirección xx

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 2.986 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular

4.2. RESULTADO DEL ANÁLISIS EN LA DIRECCIÓN YY

4.2.1. ANÁLISIS MODAL

4.2.1.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 25. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=0.5 yy

	N° Modo	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Modo	1	2.49	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
Modo	2	0.49	0.00	0.80	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00
Modo	3	0.49	0.87	0.00	0.00	0.87	0.89	0.00	0.00	0.00
Modo	4	0.33	0.00	0.00	0.00	0.87	0.89	0.00	0.86	0.86
Modo	5	0.10	0.09	0.00	0.00	0.96	0.89	0.00	0.00	0.86
Modo	6	0.10	0.00	0.08	0.00	0.96	0.97	0.00	0.00	0.86
Modo	7	0.09	0.00	0.00	0.00	0.96	0.97	0.00	0.10	0.96
Modo	8	0.05	0.03	0.00	0.00	0.99	0.97	0.00	0.00	0.96
Modo	9	0.05	0.00	0.02	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.96
Modo	10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.00	0.03	0.99
Modo	11	0.04	0.00	0.00	0.85	0.99	0.99	0.85	0.00	0.99
Modo	12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.99	1.00	0.85	0.00	0.99
Modo	13	0.03	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.85	0.00	0.99
Modo	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.85	0.00	0.99
Modo	15	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.85	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.49$ s.
- ✓ El primer periodo fundamental es $T_2=0.49$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 9% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 89% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.2.1.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

Tabla 26. Períodos y porcentaje de participación de masa-sección L/B=0.75 yy

	N° Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ	SumRZ
Modo	1	2.46	0.00	0.12	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
Modo	2	0.48	0.00	0.78	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00
Modo	3	0.46	0.87	0.00	0.00	0.87	0.90	0.00	0.00	0.00
Modo	4	0.32	0.00	0.00	0.00	0.87	0.90	0.00	0.86	0.86
Modo	5	0.10	0.09	0.00	0.00	0.96	0.90	0.00	0.00	0.86
Modo	6	0.10	0.00	0.08	0.00	0.96	0.97	0.00	0.00	0.86
Modo	7	0.09	0.00	0.00	0.00	0.96	0.97	0.00	0.10	0.96
Modo	8	0.05	0.03	0.00	0.00	0.99	0.97	0.00	0.00	0.96
Modo	9	0.05	0.00	0.02	0.00	0.99	0.99	0.00	0.00	0.96
Modo	10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99	0.00	0.03	0.99
Modo	11	0.04	0.00	0.00	0.84	0.99	0.99	0.84	0.00	0.99
Modo	12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.99	1.00	0.84	0.00	0.99
Modo	13	0.03	0.01	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.00	0.99
Modo	14	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.00	0.99
Modo	15	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.84	0.00	0.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra lo siguiente:

- ✓ El primer periodo fundamental es $T_1=2.46$ s.
- ✓ El primer periodo fundamental es $T_2=0.48$ s.
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 12% de participación de masa esto representa la masa convectiva (masa móvil del agua).
- ✓ Se puede apreciar que el primer modo de vibración muestra un 78% de participación de masa esto representa la masa impulsiva (masa propia de la estructura más la masa fija del agua).

4.2.2. TENSIÓN ANULAR F11

4.2.2.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 27. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	3.397
NIVEL DEL AGUA	2.17	3.860
	1.92	1.886
	1.65	1.723
	1.37	2.204
	1.03	2.844
	0.72	6.416
	0.48	9.549
	0.24	12.103
	0.00	10.105

Fuente: Elaboración propia

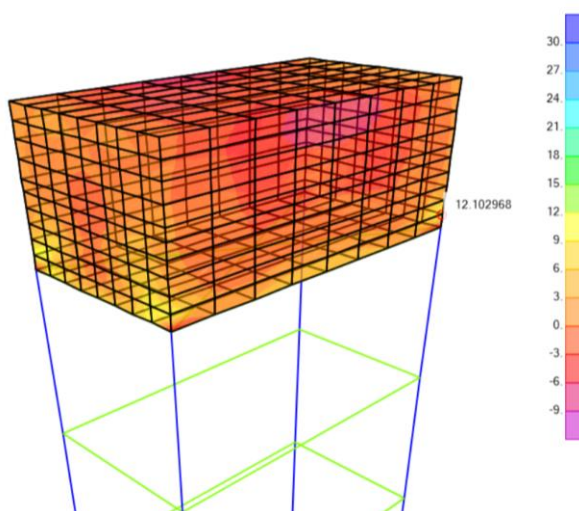


Figura 31. Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de L/B=0.5 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Resultados de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 12.103 Tn/m.

4.2.2.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

Tabla 28. Variación de la tensión anular respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.75

NIVEL	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	1.59
NIVEL DEL AGUA	2.17	1.869
	1.92	1.693
	1.65	1.851
	1.37	2.541
	1.06	3.490
	0.72	5.871
	0.48	8.087
	0.24	11.951
	0.00	6.422

Fuente: Elaboración propia

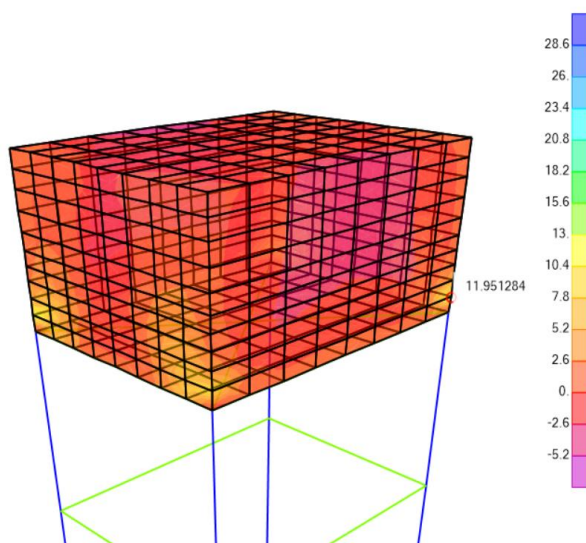


Figura 32. Tensión anular F11 en pared del reservorio elevado de L/B=0.75 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Resultados de tensión anular máxima F11, corresponde a fuerza axial ejercida horizontalmente en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo de 11.951 Tn/m.

4.2.2.3. GRÁFICO COMPARATIVO DE LA TENSIÓN ANULAR

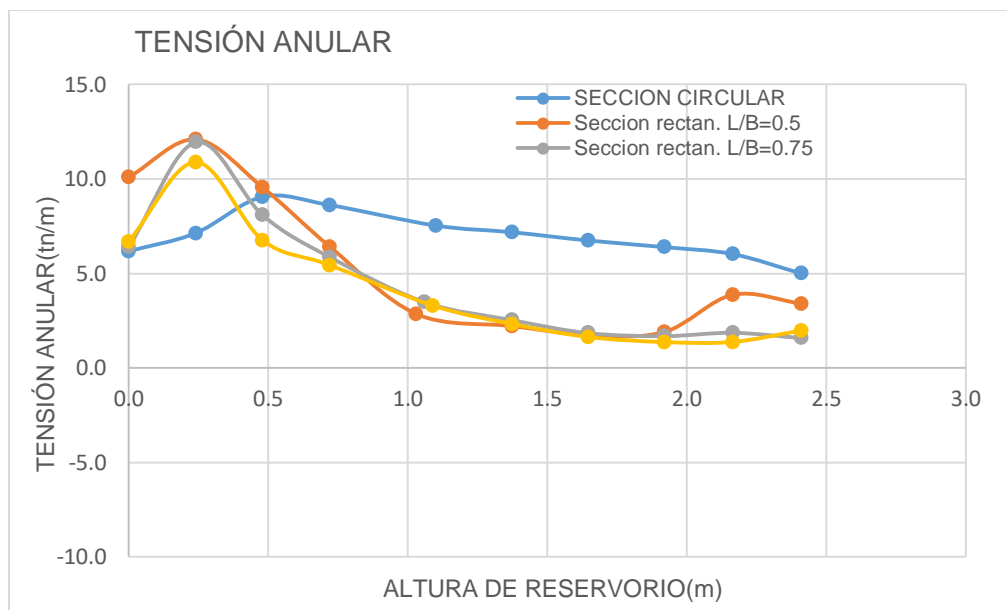


Figura 33. Gráfico comparativos de la variación de la tensión anular vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4. MOMENTOS EN LA PAREDE DE LA CUBA M22 RESERVORIO

4.2.2.5. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 29. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	-0.313
	2.17	-0.197
NIVEL DEL AGUA	1.92	-0.013
	1.65	0.187
	1.37	0.450
	1.03	0.630
	0.72	1.055
	0.48	1.374
	0.24	2.015
	0.00	6.820

Fuente: Elaboración propia

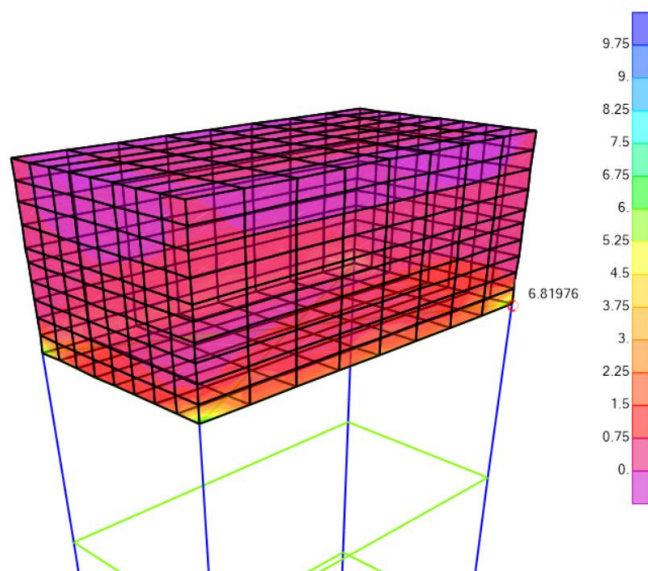


Figura 34. Momento M_{22} en pared del reservorio elevado de sección $L/B=0.5$ - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M_{22} , corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 6.82 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.313 Tn-m.

4.2.2.6. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR $L/B=0.75$

Tabla 30. Variación del momento respecto a la altura de la cuba - sección $L/B=0.75$

NIVEL	Altura (m)	M (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.41	-0.346
NIVEL DEL AGUA	2.17	-0.254
	1.92	-0.046
	1.65	0.181
	1.37	0.375
	1.06	0.534
	0.72	0.964
	0.48	1.413
	0.24	2.203
	0.00	6.416

Fuente: Elaboración propia

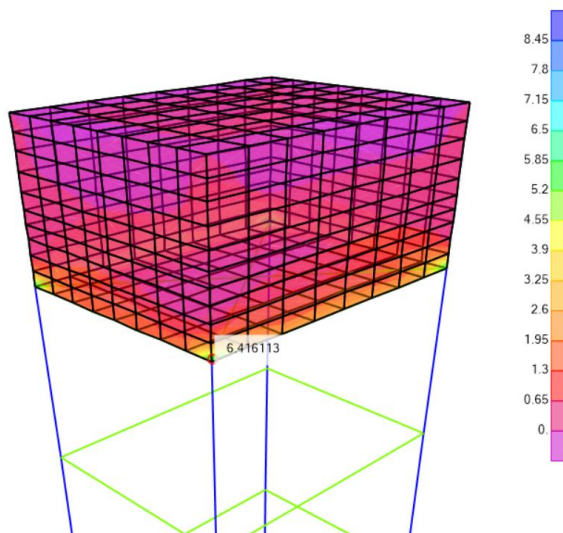


Figura 35. Momento M22 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Momento máximo M22, corresponde al momento vertical en las paredes del reservorio elevado de sección circular con un valor máximo positivo de 6.82 Tn-m y un valor negativo máximo de -0.346Tn-m.

4.2.2.7. GRÁFICO COMPARATIVO DEL MOMENTO FLECTOR

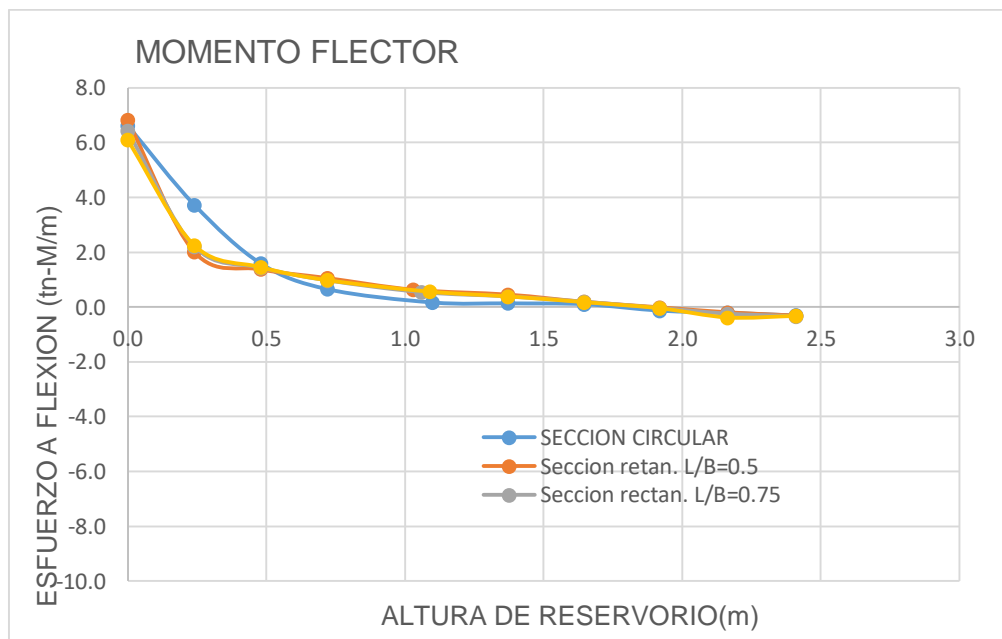


Figura 36. Gráfico comparativos de la variación del momento vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. FUERZA CORTANTE EN LA PARED DE LA CUBA V23

4.2.3.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

Tabla 31. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.5

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.366
	2.17	1.092
NIVEL DEL AGUA	1.92	1.019
	1.65	1.031
	1.37	1.174
	1.03	1.273
	0.72	1.566
	0.48	2.810
	0.24	6.446
	0.00	9.061

Fuente: Elaboración propia

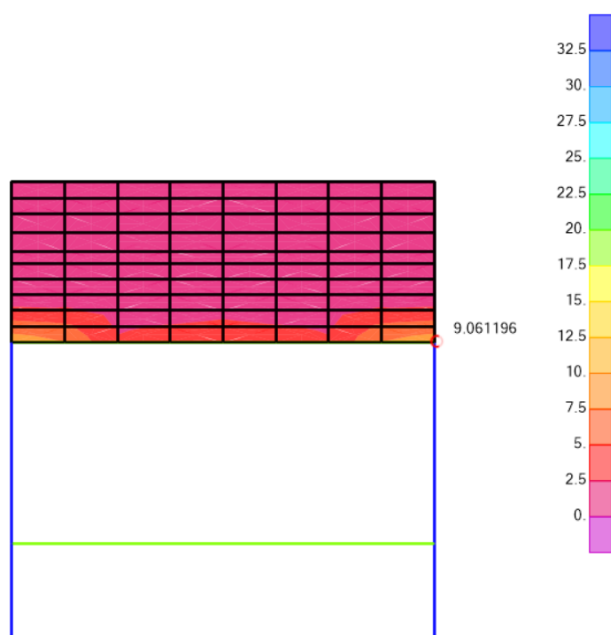


Figura 37. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a las fuerzas cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección rectangular L/B=0.5 con un valor máximo de 9.061 Tn-f/m.

4.2.3.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

Tabla 32. Variación de la fuerza de corte respecto a la altura de la cuba - sección L/B=0.75

NIVEL	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.41	0.263
	2.17	1.000
NIVEL DEL AGUA	1.92	0.970
	1.65	1.067
	1.37	1.142
	1.09	1.500
	0.72	2.022
	0.48	3.365
	0.24	6.3.96
	0.00	9.122

Fuente: Elaboración propia

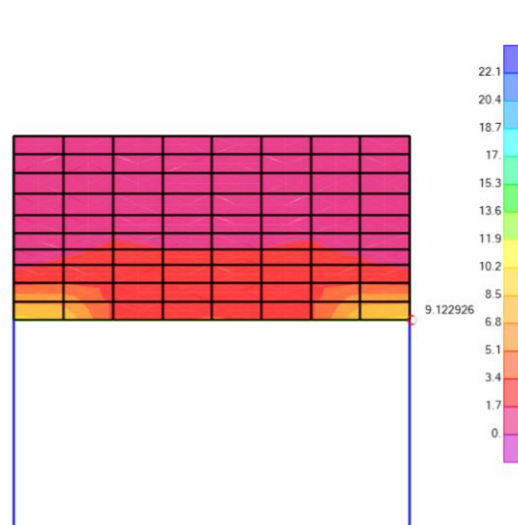


Figura 38. Fuerza cortante V23 en pared del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

Los resultados corresponden a las fuerzas cortantes que actúa en las paredes del reservorio elevado de sección rectangular L/B=0.5 con un valor máximo de 9.122 Tn-f/m.

4.2.3.3. GRÁFICO COMPARATIVO DE FUERZA DE CORTE

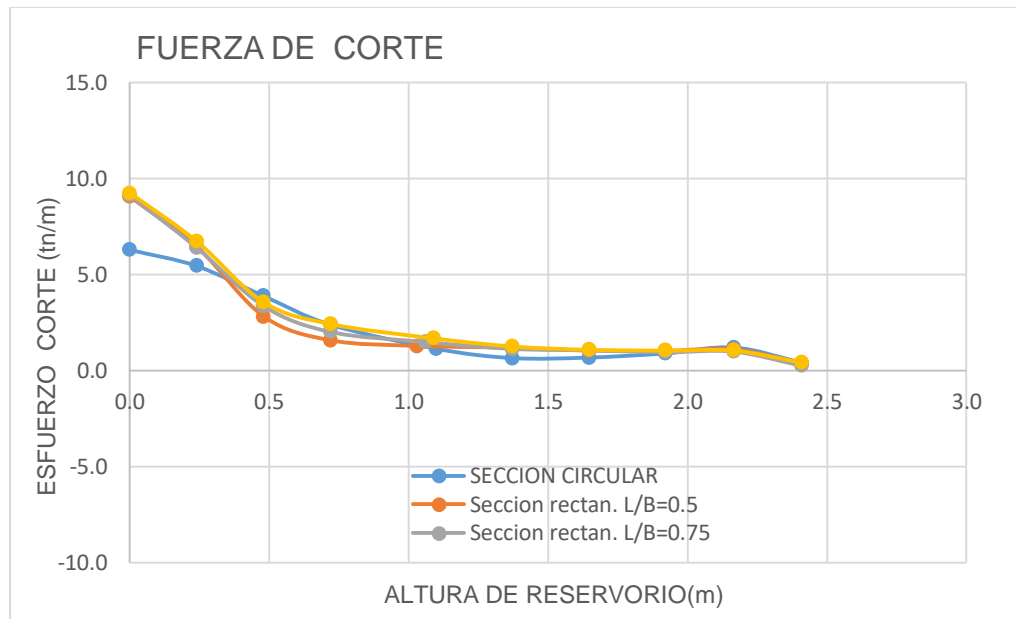


Figura 39 Gráfico comparativos de la variación de la fuerza cortante vs la altura de los reservorios elevados – Dirección YY.

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. DESPLAZAMIENTOS

4.2.4.1. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.5

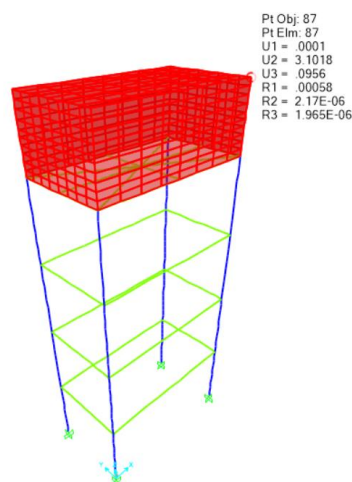


Figura 40. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección L/B=0.5 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 3.102 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular.

4.2.4.2. RESERVORIO ELEVADO DE SECCIÓN RECTANGULAR L/B=0.75

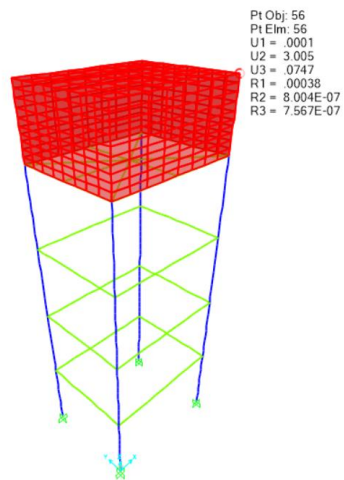


Figura 41. Desplazamiento máximo del reservorio elevado de sección L/B=0.75 - Dirección YY

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra un desplazamiento máximo de 3.005 cm en el techo del reservorio elevado de sección circular.

4.3. RESUMEN DE RESULTADOS MÁXIMOS DE LOS RESERVORIOS ELEVADOS

Tabla 33. Resumen de valores máximo de los esfuerzos, desplazamientos y periodos

VALORES MÁXIMOS	SISMO EN LA DIRECCION XX							SISMO EN LA DIRECCION YY						
	Sec. circular	Sección rectangular L/B=0.5	% variación respecto a sec. Circular	Sección rectangular L/B=0.75	% variación respecto a sec. Circular	Sección cuadrada L/B=1	% variación respecto a sec. Circular	Sec. circular	Sección rectangular L/B=0.5	% variación respecto a sec. Circular	Sección rectangular L/B=0.75	% variación respecto a sec. Circular	Sección cuadrada L/B=1	% variación respecto a sec. Circular
DESPLAZAMIENTOS														
DESPLAZAMIENTO (cm)	2.784	3.098	11.28%	3.004	7.90%	2.986	7.26%	2.784	3.102	11.42%	3.005	7.94%	2.986	7.26%
PERIODOS														
PERIODO CONVECTIVO (s)	2.446	2.743	12.14%	2.556	4.50%	2.486	1.64%	2.446	2.495	2.00%	2.461	0.61%	2.486	1.64%
PERIODO IMPULSIVO (s)	0.447	0.508	13.65%	0.489	9.40%	0.484	8.28%	0.447	0.493	10.29%	0.484	8.28%	0.484	8.28%
ESFUERZOS EN LA PARED DE RESERVORIO ELEVADO														
TENSION ANULAR (tnf/m)	9.050	10.048	11.03%	10.044	10.94%	10.880	20.22%	9.050	12.103	33.73%	11.951	32.06%	10.880	20.22%
MOMENTO - (tnf-m/m)	-0.213	-0.356	67.14%	-0.413	93.90%	-0.395	85.45%	-0.213	-0.313	46.95%	-0.346	62.44%	-0.395	85.45%
MOMENTO + (tnf-m/m)	6.270	5.385	-14.11%	5.750	-8.29%	6.090	-2.87%	6.270	6.820	8.77%	6.416	2.33%	6.090	-2.87%
FUERZA CORTANTE (tnf/m)	6.300	9.986	58.51%	9.339	48.24%	9.254	46.89%	6.300	9.061	43.83%	9.122	44.79%	9.254	46.89%

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

5.1. CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

5.1.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

PRIMERA HIPÓTESIS: *El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular desarrollará un comportamiento uniforme en toda su sección mediante la aplicación de la normativa norteamericana.*

SEGUNDA HIPÓTESIS: *El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular desarrollará un comportamiento no uniforme en toda su sección mediante la aplicación de la normativa norteamericana.*

Para validar las hipótesis podemos observar los siguientes gráficos donde se muestran la distribución de los esfuerzos de tensión anular, momento y cortante según una escala de valores hasta el nivel de agua.

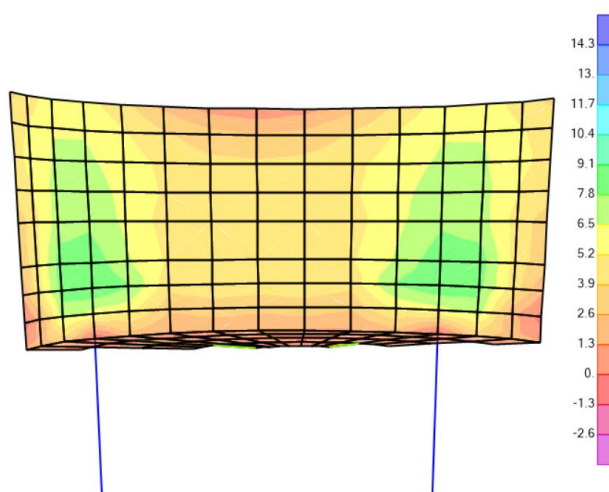


Figura 42. Distribución de tensión anular F11 – Sección circular

Fuente: Elaboración propia

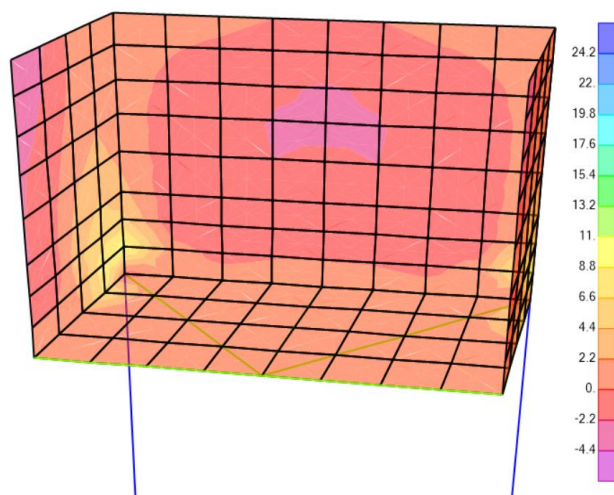


Figura 43. Distribución de la tensión anular F_{11} – Sección rectangular

Fuente: Elaboración propia

Analizando la figura 42 según la escala de colores la distribución de los valores de los esfuerzos en la parte central de la cuba de sección circular es 2.6 a 5.2 ton-f/m, en la parte paralela a la unión de la cuba con las columnas se muestra una ligera concentración de esfuerzos, teniendo así un comportamiento uniforme al presenciar en toda la sección tensiones anulares a tracción, se valida la primera hipótesis.

Caso contrario analizando la figura 43 según la escala de colores se muestra valores de tensiones positivas y negativas de -4.4 a 8.8 ton-f/m en la parte central y una alta concentración de esfuerzos a lo largo del vértice de la cuba de sección rectangular, mostrando así una distribución no uniforme de los esfuerzos, se valida la segunda hipótesis.

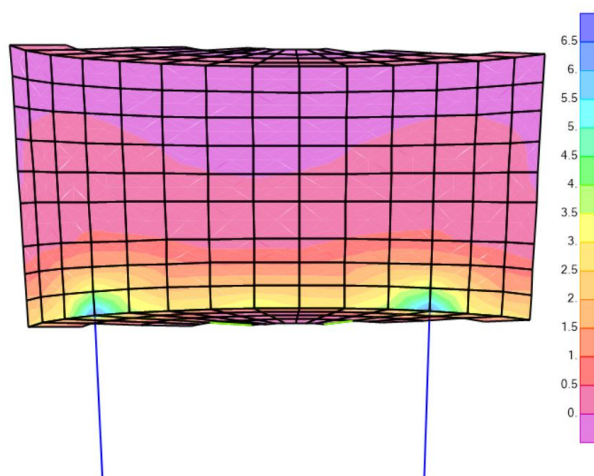


Figura 44. Distribución de momentos M_{22} - Sección circular

Fuente: Elaboración propia

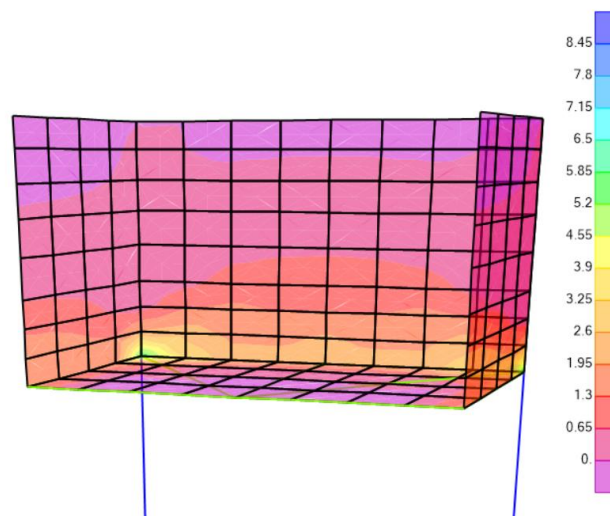


Figura 45. Distribución de momentos M_{22} - Sección rectangular

Fuente: Elaboración propia

Analizando la figura 44 y figura 45 según la escala de colores se puede observar en ambos casos una distribución de esfuerzos en relación a la altura de la cuba uniforme en ambos casos de esfuerzos de momentos entre -0.5 a 5.5 tn-f.m/m en la sección circular y ligeramente valores mayores en la sección rectangular de -0.5 a 6.5 tn-f.m/m. Esto valida la primera hipótesis en el caso de la sección circular y en el caso de la sección rectangular la segunda hipótesis no se valida.

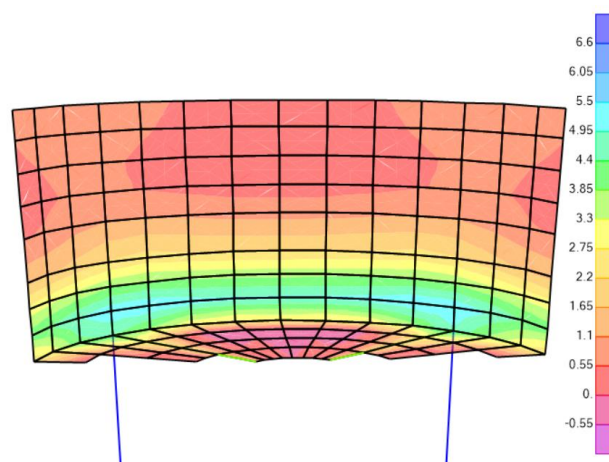


Figura 46. Distribución de la fuerza cortante V_{23} - Sección circular

Fuente: Elaboración propia

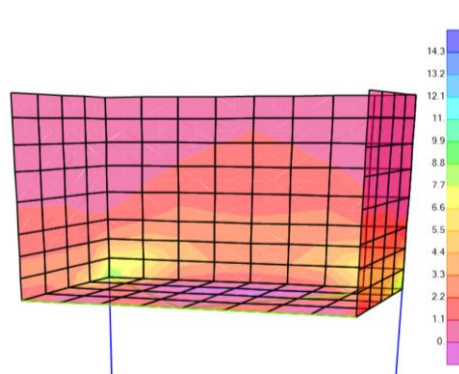


Figura 47. Distribución de la fuerza cortante V23 - Sección rectangular

Fuente: Elaboración propia

Analizando la figura 46 según la escala de colores la distribución de los valores de los esfuerzos cortantes en la sección circular a medida que aumenta la altura de la cuba de sección circular, se observa esfuerzos uniformes que varían 1.1 a 5.5 tn-f/m; validando así la primera hipótesis.

Analizando la figura 47 según la escala de colores se muestra valores de los esfuerzos cortantes de manera no uniforme a medida que aumenta la altura de la cuba de sección rectangular; validando así la segunda hipótesis

5.1.2. HIPÓTESIS GENERAL

HIPOTESIS GENERAL: *Un reservorio elevado de sección circular tiene un mejor comportamiento sísmico en comparación a un reservorio elevado de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.*

Una vez validados las hipótesis específicas que nos conducen a la validación de la hipótesis general donde pudimos observar como los esfuerzos en el reservorio elevado de cuba circular muestra un comportamiento uniforme lo que conlleva a tener esfuerzos, desplazamientos y periodos de vibración menores al de la sección rectangular, los cuales se muestran dichos valores en la tabla resumen del capítulo IV.

a) Análisis del resultado en dirección de eje X

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto a los esfuerzos:

- Los esfuerzos de tensión anular de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 11.03%, 10.94% y 20.22 %

respectivamente, los resultados evidencian un incremento de las fuerzas internas en las secciones rectangulares.

- El momento negativo en las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 67.14%, 93.90% y 85.45 % respectivamente en el caso del momento positivo varia en -14.11%, -8.29% y -2.87% respectivamente, los resultados evidencian un incremento de los momentos negativos y un decremento de los momentos positivos.
- Los esfuerzos de corte de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 58.51%, 48.24% y 46.89 % respectivamente, los resultados evidencian un incremento de las fuerzas internas de corte en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al desplazamiento máximo en la parte superior del reservorio elevado:

- El desplazamiento de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 11.28%, 7.9% y 7.26 % respectivamente, los resultados evidencian un incremento del desplazamiento máximo en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al periodo convectivo:

- El periodo convectivo de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 13.65%, 9.40% y 8.28% respectivamente, los resultados evidencian un incremento del periodo convectivo en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al periodo impulsivo:

- El periodo impulsivo de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 12.14%, 4.5% y 1.64% respectivamente, los

resultados evidencian un incremento del periodo impulsivo en las secciones rectangulares.

b) Análisis del resultado en dirección de eje Y

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto a los esfuerzos:

- Los esfuerzos de tensión anular de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 33.73%, 32.06% y 20.22 % respectivamente, los resultados evidencian un incremento de las fuerzas internas en las secciones rectangulares.
- El momento negativo de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 46.95 %, 62.44% y 85.45 % respectivamente en el caso del momento positivo varia en 8.77%, 2.33% y -2.87% respectivamente, los resultados evidencian un incremento de los momentos positivos y un decremento de los momentos negativos.
- Los esfuerzos de corte de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 43.83%, 44.79% y 46.89 % respectivamente, los resultados evidencian un incremento de los esfuerzos en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al desplazamiento máximo en la parte superior del reservorio elevado:

- El desplazamiento de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 11.42%, 7.94% y 7.26 % respectivamente, los resultados evidencian un incremento del desplazamiento máximo en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al periodo convectivo:

- El periodo convectivo de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 10.29%, 8.28% y 8.28%

respectivamente, los resultados evidencian un incremento del periodo convectivo en las secciones rectangulares.

En la tabla resumen de resultados máximos podemos observar lo siguientes, respecto al periodo impulsivo:

- El periodo impulsivo de las secciones rectangulares $L/B=0.5$, $L/B=0.75$ y $L/B=1$ (sección cuadrada) tienen un porcentaje de variación respecto a la sección circular de 2.00%, 0.61% y 1.64% respectivamente, los resultados evidencian un incremento del periodo impulsivo en las secciones rectangulares.

Realizado el análisis de los resultados; los indicadores esfuerzos, desplazamientos y periodos mostraron en sus valores máximos en las secciones rectangulares fueron mayores con respecto a la sección circular, excepto en los momentos positivos, presentando en la sección circular valores máximos relativamente mayores respecto a las secciones rectangulares. Por lo tanto, se da como valido la hipótesis general, siendo el reservorio de sección circular con mejor comportamiento sísmico que la sección rectangular.

5.2. CONCLUSIONES

- Los reservorios elevados de concreto armado de sección circular muestran un mejor comportamiento sísmico en comparación a los reservorios elevados de sección rectangular evaluados mediante la normativa norteamericana ACI 350.03-06. Mostrando lo siguiente:
 - a) Los esfuerzos de tensión anular en las secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 33.73% respecto a la sección circular, los momentos negativos de las secciones rectangular tienen un incremento máximo de 93.90%, los momentos negativos de las secciones rectangulares tiene un decremento máximo de -14.11% y los esfuerzos de corte en las secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 58.51%.
 - b) Los desplazamientos del reservorio elevado de sección rectangular tienen un incremento máximo de 11.42% respecto al reservorio elevado de sección circular.
 - c) Los periodos convectivos e impulsivos de los reservorios elevados rectangulares tienen un incremento de 13.65% y 12.14% respectivamente, respecto al reservorio elevado de sección circular.

- El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular presenta un comportamiento uniforme en su sección.

- El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular presenta un comportamiento no uniforme en su sección excepto en el esfuerzo de momento que presenta valores uniformes similares a la del reservorio elevado de sección circular.

5.3. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre el comportamiento sísmico de reservorios elevados de la región de Tacna considerando otras normativas internacionales.
- Se recomienda investigar sobre el comportamiento sísmico de reservorios elevados de la región de Tacna aplicando la norma norteamericana u otras internacionales considerando las diferentes zonas según la Norma técnica peruana E030, realizando diseños confiables de acuerdo a cada zonificación.
- Se recomienda investigar sobre reservorio elevados existentes realizado una evaluación estructural aplicando la normativa americana ACI 350-06 u otras normas internacionales, para su reforzamiento en caso no cumpla las exigencias previstas por las normas internacionales.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bibliografía

- Acero Martínez , J., & Mejía Zúñiga, J. (s.f.). Análisis dinámico de tanques superficiales, circulares y rectangulares. *Instituto de la Construcción y Gerencia* , 1-11.
- ACI Committee 350. (Noviembre de 2006). Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06). U.S.A.
- Anconeira Rojas, E. (2017). Importancia de considerar modelos dinámicos de los tanques elevados en el análisis sísmico en edificaciones. Universidad Nacional San Agustín (Tesis pregrado), Arequipa.
- Bhandari, M., & Singh, K. D. (2014). Economic Design of Water Tank of Different Shapes With Reference To IS: 3370 2009. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*, 45-63.
- Castro Prieto Huancachoque, A., & Mendoza Quiñonez, D. W. (2017). Evaluación comparativa de la respuesta estructural mediante un análisis hidrodinámico de un tanque elevado de sección octogonal frente a uno rectangular en el proyecto de saneamiento Alto Qosqo-Cusco. Universidad Andina de Cusco, Cusco.
- CC.OO. (2008). TIPOS DE ESFUERZOS FISICOS. *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, 18.
- CENAPRED. (2001). *SISMOS* (Cuarta ed.). Mexico: SECRETARIA DE GOBERNACION.
- Centurion Vargas , M. (2018). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RESERVORIO APOYADO DE C° A° DE SECCIÓN CIRCULAR (20 m3) SECTOR 1 DEL C.P. CABRACANCHA-CHOTA. Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis pregrado), Cajamarca.
- Cusihuallpa Mamani, J. A. (2016). ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE. Universidad Andina del Cusco, Cusco.

- Doğangün, A., & Livaoglu, R. (2008). A COMPARATIVE STUDY OF THE SEISMIC ANALYSIS OF. *The 14 World Conference on Earthquake Engineering*, (pág. 8). Beijing.
- Evangelista Ruiz, R. A. (2017). PROPUESTA DE DISEÑO DE RESERVORIO APOYADO USANDO EL SOFTWARE SAP 2000 PARA EL SERVICIO DEL AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO RURAL EN EL CASERIO EL ELIZARCHUGAY-SANCHEZ CARRION-LA LIBERTAD 2017. Universidad Privada de Trujillo, Trujillo.
- Hernández Ortiz, G. (2012). Conceptos básicos sobre terremotos y las causas que la originan, proyecto de prevencion y mitigacion del riesgo en el Colegio Nicolás Gómez Dávila I.E.D. Universidad Nacional de Colombia (Tesis grado magister), Bogotá.
- Housner, G. W. (1957). Dynamic pressures on accelerated fluid containers. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 21.
- Housner, G. W. (Febrero de 1963). The Dynamic Behavior of Water Tanks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53(2), 381-387.
- Huamani Camargo, H. V. (2015). DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN RESERVORIO ELEVADO TIPO FUSTE DE CONCRETO ARMADO. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima.
- Julca Varas, C. A. (2017). Comparación del comportamiento dinámico de reservorios elevados con estructura de soporte tipo marco, evaluados con las normas norteamericana y neozelandesa. Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis pregrado), Cajamarca.
- Llaza Funes, O. (s.f.). Análisis Sísmico de Reservorios. CIP MOQUEGUA, Moquegua.
- Lutgens, F. K., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: PEARSON PRENTICE HALL.
- Martínez Contreras, J. A. (2008). Verificación del Desempeño Sísmico de Tanques Elevados para Almacenamiento. *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural* (pág. 9). Veracruz: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Martos Salas, F. A. (2013). Evaluación de los esfuerzos de un reservorio circular entre el método estático y el método dinámico del diseño sismorresistente. Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis pregrado), Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). NORMA E.060 CONCRETO ARMADO. PERÚ: DIGIGRAF CORP. SA.

- Ministerio de Vivienda, C. y. (24 de ENERO de 2016). NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE ". *EL PERUANO*, pág. 32.
- Nuñez Barboza, L. I. (2014). Esfuerzos Hidrodinámicos en Reservorios Circulares de Concreto Armado, por la Variación de Esbeltez; Altura del Agua - Diámetro. Universidad Nacioanl de Cajamarca (Tesis pregrado), Cajamarca.
- Pupiales Valdivieso, A. M. (2013). Análisis de la interacción fluido – estructura en el diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero segun las normas:americana, neozelandesa, ecuatoriana y metodo simplificados (Tesis pregrado). Quito, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Restrepo Ocampo, C. A., & Hernández Martínez, A. (2017). COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE TANQUES TIPO PARA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. *JOVENES EN LA CIENCIA*, 3, 2082-2086.
- Rivadeneria, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Sandro, V., & Hugo, Y. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremos en el ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.

7. ANEXO

7.1. ANEXO A – MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 34. Matriz de consistencia

INTERROGANTE DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Se podrá evaluar la diferencia del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado considerando el uso de una cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular aplicando la normativa norteamericana?	Evaluar la diferencia en el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado considerando el uso de una cuba de sección circular frente a otro de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.	Un reservorio elevado de sección circular presenta un mejor comportamiento sísmico en comparación a un reservorio elevado de sección rectangular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.	Variable independiente -Normativa norteamericana	-Parámetros sísmicos de la normativa ACI 350-06	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicativo DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Documental ACCIONES Y ACTIVIDADES: -Definir las características de los modelos de estudio -Establecer parámetros sísmicos mediante la normativa vigente. -Realizar el modelado. -Análisis de los resultados. -Comparación de los resultados. -Conclusiones y recomendaciones del estudio. MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS -Software; SAP2000 V19, AutoCAD 2017 -Microsoft (Word y Excel) -Norma ACI 350.3-06 -Norma Técnica E030 "Diseño Sismorresistente"
¿Cuál es el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular aplicando la normativa norteamericana?	Analizar el comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular mediante la aplicación de la normativa norteamericana.	El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular desarrollará un comportamiento uniforme en toda su sección mediante la aplicación de la normativa norteamericana.	Variable dependiente -comportamiento sísmico de los reservorios elevados de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular.	-Propiedades dinámicas -Esfuerzos -Desplazamientos	POBLACIÓN Y MUESTRA: Población: La población de estudio constituida por los reservorios elevados en la ciudad de Tacna. Muestra: Reservorios elevados de concreto armado de cuba circular y rectangulares.
¿Cuál es el comportamiento sísmico del reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular aplicando la normativa norteamericana?	Analizar el comportamiento sísmico del reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular mediante la aplicación de normativa norteamericana.	El comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección rectangular desarrollará un comportamiento no uniforme en toda su sección mediante la aplicación de la normativa norteamericana.			TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS La información será procesada en forma computarizada a través de los usos de tablas.

FUENTE: Elaboración propia

7.2. ANEXO B-MODELAMIENTO SÍSMICO DE RESERVORIO ELEVADO – SECCION CIRCULAR

I.CARACTERÍSTICA GEOMETRICA DEL RESERVORIO ELEVADO CIRCULAR

Borde libre	<i>bl</i>	0.49 m
Altura del agua	<i>HL</i>	1.92 m
Diámetro interno	<i>D</i>	4.82 m
Altura total del tanque	<i>HT</i>	2.41 m
Espesor del muro	<i>t</i>	0.25 m
Espesor de losa de techo	<i>t1</i>	0.15 m
Espesor de fondo de losa	<i>F</i>	0.25 m
Peso específico del agua	<i>w</i>	1.00 tn/m ³
Peso específico del concreto	<i>γ_c</i>	2.40 tn/m ³
Aceleración de la gravedad	<i>g</i>	9.81 m/s ²
Volumen	<i>V</i>	35.03 m ³
Resistencia del concreto	<i>f'_c</i>	280 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	<i>E</i>	250998.0 kg/cm ²
Módulo de Poisson	<i>P</i>	0.2

II.CARACTERÍSTICAS DINAMICAS SEGÚN NORMATIVA ACI 350.03-06

a)CÁLCULO DE PESO DEL LÍQUIDO

W_{agua}	35.03	Tn
Ma	3.571	Tn.s ² /m

b) CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS PARA EL MODELO DINÁMICO

b.1)Relación del diámetro y la altura

D/HL	2.510
HL/D	0.398

b.2)Determinación de las masas

masa impulsiva

$$m_i = \frac{\tanh(0.866 \cdot \frac{D}{H_L})}{0.866 \cdot \frac{D}{H_L}} \cdot m_L \quad \text{Ec.(13)}$$

mi	1.601	Tn.s ² /m
-----------	-------	----------------------

masa convectiva

$$m_c = 0.23 \frac{D}{H_L} \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right) m_L \quad \text{Ec.(14)}$$

mc	1.853	Tn.s2/m
-----------	-------	---------

b.3)Determinación de las alturas de las masas**altura impulsiva**

$$h_i = H_L \left(0.5 - \frac{0.09375}{\frac{D}{H_L}} \right) \quad \frac{D}{H_L} < 1.333 \quad \text{Ec.(15)}$$

$$h_i = 0.375H_L \quad \frac{D}{H_L} \geq 1.333 \quad \text{Ec.(16)}$$

hi	0.72	m
-----------	------	---

altura convectiva

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right) - 1}{3.68 \frac{H_L}{D} - \sinh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)} \right] \cdot H_L \quad \text{Ec.(17)}$$

hc	1.10	m
-----------	------	---

b.3)Determinación de la rigidez del resorte de la masa convectiva

$$K_c = 0.836x \frac{Maxg}{HL} x \tanh^2 \left(3.68x \frac{HL}{D} \right) \quad \text{Ec.(24)} \quad (\text{Ramírez 2011})$$

Kc	12.32	Tn/m
-----------	-------	------

La rigidez del resorte se dividirá radialmente para incluirlo en el programa SAP 2000 según:

$$K_{ci} = \frac{K_c}{\sum \cos^2(\alpha)} \quad (\text{Ramírez 2011})$$

Donde Kci rigidez convectiva de cada resorte, Kc es la rigidez convectiva total y α es el ángulo acumulado

Tabla 35. Distribución de la rigidez convectiva sección circular

Calculo de la rigidez Ki		
Ángulo (°)	cos(°)^2	
0.000	1.000	
11.250	0.962	
22.500	0.854	
33.750	0.691	
45.000	0.500	
56.250	0.309	
67.500	0.146	
78.750	0.038	
90.000	0.000	
101.250	0.038	
112.500	0.146	
123.750	0.309	
135.000	0.500	
146.250	0.691	
157.500	0.854	
168.750	0.962	
180.000	1.000	
191.250	0.962	
202.500	0.854	
213.750	0.691	
225.000	0.500	
236.250	0.309	
247.500	0.146	
258.750	0.038	
270.000	0.000	
281.250	0.038	
292.500	0.146	
303.750	0.309	
315.000	0.500	
326.250	0.691	
337.500	0.854	
348.750	0.962	
Suma	16	
Kci	0.77	Tn/m

FUENTE: Elaboración propia

b.4) Coeficiente de masa efectiva

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \quad \text{Ec. (43)}$$

E	Sección circular 0.6372
---	----------------------------

III. PARÁMETROS SÍSMICOS DE SITIO

La selección de los factores se realizara de acuerdo a la realidad peruana considerando la norma NTP E030 y normativa ACI 350.03-06

FACTOR DE ZONA	Z	0.45
FACTOR DE USO	U	1.25
FACTOR DE SUELO	S	1
PERIODO T_p	T_p	0.4

FACTOR DE REDUCCIÓN

COMPONENTE IMPULSIVA	R_i	2
COMPONENTE CONVECTIVA	R_c	1

Para el diseño del espectro de diseño se considerar la tabla 7

Tabla 36. Espectro de diseño

T (seg.)	C_i	Selastico	S_a
0.001	2.500	13.795	6.898
0.100	2.500	13.795	6.898
0.200	2.500	13.795	6.898
0.300	2.500	13.795	6.898
0.400	2.500	13.795	6.898
0.450	2.222	12.263	6.131
0.500	2.000	11.036	5.518
0.550	1.818	10.033	5.016
0.600	1.667	9.197	4.598
0.650	1.538	8.489	4.245
0.700	1.429	7.883	3.942
0.750	1.333	7.358	3.679
0.800	1.250	6.898	3.449
0.850	1.176	6.492	3.246
0.900	1.111	6.131	3.066
0.950	1.053	5.809	2.904
1.000	1.000	5.518	2.759
1.050	0.952	5.255	2.628
1.100	0.909	5.016	2.508
1.150	0.870	4.798	2.399
1.200	0.833	4.598	2.299
1.250	0.800	4.415	2.207
1.300	0.769	4.245	2.122
1.350	0.741	4.088	2.044
1.400	0.714	3.942	1.971
1.450	0.690	3.806	1.903

1.500	0.667	3.679	1.839
1.550	0.645	3.560	1.780
1.600	0.625	3.449	1.724
1.650	0.606	3.344	1.672
1.700	0.588	3.246	1.623
1.750	0.571	3.153	1.577
1.800	0.556	3.066	1.533
1.850	0.541	2.983	1.491
1.900	0.526	2.904	1.452
1.950	0.513	2.830	1.415
2.000	0.500	2.759	1.380
2.050	0.488	2.692	1.346
2.100	0.476	2.628	1.314
2.150	0.465	2.567	1.283
2.200	0.455	2.508	1.254
2.250	0.444	2.453	1.226
2.300	0.435	2.399	1.200
2.350	0.426	2.348	1.174
2.400	0.417	2.299	1.150
2.401	0.416	2.298	3.447
2.450	0.408	2.252	3.378
2.500	0.400	2.207	3.311
2.550	0.392	2.164	3.246
2.600	0.385	2.122	3.184
2.650	0.377	2.082	3.123
2.700	0.370	2.044	3.066
2.750	0.364	2.007	3.010
2.800	0.357	1.971	2.956
2.850	0.351	1.936	2.904
2.900	0.345	1.903	2.854
2.950	0.339	1.871	2.806
3.000	0.333	1.839	2.759
3.050	0.328	1.809	2.714
3.100	0.323	1.780	2.670
3.150	0.317	1.752	2.628
3.200	0.313	1.724	2.587
3.250	0.308	1.698	2.547
3.300	0.303	1.672	2.508
3.350	0.299	1.647	2.471
3.400	0.294	1.623	2.434
3.450	0.290	1.599	2.399
3.500	0.286	1.577	2.365
3.550	0.282	1.554	2.332
3.600	0.278	1.533	2.299
3.650	0.274	1.512	2.268
3.700	0.270	1.491	2.237
3.750	0.267	1.472	2.207
3.800	0.263	1.452	2.178
3.850	0.260	1.433	2.150
3.900	0.256	1.415	2.122

3.950	0.253	1.397	2.095
4.000	0.250	1.380	2.069
4.050	0.247	1.363	2.044
4.100	0.244	1.346	2.019
4.150	0.241	1.330	1.995
4.200	0.238	1.314	1.971
4.250	0.235	1.298	1.948
4.300	0.233	1.283	1.925
4.350	0.230	1.269	1.903
4.400	0.227	1.254	1.881
4.450	0.225	1.240	1.860
4.500	0.222	1.226	1.839
4.550	0.220	1.213	1.819
4.600	0.217	1.200	1.799
4.650	0.215	1.187	1.780
4.700	0.213	1.174	1.761
4.750	0.211	1.162	1.743
4.800	0.208	1.150	1.724
4.850	0.206	1.138	1.707
4.900	0.204	1.126	1.689
4.950	0.202	1.115	1.672
5.000	0.200	1.104	1.655
5.050	0.198	1.093	1.639
5.100	0.196	1.082	1.623
5.150	0.194	1.071	1.607
5.200	0.192	1.061	1.592
5.250	0.190	1.051	1.577
5.300	0.189	1.041	1.562
5.350	0.187	1.031	1.547
5.400	0.185	1.022	1.533
5.450	0.183	1.013	1.519
5.500	0.182	1.003	1.505
5.550	0.180	0.994	1.491
5.600	0.179	0.985	1.478
5.650	0.177	0.977	1.465
5.700	0.175	0.968	1.452
5.750	0.174	0.960	1.440
5.800	0.172	0.951	1.427
5.850	0.171	0.943	1.415
5.900	0.169	0.935	1.403
5.950	0.168	0.927	1.391
6.000	0.167	0.920	1.380
6.050	0.165	0.912	1.368
6.100	0.164	0.905	1.357
6.150	0.163	0.897	1.346
6.200	0.161	0.890	1.335
6.250	0.160	0.883	1.324
6.300	0.159	0.876	1.314
6.350	0.157	0.869	1.303
6.400	0.156	0.862	1.293

6.450	0.155	0.856	1.283
6.500	0.154	0.849	1.273
6.550	0.153	0.842	1.264
6.600	0.152	0.836	1.254
6.650	0.150	0.830	1.245
6.700	0.149	0.824	1.235
6.750	0.148	0.818	1.226
6.800	0.147	0.811	1.217
6.850	0.146	0.806	1.208
6.900	0.145	0.800	1.200

FUENTE: Elaboración propia

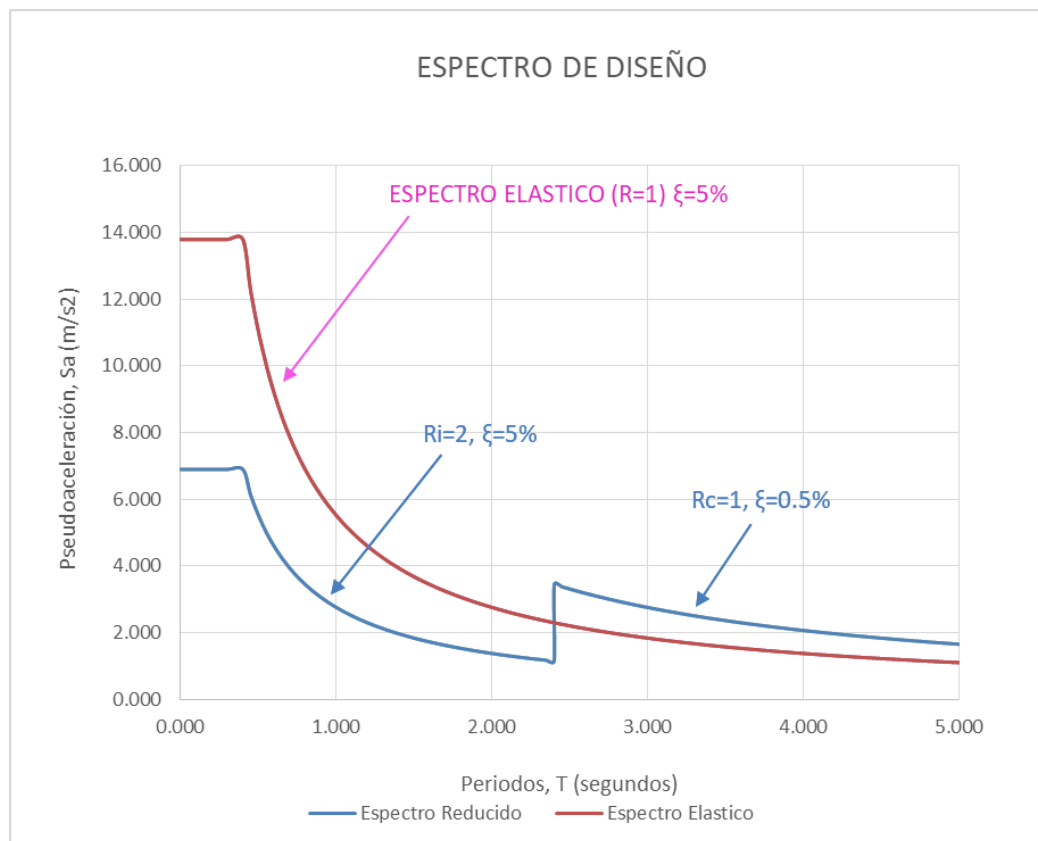


Figura 48. Espectro de diseño

FUENTE: Elaboración propia

IV. PROEDIMIENTO DE MODELADO MATEMATICO EN PROGRAMA SAP 2000- SECCION CIRCULAR

PASO N°1: Damos inicio el programa para el modelamiento SAP 2000 v 20 (versión de prueba).

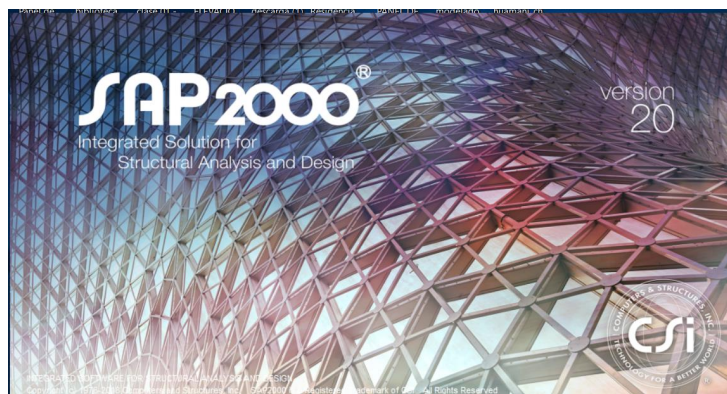


Figura 49. Programa SAP 2000

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°2: Damos dimensiones a las grillas en sistema de coordenadas cilíndricas.

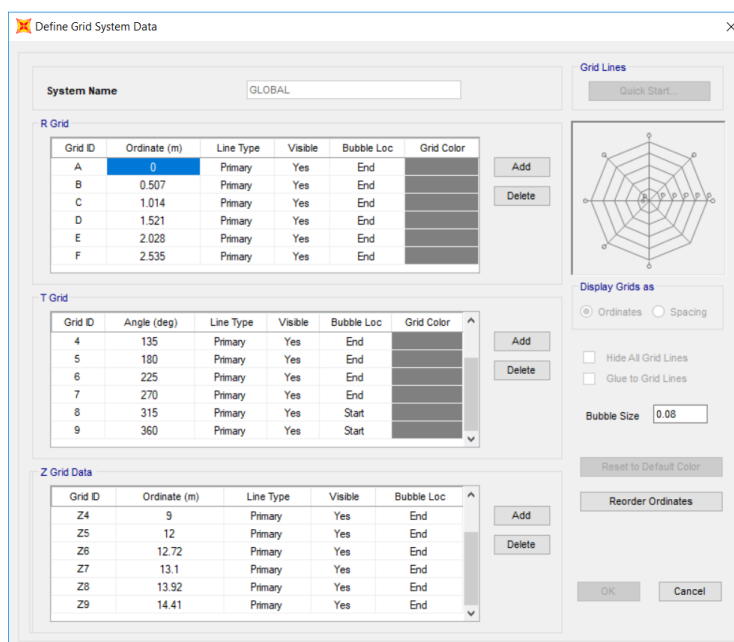


Figura 50. Información de la grilla -coordenada cilíndrica

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°3: Definimos la propiedad del material en Define/Material.

Figura 51. Creación de material concreto $f'c=280$ Kg/cm²

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°4: Definimos los elementos para el soporte del reservorio elevado columnas y vigas, también los elementos para la cuba, losa superior e inferior.

Figura 52. Creación de sección columna 0.5mx0.5m

FUENTE: Elaboración propia

Rectangular Section

Section Name: VIGA 50X50 Display Color: [Green]

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Depth (t3): 0.5

Width (t2): 0.5

Section

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Material: + CONCRETO Fc=280 kg/cr

Property Modifiers: Set Modifiers...

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Figura 53. Creación de sección viga 0.5mx0.5m

FUENTE: Elaboración propia

Shell Section Data

Section Name: CUBA Display Color: [Red]

Section Notes: Modify/Show...

Type

Shell - Thin

Shell - Thick

Plate - Thin

Plate Thick

Membrane

Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Thickness

Membrane: 0.25

Bending: 0.25

Material

Material Name: + CONCRETO Fc=280 kg/cr

Material Angle: 0

Time Dependent Properties

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties

Thermal Properties...

OK Cancel

Figura 54. creación de sección -cuba e=0.25m

FUENTE: Elaboración propia

Shell Section Data

Section Name: LOSA INF Display Color: ■

Section Notes:

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Concrete Shell Section Design Parameters:

Thickness:

Membrane:

Bending:

Material:

Material Name: CONCRETO $f_c=280$ kg/c

Material Angle:

Time Dependent Properties:

Stiffness Modifiers:

Temp Dependent Properties:

Figura 55. Creación de sección -losa inferior $e=0.25m$

FUENTE: Elaboración propia

Shell Section Data

Section Name: LOSA SUP Display Color: ■

Section Notes:

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Concrete Shell Section Design Parameters:

Thickness:

Membrane:

Bending:

Material:

Material Name: CONCRETO $f_c=280$ kg/c

Material Angle:

Time Dependent Properties:

Stiffness Modifiers:

Temp Dependent Properties:

Figura 56. Creación de sección - losa superior $e=0.15m$

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°5: Realizamos la creación del modelo y definimos las restricciones del apoyo.

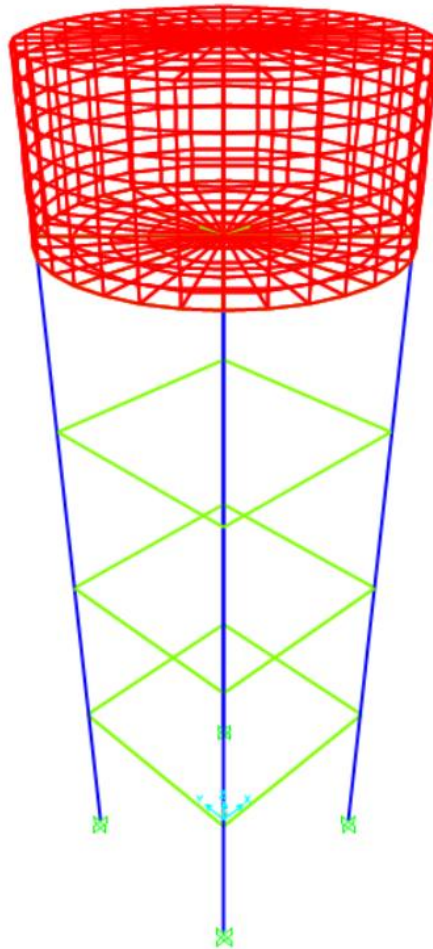


Figura 57. Reservorio elevado de sección circular en SAP 2000

FUENTE: Elaboración propia

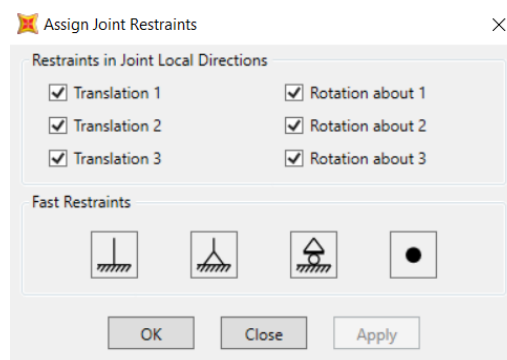


Figura 58. Restricción de nudos en la base-empotramiento

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°6: Realizamos la creación de cargas Define/Load Patterns.

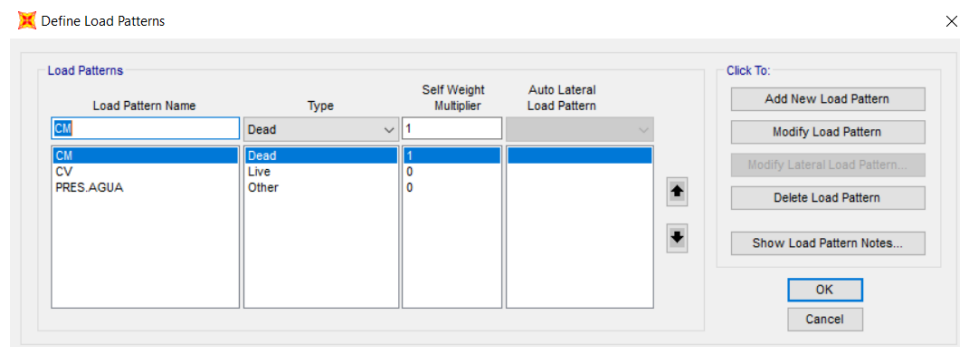


Figura 59. Creación de patrones de cargas

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°7: Definición del espectro de diseño.

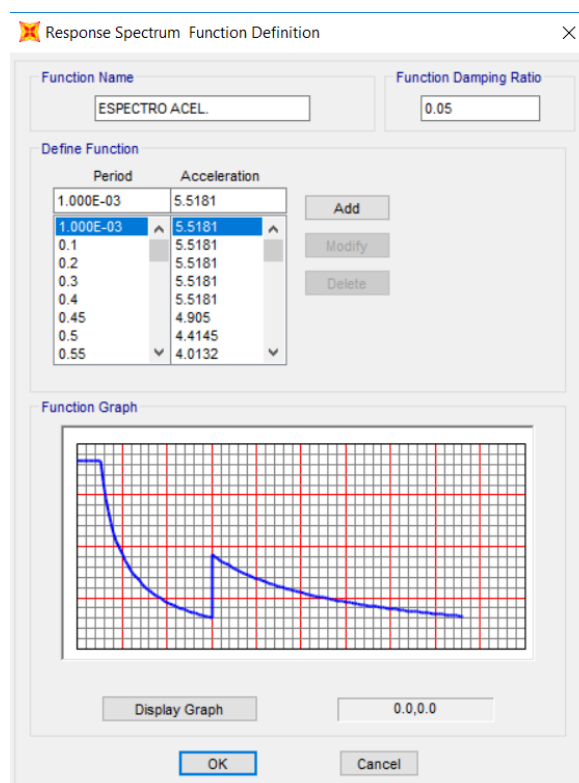


Figura 60. Espectro de diseño para análisis sísmico

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°8: Asignación de cargas a los elementos

Primero se crea un Joint Pattern en Assign / Joint Patterns para la asignación de la presión de agua.

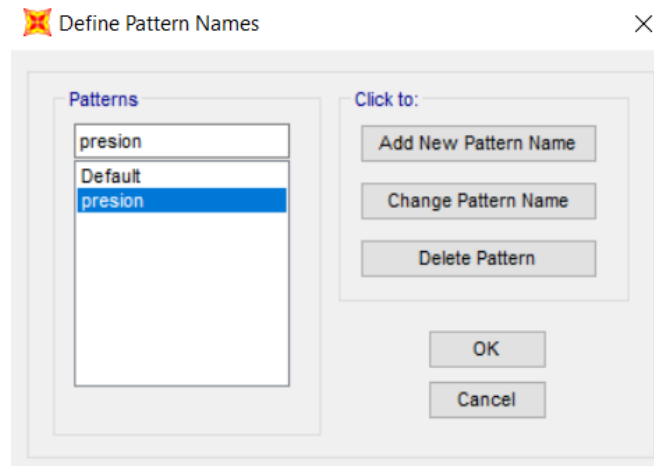


Figura 61. Creación de Joint Pattern para asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

Luego se seleccionas la cuba y la losa inferior para asignar el patrón de presión de agua.

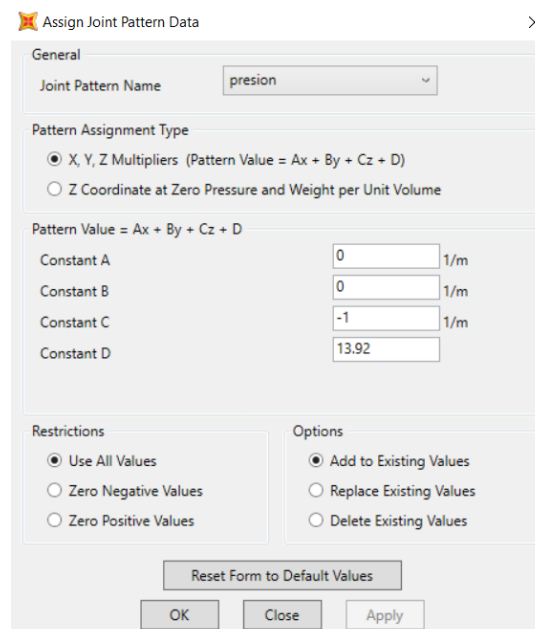


Figura 62. Elaboración de la función de presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

Luego se seleccionas nuevamente la cuba y la losa inferior para asignar la carga de presión de agua.

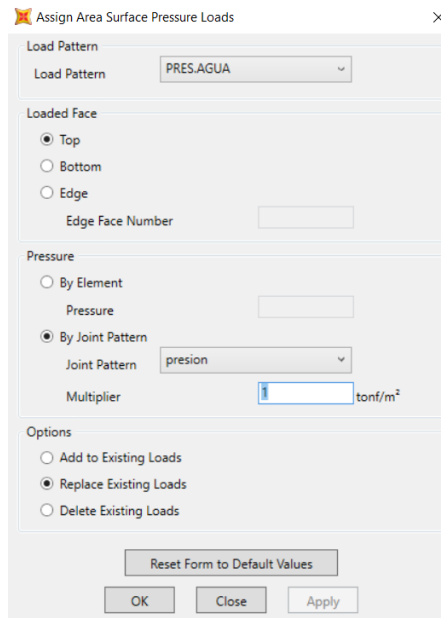


Figura 63. Asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

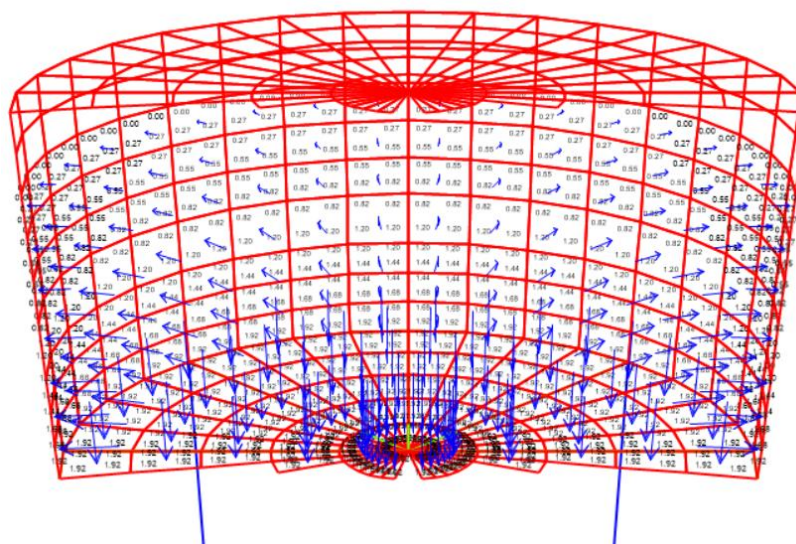


Figura 64. Resultado de la asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°9: Asignación de la masa convectiva

En primer lugar, creamos el resorte define/section y le damos el valor hallado anteriormente properties/link/support.

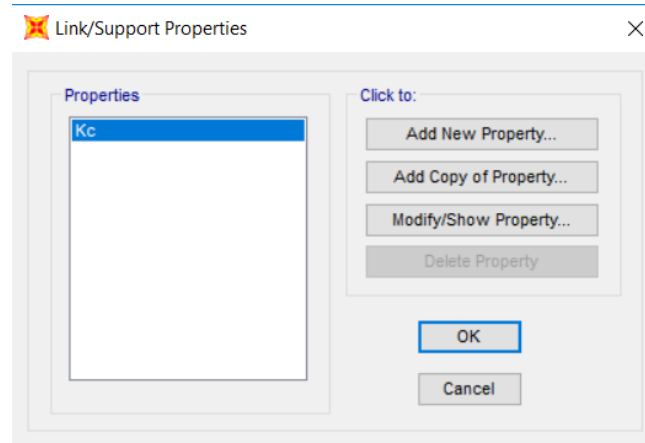


Figura 65. Creación de resorte para masa convectiva

FUENTE: Elaboración propia

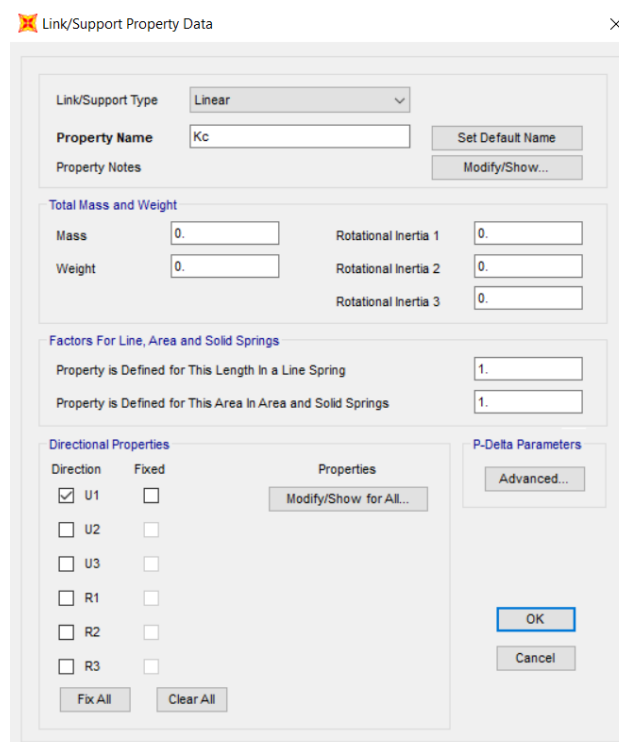


Figura 66. Asignación de valor a propiedad de resorte

FUENTE: Elaboración propia

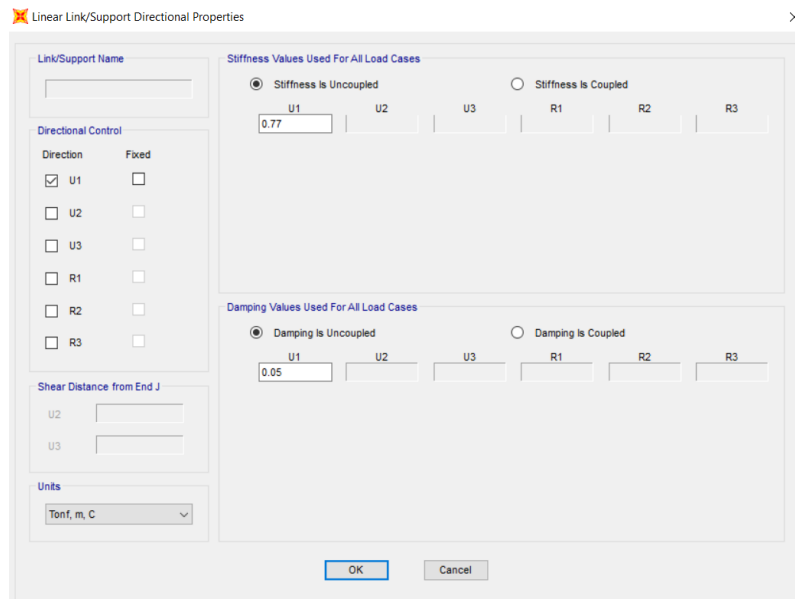


Figura 67. Asignación de rigidez al resorte

FUENTE: Elaboración propia

Luego vamos a Draw/Draw 2 joint Link y dibujamos los resortes a la altura correspondiente y en la concurrencia de los mismos agregamos la masa convectiva en assign/joint/masses, así como se observa en la figura.

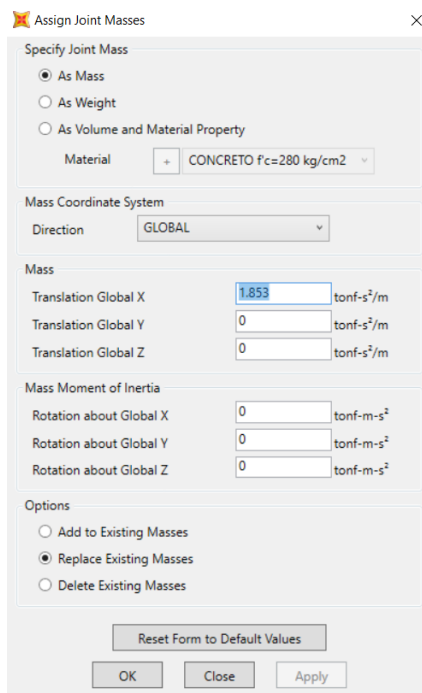


Figura 68. Asignacion de masa convectiva -dirección XX

FUENTE: Elaboración propia

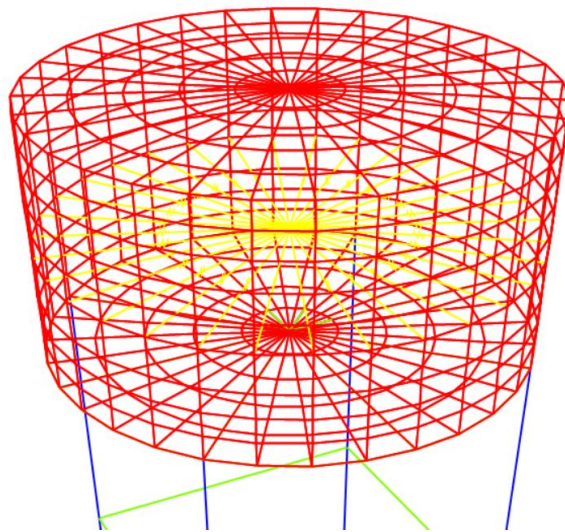


Figura 69. Resortes y masa convectiva asignada

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°10: Asignación de la masa impulsiva

La masa impulsiva se asigna en los nudos de la discretización de la cuba y vamos a Assign/Joint/Masses:

Figura 70. Asignación de masa impulsiva a las paredes de la cuba

FUENTE: Elaboración propia

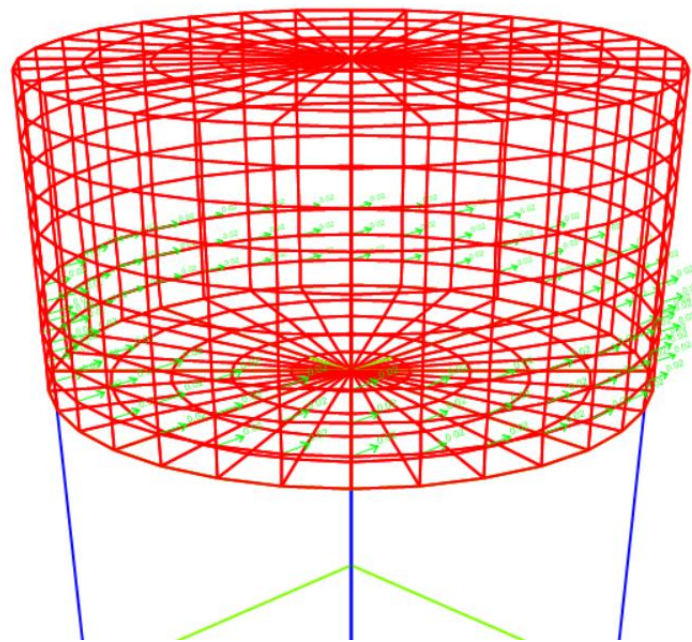


Figura 71. Masa impulsiva asignada

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°11: Reducción del peso en la cuba del reservorio elevado

Reducimos el peso de los muros con el coeficiente de masa efectiva calculada según el ACI 350.03-06, vamos a Define/Section properties/Area sections, seleccionamos la sección MURO, y asignamos el coeficiente en Mass Modifier.

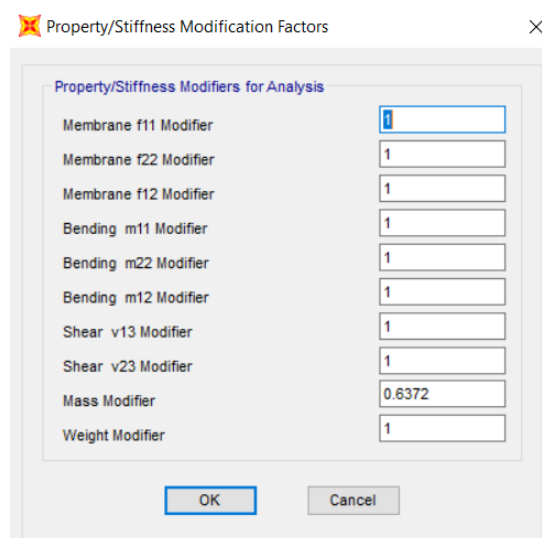


Figura 72. Asignación de coeficiente de masa efectiva

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°12: Creación de los casos de carga de sismo

Creamos los casos de carga, para SXX, lo definimos como un tipo Response Spectrum.

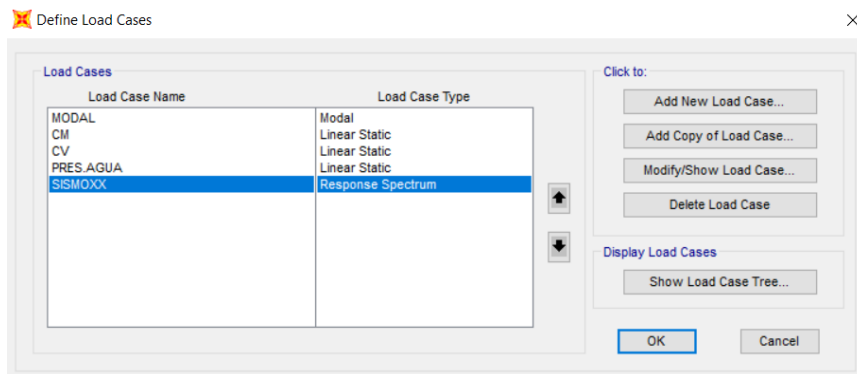


Figura 73.Caso de carga sxx

FUENTE: Elaboración propia

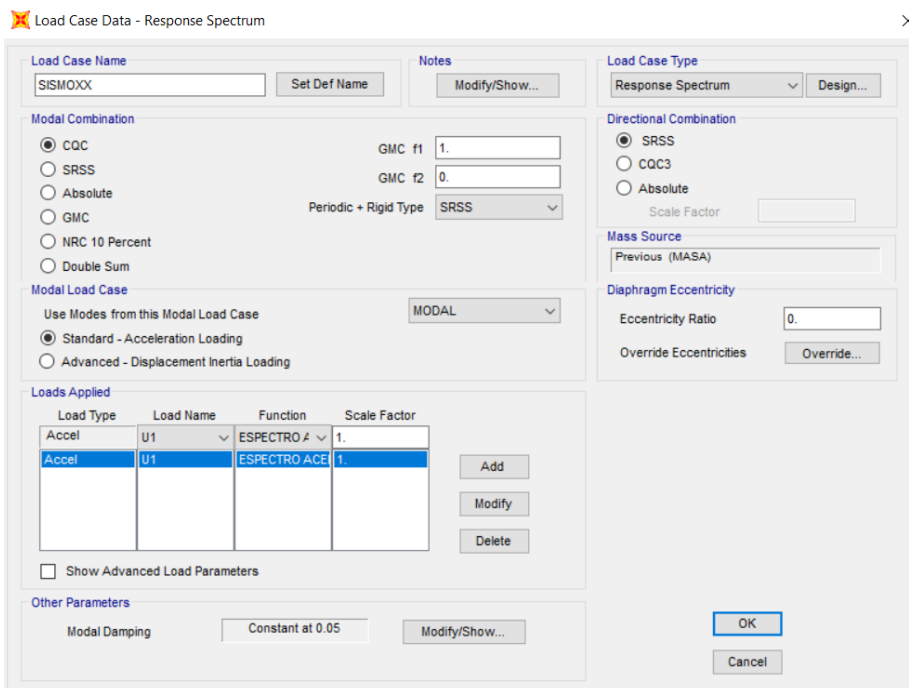


Figura 74.Designación de caso de carga para sismoxx

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°13: Asignación de la cantidad de modos de vibración en el análisis modal. Para una mejor precisión en la entrega de resultados Vamos a Define/Load Cases y seleccionamos “Modal”, para modificar la cantidad de modos a 50.

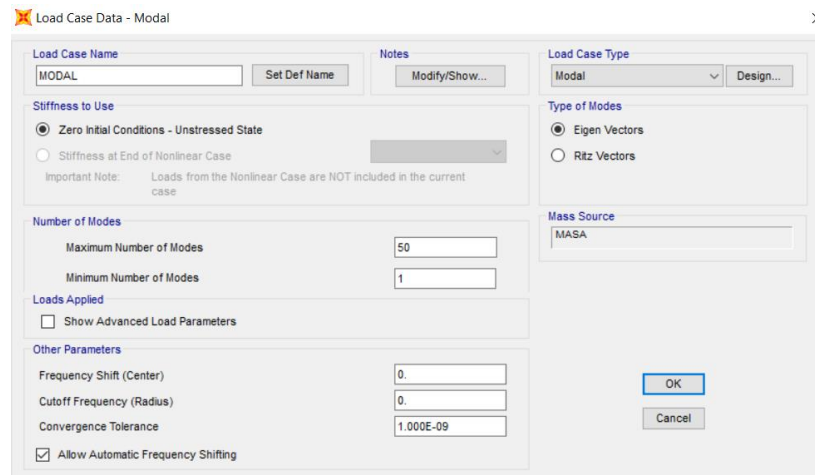


Figura 75. Asignación de la cantidad de modos

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°14: Creación de la combinación de carga.

Vamos a Define/Load Combination y Definimos las combinaciones de carga a usar según ACI 350-01, además incluimos el coeficiente sanitario de 1.3 para flexión y corte, y 1.65 para tracción dentro de una combinación de carga tipo envolvente.

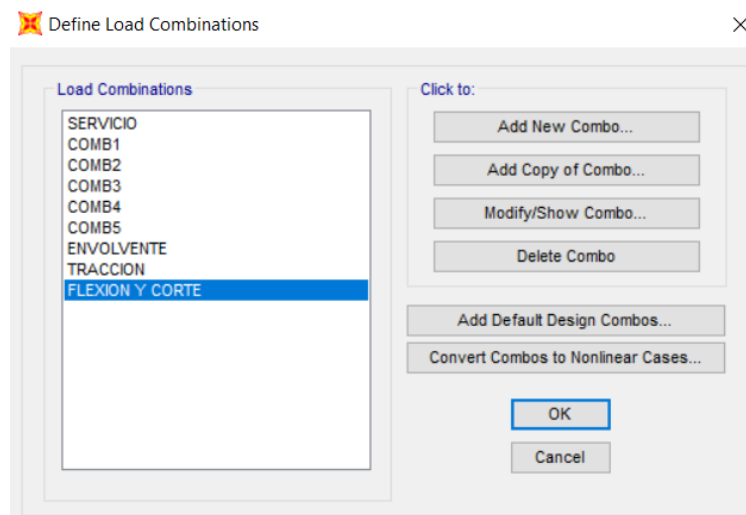


Figura 76. Combinaciones de cargas

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°15: Creación de la combinación de carga.

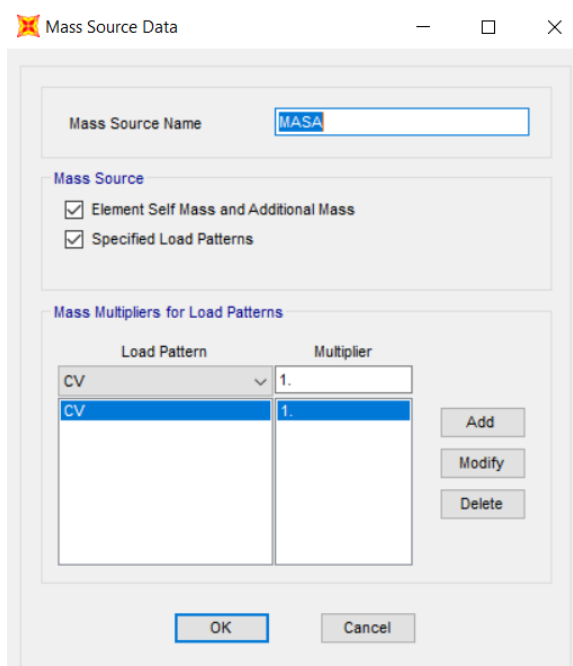


Figura 77. Asignación de la masa

FUENTE: Elaboración propia

7.3. ANEXO C- MODELAMIENTO SÍSMICO DE RESERVORIO ELEVADO – SECCIÓN RECTANGULAR DIRECCION XX

I. CARACTERÍSTICA GEOMETRICAS DE LOS RESERVORIOS ELEVADOS DE SECCION RECTANGULAR

		RECT 0.5	RECT 0.75	CUADRA. 1	UNIDAD
Borde libre	<i>bl</i>	0.49	0.49	0.49	m
Altura del agua	<i>HL</i>	1.92	1.92	1.92	m
Longitud en dirección del análisis	<i>L</i>	6.05	4.940	4.275	m
Longitud	<i>B</i>	3.02	3.70	4.275	m
Altura total del tanque	<i>HT</i>	2.41	2.41	2.41	m
Espesor del muro	<i>t</i>	0.25	0.25	0.25	m
Espesor de losa de techo	<i>t1</i>	0.15	0.15	0.15	m
Espesor de fondo de losa	<i>F</i>	0.25	0.25	0.25	m
Peso específico del agua	<i>w</i>	1.00	1.00	1.00	tn/m3
Peso específico del concreto	<i>γ_c</i>	2.40	2.40	2.40	tn/m3
Aceleración de la gravedad	<i>g</i>	9.81	9.81	9.81	m/s2
Volumen	<i>V</i>	35.08	35.09	35.09	m3
Resistencia del concreto	<i>f'c</i>	280	281	282	kg/cm2
Módulo de elasticidad	<i>E</i>	250998.0	251445.8	251892.8	kg/cm2
Módulo de Poisson	<i>P</i>	0.2	1.2	2.2	

II. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS SEGÚN NORMATIVA ACI 350.03-06

a) CALCULO DE LA MASA DEL LIQUIDO

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	UNIDAD
Wagua	35.08	35.09	35.09	Tn
Ma	3.576	3.577	3.577	Tn.s2/m

b) CALCULO DE LOS PARAMETROS SEGÚN LA NORMATIVA NORTEAMERICANA ACI 350.R06

b.1) Relación del diámetro y la altura

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1
L/HL	3.151	2.573	2.227
HL/L	0.317	0.389	0.449

b.2) Determinación de las masas

masa impulsiva

$$m_i = \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \frac{L}{H_L}\right)}{0.866 \cdot \frac{L}{H_L}} \cdot m_L \quad \text{Ec.(26)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
Wi	1.299	1.569	1.778	Tn.s2/m

masa convectiva

$$m_c = 0.264 \frac{L}{H_L} \cdot \tanh\left(\frac{3.16H_L}{L}\right) m_L \quad \text{Ec.(27)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
Wc	2.269	2.046	1.870	Tn.s2/m

b.2)Determinación de las alturas de las masas**altura impulsiva**

$$h_i = H_L \left(0.5 - \frac{0.09375}{\frac{L}{H_L}} \right) \quad \frac{L}{H_L} < 1.333 \quad \text{Ec.(28)}$$

$$h_i = 0.375H_L \quad \frac{L}{H_L} \geq 1.333 \quad \text{Ec.(29)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
hi	0.72	0.72	0.72	m

altura convectiva

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.16 \frac{H_L}{L}\right) - 1}{3.16 \frac{H_L}{L} - \sinh\left(3.16 \frac{H_L}{L}\right)} \right] \cdot H_L \quad \text{Ec.(30)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
hc	1.03	1.06	1.09	m

b.3)Determinación de la rigidez del resorte de la masa convectiva

$$K_c = 0.833x \frac{Maxg}{HL} x \tanh^2\left(3.16x \frac{HL}{L}\right) \quad \text{Ec.(42)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
Kc	8.86	10.80	12.04	Tn/m

b.4) Coeficiente de masa efectiva

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{L}{H_L}\right)^2 - 0.1908 \left(\frac{L}{H_L}\right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \quad \text{Ec.(43)}$$

	RECT 0.5	RECT 0.75	RECT 1	
E	0.5697	0.6300	0.6710	

III. PARÁMETROS SÍSMICOS DE SITIO

Los parámetros sísmicos de sitio son considerados igual al del reservorio elevado de sección circular, tendrá el mismo espectro de diseño.

IV. PRODEDIMIENTO DE MODELADO MATEMATICO EN PROGRAMA SAP 2000- SECCION RECTANGULAR

Realizaremos como ejemplo el modelamiento matemático del reservorio elevado para la sección rectangular $L/B=0.75$ y en la dirección XX, los mismos pasos se considerará para el resto de secciones rectangulares y en la dirección YY.

PASO N°1: Damos inicio el programa para el modelamiento SAP 2000 v 20 (versión de prueba).

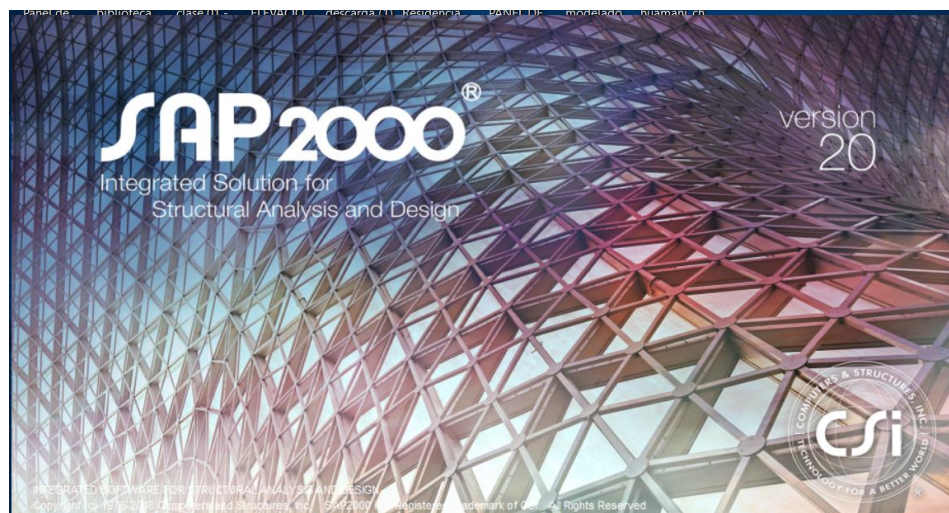


Figura 78. Programa SAP2000

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°2: Damos dimensiones a las grillas coordenadas cartesianas.

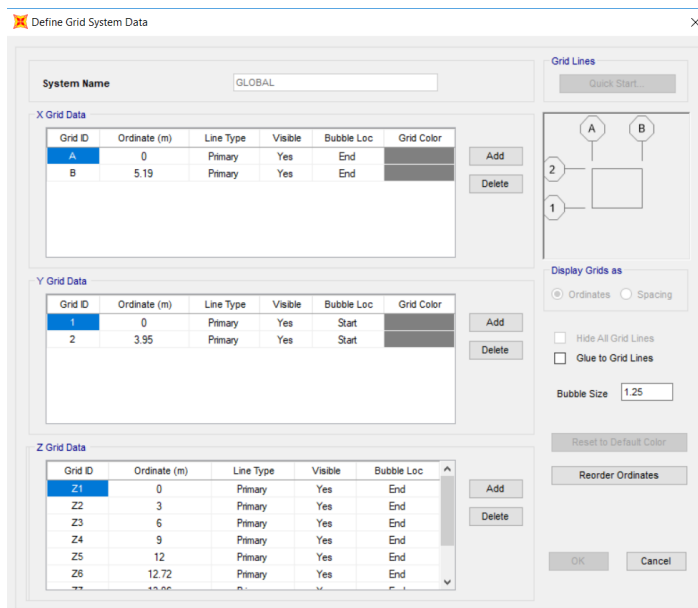


Figura 79. Información de la grilla-coordenada cilíndrica

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°3: Definimos la propiedad del material en Define/Material.

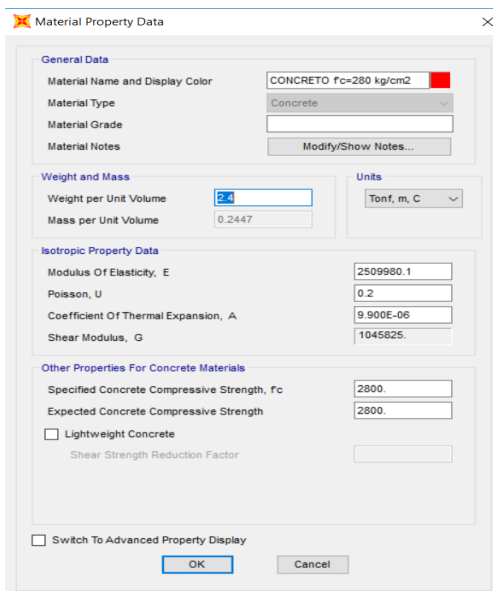


Figura 80. Creación de material concreto $f'c=280$ Kg/cm²

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°4: Definimos los elementos para el soporte del reservorio elevado columnas y vigas, también los elementos para la cuba, losa superior e inferior.

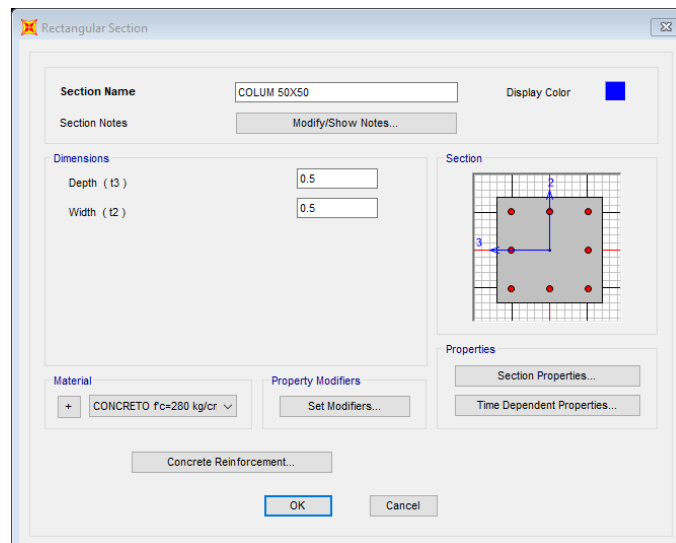


Figura 81. Creación de sección columna 0.5mx0.5m

FUENTE: Elaboración propia

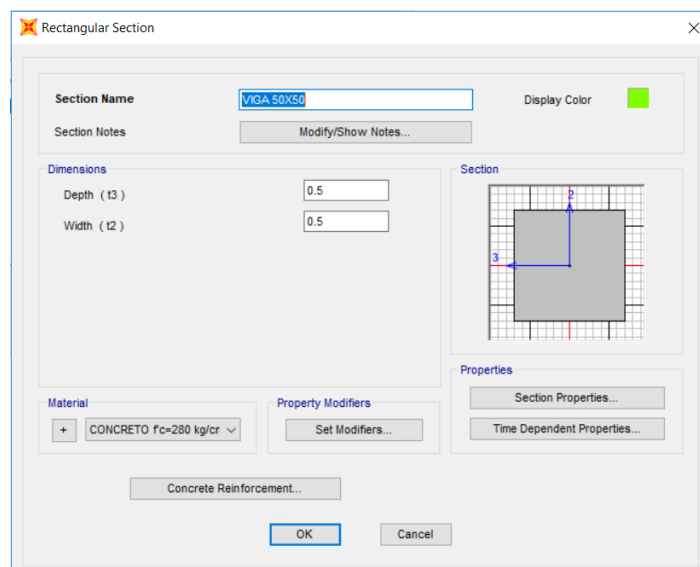


Figura 82. Creación de sección viga 0.5mx0.5m

FUENTE: Elaboración propia

Shell Section Data

Section Name: CUBA Display Color: ■

Section Notes:

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Thickness:

Membrane: 0.25

Bending: 0.25

Material:

Material Name: + CONCRETO f_c=280 kg/c

Material Angle: 0

Time Dependent Properties:

Concrete Shell Section Design Parameters:

Stiffness Modifiers:

Temp Dependent Properties:

Figura 83. Creación de sección-cuba $e=0.25m$

FUENTE: Elaboración propia

Shell Section Data

Section Name: LOSA INF Display Color: ■

Section Notes:

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Thickness:

Membrane: 0.25

Bending: 0.25

Material:

Material Name: + CONCRETO f_c=280 kg/c

Material Angle: 0

Time Dependent Properties:

Concrete Shell Section Design Parameters:

Stiffness Modifiers:

Temp Dependent Properties:

Figura 84. Creación de sección-losa inferior $e=0.25m$

FUENTE: Elaboración propia

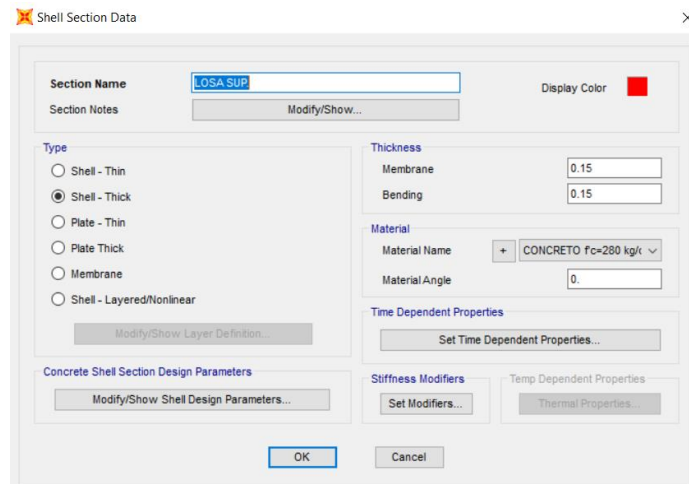


Figura 85. Creación de sección-loza superior $e=0.15m$

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°5: Realizamos la creación del modelo y definimos las restricciones del apoyo.

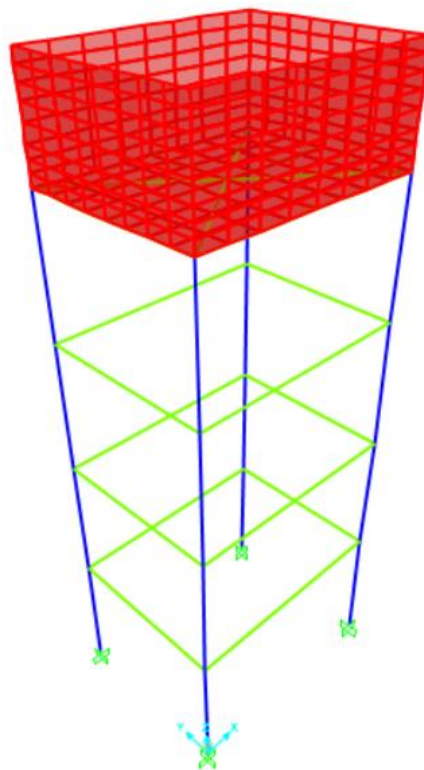


Figura 86. Reservorio elevado de sección rectangular $L/B=0.75$ en SAP 2000

FUENTE: Elaboración propia

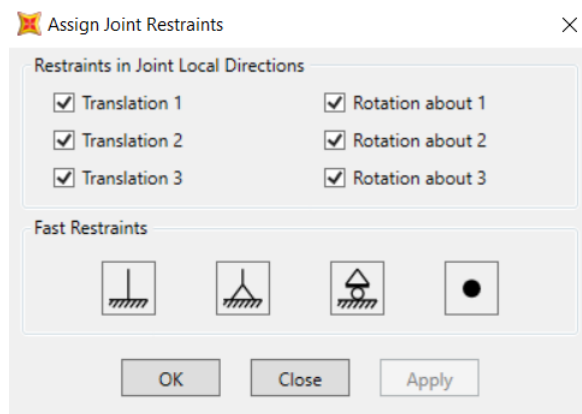


Figura 87. Restricción de nudos en la base-empotramiento

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°6: Realizamos la creación de cargas Define/Load Patterns.

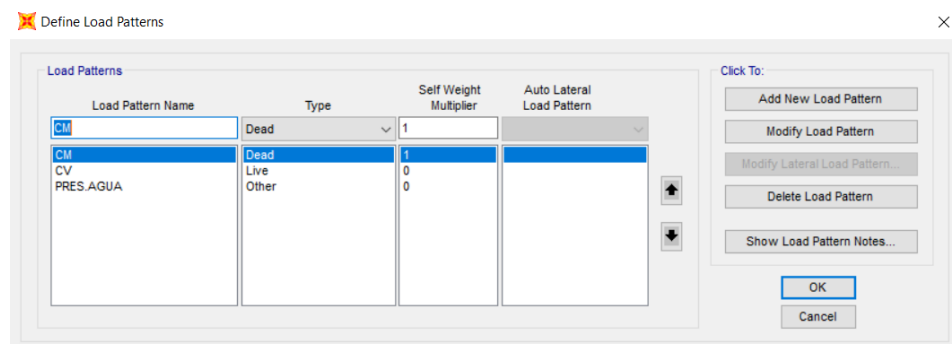


Figura 88. Creación de patrones de cargas

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°7: Definición del espectro de diseño.

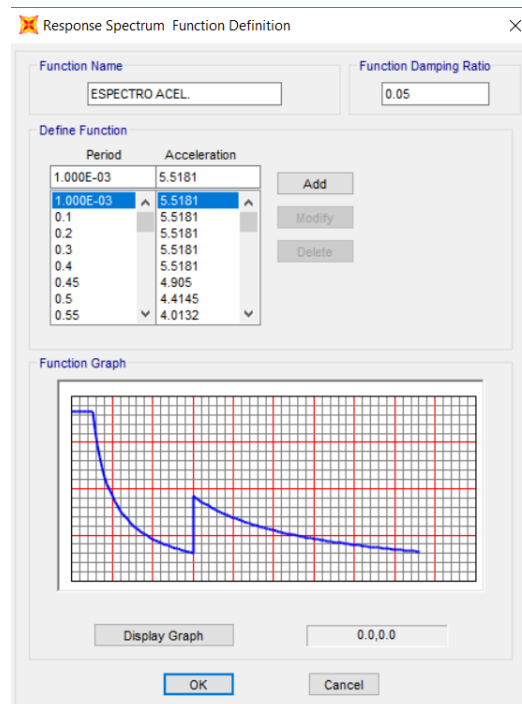


Figura 89. Espectro de diseño para análisis sísmico

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°8: Asignación de cargas a los elementos

Primero se crea un Joint Pattern en Assign / Joint Patterns para la asignación de la presión de agua.

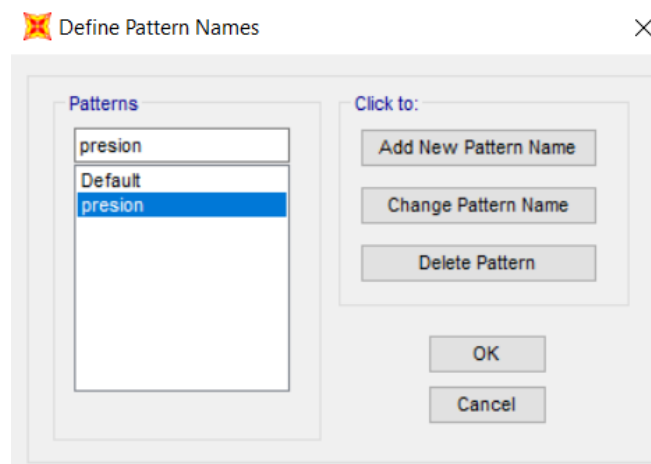


Figura 90. Creación de Joint Pattern para asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

Luego se seleccionas la cuba y la losa inferior para asignar el patrón de presión de agua.

Figura 91. Elaboración de la función de presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

Luego se seleccionas nuevamente la cuba y la losa inferior para asignar la carga de presión de agua.

Figura 92. Asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

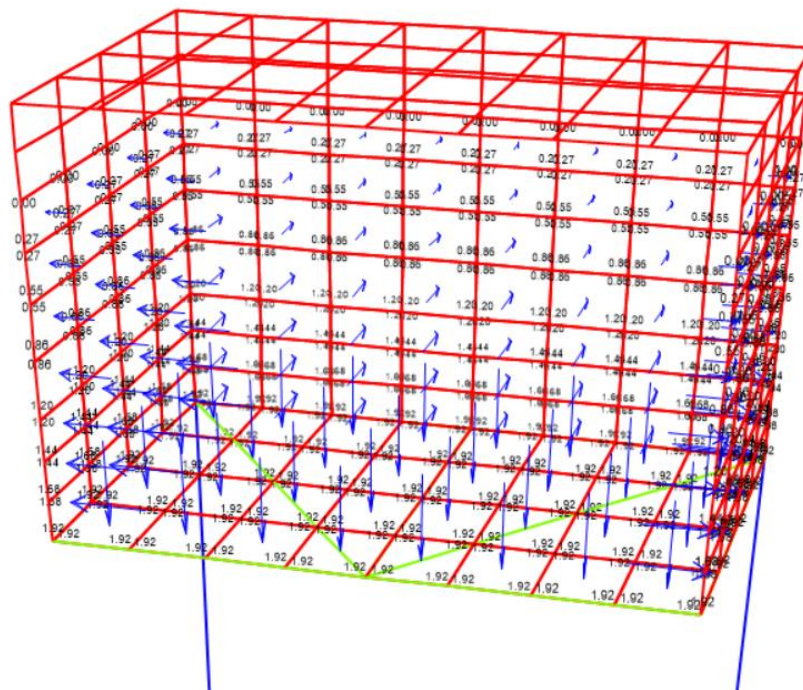


Figura 93. Resultado de la asignación de la presión de agua

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°9: Asignación de la masa convectiva

En primer lugar, creamos el resorte define/section y le damos el valor hallado anteriormente properties/link/support.

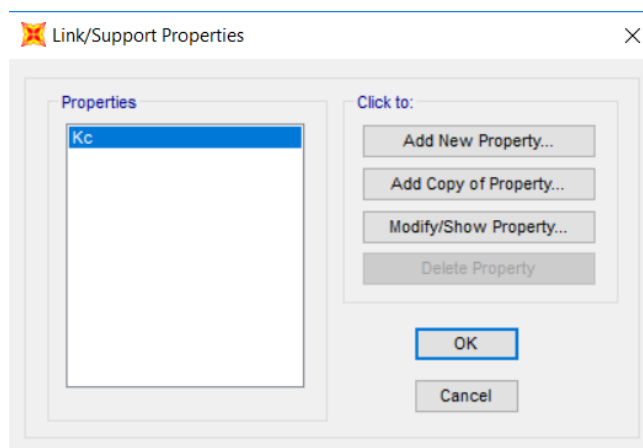


Figura 94. Creación de resorte para masa convectiva

FUENTE: Elaboración propia

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Linear

Property Name: Kc

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0. Rotational Inertia 1: 0.

Weight: 0. Rotational Inertia 2: 0.

Rotational Inertia 3: 0.

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.

Directional Properties

Direction	Fixed	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for All...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

P-Delta Parameters

Advanced...

OK

Cancel

Fix All

Clear All

Figura 95. Asignación de valor a propiedad de resorte

FUENTE: Elaboración propia

Linear Link/Support Directional Properties

Link/Support Name:

Directional Control

Direction	Fixed
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>

Shear Distance from End J

U2:

U3:

Units: Tonf, m, C

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness is Uncoupled Stiffness is Coupled

U1: 0.675 U2: U3: R1: R2: R3:

Damping Values Used For All Load Cases

Damping is Uncoupled Damping is Coupled

U1: 0.05 U2: U3: R1: R2: R3:

OK

Cancel

Figura 96. Asignación de rigidez al resorte

FUENTE: Elaboración propia

Luego vamos a Draw/Draw 2 joint Link y dibujamos los resortes a la altura correspondiente y en la concurrencia de los mismos agregamos la masa convectiva en assign/joint/masses, así como se observa en la figura.

Figura 97. Asignación de masa convectiva-dirección XX

FUENTE: Elaboración propia

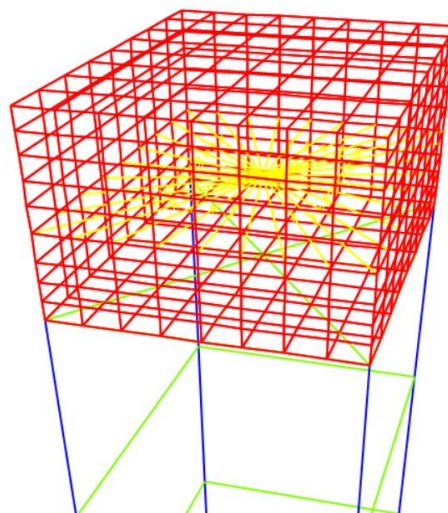


Figura 98. Resorte y masa convectiva asignada

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°10: Asignación de la masa impulsiva

La masa impulsiva se asigna en los nudos de la discretización de la cuba y vamos a Assign/Joint/Masses:

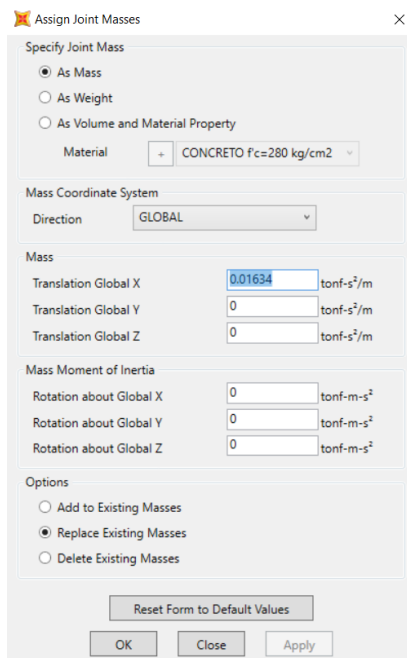


Figura 99. Asignación de masa impulsiva a las paredes de la cuba

FUENTE: Elaboración propia

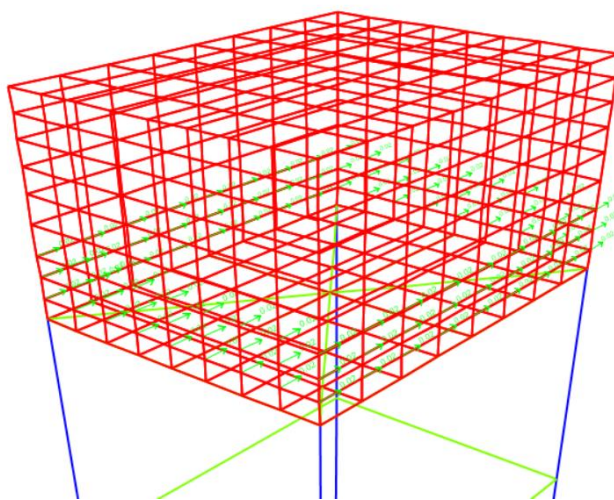


Figura 100. Masa impulsiva asignada

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°11: Reducción del peso en la cuba del reservorio elevado

Reducimos el peso de los muros con el coeficiente de masa efectiva calculada según el ACI 350.03-06, vamos a Define/Section properties/Área sections, seleccionamos la sección MURO, y asignamos el coeficiente en Mass Modifier.

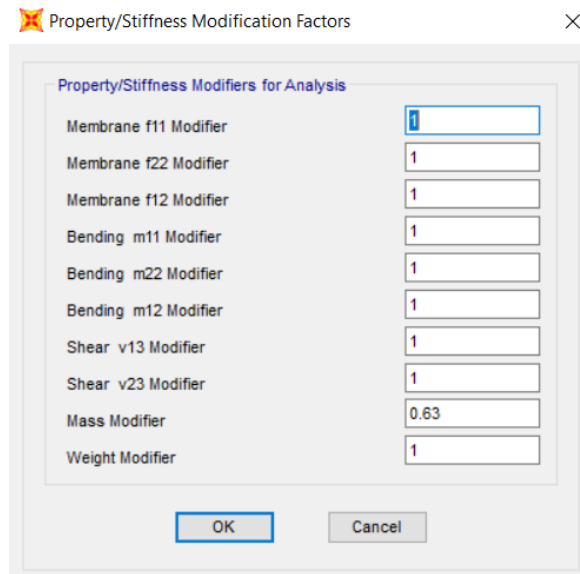


Figura 101. Asignación de coeficiente de masa efectiva

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°12: Creación de los casos de carga de sismo

Creamos los casos de carga, para SXX, lo definimos como un tipo Response Spectrum.

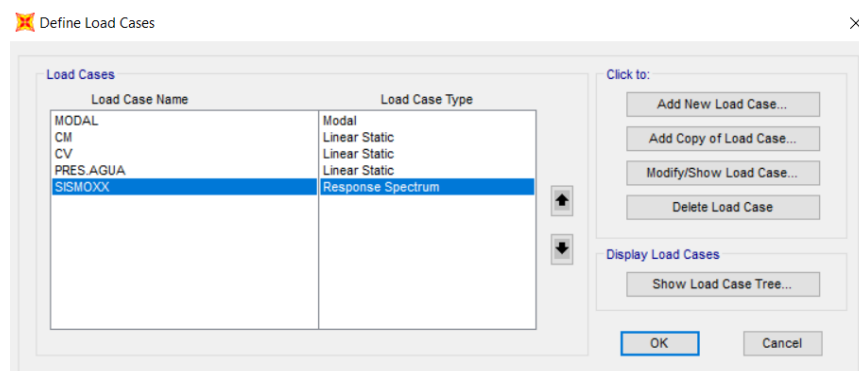


Figura 102. Caso de carga sismoxx

FUENTE: Elaboración propia

Load Case Name: SISMOXX

Modal Combination: CQC, SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading: Standard - Acceleration Loading, Advanced - Displacement Inertia Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ESPECTRO ACE	1

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Figura 103. Asignación de caso de carga para sismo en dirección XX

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°13: Asignación de la cantidad de modos de vibración en el análisis modal. Para una mejor precisión en la entrega de resultados Vamos a Define/Load Cases y seleccionamos “Modal”, para modificar la cantidad de modos a 50.

Load Case Name: MODAL

Stiffness to Use: Zero Initial Conditions - Unstressed State, Stiffness at End of Nonlinear Case

Number of Modes: Maximum Number of Modes: 50, Minimum Number of Modes: 1

Type of Modes: Eigen Vectors, Ritz Vectors

Other Parameters: Frequency Shift (Center): 0, Cutoff Frequency (Radius): 0, Convergence Tolerance: 1.000E-09, Allow Automatic Frequency Shifting

Figura 104. Asignación de la cantidad modos

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°14: Creación de la combinación de carga.

Vamos a Define/Load Combinations... y Definimos las combinaciones de carga a usar según ACI 350-01, además incluimos el coeficiente sanitario de 1.3 para flexión y corte, y 1.65 para tracción dentro de una combinación de carga tipo envolvente.

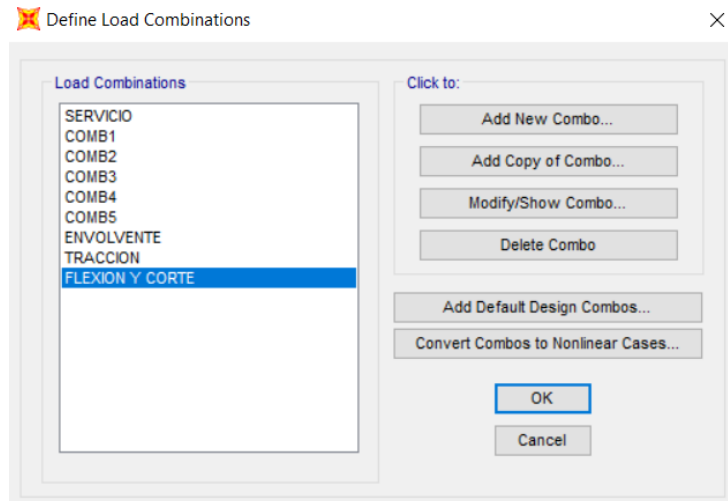


Figura 105. Combinaciones de cargas

FUENTE: Elaboración propia

PASO N°15: Creación de la combinación de carga.

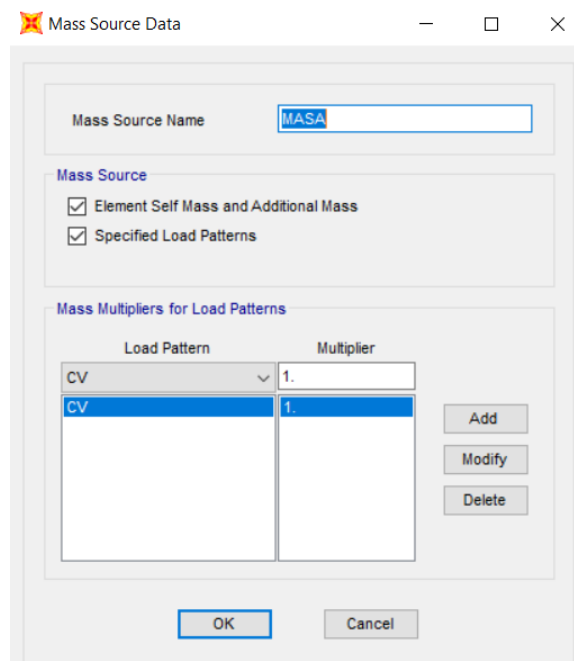


Figura 106. Asignación de masa

FUENTE: Elaboración propia