

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO  
ESTRUCTURAL DE UN RESERVORIO DE  
SECCIÓN CIRCULAR APOYADO MEDIANTE LOS  
MODELOS DE HOUSNER, HAROUN Y  
MALHOTRA”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

Antonio Novoa Tacilla

**Asesor:**

M.Cs. Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán  
<https://orcid.org/0000-0001-7619-7995>

Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Milagros Merma Gallardo</b>	<b>40012838</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2 Secretario(a)	<b>Katia Carrión Rabanal</b>	<b>46269439</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3 Vocal	<b>Kelly Ñúñez Vásquez</b>	<b>42679441</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### Tesis

#### RESUME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.upt.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>e-archivo.uc3m.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Webster University</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unan.edu.ni</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>archive.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>collaboration.worldbank.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## **DEDICATORIA**

Se que ya no te encuentras en estos momentos conmigo, viendo cómo voy aprendiendo cada día. Se que al llegar a casa ya no te encontrare ni escuchare tus consejos de cómo lograr cada objetivo. Gracias a ti por influir en mí el aprendizaje. Seguiré adelante, pero esta vez sin ti en el camino en el cual me guiaste. Con un suspiro hacia el cielo para ti mamita.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a mi familia por haberme  
brindado su apoyo en mi educación superior.  
Agradezco a mis amigos que siempre están ahí para  
motivarme a realizar dicha investigación y compartir  
sus conocimientos en el ámbito laboral.

**TABLA DE CONTENIDO**

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
ÍNDICE DE FIGURAS	13
INDICE DE TABLAS	17
RESUMEN	18
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	19
1.1.    Realidad Problemática	19
1.2.    Formulación del Problema	22
Problema General	22
1.3.    Objetivos	22
Objetivo General.	22
Objetivos Específicos	22
1.4.    Hipótesis	22
Hipótesis General	22
1.5.    Variables y Operacionalización	22
Variable Independiente	22
Variable Dependiente	22

1.6.	Justificación	23
	Justificación Científica	23
	Justificación Técnica-Práctica	23
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA		24
2.1.	Tipo de Investigación	24
	Enfoque	24
	Diseño	24
	Tipo	24
	Población	24
	Muestra	24
2.2.	Unidad de Análisis	24
2.3.	Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección y análisis de datos	25
	Método	25
	Instrumentos	26
2.4.	Procedimiento y Análisis de Datos	26
	Flujograma	26
	Modelo Matemático de Housner	27
	Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Housner.	30
	Modelo Matemático de Haroun	37
	Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Haroun.	43

Modelo Matemático de Malhotra	47
Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Malhotra.	51
2.5. Aspectos Éticos	55
Valor científico	55
Originalidad	55
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
3.1. Resultados de la Investigación	56
Resultados en Reservoirio Circular Apoyado de 500 m <sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Housner.	56
Fuerza Anular o Axial F11	56
Fuerza Anular o Axial F22	57
Momento en el Muro M11	57
Momento en el Muro M22	58
Fuerza Cortante en el Muro V13	58
Fuerza Cortante en el Muro V23	59
Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva	59
Desplazamiento Lateral del Muro	60
Periodo en el Reservoirio	60
Frecuencia en el Reservoirio	61
Resultados en Reservoirio Circular Apoyado de 500 m <sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Haroun.	61
Fuerza Anular o Axial F11	61



Fuerza Anular o Axial F22	62
Momento en el Muro M11	62
Momento en el Muro M22	63
Fuerza Cortante en el Muro V13	63
Fuerza Cortante en el Muro V23	64
Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva	64
Desplazamiento Lateral de la Masa Impulsiva	65
Desplazamiento Lateral del Muro	65
Periodo en el Reservorio	66
Frecuencia en el Reservorio	66
Resultados en Reservorio Circular Apoyado de 500 m <sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Malhotra.	
Fuerza Anular o Axial F11	67
Fuerza Anular o Axial F22	67
Momento en el Muro M11	68
Momento en el Muro M22	68
Fuerza Cortante en el Muro V13	69
Fuerza Cortante en el Muro V23	69
Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva	70
Desplazamiento Lateral de la Masa Impulsiva	70
Desplazamiento Lateral del Muro	71
Periodo en el Reservorio	71
Frecuencia en el Reservorio	72

3.2.	Análisis de Resultados	73
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		84
4.1.	Limitaciones	84
4.2.	Discusión	84
4.3.	Implicancias	88
4.4.	Conclusiones	88
REFERENCIAS		91
ANEXOS		94
ANEXO N° 1. Matriz de Consistencia		94
ANEXO N° 2. Matriz de Operacionalización de Variables		95
ANEXO N° 3. Diseño de Reservoirio		97
ANEXO N° 4. Cálculo de los Modelos Matemáticos		103
ANEXO N° 5. Espectro de Pseudoaceleración		112
ANEXO N° 6. Reservorios de Agua Potable E.P.S. SEDACAJ – Cajamarca		116

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1</b>	Masa De Reservoirio	28
<b>Ecuación 2</b>	Masa Impulsiva	28
<b>Ecuación 3</b>	Altura De La Masa Impulsiva	28
<b>Ecuación 4</b>	Masa Convectiva	29
<b>Ecuación 5</b>	Altura De La Masa Convectiva	29
<b>Ecuación 6</b>	Rigidez Requerida Que Oscila En La Masa Convectiva	29
<b>Ecuación 7</b>	Masa De Reservoirio	38
<b>Ecuación 8</b>	Masa Convectiva	38
<b>Ecuación 9</b>	Masa Impulsiva	39
<b>Ecuación 10</b>	Masa Rígida	39
<b>Ecuación 11</b>	Altura De Masa Convectiva	39
<b>Ecuación 12</b>	Altura De Masa Impulsiva	40
<b>Ecuación 13</b>	Altura De Masa Rígida	40
<b>Ecuación 14</b>	Periodo Convectivo	41
<b>Ecuación 15</b>	Velocidad Angular Convectiva	41
<b>Ecuación 16</b>	Rigidez Convectiva	41
<b>Ecuación 17</b>	Periodo Impulsivo	42
<b>Ecuación 18</b>	Velocidad Angular Impulsiva	42
<b>Ecuación 19</b>	Rigidez Impulsiva	42
<b>Ecuación 20</b>	Masa De Reservoirio	48
<b>Ecuación 21</b>	Masa Convectiva	48
<b>Ecuación 22</b>	Masa Impulsiva	48
<b>Ecuación 23</b>	Altura Masa Convectiva	49
<b>Ecuación 24</b>	Altura Masa Impulsiva	49

<b>Ecuación 25</b>	Coeficiente Convectivo	49
<b>Ecuación 26</b>	Coeficiente Impulsivo	50
<b>Ecuación 27</b>	Periodo Convectivo	50
<b>Ecuación 28</b>	Periodo Impulsivo	50
<b>Ecuación 29</b>	Velocidad Angular Impulsiva	50
<b>Ecuación 30</b>	Velocidad Angular Convectiva	50
<b>Ecuación 31</b>	Rigidez Convectiva	50
<b>Ecuación 32</b>	Rigidez Impulsiva	51

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b>	Modelo matemático de Housner	27
<b>Figura 2</b>	Depósito circular y detalle de modelo de Housner	28
<b>Figura 3</b>	Ingreso del material de concreto de $280 \text{ kg/cm}^2$	30
<b>Figura 4</b>	Creación de la sección de la cimentación.	31
<b>Figura 5</b>	Creación de la sección del muro.	31
<b>Figura 6</b>	Creación de la sección de viga.	32
<b>Figura 7</b>	Creación de la sección cúpula.	32
<b>Figura 8</b>	Creación de muro y cúpula.	33
<b>Figura 9</b>	Asignación del área de sección a cada parte del reservorio.	33
<b>Figura 10</b>	Restricción en la cimentación.	34
<b>Figura 11</b>	Asignación de la masa convectiva en el modelo Housner.	34
<b>Figura 12</b>	Creación de la rigidez en la masa convectiva del modelo Housner.	35
<b>Figura 13</b>	Valor de rigidez en la masa convectiva del modelo Housner.	35
<b>Figura 14</b>	Asignación de la masa impulsiva del modelo Housner.	36
<b>Figura 15</b>	Definición del espectro de aceleración.	36
<b>Figura 16</b>	Modelo matemático de Haroun	37
<b>Figura 17</b>	Ábaco para cálculo de masas	38
<b>Figura 18</b>	Ábaco para cálculo de alturas	39
<b>Figura 19</b>	Ábaco para cálculo de periodo convectivo	40
<b>Figura 20</b>	Ábaco para cálculo del coeficiente del periodo impulsivo	42
<b>Figura 21</b>	Asignación de la masa convectiva del modelo Haroun	43
<b>Figura 22</b>	Valor de la rigidez para la masa convectiva del modelo Haroun.	43
<b>Figura 23</b>	Creación de la rigidez para la masa convectiva del modelo Haroun.	44
<b>Figura 24</b>	Asignación de la masa impulsiva del modelo Haroun.	44

<b>Figura 25</b>	Valor de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Haroun.	45
<b>Figura 26</b>	Creación de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Haroun.	45
<b>Figura 27</b>	Asignación de la masa rígida en el modelo Haroun.	46
<b>Figura 28</b>	Definición del espectro de aceleración.	46
<b>Figura 29</b>	Modelo matemático malhotra	47
<b>Figura 30</b>	Ábaco para el cálculo de masas	48
<b>Figura 31</b>	Ábaco para el cálculo del coeficiente convectivo e impulsivo	49
<b>Figura 32</b>	Asignación de la masa impulsiva del modelo Malhotra	51
<b>Figura 33</b>	Valor de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Malhotra.	52
<b>Figura 34</b>	Creación de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Malhotra.	52
<b>Figura 35</b>	Asignación de la masa convectiva del modelo Malhotra.	53
<b>Figura 36</b>	Valor de la rigidez para la masa convectiva del modelo Malhotra.	53
<b>Figura 37</b>	Creación de la rigidez para la masa convectiva del modelo Malhotra.	54
<b>Figura 38</b>	Definición del espectro de aceleración.	54
<b>Figura 39</b>	Fuerza máxima F11 - modelo matemático de Housner.	56
<b>Figura 40</b>	Fuerza máxima F22 - modelo matemático de Housner.	57
<b>Figura 41</b>	Momento máximo M11 - modelo matemático de Housner.	57
<b>Figura 42</b>	Momento máximo M22 - modelo matemático de Housner.	58
<b>Figura 43</b>	Cortante máxima V13 - modelo matemático de Housner.	58
<b>Figura 44</b>	Cortante máxima V23 - modelo matemático de Housner.	59
<b>Figura 45</b>	Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo de Housner.	59
<b>Figura 46</b>	Desplazamiento máximo en el muro - modelo matemático de Housner.	60
<b>Figura 47</b>	Periodo - modelo matemático de Housner.	60
<b>Figura 48</b>	Frecuencia - modelo matemático de Housner	61
<b>Figura 49</b>	Fuerza máxima F11 – modelo matemático de Haroun.	61

<b>Figura 50</b>	Fuerza máxima F22 - modelo matemático de Haroun.	62
<b>Figura 51</b>	Momento máximo M11 - modelo matemático de Haroun.	62
<b>Figura 52</b>	Momento máximo M22 - modelo matemático de Haroun.	63
<b>Figura 53</b>	Cortante máxima V13 - modelo matemático de Haroun.	63
<b>Figura 54</b>	Cortante máxima V23 - modelo matemático de Haroun.	64
<b>Figura 55</b>	Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo de Haroun.	64
<b>Figura 56</b>	Desplazamiento máximo de la masa impulsiva - modelo de Haroun.	65
<b>Figura 57</b>	Desplazamiento máximo en el muro - modelo matemático de Haroun.	65
<b>Figura 58</b>	Periodo - modelo matemático de Haroun.	66
<b>Figura 59</b>	Frecuencia - modelo matemático de Haroun.	66
<b>Figura 60</b>	Fuerza máxima F11 - modelo matemático Malhotra.	67
<b>Figura 61</b>	Fuerza máxima F22 - modelo matemático Malhotra.	67
<b>Figura 62</b>	Momento máximo M11 - modelo matemático de Malhotra.	68
<b>Figura 63</b>	Momento máximo M22 - modelo matemático de Malhotra.	68
<b>Figura 64</b>	Cortante máxima V13 - modelo matemático de Malhotra.	69
<b>Figura 65</b>	Cortante máxima V23 - modelo matemático de Malhotra.	69
<b>Figura 66</b>	Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo Malhotra.	70
<b>Figura 67</b>	Desplazamiento máximo en la masa impulsiva - modelo Malhotra.	70
<b>Figura 68</b>	Desplazamiento máximo en el muro - modelo Malhotra.	71
<b>Figura 69</b>	Periodo - modelo matemático de Malhotra.	71
<b>Figura 70</b>	Frecuencia - modelo matemático de Malhotra.	72
<b>Figura 71</b>	Resultados máximos de fuerzas F11 (kg/cm.)	73
<b>Figura 72</b>	Resultados máximos de fuerzas F22 (kg/cm.)	74
<b>Figura 73</b>	Resultados máximos de momentos M11 (kg/cm.)	75
<b>Figura 74</b>	Resultados máximos de momentos M22 (kg/cm.)	76

<b>Figura 75</b>	Resultados máximos de cortes en V13 (kg/cm.)	77
<b>Figura 76</b>	Resultados máximos de cortes V23 (kg/cm.)	78
<b>Figura 77</b>	Resultados máximos de desplazamientos en la masa convectiva (cm.)	79
<b>Figura 78</b>	Resultados del desplazamiento en la masa impulsiva (cm.)	80
<b>Figura 79</b>	Resultados de desplazamiento en muro (cm.)	81
<b>Figura 80</b>	Resultados de periodo en el reservorio (s.)	82
<b>Figura 81</b>	Resultados de frecuencia en el reservorio (S-1)	83
<b>Figura 82</b>	Espectro de pseudoaceleración	115
<b>Figura 83</b>	Ubicación de reservorios circular apoyado de la E.P.S. SEDACAJ	116
<b>Figura 84</b>		118
	Reservorio N°1 de sección circular apoyado de 1000 m <sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.	118
<b>Figura 85</b>		118
	Reservorio N°2 de sección circular apoyado de 2500 m <sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.	118
<b>Figura 86</b>		119
	Reservorio N°3 de sección circular apoyado de 700 m <sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.	119
<b>Figura 87</b>		119
	Reservorio N°4 de sección circular apoyado de 1500 m <sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.	119
<b>Figura 88</b>		120
	Reservorio N°5 de sección circular apoyado de 350 m <sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.	120
<b>Figura 89</b>		121
	Mapa de suelos del departamento de Cajamarca	121



**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b>	85
Cuadro comparativo entre el reservorio de 500 m <sup>3</sup> y un reservorio de 250 m <sup>3</sup> tipo fuste	85
<b>Tabla 2</b>	86
Cuadro comparativo entre el reservorio de 500 m <sup>3</sup> y un reservorio de 60 m <sup>3</sup> , 30 m <sup>3</sup> y 15 m <sup>3</sup> .	86
<b>Tabla 3</b>	87
Cuadro comparativo entre el reservorio de 500 m <sup>3</sup> y un reservorio de 1001 m <sup>3</sup> .	87
<b>Tabla 4</b>	112
Factor de Zona “Z” E 0.30 Diseño Sismorresistente	112
<b>Tabla 5</b>	113
Factor “U” E 0.30 Diseño Sismorresistente	113
<b>Tabla 6</b>	113
Factor De Suelo “S” E 0.30 Diseño Sismorresistente	113
<b>Tabla 7</b>	114
Periodos “T <sub>p</sub> ” Y “T <sub>l</sub> ” E 0.30 Diseño Sismorresistente	114
<b>Tabla 8</b>	114
Factor de Modificación de Respuesta R <sub>wi</sub> Y R <sub>wc</sub> E 0.30 Diseño Sismorresistente	114
<b>Tabla 9</b>	117
Ubicación de los reservorios de sección circular apoyado de la E.P.S. SEDACAJ	117

## RESUMEN

Esta tesis aborda el análisis del comportamiento estructural de un reservorio de sección circular apoyado, con un enfoque en la respuesta sísmica. La investigación se origina en la falta de normativas específicas en Perú para el diseño sísmico de estos reservorios, lo que lleva a la ayuda de modelos extranjeros como el de Housner, Haroun y MalZhotra, para establecer cuál ofrece un análisis más preciso del comportamiento estructural del reservorio.

Los objetivos de la investigación son analizar los modelos de Housner, Haroun y Malhotra en relación con su capacidad para evaluar la respuesta sísmica de un reservorio circular apoyado. Se calculó parámetros clave como esfuerzos, momentos, cortantes, desplazamientos y rigideces utilizando estos modelos. Se consideró tanto la masa convectiva como la impulsiva generada por el movimiento sísmico. Asimismo, se comparó la respuesta dinámica del reservorio según las recomendaciones de normas de diseño sísmico y se evalúa su aplicabilidad a los modelos analizados.

Los resultados de la investigación revelaron diferencias notables en los valores calculados utilizando los tres modelos. El modelo de Housner produjo mayores esfuerzos, momentos y cortantes en comparación con los modelos de Haroun y Malhotra. También se identificó diferencias en los desplazamientos y rigideces calculados. El modelo de Housner proporciona una estimación más conservadora de la respuesta estructural del reservorio en situaciones sísmicas.

En conclusión, la tesis demuestra que el modelo matemático de Housner es el más adecuado para evaluar el comportamiento estructural de un reservorio circular apoyado ante cargas sísmicas.

**PALABRAS CLAVES:** Masa convectiva, masa impulsiva, rigidez convectiva, rigidez impulsiva, desplazamientos y esfuerzos.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Los tanques son estructuras de almacenamiento de sustancias fluidas, tales como: agua, productos derivados del petróleo, productos químicos, entre otros. Además, estas estructuras son estratégicas y vitales en los sistemas de distribución de agua y en almacenamiento de sustancias peligrosas (corrosivas o explosivas) en la industria petroquímica y centrales nucleares. Los tipos más comunes de depósitos en la industria local son, tanques cilíndricos verticales o tanques rectangulares, ambos apoyados en el suelo, (Compagnoni, Curadelli, & Martinez, 2012).

Debido a que los tanques contienen sustancias vitales como el agua o sustancias peligrosas, es indispensable que estos mantengan su integridad estructural de tal forma que no pongan en peligro los recursos ambientales, económicos, ni humanos. Los tanques de agua son estructuras en el cual actúan fuerzas inerciales generadas por el fenómeno hidrodinámico, cuando están sometidos a aceleraciones, como las inducidas por sismos. (Patiño, 2012).

En los últimos años se han producido fallas catastróficas de tanques contenedores de líquidos. Esto motivó numerosas investigaciones experimentales y analíticas a fin de mejorar su comportamiento. (Compagnoni, Curadelli, & Martinez, 2012).

Debido a las fallas catastróficas que los tanques pueden generar, la estructura debe resistir todas las cargas a las cuales estará sometida durante su vida útil. En los reservorios circulares la fuerza anular se calcula muchas veces por presión hidrostáticas dejando de lado las fuerzas hidrodinámicas, lo cual incrementa las fuerzas internas de los muros de los tanques. (Acero Martínez & Mejía Zúñiga). Desde el punto de vista dinámico para los tanques apoyados sobre el terreno, se debe considerar que la aceleración del suelo causa en el volumen del agua contenida un componente que modela como masas conectadas a las paredes de los tanques a diversas alturas. (Zeballos, 2014).

Por lo tanto, dada la necesidad de que continúen operando los reservorios después de un evento sísmico, hace que sea importante el estudio de su comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, y la necesidad de incorporar el diseño sísmico para reservorios de concreto apoyados en el suelo, para los cuales se proponen modelos dinámicos que consideran las presiones impulsivas y convectivas generadas en el fluido por el movimiento vibratorio del terreno. (Lazo Jurado, 2015). El comportamiento sísmico de los tanques y sus contenidos están definidos por la interacción fluido – estructura de las componentes hidrodinámicas sobre las paredes. (Pupiales Valdivieso, 2013).

El Perú en los últimos años busca alcanzar los estándares de los países desarrollados mediante la construcción de infraestructura que permita a la población mejorar su calidad de vida. De acuerdo a la norma técnica E.030 (diseño sismo resistente) los reservorios son estructuras esenciales, esto quiere decir que deben seguir funcionando después de un sismo. En la actualidad en el Perú, se ejecutan construcciones de reservorios sin estudios previos de diseño y análisis sísmico adecuado, lo cual causa problemas de fisuras y por lo tanto filtraciones, deterioro del concreto, e inclusive el colapso total de la estructura, es por ello realizar un previo estudio de diseño y un análisis dinámico respectivo, y evitar futuros problemas de la estructura. (Lazo Jurado, 2015).

El uso de la norma E.030 resulta insuficiente para el análisis de reservorios. Gran parte de los diseñadores no consideran la interacción fluido-estructura en sus diseños. La norma norteamericana ACI 350.03 “Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures”, es la más conocida y utilizada para estructuras de almacenamiento de líquidos. No obstante, existen otras normas internacionales reconocidas por el análisis y diseño de estas estructuras como la neozelandesa "Seismic Design of Storage Tanks" (SDST NZ), que incluso es referenciada por la ACI 350.03. (Julca Varas, 2017)

La demanda de consumo de agua potable y no potable que hay en las zonas rurales de nuestro país son elevadas, por lo que las instituciones están comprometidas en la mejora de calidad de vida de la población. Es por esto que es necesaria la implementación de sistema de almacenamiento de agua en Cajamarca. (Villoslada Ucañan, 2013).

Dado que en la actualidad el Perú no cuenta con una norma sísmica específica para el diseño de tanques de almacenamiento y no cuenta con una metodología estandarizada es por ello que se adoptan normas extranjeras siendo la más aplicada el modelo matemático de Housner. Sin embargo, existen otros modelos matemáticos como Haroun y Malhotra para la realización diseño sísmico los cuales tienen las mismas características para ser introducidas en el diseño sísmico, pero no son muy utilizadas como el modelo Housner. En este sentido, esta investigación tiene la finalidad de analizar el comportamiento estructural de un reservorio de sección circular apoyado mediante los modelos de Housner, Haroun y Malhotra, comparando sus resultados.

## 1.2. Formulación del Problema

### *Problema General*

¿Cuál de los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra analiza mejor el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado?

## 1.3. Objetivos

### *Objetivo General.*

Analizar el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado mediante los modelos de Housner, Haroun y Malhotra.

### *Objetivos Específicos*

- Comparar las fuerzas, momentos y cortantes por los modelos matemáticos Housner, Haroun y Malhotra.
- Comparar los desplazamientos de las masas por los modelos matemáticos Housner, Haroun y Malhotra.

## 1.4. Hipótesis

### *Hipótesis General*

El modelo matemático de Housner analiza mejor el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado que los modelos matemáticos de Haroun y Malhotra.

## 1.5. Variables y Operacionalización

### *Variable Independiente*

- Modelo matemático de Housner.
- Modelo matemático de Haroun.
- Modelo matemático de Malhotra.

### *Variable Dependiente*

- Análisis estructural del reservorio de sección circular apoyado de 500 m<sup>3</sup>.

## 1.6. Justificación

### *Justificación Científica*

El Perú actualmente la norma E-0.30 el cual establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las edificaciones, no contempla una metodología para el análisis de este tipo de estructuras, es por ello que se comparó el comportamiento dinámico del reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup>, aplicando los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra.

### *Justificación Técnica-Práctica*

Al haber obtenido el análisis deseado, los profesionales que realicen proyectos de agua potable tendrán un criterio para utilizar el modelo matemático más óptimo para el análisis y diseño de reservorios de sección circular apoyados.

Así mismo, la presente investigación se enfoca en el análisis del comportamiento dinámico de reservorios circulares apoyados, ya que las estructuras de los reservorios no son diseñadas por un análisis sísmico dinámico es por ello que se llevó a cabo esta tesis.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de Investigación**

#### ***Enfoque***

Cuantitativo.

#### ***Diseño***

No experimental.

#### ***Tipo***

Descriptiva.

#### ***Población***

Reservorios de la E.P.S. SEDACAJ de la ciudad de Cajamarca (Anexo 6).

#### ***Muestra***

Para realizar esta investigación se aplicó una elección de muestra no probabilística por conveniencia del investigador, para ello se adoptó un volumen promedio de los reservorios existentes de la empresa prestadora de servicio de agua potable SEDACAJ ubicados en la ciudad de Cajamarca (Anexo 6). Por lo cual se trabajará con un reservorio de sección circular apoyado de 500 m<sup>3</sup>.

Se tomará un tipo de suelo Phaeozem-Leptosol (H-L), ya que los reservorios existentes pertenecen a la zona donde existe este tipo de suelo de acuerdo al mapa de suelos de Cajamarca (Poma Rojas & Alcántara Boñon, 2011).

### **2.2. Unidad de Análisis**

Análisis del comportamiento estructural de un reservorio de sección circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> en la ciudad de Cajamarca con suelo tipo intermedio.



### 2.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección y análisis de datos

#### *Método*

Esta investigación considera un método no experimental de tipo descriptivo, ya que tiene como finalidad identificar propiedades, características y rasgos importantes del comportamiento estructural de un reservorio de sección circular apoyado con capacidad de 500 m<sup>3</sup> utilizando tres modelos matemáticos distintos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006).

Considerando el tipo de investigación, a continuación, se detallan las actividades que se realizarán:

- a. Revisión de bibliografía de normas norteamericanas del ACI 360.3R-01, ASCE/SEI7 – 16, E.020 Cargas, E.030 Diseño Sismorresistente y afines al tema.
- b. Se adoptará un suelo tipo intermedio ya que los reservorios de E.P.S. SEDACAJ se encuentran en un suelo Phaeozem-Leptosol (H-L), de acuerdo al mapa de suelos de Cajamarca. (Poma Rojas & Alcántara Boñon, 2011)
- c. Procesamiento de datos en el software PTC Mathcad Prime 8.0.0.0 para el cálculo de masas.
- d. Modelamiento en el software SAP 2000 V23.3.1 versión demostrativo.
- e. Finalmente, redacción de la tesis.

Las normas utilizadas en esta investigación como E.020 Cargas, E.030 Diseño Sismorresistente, ACI 360.3R-01, ASCE/SEI7 – 16 y el software SAP 2000 V23.3.1 son validadas a nivel internacional.

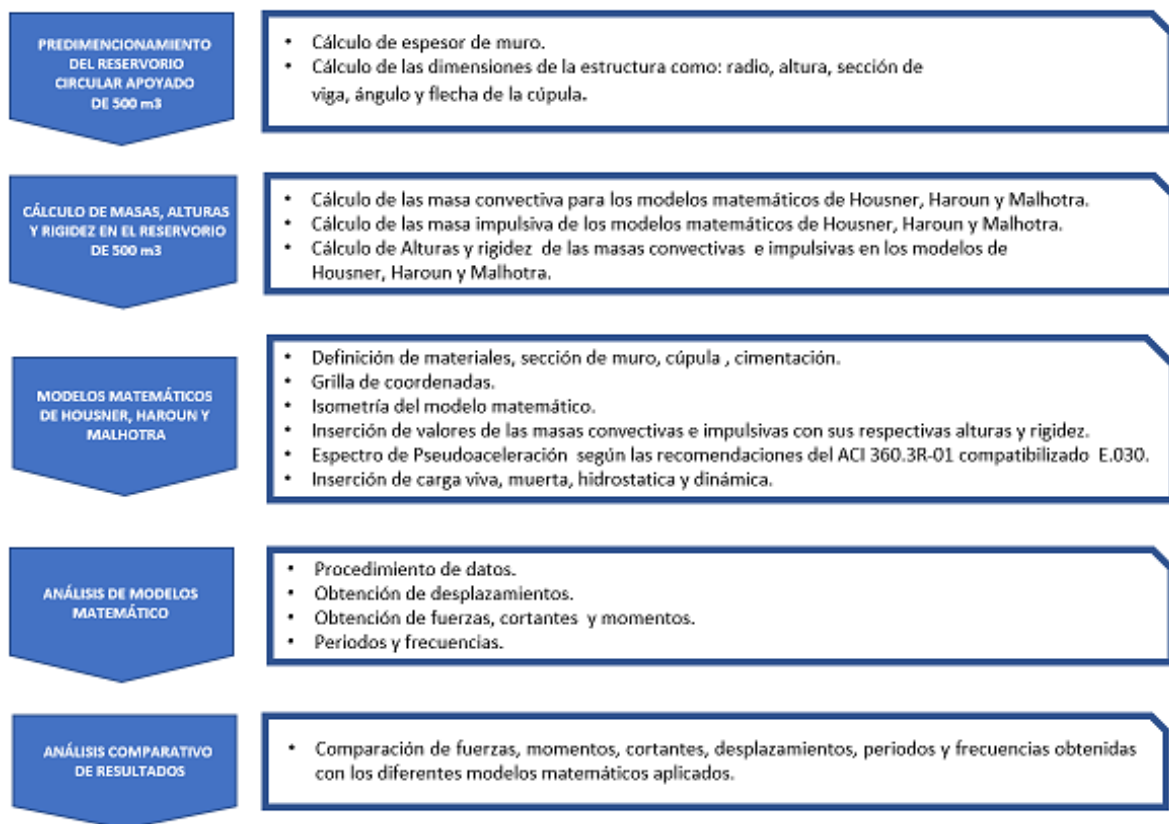
### Instrumentos

- Computadora.
- Uso de programas Excel, Word, etc.
- Uso de software PTC Mathcad Prime 8.0.0.0 versión demostrativo.
- Uso de software SAP2000 v23.3.1 versión demostrativo.
- Internet.

### 2.4. Procedimiento y Análisis de Datos

Procedimiento para el cálculo de las masas convectivas, masas impulsivas y rigideces de los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra.

### Flujograma



Fuente: Elaboración propia 2023.

### **Modelo Matemático de Housner**

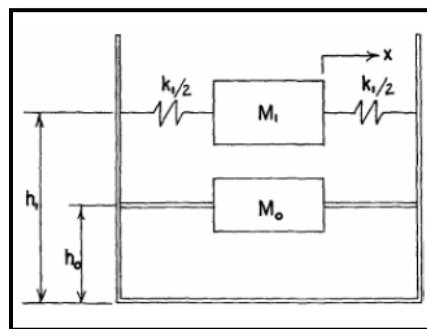
Housner propuso el primer modelo simplificado para el cálculo de la respuesta dinámica, este modelo sigue siendo ampliamente utilizado con algunas modificaciones.

El modelo Housner desarrolla una metodología capaz de solucionar una gran variedad de problemas aplicando soluciones y ecuaciones que simplifican el análisis de las diferentes formas de depósitos. El modelo solo considera los efectos de una componente horizontal de los movimientos del suelo, analizando los resultados obtenidos los cuales consideran que se podría establecer un modelo simplificado, donde la parte media e inferior del contenido líquido, la masa impulsiva se mueve rígidamente con el depósito y que la porción superior restante, masa convectiva, actúa como una masa sujeta a las paredes por medio de resortes, representando la acción del oleaje del líquido (Moreno Reyna, 2015).

Para depósitos circulares Housner utiliza dos masas: la convectiva y la impulsiva, donde  $M_1$  es la masa convectiva,  $M_0$  la impulsiva,  $K$  es la rigidez requerida para la oscilación de la masa convectiva, ( $h_1$ ) altura a la cual esta aplicada la masa convectiva y finalmente ( $h_0$ ) la de la masa impulsiva. (Moreno Reyna, 2015), siendo la modelación definida en la Figura 1 y Figura 2.

**Figura 1**

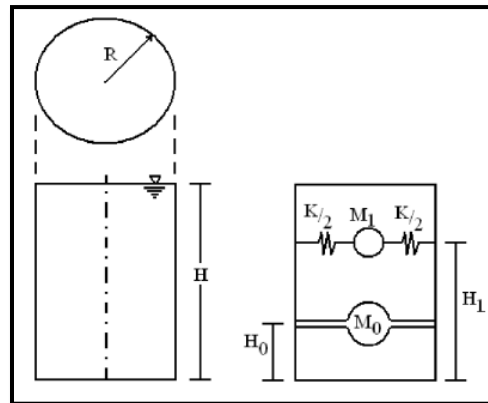
*Modelo matemático de Housner*



*Fuente:* Adaptada de UNIVERSIDAD DE SEVILLA (p.12), por P. Moreno,2015.

**Figura 2**

*Depósito circular y detalle de modelo de Housner*



Fuente: Adaptada de UNIVERSIDAD DE SEVILLA (p.13), por P. Moreno,2015.

- Cálculo de la masa (M):

**Ecuación 1**

*Masa de reservorio*

$$M = \frac{\pi * R^2 * H * \rho}{g}$$

- Cálculo de la masa impulsiva (Mo):

**Ecuación 2**

*Masa impulsiva*

$$M_o = M \cdot \frac{\tan h \left( 1,7 \cdot \frac{R}{H} \right)}{\left( 1,7 \cdot \frac{R}{H} \right)}$$

- Cálculo de la altura de la masa impulsiva (ho):

**Ecuación 3**

*Altura de la masa impulsiva*

$$h_o = 0.38H$$

- Cálculo de la masa convectiva ( $M_1$ ):

**Ecuación 4**  
*Masa convectiva*

$$M_1 = M * 0.38 * \frac{R}{H} * \tanh \left( 1.84 * \frac{R}{H} \right)$$

- Cálculo de la altura de la masa convectiva ( $h_1$ ):

**Ecuación 5**  
*Altura de la masa convectiva*

$$h_1 = H \cdot \left( 1 - \frac{1}{1.84 * \frac{H}{R} * \tanh \left( 1.84 * \frac{H}{R} \right)} \right)$$

- Cálculo el valor de la rigidez:

**Ecuación 6**  
*Rigidez requerida que oscila en la masa convectiva*

$$K = 0.71 * \frac{g}{H} * \tanh \left( 1.84 * \frac{H}{R} \right)^2 * M$$

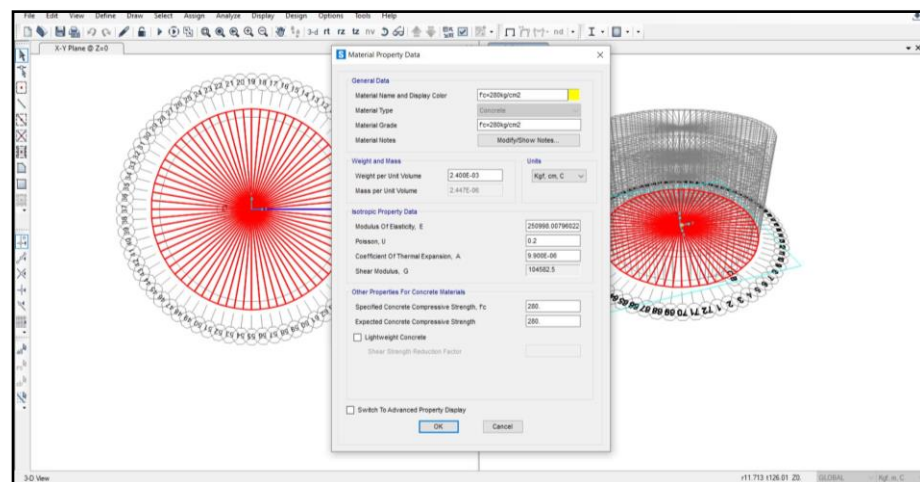
Donde R es el radio del depósito, (H) es la altura del líquido contenido en el depósito,  
(g) la gravedad y (M) es la masa total del líquido contenido en el reservorio.

### Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Housner.

- Ingreso de datos al software SAP2000 V23.3.1, de las dimensiones del reservorio circular apoyado de  $500 \text{ m}^3$ , de acuerdo al diseño en el anexo n°3.
- Ingreso de valores al software SAP2000 V23.3.1, del tipo de material, los tipos de secciones, asignación de áreas de sección y el espectro de respuesta, de acuerdo al cálculo del anexo n°4 y anexo n°5.

**Figura 3**

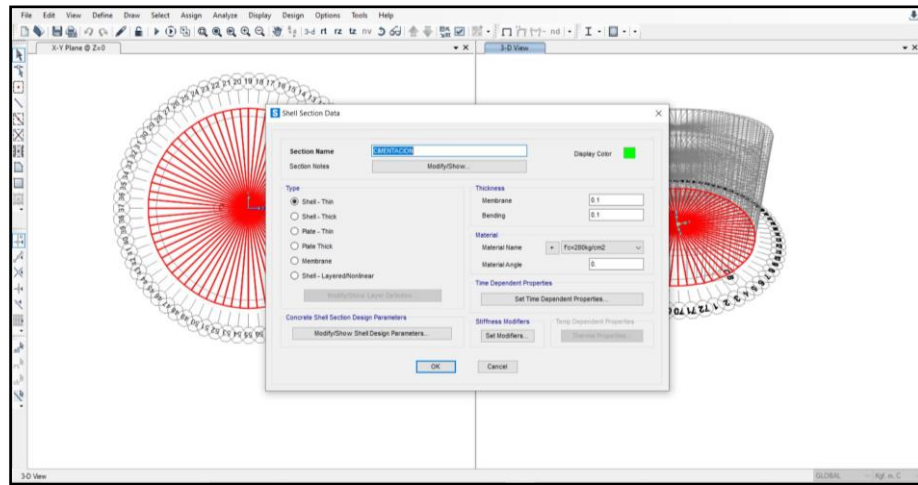
*Ingreso del material de concreto de  $280 \text{ kg/cm}^2$*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 4**

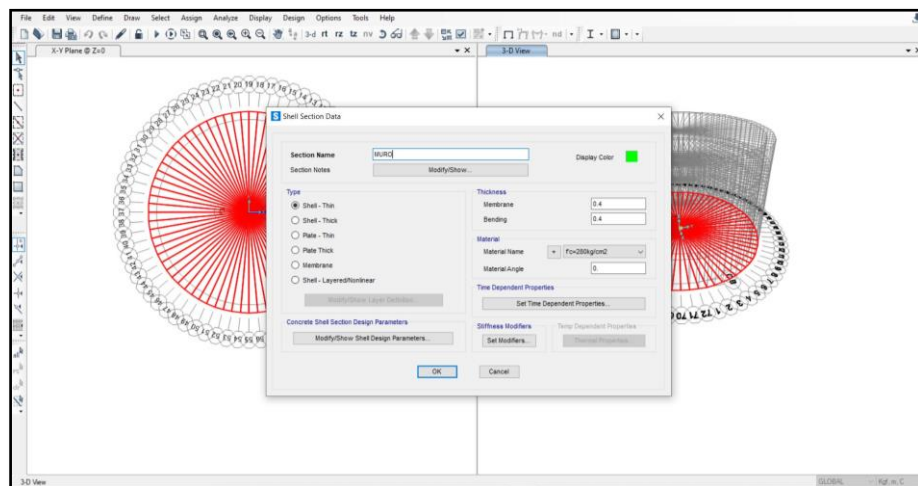
*Creación de la sección de la cimentación.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

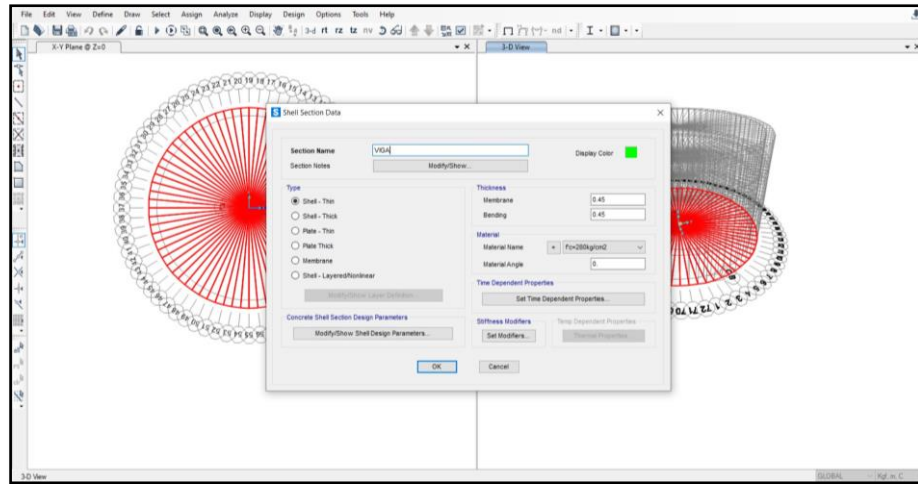
**Figura 5**

*Creación de la sección del muro.*



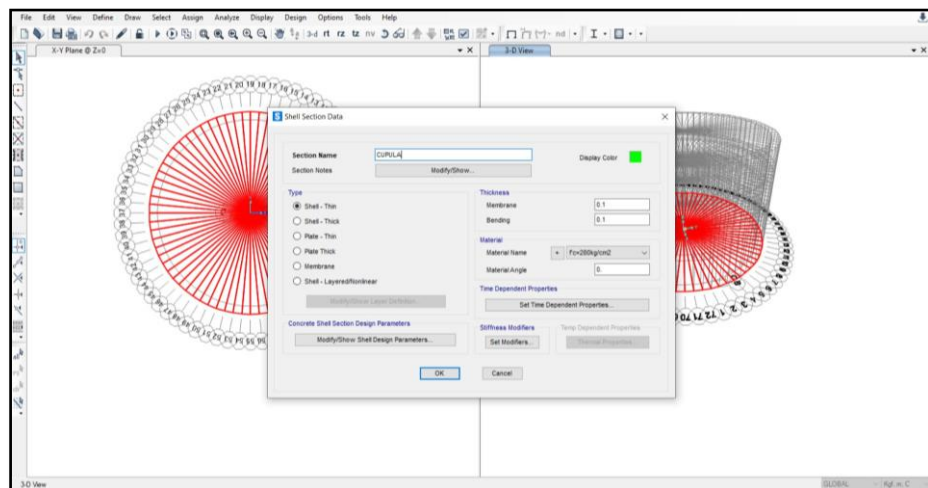
*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 6**  
*Creación de la sección de viga.*



Fuente: Elaboración propia 2023.

**Figura 7**  
*Creación de la sección cúpula.*

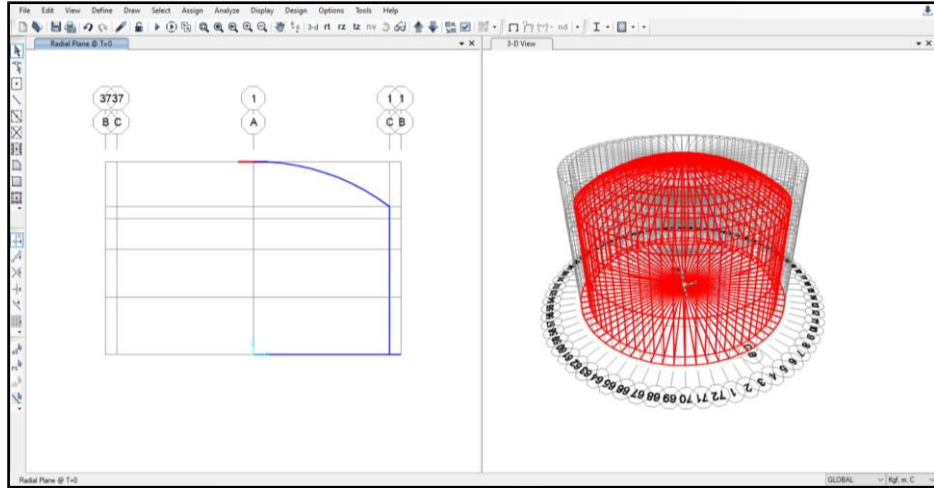


Fuente: Elaboración propia 2023.



**Figura 8**

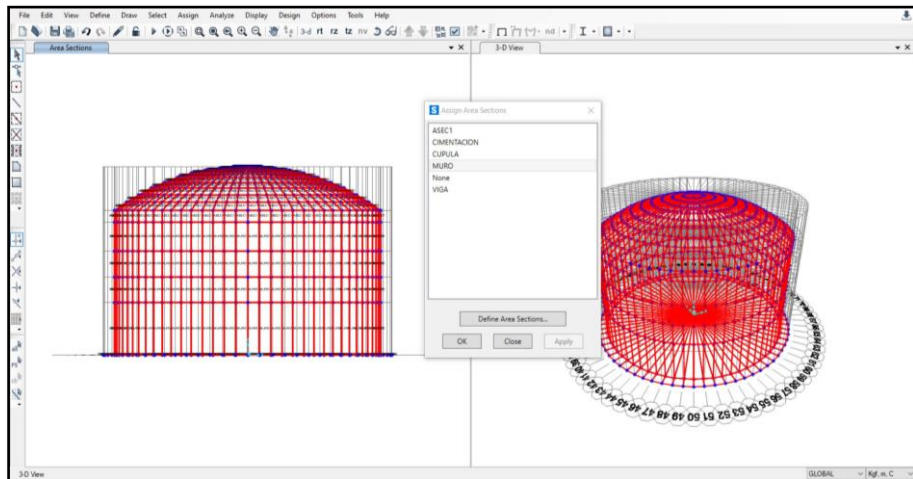
*Creación de muro y cúpula.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 9**

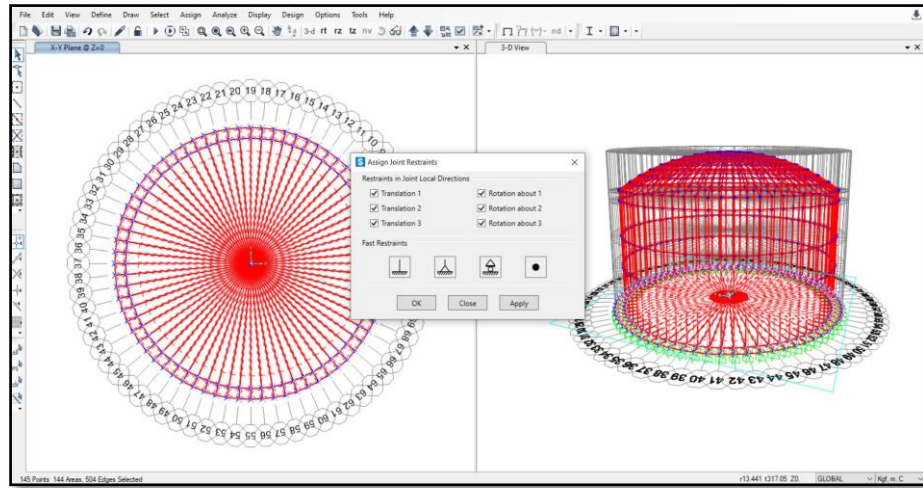
*Asignación del área de sección a cada parte del reservorio.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 10**

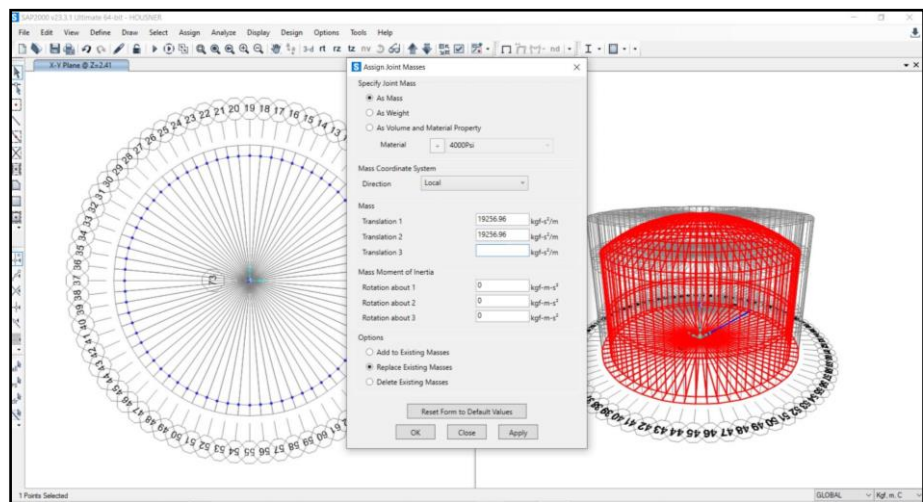
*Restricción en la cimentación.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 11**

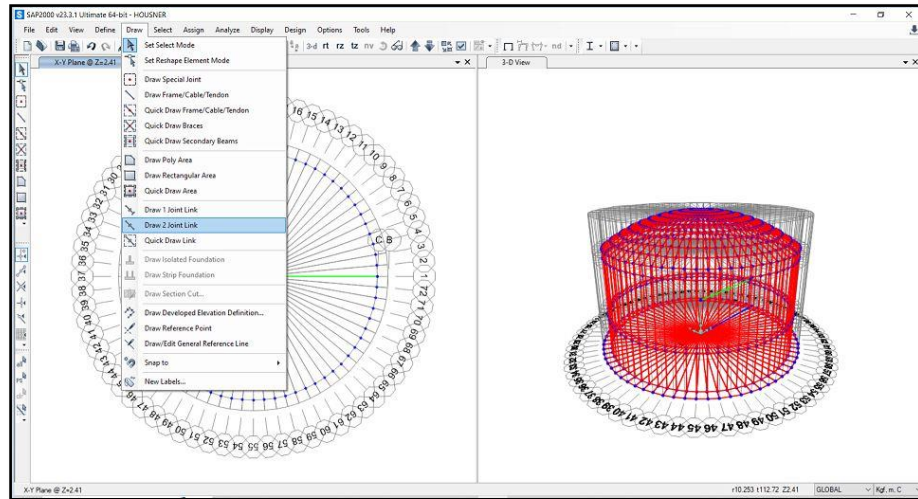
*Asignación de la masa convectiva en el modelo Housner.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 12**

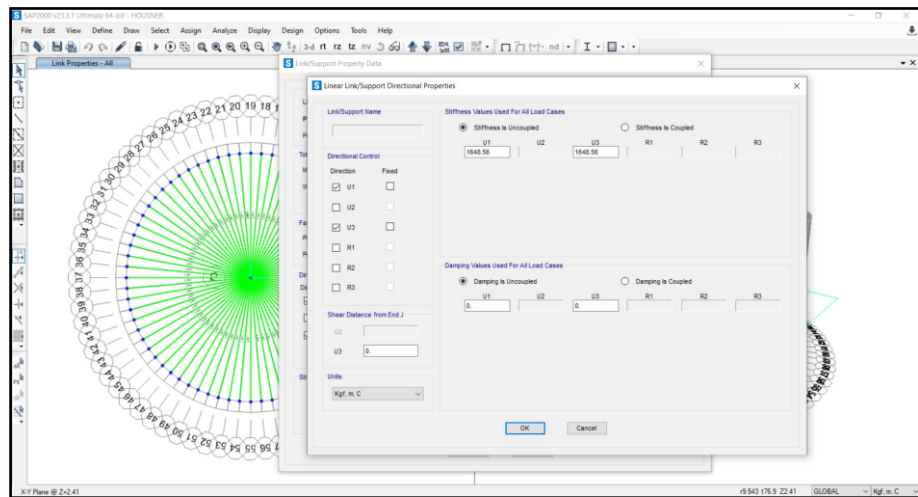
*Creación de la rigidez en la masa convectiva del modelo Housner.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 13**

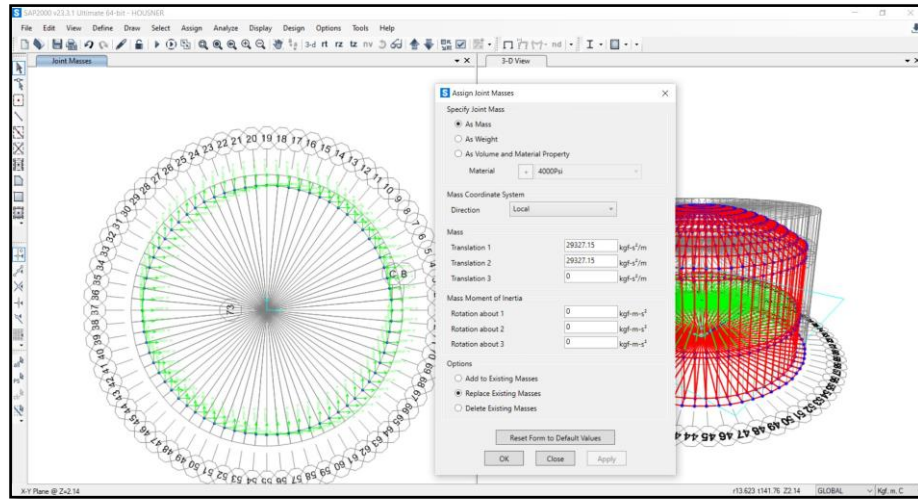
*Valor de rigidez en la masa convectiva del modelo Housner.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 14**

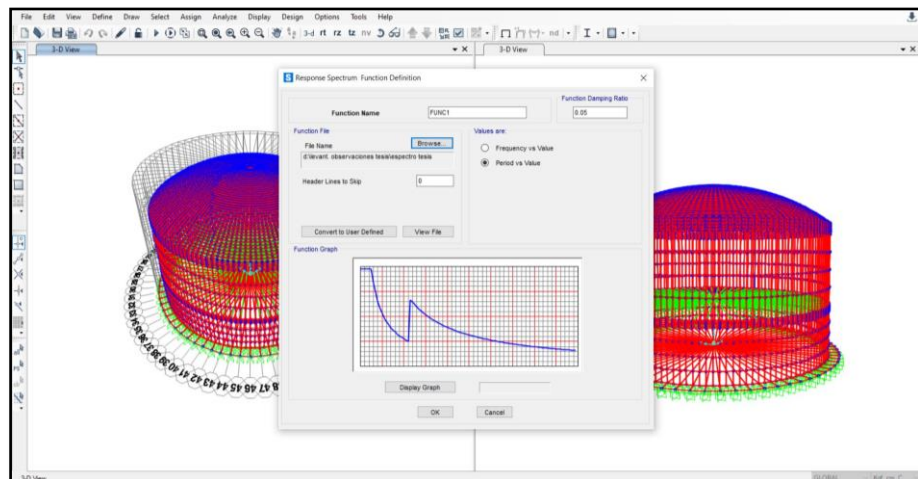
*Asignación de la masa impulsiva del modelo Housner.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 15**

*Definición del espectro de aceleración.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

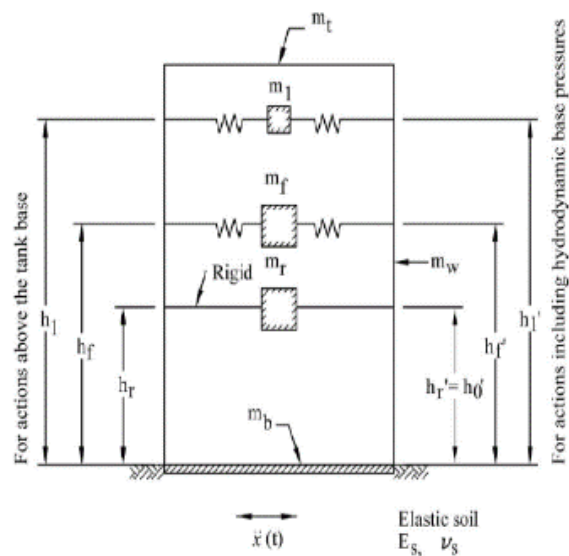
### Modelo Matemático de Haroun

Haroun modificó el modelo modificado de Housner. En esta nueva variación determina que la masa de líquido durante la excitación sísmica vibra en tres formas diferentes, al contrario del modelo de Housner (Moreno Reyna, 2015), denominadas:

- Masa convectiva ( $m_2$ ), se representa la masa de las olas en la superficie del líquido.
- Masa impulsiva ( $m_1$ ), parte intermedia de la masa de líquido que vibra junto a la pared del tanque.
- Masa rígida ( $m_0$ ), parte inferior de la masa de líquido que vibra solidaria al fondo del recipiente.

**Figura 16**

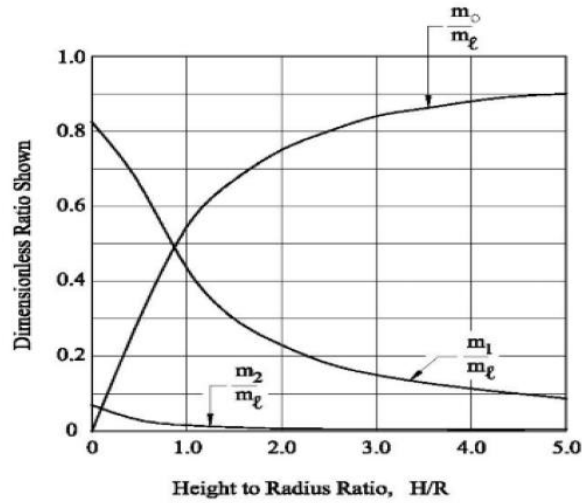
*Modelo matemático de Haroun*



*Fuente:* Adaptada de NORMA NEOZELANDESA (p.07).

**Figura 17**

*Ábaco para cálculo de masas*



*Fuente:* Adaptada de NORMA NEOZELANDESA (p.10).

Las masas convectiva, impulsiva y rígida se determinan a partir de la masa de líquido ( $m_l$ ), como:

- Cálculo de la masa del reservorio ( $m_l$ ):

**Ecuación 7**

*Masa de reservorio*

$$m_l = \frac{\pi * R^2 * H * \rho}{g}$$

- Cálculo de masa convectiva ( $m_2$ ):

**Ecuación 8**

*Masa convectiva*

$$\frac{m_2}{m_l} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

- Cálculo de masa impulsiva ( $m_1$ ):

**Ecuación 9**

*Masa impulsiva*

$$\frac{m_1}{ml} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

- Cálculo de masa rígida ( $m_o$ ):

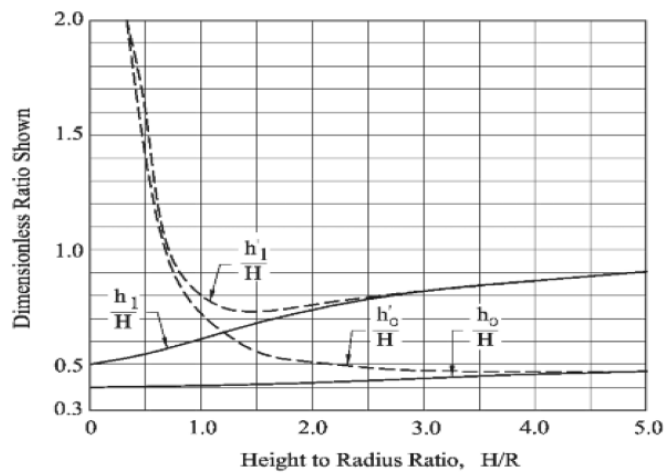
**Ecuación 10**

*Masa rígida*

$$\frac{m_o}{ml} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

**Figura 18**

*Ábaco para cálculo de alturas*



*Fuente: Adaptada de NORMA NEOZELANDESA (p.10).*

- Cálculo de la altura convectiva ( $h_2$ ):

**Ecuación 11**

*Altura de masa convectiva*

$$\frac{h_2}{Hl} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

- Cálculo de la altura impulsiva ( $h_1$ ):

**Ecuación 12**

*Altura de masa impulsiva*

$$\frac{h_1}{Hl} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

- Cálculo de la altura rígida ( $h_o$ ):

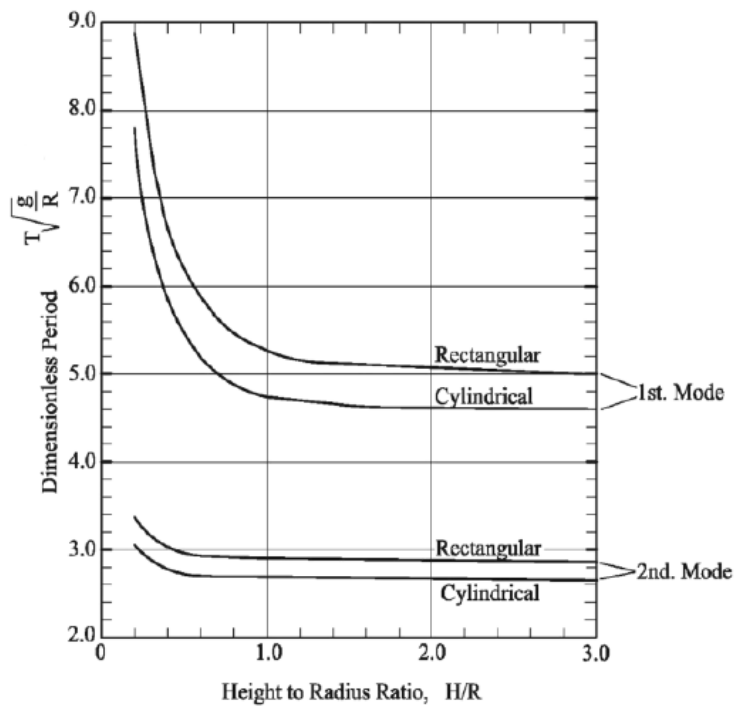
**Ecuación 13**

*Altura de masa rígida*

$$\frac{h_o}{Hl} = \frac{H}{R} (\text{proyección de abaco})$$

**Figura 19**

*Ábaco para cálculo de periodo convectivo*



Fuente: Adaptada de NORMA NEOZELANDESA (p.14).



- Cálculo del periodo convectivo ( $T_c$ ):

**Ecuación 14***Periodo convectivo*

$$T_c * \sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{H}{R} \text{ (proyección de abaco)}$$

$$T_{c'} * \sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{H}{R} \text{ (proyección de abaco)}$$

- Cálculo de la velocidad angular convectivo ( $\omega_c$ ):

**Ecuación 15***Velocidad angular convectiva*

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T_c}$$

$$\omega_{c'} = \frac{2\pi}{T_{c'}}$$

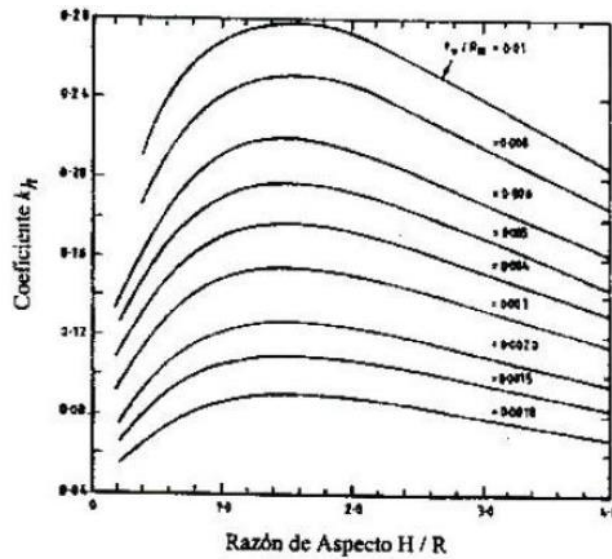
- Cálculo de la rigidez convectiva ( $k_c$ ):

**Ecuación 16***Rigidez convectiva*

$$K_c = m_2 * \omega_c^2$$

**Figura 20**

*Ábaco para cálculo del coeficiente del periodo impulsivo*



Fuente: Adaptada de NORMA NEOZELANDESA (p.15).

- Cálculo del periodo impulsivo ( $T_i$ ):

**Ecuación 17**

*Periodo impulsivo*

$$T_i = \frac{5.61 * \pi * H}{kh} * \left( \sqrt{\frac{\rho}{E * g}} \right)$$

- Cálculo de la velocidad angular impulsiva ( $\omega_i$ ):

**Ecuación 18**

*Velocidad angular impulsiva*

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

- Cálculo de la rigidez impulsiva ( $\omega_i$ ):

**Ecuación 19**

*rigidez impulsiva*

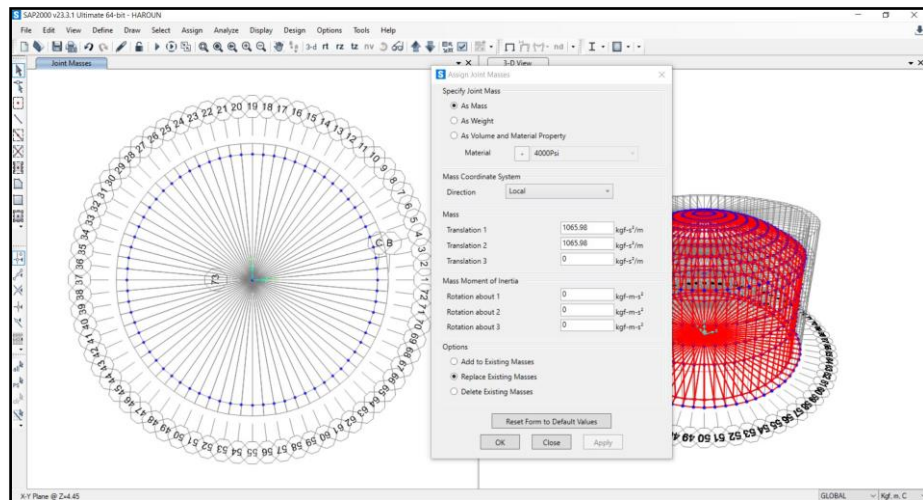
$$K_i = m_1 * \omega_i^2$$

### Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Haroun.

- El ingreso al software SAP2000 V23.3.1, de las dimensiones del reservorio circular apoyado de  $500 \text{ m}^3$  y los valores del material, los tipos de secciones, asignación de áreas de sección y el espectro de aceleración, tienen los mismos pasos de la Figura 3-10.

**Figura 21**

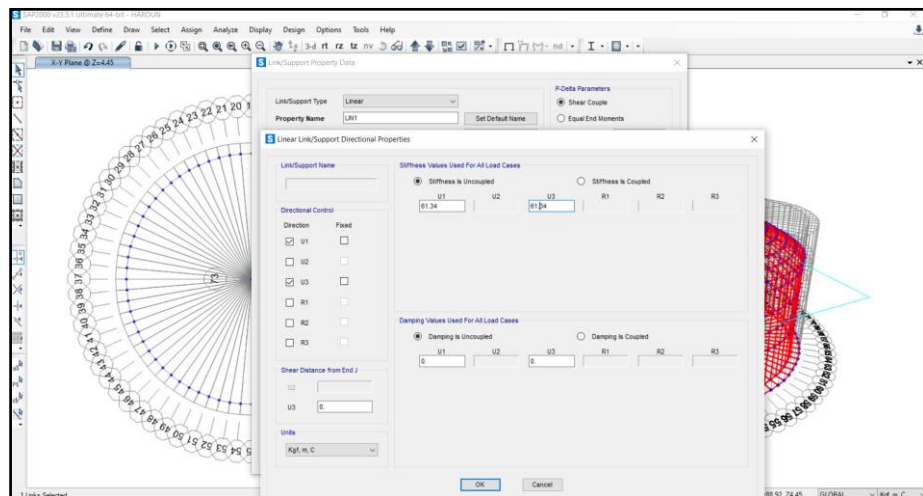
*Asignación de la masa convectiva del modelo Haroun.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 22**

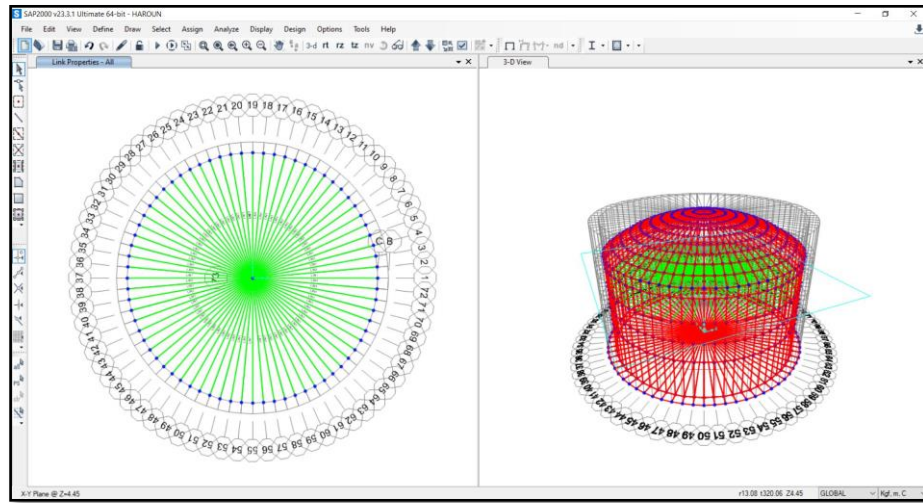
*Valor de la rigidez para la masa convectiva del modelo Haroun.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 23**

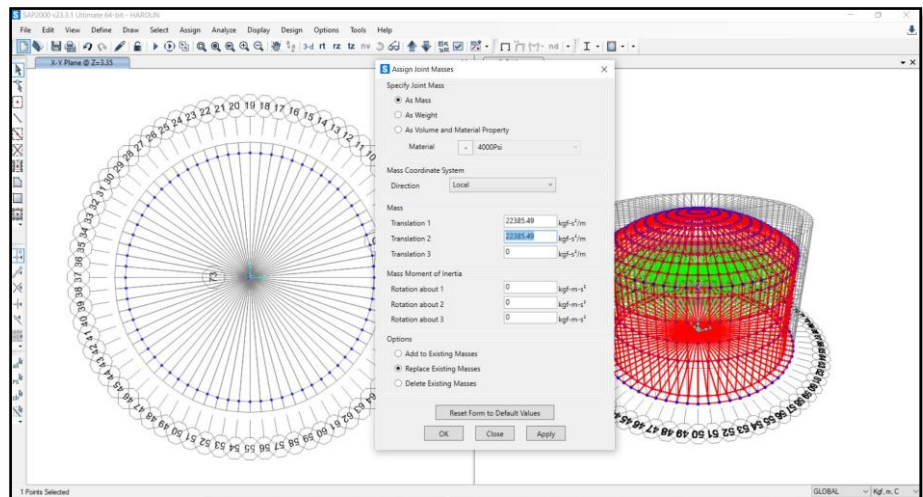
*Creación de la rigidez para la masa convectiva del modelo Haroun.*



Fuente: Elaboración propia 2023.

**Figura 24**

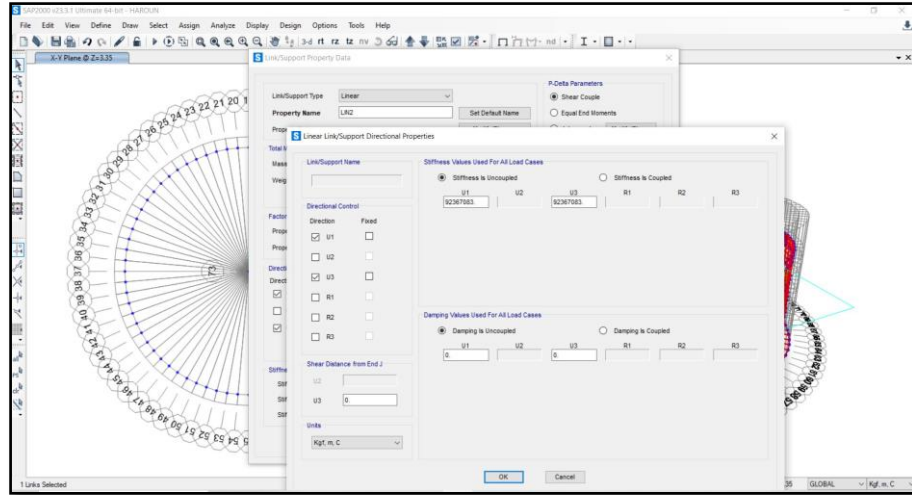
*Asignación de la masa impulsiva del modelo Haroun.*



Fuente: Elaboración propia 2023.

**Figura 25**

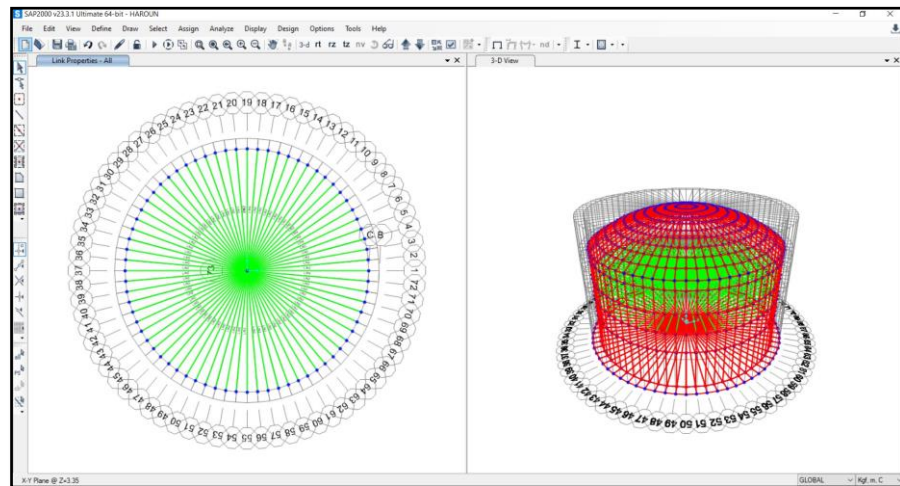
*Valor de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Haroun.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 26**

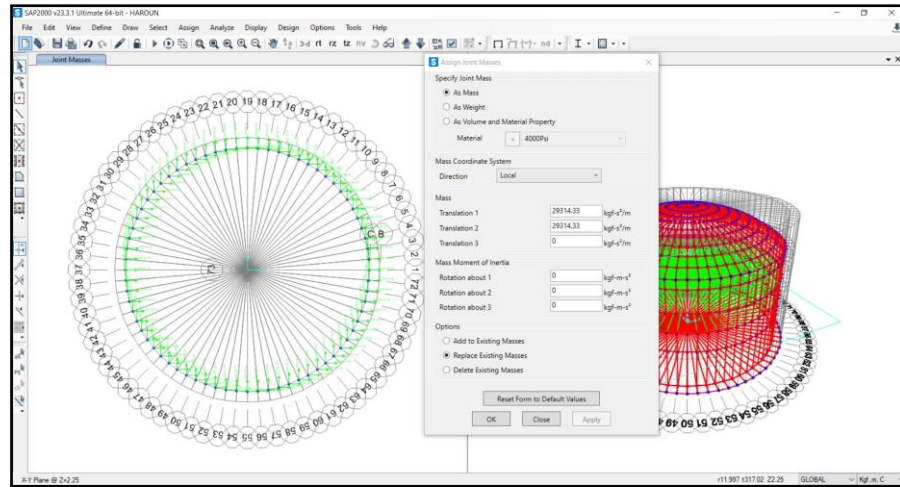
*Creación de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Haroun.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 27**

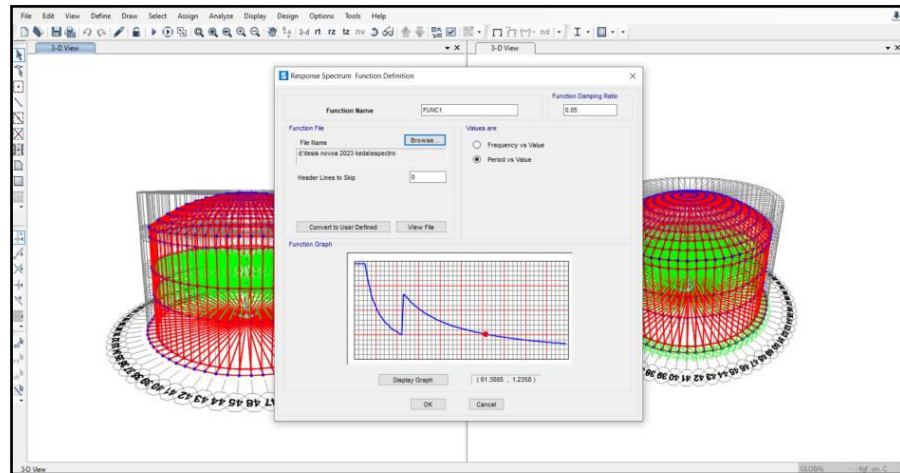
*Asignación de la masa rígida en el modelo Haroun.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 28**

*Definición del espectro de aceleración.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

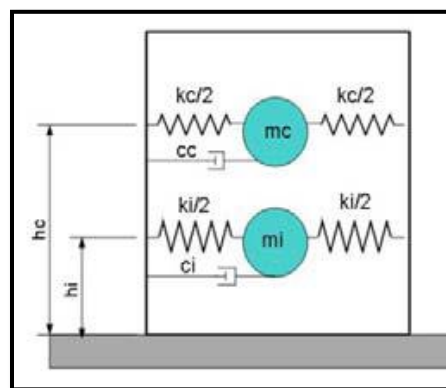
### **Modelo Matemático de Malhotra**

De acuerdo con el modelo Malhotra (Fig. 29), la masa de líquido durante la excitación sísmica, vibra en dos formas diferentes, asociadas a las dos masas equivalentes, denominadas: masa convectiva  $m_c$ , (parte superior de la masa de líquido en donde se producen las olas en la superficie del líquido y cuyos desplazamientos horizontales son equivalentes a la altura de ola) y masa impulsiva  $m_i$ , (parte de la masa de líquido que vibra junto a la pared del tanque), (Compagnoni & Martínez, 2013)

Las masas convectiva e impulsiva se determinan a partir de la masa de líquido  $m$ , como se modelan en la Figura 8,9 y 10.

**Figura 29**

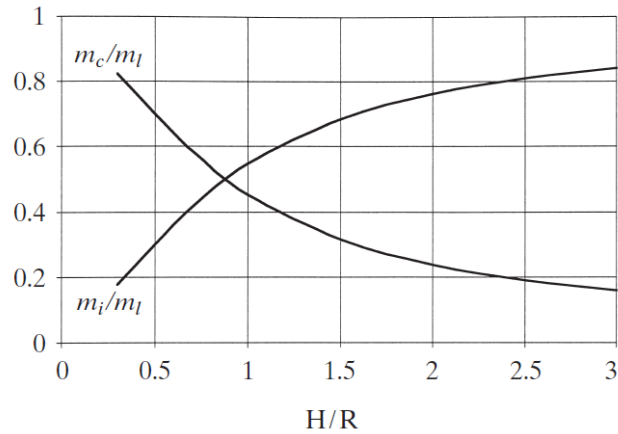
*Modelo matemático Malhotra*



*Fuente:* Mitigación de daños en tanques contenedores de líquidos bajo excitación sísmica, con optimización de costos, M. compagnoni (p.06).

**Figura 30**

*Ábaco para el cálculo de masas*



*Fuente:* Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid-Storage Tanks, P.K. Malhotra, (p.199).

- Cálculo de la masa ( $m_l$ ):

**Ecuación 20**

*Masa de reservorio*

$$m_l = \frac{\pi * R^2 * H * \rho}{g}$$

- Cálculo de la masa convectiva ( $m_c$ ):

**Ecuación 21**

*Masa convectiva*

$$\frac{m_c}{m_l} = \frac{H}{R} (\text{proyeccion de abaco})$$

- Cálculo de la masa impulsiva ( $m_i$ ):

**Ecuación 22**

*Masa impulsiva*

$$\frac{m_i}{m_l} = \frac{H}{R} (\text{proyeccion de abaco})$$



- Cálculo de altura de masa convectiva ( $h_c$ ):

**Ecuación 23**

*Altura masa convectiva*

$$\frac{h_c}{Hl} = \frac{H}{R} (\text{proyeccion de abaco})$$

- Cálculo de altura de masa impulsiva ( $h_i$ ):

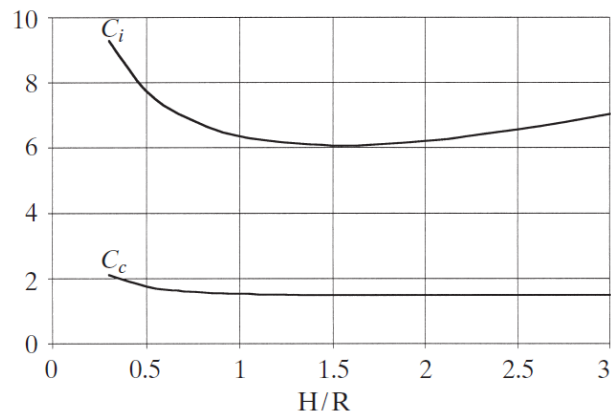
**Ecuación 24**

*Altura masa impulsiva*

$$\frac{h_i}{Hl} = \frac{H}{R} (\text{proyeccion de abaco})$$

**Figura 31**

*Ábaco para el cálculo del coeficiente convectivo e impulsivo*



*Fuente:* Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid-Storage Tanks, P.K. Malhotra, (p.198).

- Cálculo del coeficiente convectivo ( $C_c$ ):

**Ecuación 25**

*Coeficiente convectivo*

$$C_c = \left( \text{proyección de abaco} \frac{H}{R} \right) * \frac{s}{\sqrt{m}}$$

- Cálculo del coeficiente impulsivo ( $C_i$ ):

**Ecuación 26**  
*Coeficiente impulsivo*

$$C_i = \left( \text{proyección de abaco} \frac{H}{R} \right) * \frac{s}{\sqrt{m}}$$

- Cálculo del periodo convectivo ( $T_c$ ):

**Ecuación 27**  
*Periodo convectivo*

$$T_c = C_c * \sqrt{R}$$

- Cálculo del periodo impulsivo ( $T_i$ ):

**Ecuación 28**  
*Periodo impulsivo*

$$T_i = C_i * \frac{Hl * \sqrt{\rho}}{\sqrt{\frac{e_t}{R}} * \sqrt{E}}$$

- Cálculo de la velocidad angular impulsiva ( $\omega_i$ ):

**Ecuación 29**  
*Velocidad angular impulsiva*

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

- Cálculo de la velocidad angular convectiva ( $\omega_c$ ):

**Ecuación 30**  
*Velocidad angular convectiva*

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T_c}$$

- Cálculo de la rigidez convectiva ( $k_c$ ):

**Ecuación 31**  
*Rigidez convectiva*

$$k_c = m_c * \omega_c^2$$

- Cálculo de la rigidez impulsiva ( $k_i$ ):

**Ecuación 32**

*Rigidez impulsiva*

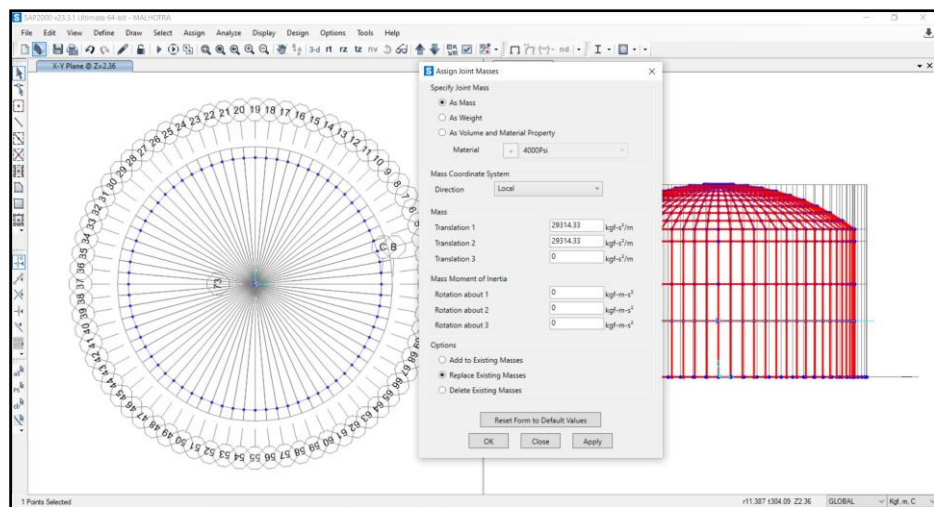
$$k_i = m_i * \omega_i^2$$

**Ingreso de Valores en el Software SAP 2000 V23.3.1. del Modelo Malhotra.**

- El ingreso al software SAP2000 V23.3.1, de las dimensiones del reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> y los valores del material, los tipos de secciones, asignación de áreas de sección y el espectro de aceleración, tienen los mismos pasos de la Figura 3-10.

**Figura 32**

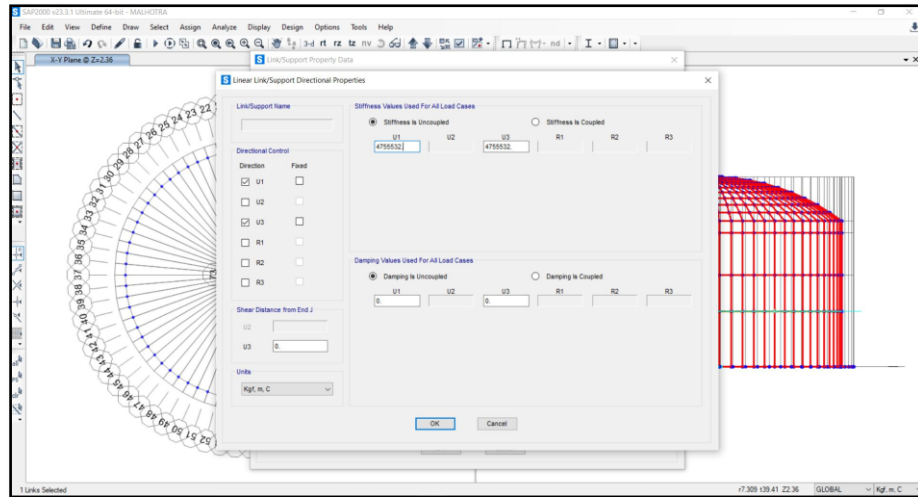
*Asignación de la masa impulsiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 33**

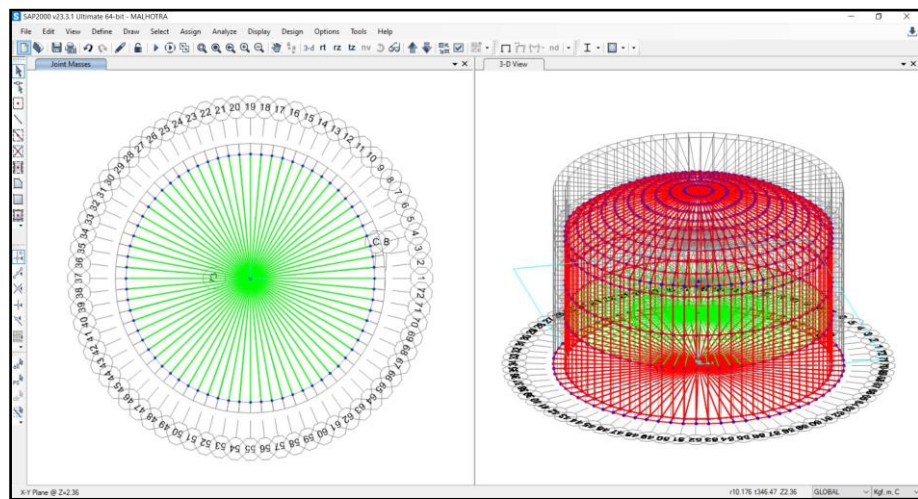
*Valor de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 34**

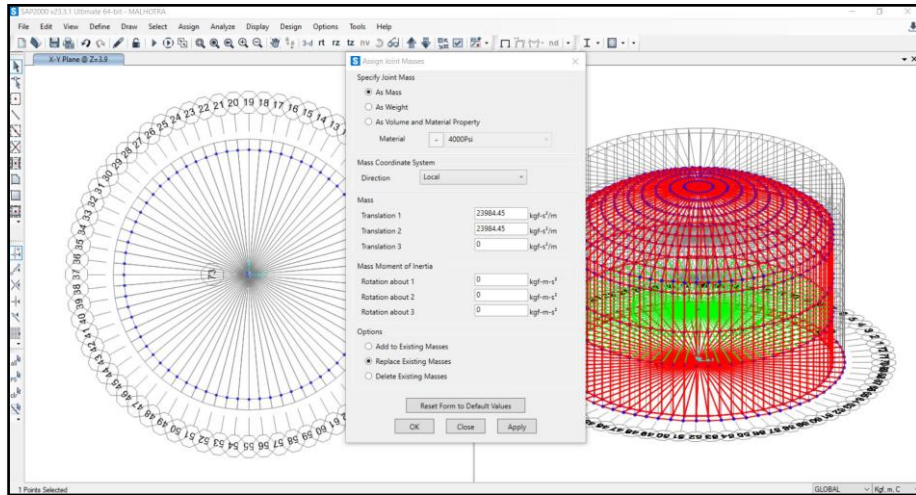
*Creación de la rigidez para la masa impulsiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 35**

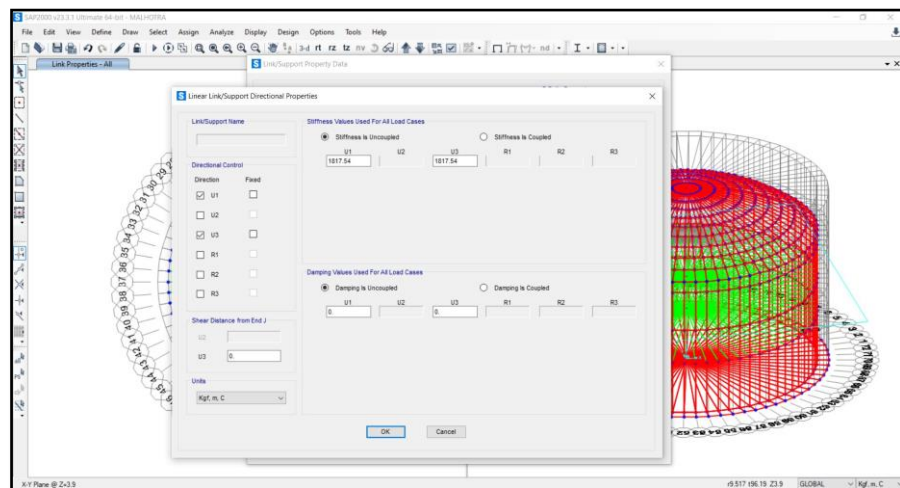
*Asignación de la masa convectiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 36**

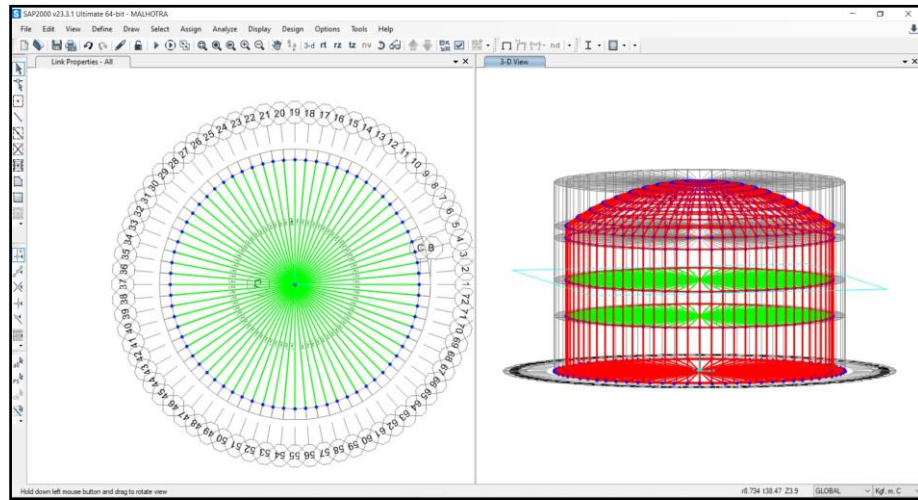
*Valor de la rigidez para la masa convectiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 37**

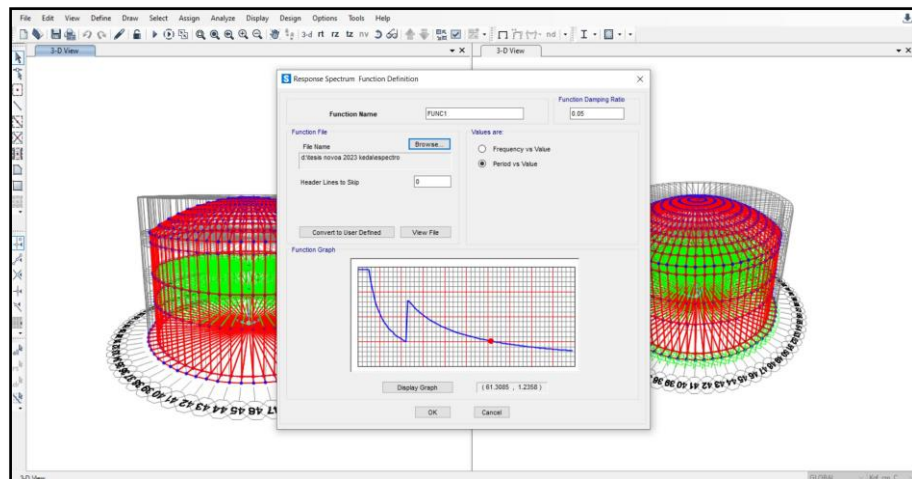
*Creación de la rigidez para la masa convectiva del modelo Malhotra.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 38**

*Definición del espectro de aceleración.*



*Fuente: Elaboración propia 2023.*

## 2.5. Aspectos Éticos

La investigación se desarrolló teniendo en cuenta los siguientes criterios éticos:

**Valor científico:** La investigación plantea el desarrollo de diseño sísmico de reservorios por medio de estudios nacionales y extranjeros debidamente citados, el cual dará un alcance a estudiantes y profesionales de ingeniería civil.

**Originalidad:** La veracidad de los datos obtenidos en el análisis son confiables ya que son respaldadas por fuentes de información debidamente citadas, se asegura su originalidad ya que se empleará un software de detección de plagio.

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Resultados de la Investigación

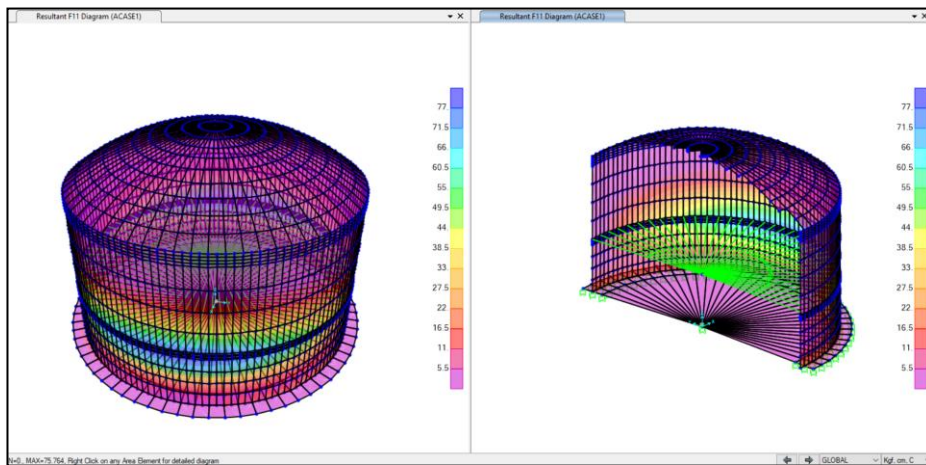
En esta investigación se realizó la comparación a partir de un análisis sísmico dinámico para cada modelo matemático. Los resultados obtenidos del análisis a comparar son: Fuerzas en muro, momentos en muro, fuerza cortante en muro, desplazamientos en muro y masas.

*Resultados en Reservoirio Circular Apoyado de 500 m<sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Housner.*

#### Fuerza Anular o Axial F11

**Figura 39**

*Fuerza máxima F11 - modelo matemático de Housner.*



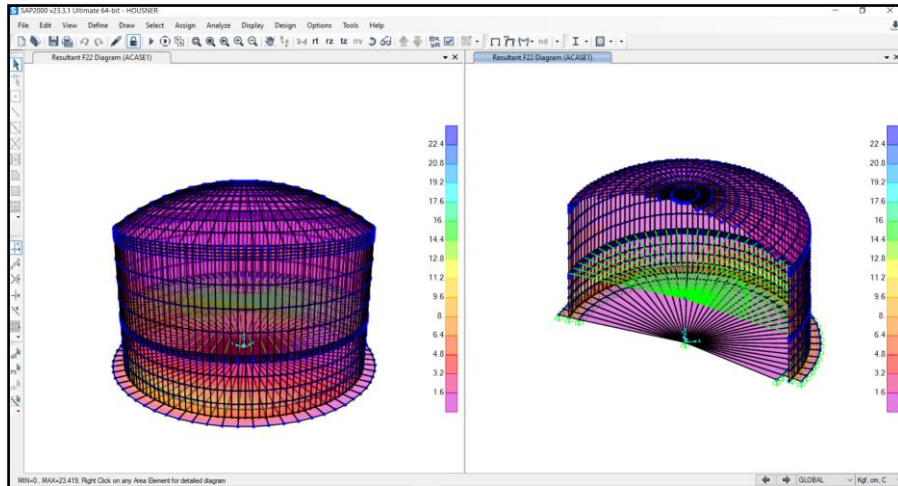
*Nota:* La fuerza máxima F11 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de  $F11=75.764 \text{ kg/cm}$ .



## Fuerza Anular o Axial F22

**Figura 40**

*Fuerza máxima F22 - modelo matemático de Housner.*

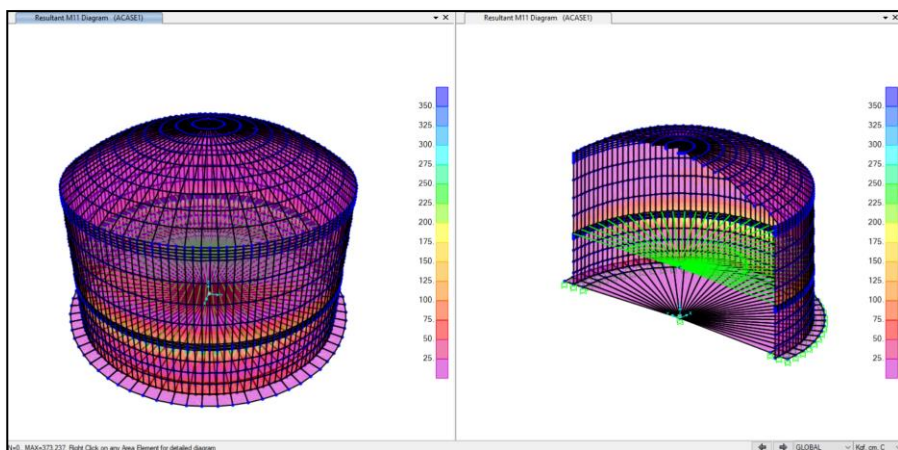


*Nota:* La fuerza máxima F22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de F22= 23.419 kg/cm.

## Momento en el Muro M11

**Figura 41**

*Momento máximo M11 - modelo matemático de Housner.*

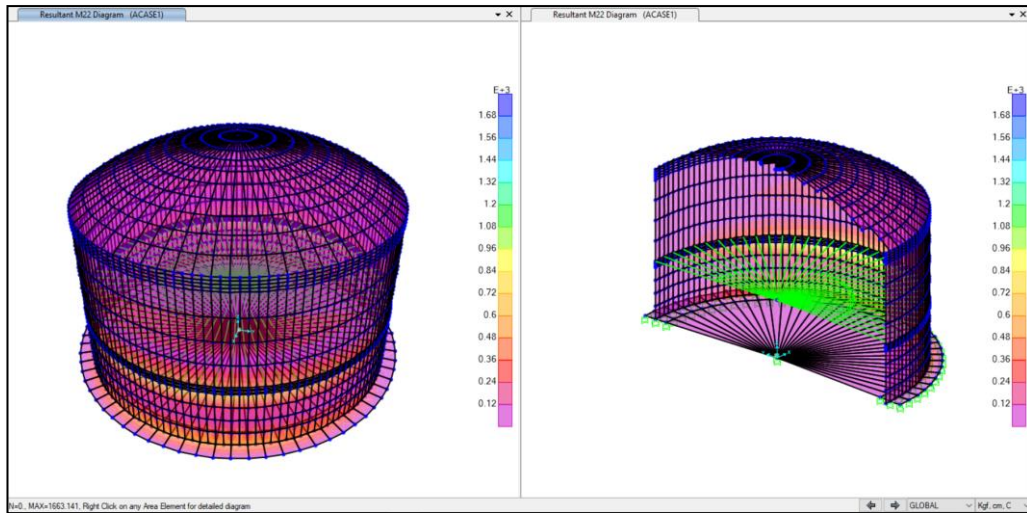


*Nota:* El momento máximo M11 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de M11= 373.237 kg/cm.

## Momento en el Muro M22

**Figura 42**

*Momento máximo M22 - modelo matemático de Housner.*

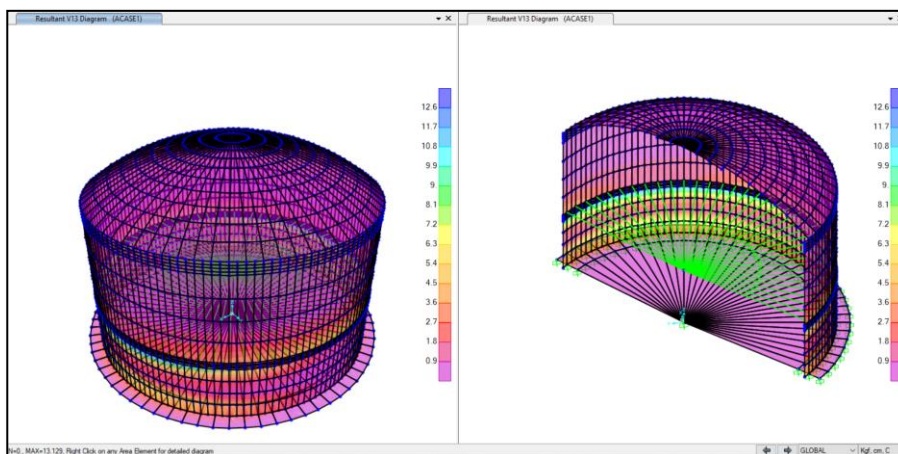


*Nota:* El momento máximo M22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de M22 = 1663.141 kg/cm.

## Fuerza Cortante en el Muro V13

**Figura 43**

*Cortante máxima V13 - modelo matemático de Housner.*

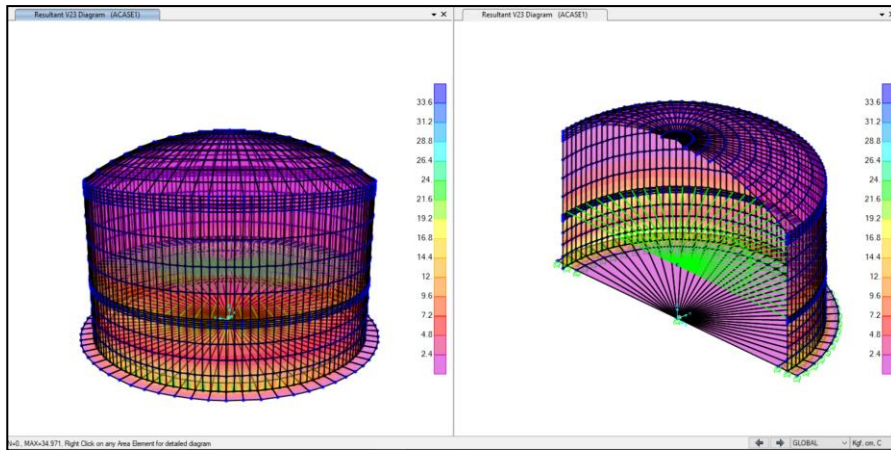


*Nota:* La cortante máxima V13 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V13= 13.129 kg/cm

## Fuerza Cortante en el Muro V23

**Figura 44**

*Cortante máxima V23 - modelo matemático de Housner.*

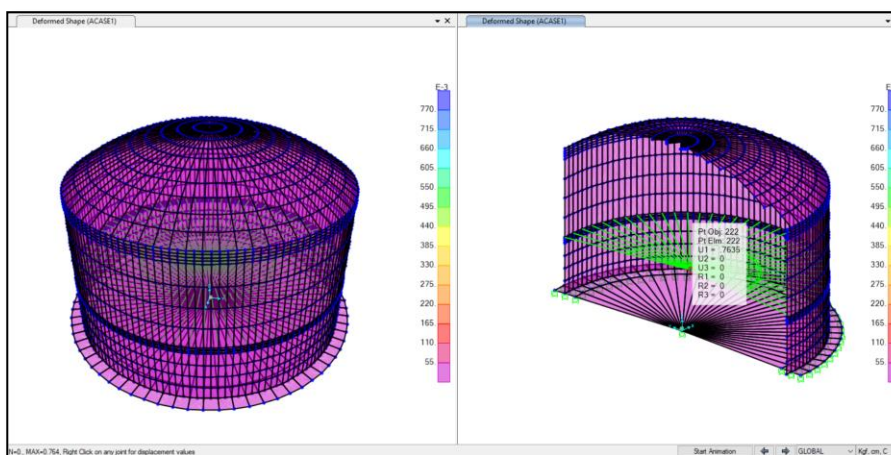


*Nota:* La cortante máxima V23 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V23= 34.971 kg/cm.

## Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva

**Figura 45**

*Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo matemático de Housner.*

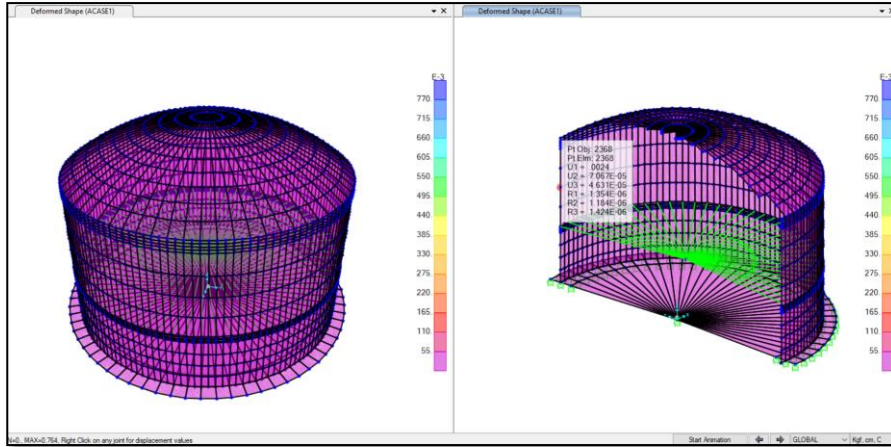


*Nota:* El desplazamiento máximo de la masa convectiva en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.764 cm.

## Desplazamiento Lateral del Muro

**Figura 46**

*Desplazamiento máximo en el muro - modelo matemático de Housner.*

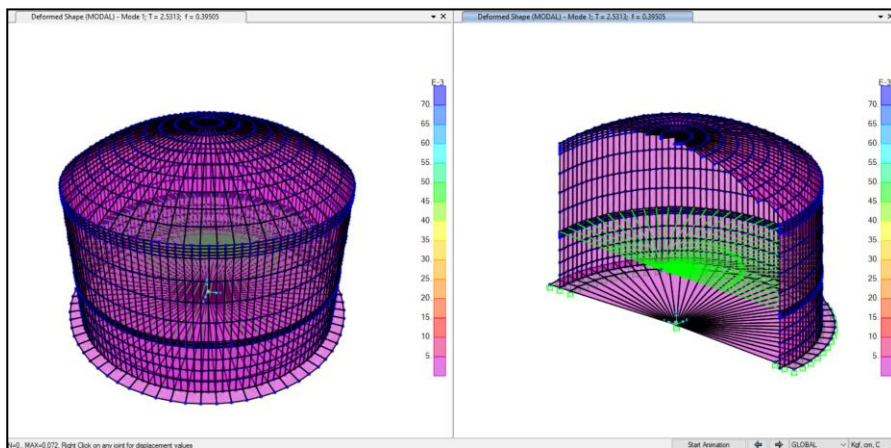


*Nota:* El desplazamiento máximo del muro el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.0024cm.

## Periodo en el Reservorio

**Figura 47**

*Periodo - modelo matemático de Housner.*

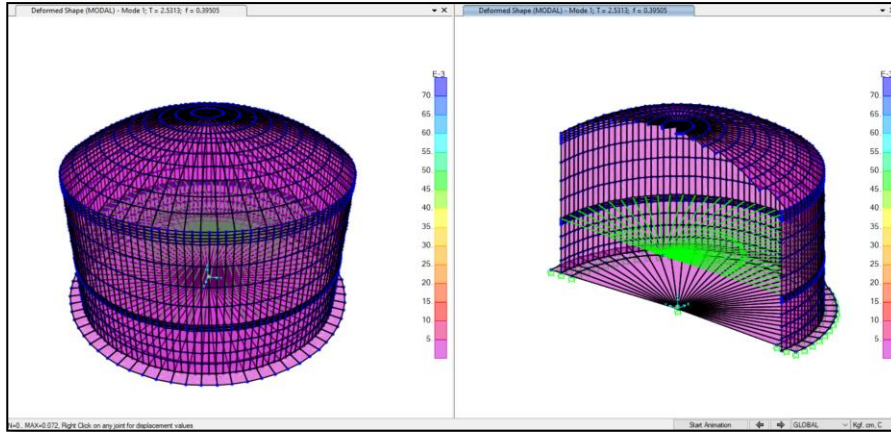


*Nota:* El periodo el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 2.531 s.

## Frecuencia en el Reservoirio

**Figura 48**

*Frecuencia - modelo matemático de Housner*



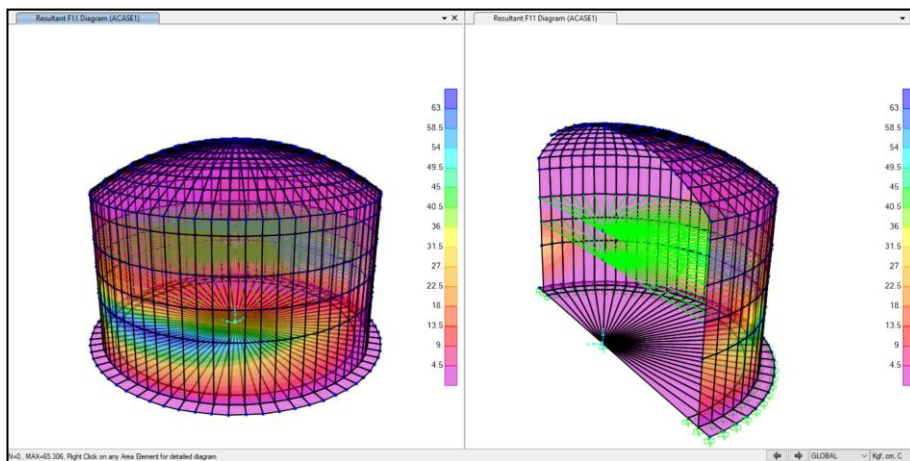
*Nota:* La frecuencia el reservoirio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.395 s<sup>-1</sup>.

*Resultados en Reservoirio Circular Apoyado de 500 m<sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Haroun.*

## Fuerza Anular o Axial F11

**Figura 49**

*Fuerza máxima F11 – modelo matemático de Haroun.*

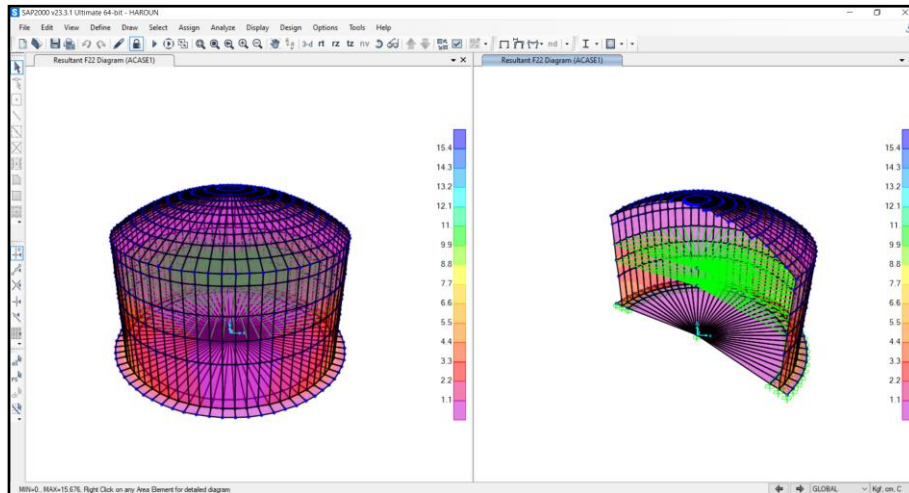


*Nota:* La fuerza máxima F11 en el reservoirio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de F11= 65.306 kg/cm.

## Fuerza Anular o Axial F22

**Figura 50**

*Fuerza máxima F22 - modelo matemático de Haroun.*

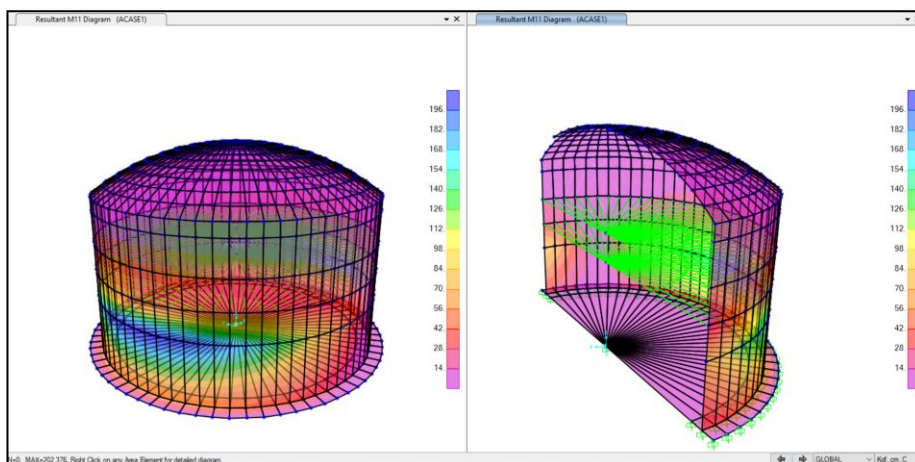


*Nota:* La fuerza máxima F22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de F22=15.676 kg/cm.

## Momento en el Muro M11

**Figura 51**

*Momento máximo M11 - modelo matemático de Haroun.*

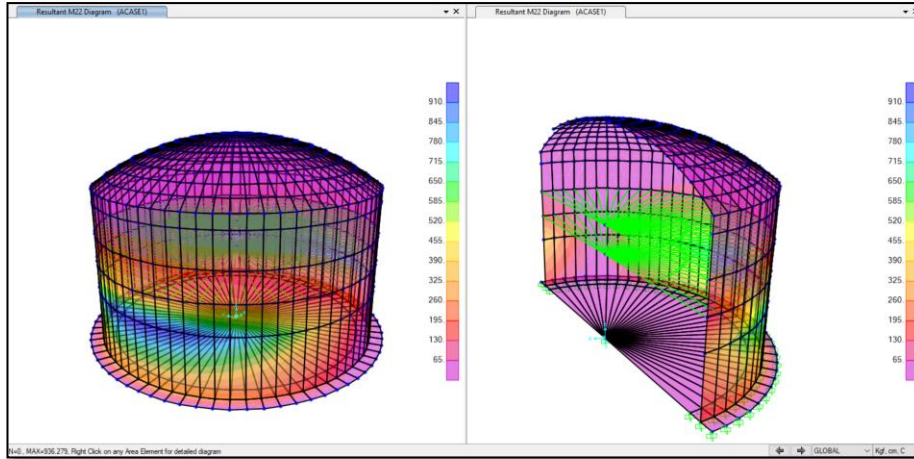


*Nota:* El momento máximo M11 el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de M11=202.376 kg/cm.

## Momento en el Muro M22

**Figura 52**

*Momento máximo M22 - modelo matemático de Haroun.*

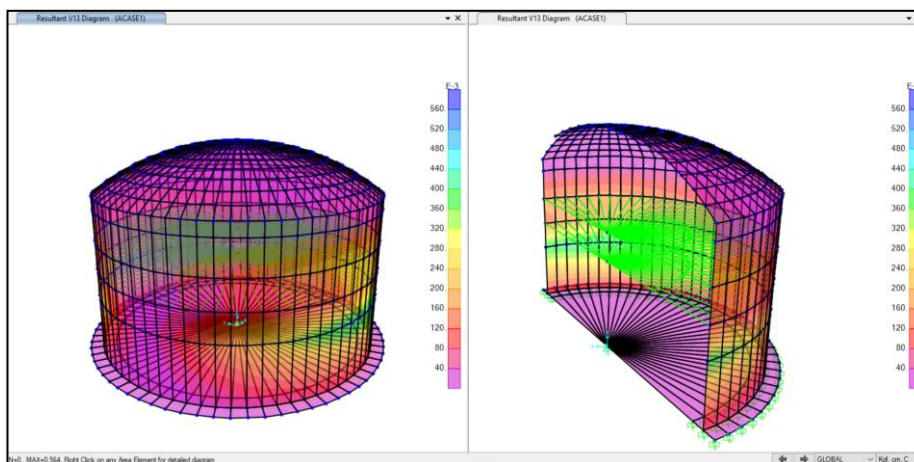


*Nota:* El momento máximo M22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de M22=936.279 kg/cm.

## Fuerza Cortante en el Muro V13

**Figura 53**

*Cortante máxima V13 - modelo matemático de Haroun.*

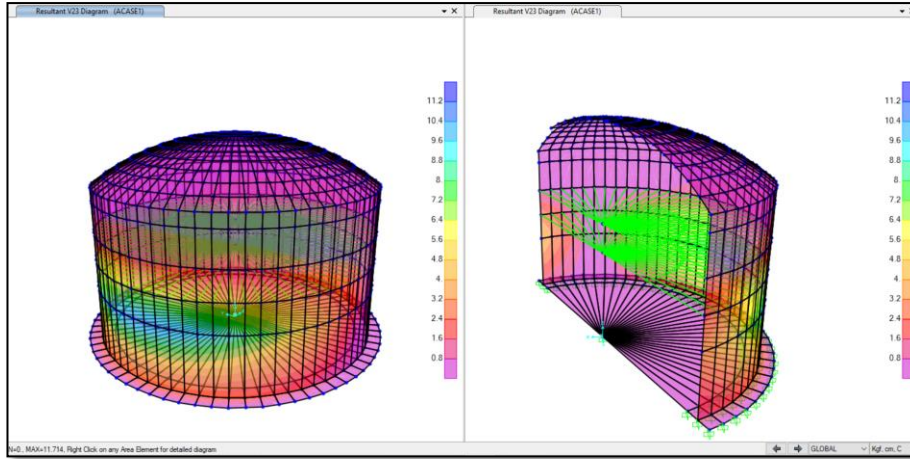


*Nota:* La cortante máxima V13 el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V13=0.564 kg/cm.

## Fuerza Cortante en el Muro V23

**Figura 54**

*Cortante máxima V23 - modelo matemático de Haroun.*

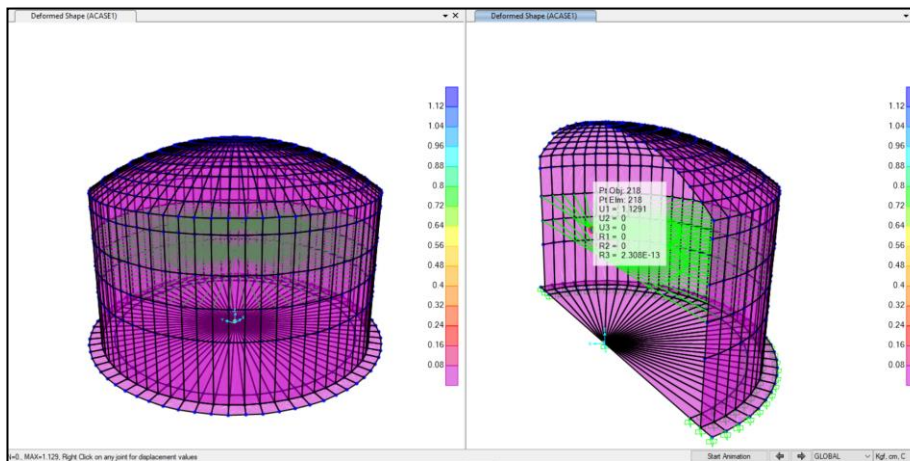


*Nota:* La cortante máxima V23 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V23=11.714 kg/cm.

## Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva

**Figura 55**

*Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo matemático de Haroun.*



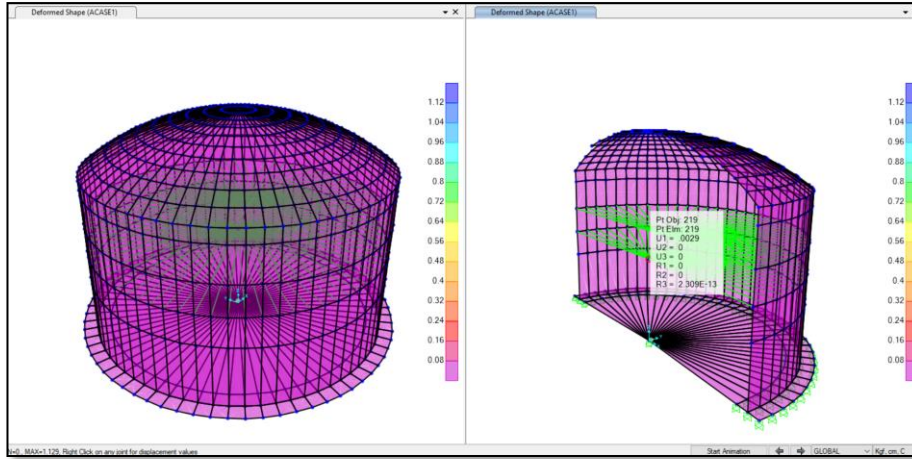
*Nota:* El desplazamiento máximo de la masa convectiva en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 1.129 cm.



## Desplazamiento Lateral de la Masa Impulsiva

**Figura 56**

*Desplazamiento máximo de la masa impulsiva - modelo matemático de Haroun.*

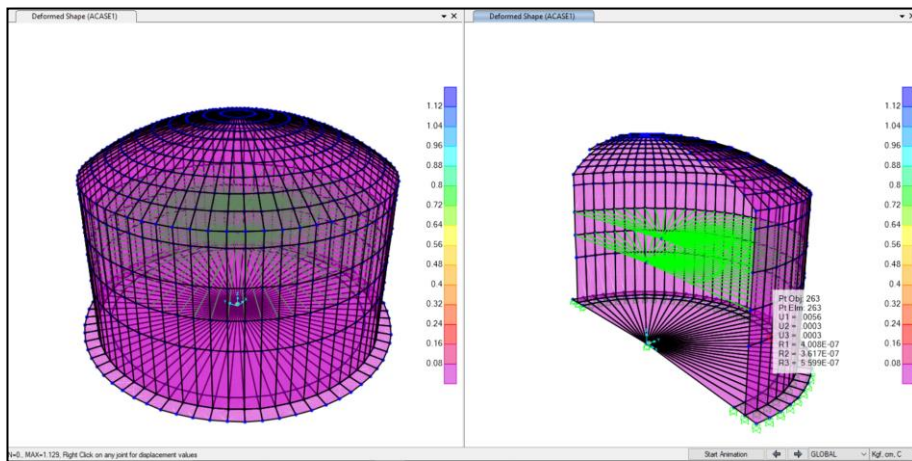


*Nota:* El desplazamiento máximo de la masa impulsiva en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.0029 cm.

## Desplazamiento Lateral del Muro

**Figura 57**

*Desplazamiento máximo en el muro - modelo matemático de Haroun.*

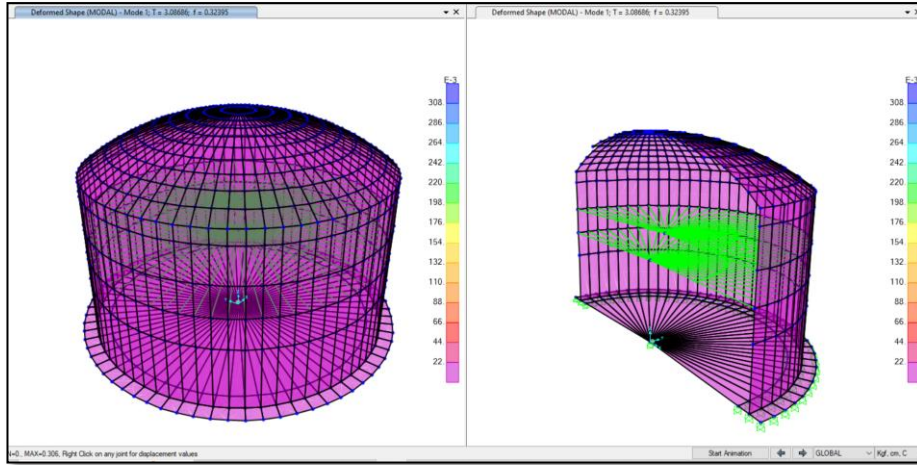


*Nota:* El desplazamiento máximo del muro en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.0056 cm.

## Periodo en el Reservoirio

**Figura 58**

*Periodo - modelo matemático de Haroun.*

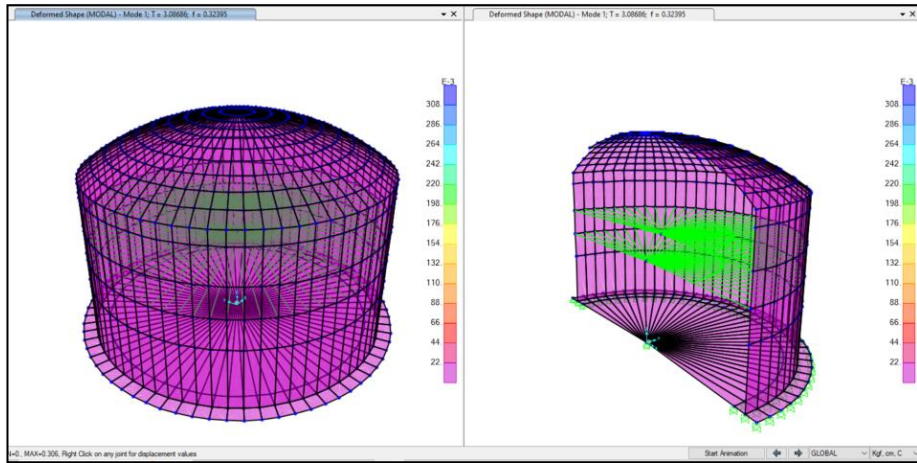


*Nota:* El periodo en el reservoirio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 3.086 s.

## Frecuencia en el Reservoirio

**Figura 59**

*Frecuencia - modelo matemático de Haroun.*



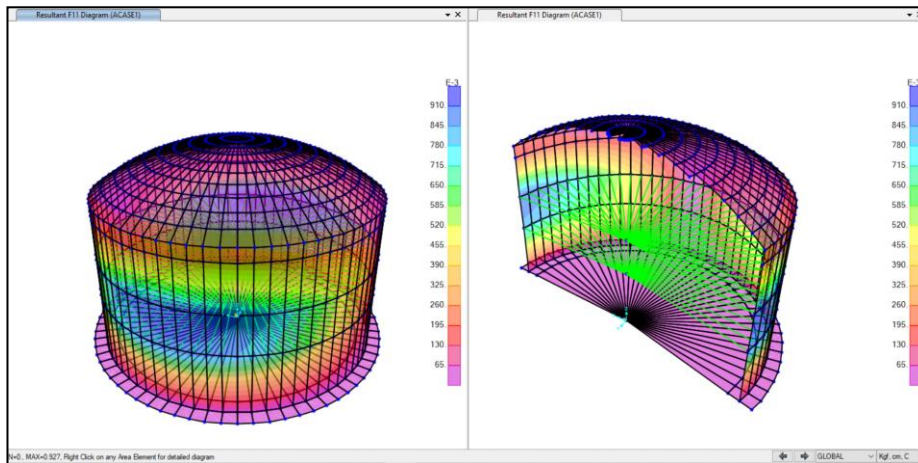
*Nota:* La frecuencia en el reservoirio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.324 s<sup>-1</sup>.

**Resultados en Reservoirio Circular Apoyado de 500 m<sup>3</sup> con el Modelo Matemático de Malhotra.**

**Fuerza Anular o Axial F11**

**Figura 60**

*Fuerza máxima F11 - modelo matemático Malhotra.*

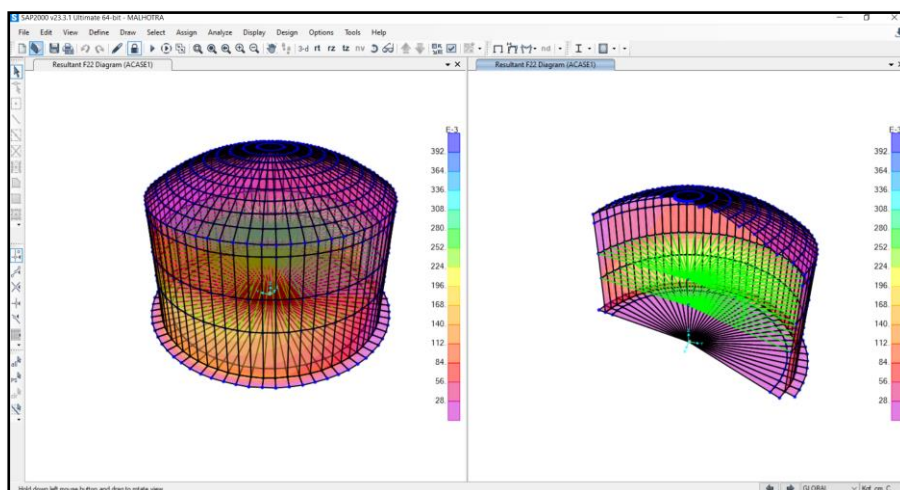


*Nota:* La fuerza máxima F11 el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de F11=0.927 kg/cm.

**Fuerza Anular o Axial F22**

**Figura 61**

*Fuerza máxima F22 - modelo matemático Malhotra.*

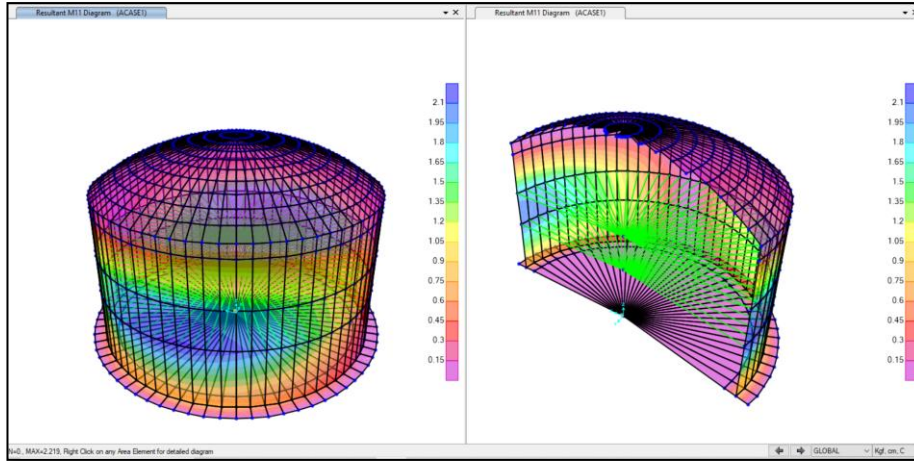


*Nota:* La fuerza máxima F22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de F22=0.398 kg/cm.

## Momento en el Muro M11

**Figura 62**

*Momento máximo M11 - modelo matemático de Malhotra.*

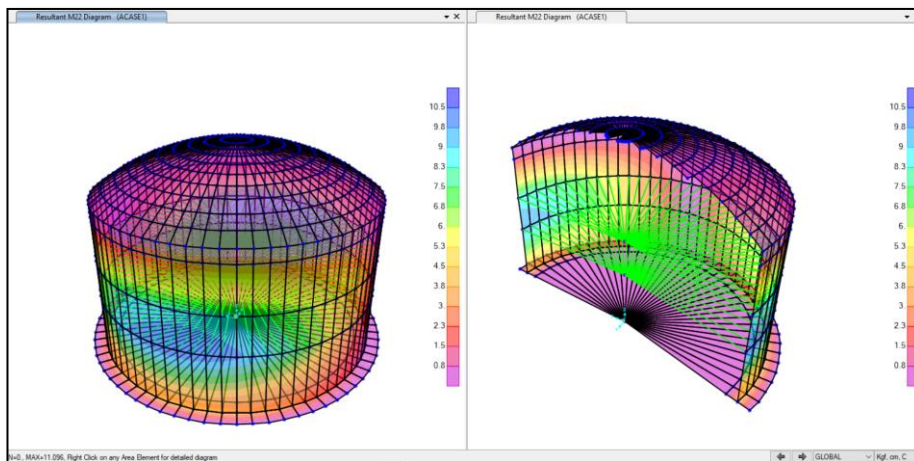


*Nota:* El momento máximo M11 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de  $M11=2.219 \text{ kg/cm}$ .

## Momento en el Muro M22

**Figura 63**

*Momento máximo M22 - modelo matemático de Malhotra.*

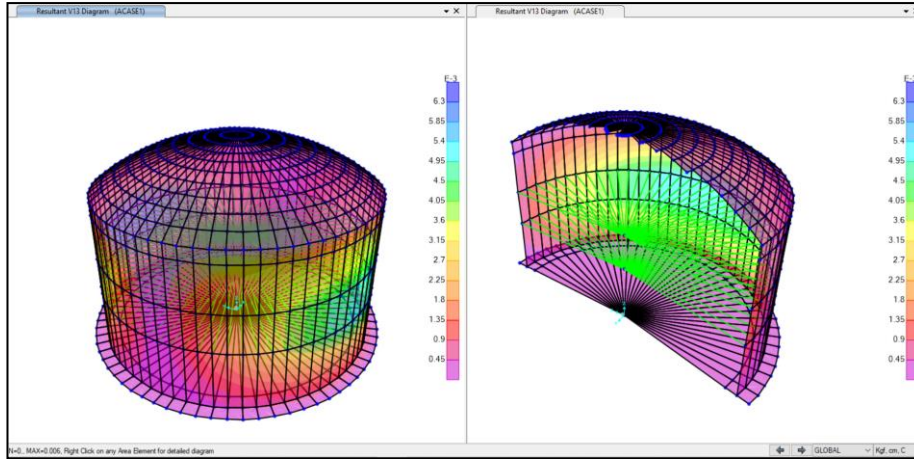


*Nota:* El momento máximo M22 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de  $M22=11.096 \text{ kg/cm}$ .

### Fuerza Cortante en el Muro V13

**Figura 64**

*Cortante máxima V13 - modelo matemático de Malhotra.*

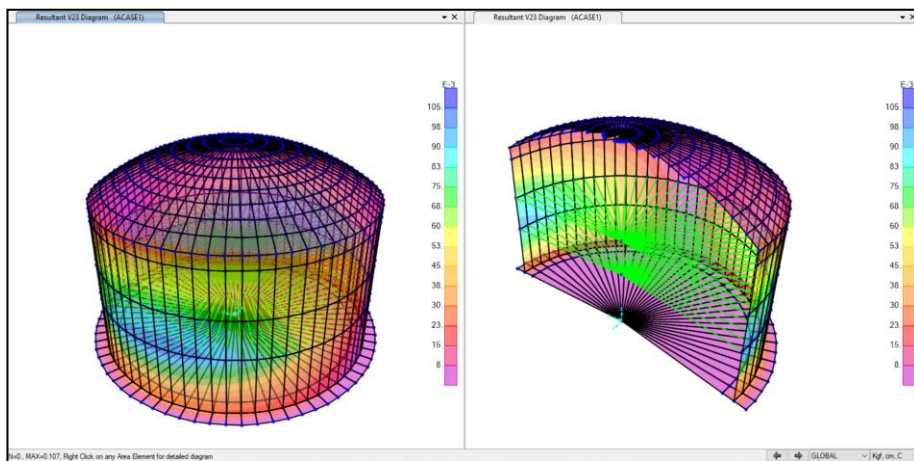


*Nota:* La cortante máxima V13 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V13= 0.006 kg/cm.

### Fuerza Cortante en el Muro V23

**Figura 65**

*Cortante máxima V23 - modelo matemático de Malhotra.*

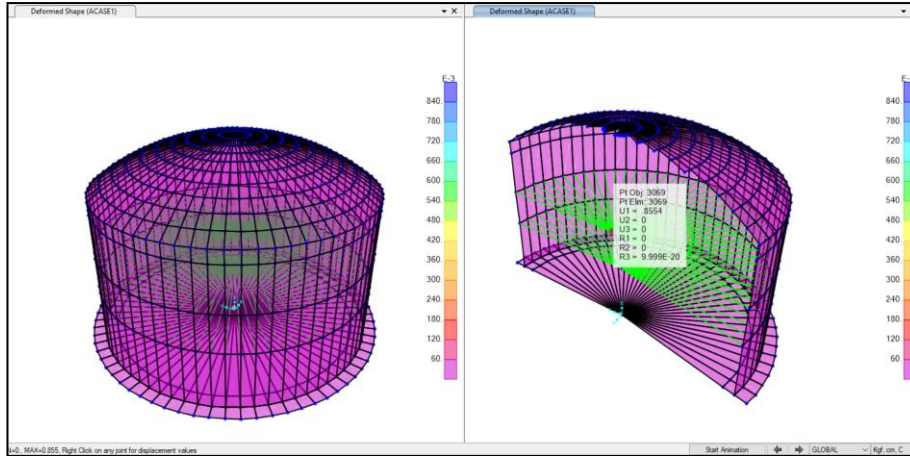


*Nota:* La cortante máxima V23 en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> se da en la parte media del muro, con un valor de V23=0.107 kg/cm.

## Desplazamiento Lateral de la Masa Convectiva

**Figura 66**

*Desplazamiento máximo de la masa convectiva - modelo matemático Malhotra.*

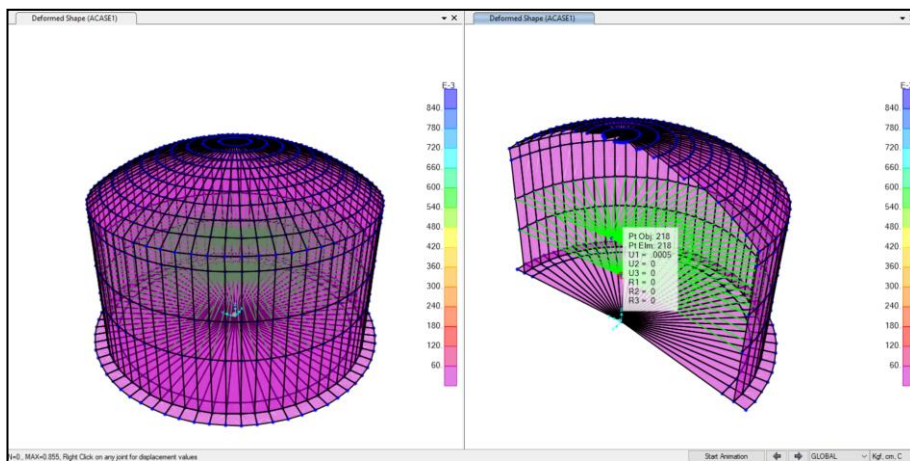


*Nota:* El desplazamiento máximo de la masa convectiva en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.8554 cm.

## Desplazamiento Lateral de la Masa Impulsiva

**Figura 67**

*Desplazamiento máximo en la masa impulsiva - modelo matemático Malhotra.*

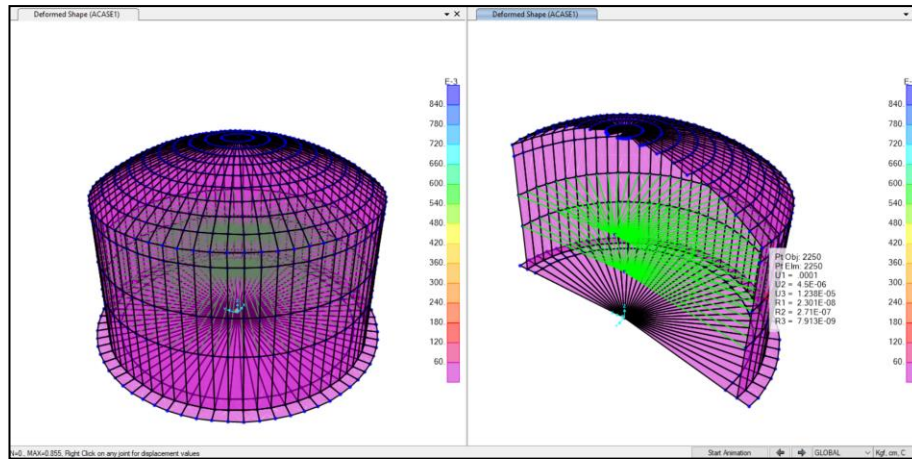


*Nota:* El desplazamiento máximo de la masa impulsiva en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.0005 cm.

## Desplazamiento Lateral del Muro

**Figura 68**

*Desplazamiento máximo en el muro - modelo matemático de Malhotra.*

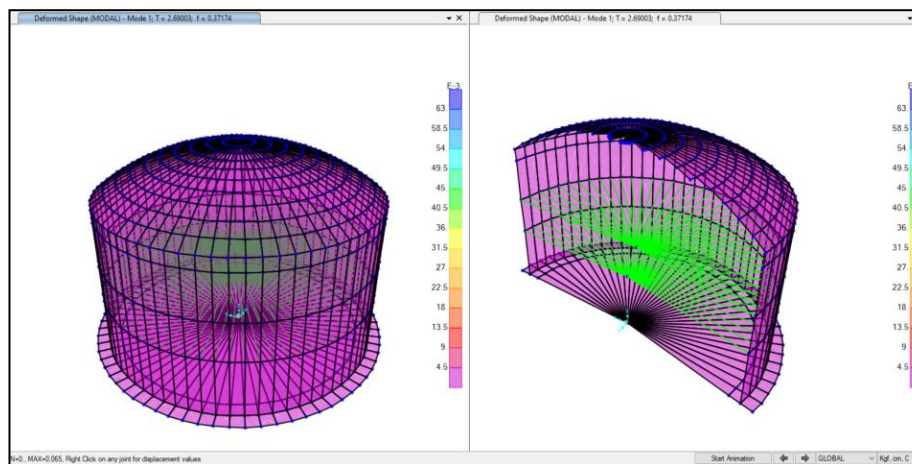


*Nota:* El desplazamiento máximo del muro en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.0001 cm.

## Periodo en el Reservorio

**Figura 69**

*Periodo - modelo matemático de Malhotra.*

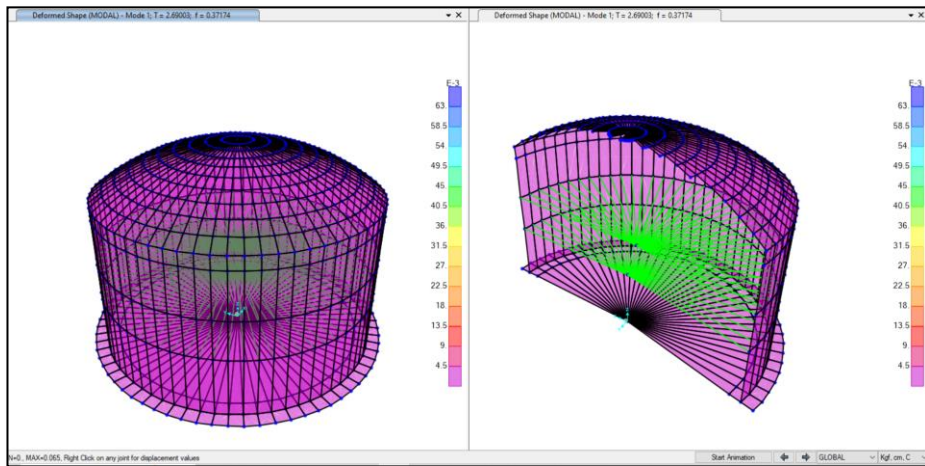


*Nota:* El periodo en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 2.690 s.

## Frecuencia en el Reservorio

**Figura 70**

*Frecuencia - modelo matemático de Malhotra.*



*Nota:* La frecuencia en el reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> es de 0.372 s<sup>-1</sup>.

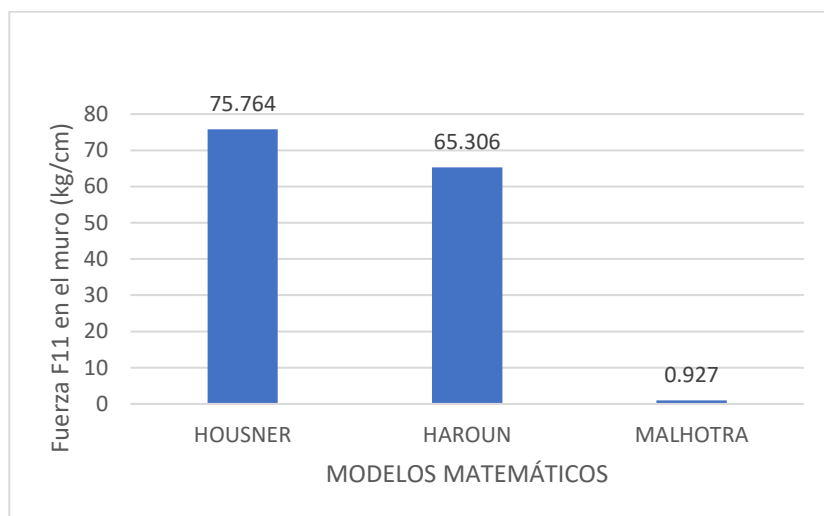


### 3.2. Análisis de Resultados

Para realizar un análisis comparativo, se han realizado los siguientes cuadros con cada modelo matemático analizado y representado mediante gráficas para una mejor observación entre sus diferencias.

**Figura 71**

*Resultados máximos de fuerzas F11 (kg/cm.)*

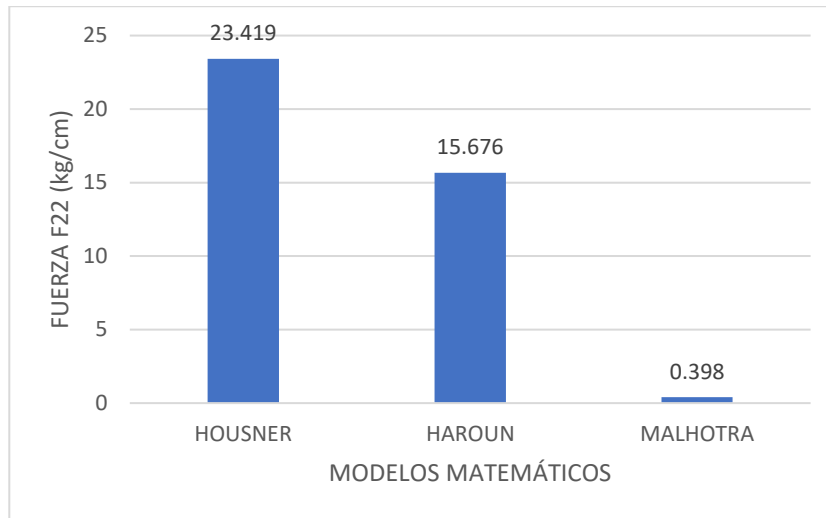


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados de las fuerzas F11, el cual Housner presenta una mayor fuerza en la cara de los muros.

La fuerza F11 máxima del modelo de Housner es de 75.764 kg/cm es mayor que las fuerzas obtenidas de los modelos de Haroun de 65.306 kg/cm y Malhotra de 0.927 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 72**

*Resultados máximos de fuerzas F22 (kg/cm.)*

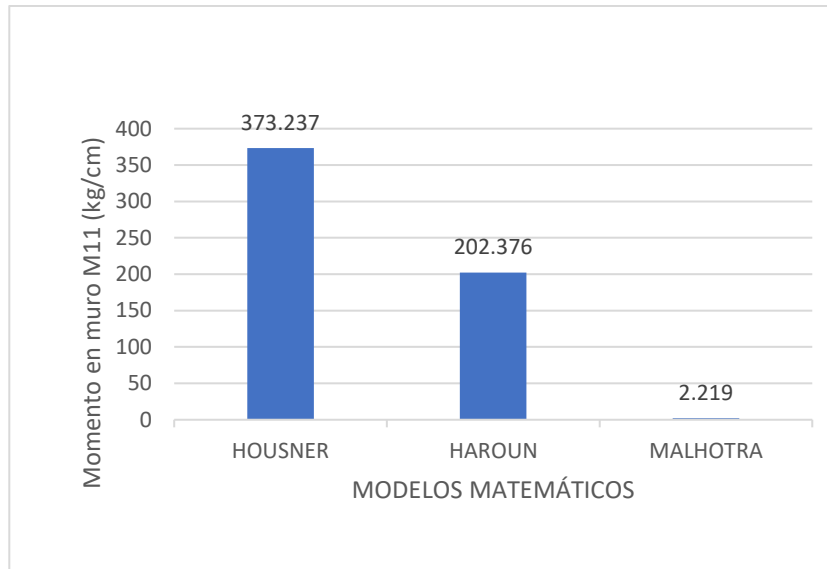


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados de las fuerzas F22, el cual Housner presenta una mayor fuerza en la cara de los muros.

La fuerza F22 máxima del modelo de Housner es de 23.419 kg/cm es mayor que las fuerzas obtenidas de los modelos de Haroun de 15.676 kg/cm y Malhotra de 0.398 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 73**

*Resultados máximos de momentos M11 (kg/cm.)*

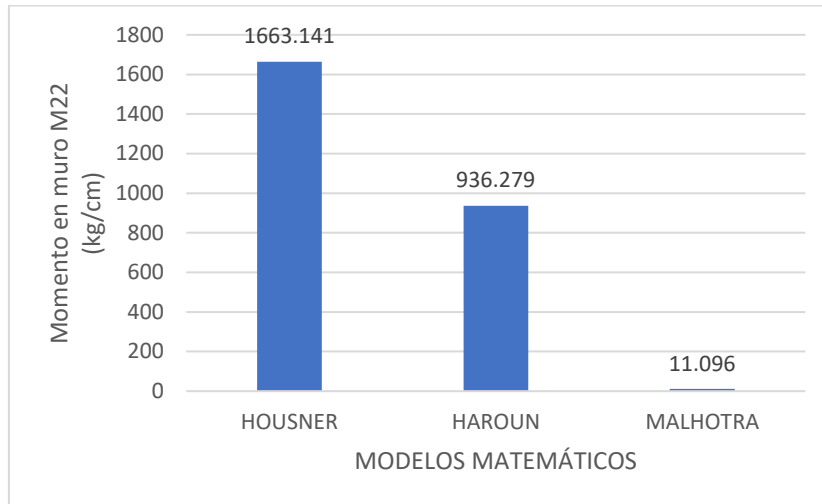


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados que los momentos M11, el cual Housner presenta mayores momentos en los muros.

El momento M11 máxima del modelo de Housner es de 373.237 kg/cm es mayor que los momentos obtenidos de los modelos de Haroun de 202.376 kg/cm y Malhotra de 2.219 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 74**

*Resultados máximos de momentos M22 (kg/cm.)*

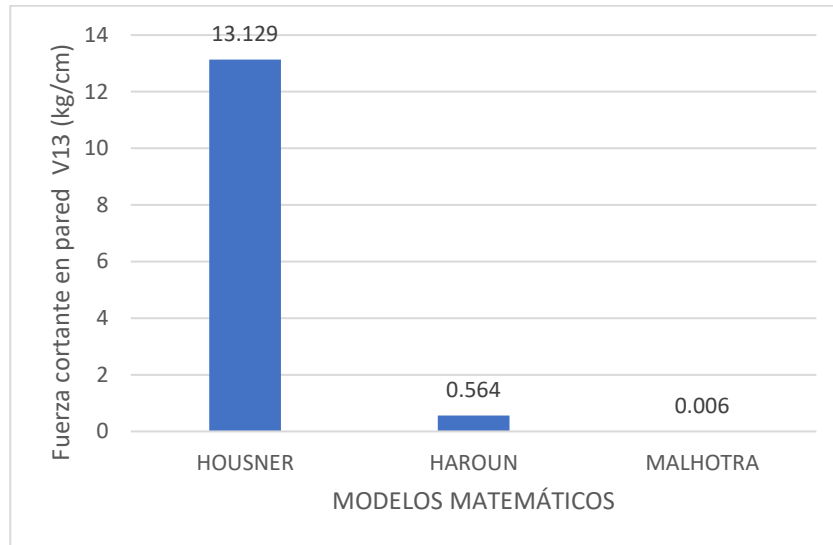


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados los momentos M22, el cual Housner presenta mayores momentos en los muros.

El momento M22 máxima del modelo de Housner es de 1663.141 kg/cm es mayor que los momentos obtenidos de los modelos de Haroun de 936.279 kg/cm y Malhotra de 11.096 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 75**

*Resultados máximos de cortes en V13 (kg/cm.)*

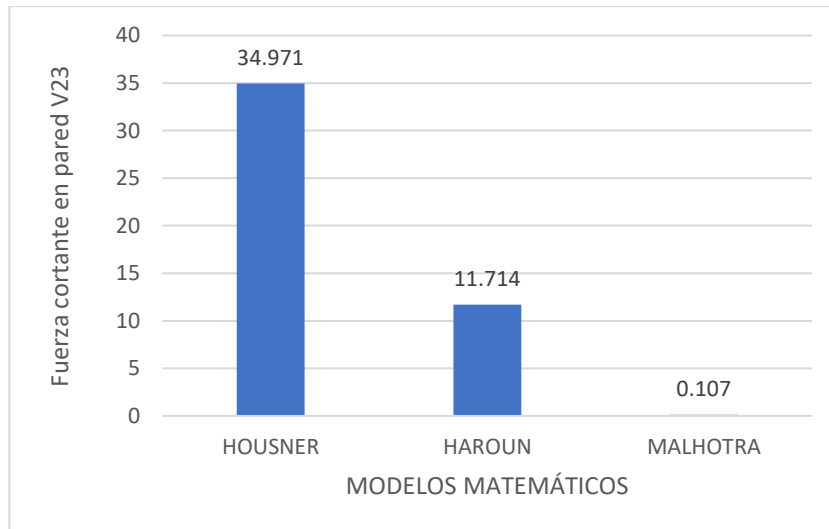


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados de las cortantes V13, el cual Housner presenta mayor corte en los muros.

La cortante V13 máxima del modelo de Housner es de 13.129 kg/cm es mayor que los cortantes obtenidos de los modelos de Haroun de 0.564 kg/cm y Malhotra de 0.006 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 76**

*Resultados máximos de cortes V23 (kg/cm.)*

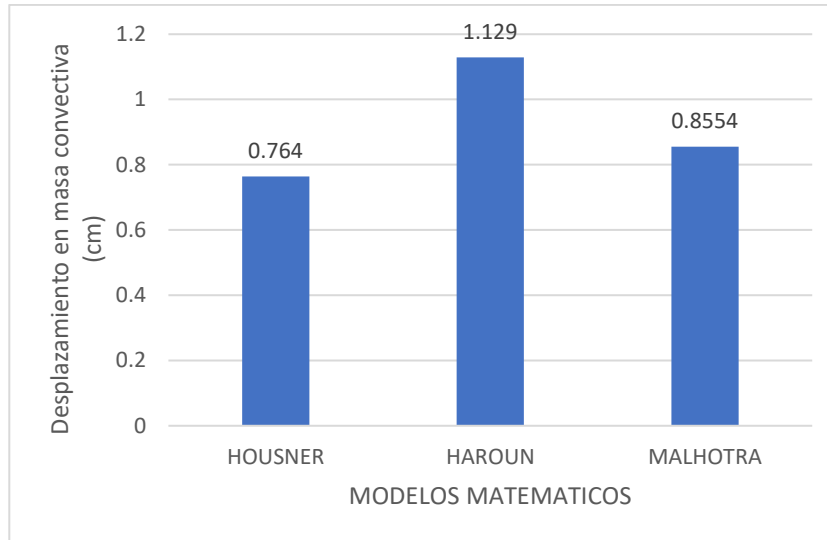


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados de las cortantes V23 el cual Housner presenta mayor corte en los muros.

La cortante V23 máxima del modelo de Housner es de 34.971 kg/cm es mayor que los cortantes obtenidos de los modelos de Haroun de 11.714 kg/cm y Malhotra de 0.107 kg/cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 77**

*Resultados máximos de desplazamientos en la masa convectiva (cm.)*

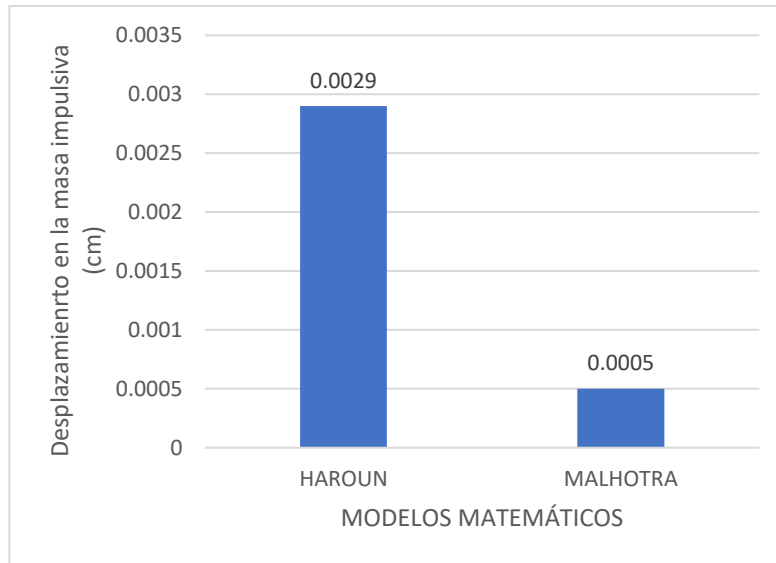


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados que el desplazamiento de la masa convectiva que el modelo Housner presenta un menor desplazamiento.

El desplazamiento de la masa convectiva del modelo de Housner es de 0.764 cm es menor que los desplazamientos obtenidos de los modelos de Malhotra de 0.8554 cm y Haroun de 1.129 cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tiene un menor desplazamiento y esto lo vuelve más óptimo ya que solo cuenta con una sola masa dinámica, el modelo Malhotra tiene dos masas dinámicas, el cual una de ellas es la masa convectiva y hace que tenga un desplazamiento distinto a la otra masa (impulsiva); el modelo Haroun tienen dos masas dinámicas y una de ellas es la masa convectiva y hace que tenga un desplazamiento distinto a la otra masa (impulsiva).

**Figura 78**

*Resultados del desplazamiento en la masa impulsiva (cm.)*



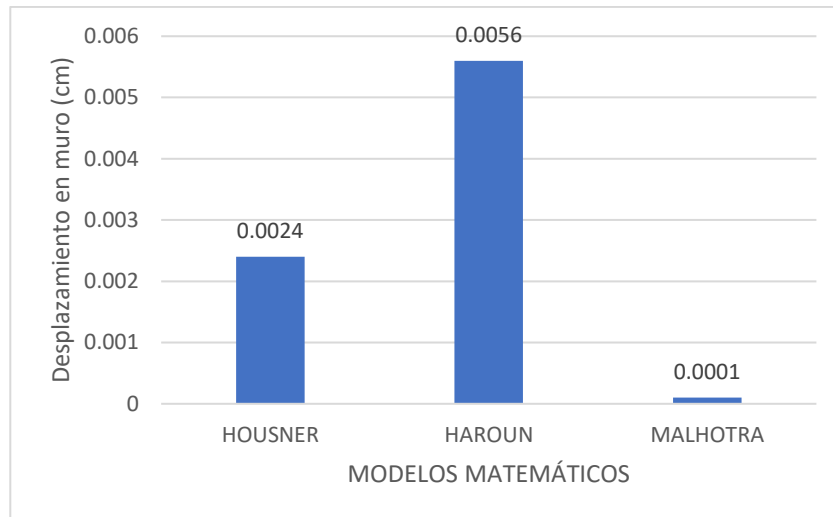
*Fuente:* Podemos visualizar en los resultados que el desplazamiento de la masa impulsiva que el modelo Malhotra presenta un menor desplazamiento.

El desplazamiento de la masa impulsiva del modelo de Malhotra es de 0.0005 cm es menor que el desplazamiento obtenido del modelo Haroun de 0.0029 cm y el modelo Housner la masa impulsiva no tiene desplazamiento ya que no es una masa dinámica si no que tiene un comportamiento de masa rígida que es parte de la masa del reservorio. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Malhotra tiene un menor desplazamiento ya que tiene dos masas dinámicas y una de ellas es la masa impulsiva y esto hace que se desplace distinto a la otra masa (convectiva); el modelo Haroun tienen dos masas dinámicas y una de ellas es la masa impulsiva y hace que desplace distinto a la otra masa (convectiva).



**Figura 79**

*Resultados de desplazamiento en muro (cm.)*

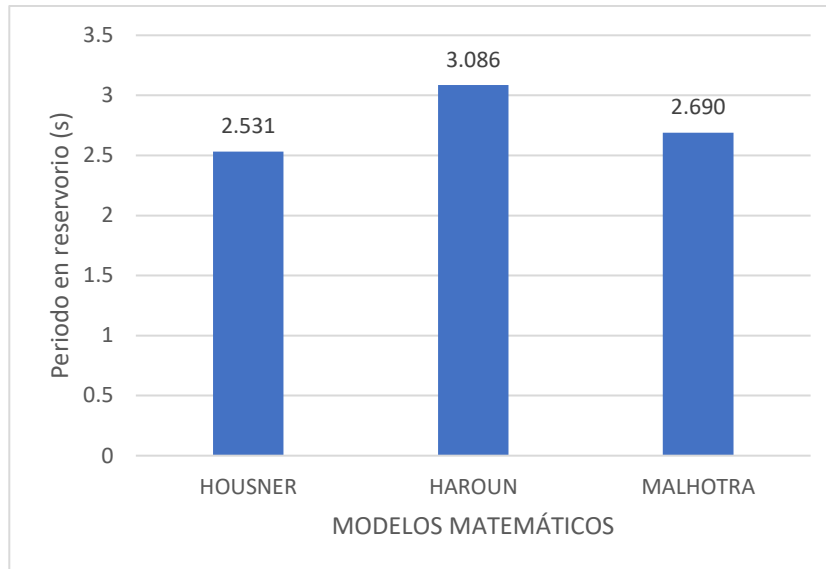


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados que el desplazamiento en los muros el modelo Malhotra presenta un menor desplazamiento.

El desplazamiento en el muro del reservorio del modelo de Malhotra es de 0.0001 cm. es menor que los desplazamientos en el muro obtenidos de los modelos de Housner de 0.0024 cm. y Haroun de 0.0056 cm. Estos resultados obtenidos son en base a que cada modelo matemático distribuye las cantidades de masas de agua en el reservorio. Por lo que el modelo Housner tan solo tiene una masa dinámica y esto lo hace más óptimo a comparación de los modelos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas dinámicas.

**Figura 80**

*Resultados de periodo en el reservorio (s.)*

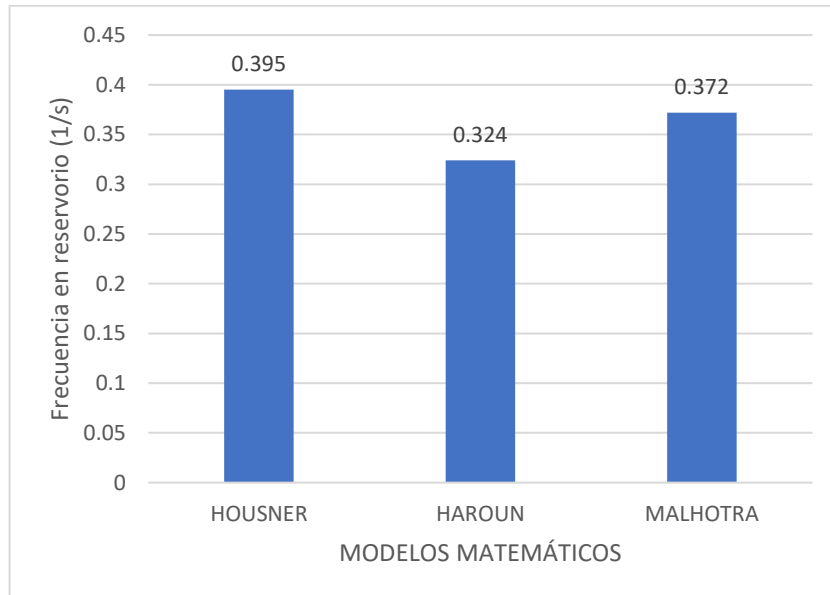


*Nota:* Podemos visualizar en los resultados que el periodo en el modelo Housner presenta un menor periodo.

El periodo del modelo de Housner es de 2.531 s. es menor que los periodos obtenidos de los modelos de Malhotra de 2.690 s. y Haroun de 3.086 s. El modelo Housner tiene mejores características de masa, rigidez y alturas, es por ello que tiene un menor periodo.

**Figura 81**

*Resultados de frecuencia en el reservorio ( $s^{-1}$ )*



*Nota:* Podemos visualizar en los resultados que la frecuencia el modelo Housner presenta un mayor periodo.

La frecuencia del modelo de Housner es de  $0.395 s^{-1}$ . es mayor que las frecuencias obtenidas de los modelos de Malhotra de  $0.372 s^{-1}$ . y Haroun de  $0.324 s^{-1}$ . El modelo Housner presenta mejores características de masa, rigidez y alturas, es por ello que tiene una mayor frecuencia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Limitaciones

Los resultados obtenidos de esta investigación pueden estar limitados en su aplicabilidad a otros sitios o proyectos de reservorios de sección circular, ya que cada lugar tiene características únicas que no son tomadas en esta investigación como información geotécnica y topográfica.

### 4.2. Discusión

Esta investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado mediante los modelos Housner, Haroun y Malhotra, como resultado de este análisis se encontró que el Modelo Matemático Housner fue el más óptimo, y por ello el más utilizado para diseñar este tipo de reservorios. Cabe mencionar que para todos los modelos realizados se utilizó el espectro de respuesta dinámico calculado de acuerdo con las recomendaciones del código ACI 360. 3R 01 compatibilizado con la norma E. 030 de Diseño Sísmico.

- Los resultados obtenidos muestran diferencias con resultados obtenidos en el análisis sísmico de un reservorio circular tipo fuste, de acuerdo con (Lazo Jurado, 2015), la fuerza  $F_{11\text{máx.}} = 292.770 \text{ kg/cm}$ ,  $F_{22 \text{ máx.}} = 8.290 \text{ kg/cm}$ ,  $M_{11 \text{ máx.}} = 2.255 \text{ kg/cm}$ ,  $M_{22 \text{ máx.}} = 7.913 \text{ kg/cm}$  y desplazamiento en el muro = 0.0033 cm. Al igual que hay reservorios circulares apoyados en el suelo, existen también reservorios circulares tipo fuste o elevados. Las diferencias encontradas pueden deberse a que la capacidad estudiada fue de 250 m<sup>3</sup> y de esta investigación 500 m<sup>3</sup> sin embargo, podemos observar que los valores de desplazamiento de muro son muy similares.

Este estudio realizado de acuerdo bachiller Lazo Jurado Gloria Denisse en su tesis realizado en la Universidad Nacional de Huancavelica, titulado “DISEÑO Y ANÁLISIS SÍSMICO DE RESERVORIO CIRCULAR DE 250 M<sup>3</sup> PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL DISTRITO DE PAUCARA, PROVINCIA DE ACOBAMBA, REGIÓN DE HUANCVELICA” lo cual realiza los cálculos y diseño a través del programa SAP 2000. Se presenta el siguiente cuadro comparativo entre los modelos Housner analizados.

**Tabla 1**

*Cuadro comparativo entre el reservorio de 500 m<sup>3</sup> y un reservorio de 250 m<sup>3</sup> tipo fuste*

<b>Cuadro comparativo del modelo Housner</b>						
<b>Fuerza y momentos máximos en muro de reservorio</b>						
Tipo de reservorio	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Fuerza máx. (kg/cm)		Momento máx. (kg/cm)		Desplazamiento en muro (cm)
		F11	F22	M11	M22	
Circular apoyado	500	75.764	23.419	373.237	1663.141	0.0024
Circular tipo fuste	250	292.770	8.290	2.255	7.913	0.0033

*Nota: Cuadro comparativo de fuerzas, momentos y desplazamientos entre reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> investigado y el reservorio de circular tipo fuste comparado de 250 m<sup>3</sup>.*

- Los resultados obtenidos muestran diferencias con resultados obtenidos en el análisis sísmico de un reservorio circular tipo fuste, de acuerdo con (Julca Varas, 2017), la fuerza F11 máx, momentos M11 máx, M22 máx, cortante V23 máx. y desplazamiento en el muro. Al igual que hay reservorios circulares apoyados en el suelo, existen también reservorios rectangulares elevados del suelo. Las diferencias encontradas pueden deberse a que la capacidad estudiada fue de 60 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup> y 15 m<sup>3</sup>, mientras que esta investigación es de 500 m<sup>3</sup>; sin embargo, podemos observar que los valores

difieren ya que la sección de los reservorios rectangulares, elevadas y de distintos volúmenes. Es por ello que las fuerzas, momentos y cortantes son mayores a las calculadas

Este estudio realizado de acuerdo bachiller Julca Vargas Carlos Antonio en su tesis realizado en la Universidad Nacional de Cajamarca, titulado “COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DIMÁMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS CON ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO MARCO, EVALUADOS CON LAS NORMAS NORTEAMERICANAS Y NEOZALANDEZAS” lo cual realiza los cálculos y diseño a través del programa SAP 2000. Se presenta el siguiente cuadro comparativo entre los modelos Housner analizados.

**Tabla 2**

*Cuadro comparativo entre el reservorio de 500 m<sup>3</sup> y un reservorio de 60 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup> y 15 m<sup>3</sup>.*

<b>Cuadro comparativo del modelo Housner</b>						
<b>Fuerza, momentos y cortante máximos en muro de reservorio</b>						
Tipo de reservorio	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Fuerza máx.	Momento máx.		Cortante máx.	Desplazamiento en muro (cm)
		(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/cm)	
		F11	M11	M22	V23	
Circular apoyado	500	75.764	373.237	1663.14	34.971	0.0024
Rectangular elevado	60	225.400	20.60	35.800	52.200	4.980
Rectangular elevado	30	212.000	10.700	21.500	36.000	7.020
Rectangular elevado	15	145.800	4.000	10.700	21.400	7.960

*Nota:* Cuadro comparativo de fuerzas, momentos, cortantes y desplazamientos entre reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> estudiado y los reservorios rectangulares elevados comparados de 60 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup> y 15 m<sup>3</sup>.

- Los resultados obtenidos muestran diferencias con resultados obtenidos en el análisis sísmico de un reservorio circular apoyado, de acuerdo con (Guillén Ascarza & Rojas Pérez, 2017), la fuerza  $F_{11\text{máx.}} = 790 \text{ kg/cm}$ ,  $M_{11 \text{ máx.}} = 10340 \text{ kg/cm}$ . y  $V_{23 \text{ máx.}} = 3380 \text{ kg/cm}$ . Las diferencias encontradas pueden deberse a que la capacidad estudiada fue de  $1001 \text{ m}^3$  y de esta investigación  $500 \text{ m}^3$ . sin embargo, podemos observar que el reservorio tiene la misma sección circular y es apoyado.

Este estudio realizado de acuerdo bachilleres Guillén Ascarza Misael E. y Rojas Pérez Alex V. en su tesis realizado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, titulado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL AGUA EN TANQUES APOYADOS RECTANGULARES Y CILÍNDRICOS BAJO ACCIÓN SÍSMICA” lo cual realiza los cálculos y diseño a través del programa SAP 2000. Se presenta el siguiente cuadro comparativo entre los modelos Housner analizados.

**Tabla 3**

*Cuadro comparativo entre el reservorio de  $500 \text{ m}^3$  y un reservorio de  $1001 \text{ m}^3$ .*

<b>Cuadro comparativo del modelo Housner</b>				
<b>Fuerza, momento y cortante máximos</b>				
Tipo de reservorio	Capacidad ( $\text{m}^3$ )	Fuerza máx.	Momento	Cortante
		( $\text{kg/cm}$ ) F11	máx. ( $\text{kg/cm}$ ) M11	máx. ( $\text{kg/cm}$ ) V23
Circular apoyado	500	75.764	373.237	34.971
Circular apoyado	1001	790.000	10340.000	3380.000

*Nota:* Cuadro comparativo de fuerzas, momentos y cortes entre reservorio circular apoyado de  $500 \text{ m}^3$  investigado y el reservorio de circular apoyado de  $1001 \text{ m}^3$ .

### 4.3. Implicancias

Los resultados obtenidos en esta investigación presentan implicancias teóricas frente a la ausencia de una normativa peruana estandarizada para analizar comportamiento estructural de reservorios de sección circular, con estos resultados se pretende puntualizar cuál de los modelos mencionados se presentan los mejores resultados, y así tener un precedente al momento de elegir un modelo por otro. Cabe mencionar que en el presente estudio se utilizaron bases teóricas relacionadas con los modelos Housner, Haroun y Malhotra debidamente citadas.

Por otro lado, se consideran también implicancias metodológicas, debido a que se relatan los procedimientos para el análisis del comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado de acuerdo con las bases teóricas mencionadas anteriormente y la norma sismorresistente E.030.

El análisis de modelo matemático de Housner puede ayudar a optimizar el diseño y la construcción de reservorios de sección circular, permitiendo una planificación más eficiente para garantizar la seguridad y durabilidad de la estructura. Por lo que contribuye al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería estructural, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y desarrollo en las áreas.

### 4.4. Conclusiones

- Se puede concluir que el modelo matemático de Housner es el más óptimo y analiza mejor el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup>.

Es por ello que el modelo matemático de Housner es más utilizado para los diseños de reservorios apoyados y normas como ACI350.3–2001 (USA), ACI 350.3 – 2006 (USA) y reglamento NZSEE 2008 (Nueva Zelanda).



- Se analizó el comportamiento estructural de un reservorio de sección circular apoyado de 500 m<sup>3</sup> utilizando los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra, se hallaron las siguientes diferencias.

Estas diferencias se sustentaron principalmente con los cálculos de los siguientes parámetros: el modelo matemático de Housner obtuvo mayores esfuerzos (F11=75.764 kg/cm.), mayores momentos (M11=373.237 kg/cm. y M22=1663.141 kg/cm.) y mayores cortantes (V13=13.129 kg/cm. y V23=34.971 kg/cm.) en comparación con los modelos matemáticos de Haroun que obtuvo esfuerzos (F11=65.306 kg/cm.), momentos (M11=202.376 kg/cm. y M22=936.279 kg/cm.), cortantes (V13=0.564 kg/cm. y V23=11.714 kg/cm.) y al modelo matemático de Malhotra que obtuvo esfuerzos (F11=0.927 kg/cm.), momentos (M11=2.219 kg/cm. y M22=11.096 kg/cm.), cortantes (V13=0.006 kg/cm. y V23=0.107 kg/cm.).

Así mismo se encontraron diferencias en los siguientes parámetros: el modelo matemático de Housner obtuvo menor desplazamiento en la masa convectiva (0.764 cm.) y menor periodo (2.531 s.) en comparación con el modelo matemáticos de Haroun con un desplazamiento de masa convectiva (1.129 cm.), un periodo (3.086 s.) y el modelo matemático Malhotra con un desplazamiento de la masa convectiva (0.8554 cm.), un periodo (2.690 s.).

- La fuerzas, momentos y cortantes calculada por el modelo matemático de Housner, presentan mayores resultados que los calculado por los modelos de Haroun y Malhotra.

Esto es debido a que por el modelo matemático de Housner la masa del agua se dividen en dos masas una convectiva y otra impulsiva por lo que la masa convectiva es la única que tiene un comportamiento dinámico y hace que una masa tenga un solo movimiento que lo hace actuar mejor en su comportamiento dentro del reservorio ya

que actúa un solo movimiento y la masa impulsiva forma parte de la masa del reservorio.

El modelo matemático de Haroun la masa del agua se dividen en tres masas una convectiva, una impulsiva y una rígida, por lo que la masa convectiva e impulsiva tiene un comportamiento dinámico y esto lo hace que dos masas tengan distintos movimientos dentro del reservorio por lo que las fuerzas, momentos y cortantes se distribuyen en el muro del reservorio. Mientras que la masa impulsiva forma parte del reservorio.

El modelo matemático de Haroun la masa del agua se dividen en dos masas una convectiva y una impulsiva, por lo que la masa convectiva e impulsiva tiene un comportamiento dinámico y esto lo hace que dos masas tengan distintos movimientos dentro del reservorio por lo que las fuerzas, momentos y cortantes se distribuyen en el muro del reservorio.

- Los desplazamientos de las masas calculadas por el modelo matemático de Housner, presentan menores desplazamientos que los calculado por los modelos de Haroun y Malhotra. Esto es debido a que el modelo Matemático de Housner tan solo tiene una masa que tiene un comportamiento dinámico a comparación de los modelos matemáticos de Haroun y Malhotra que tienen dos masas que tienen comportamiento dinámico.

### Referencias

- Acero Martínez, J., & Mejía Zúñiga, J. (s.f.). Análisis dinámico de tanques superficiales, circulares y rectangulares.
- American Concrete Institute. (2001). Seismic Design of Liquid -Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (ACI 350.3R-01). Michigan, Estados Unidos: American Concrete Institute. Recuperado el 20 de Noviembre de 2022
- American Concrete Institute. (2006). Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06). Michigan, Estados Unidos: American Concrete Institute. Recuperado el 16 de Noviembre de 2022
- Compagnoni, M. E., & Martínez, C. A. (2013). Mitigación de daños en tanques contenedores de líquido bajo. Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado el 27 de Marzo de 2023, de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2013/trabajos/COA48\\_TC.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA48_TC.pdf)
- Compagnoni, M. E., Curadelli, R. O., & Martinez, C. A. (13-16 de Noviembre de 2012). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE TANQUES CILINDRICOS BAJO EXCITACIÓN SÍSMICA. Salta, Argentina.
- Guillén Ascarza, M. E., & Rojas Pérez, A. V. (Septiembre de 2017). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL AGUA EN TANQUES APOYADOS RECTANGULARES Y CILINDRICOS BAJO ACCIÓN SÍSMICA. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Cuarta edición ed.). (R. A. del Bosque Alayón, Ed.) MC Graw Hill Interamericana. Recuperado el 10 de Marzo de 2023
- Julca Varas, C. A. (2017). "COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS CON ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO MARCO,

- EVALUADOS CON LAS NORMAS NOERTEAMERICANA Y NEOZELANDESA". Cajamarca, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 24 de Febrero de 2023
- Lazo Jurado, G. D. (2015). DISEÑO Y ANÁLISIS SISMICO DE RESERVORIO CIRCULAR DE 250M3 PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL DISTRITO DE PAUCARA, PROVINCIA DE ACOBAMBA, REGIÓN DE HUANCABELICA. LIRCAY, HUANCAVELICA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.
- Llaza Funes, O. (29 de Junio de 2010). "ANÁLISIS SISMICO DE RESERVORIOS". Moquegua, Perú.
- Martos Salas , F. A. (2018). Comportamiento sísmico en reservorios apoyados circulares y rectangulares de diferentes volúmenes conciderando las zonas sísmicas de Cajamarca. Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (11 de Febrero de 2019). E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE. Lima, Lima, Perú. Recuperado el 28 de Octubre de 2022
- Moreno Reyna, P. (Septiembre de 2015). ANÁLISIS SÍSMICO DE DEPÓSITOS ELEVADOS Y ESTUDIO SOBRE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA. Sevilla, España: UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Recuperado el 23 de Marzo de 2023
- Moslemi, M., & Kianoush, M. R. (2012). Parametric study on dynamic behavior of cylindrical ground-supported tanks. Canada: ELSEVIER.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.04.026>
- Patiño, O. (2012). *Mente & Materia. Criterio hidrostático para el diseño de tanques de almacenamiento de líquidos*. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.

Poma Rojas, W., & Alcántara Boñon, G. H. (2011). Estudio de Suelos y Capacidad de Uso Mayor del Departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

Pupiales Valdivieso, A. M. (Mayo de 2013). Análisis de la interacción – fluido estructura en el diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero según las normas: americana, neozelandesa, ecuatoriana y métodos simplificados. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.

Ramírez , A. I. (04 de 12 de 2015). Presión Hidrodinámica en tanques de almacenamiento producida por aceleración Horizontal. *11(3)*. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Recuperado el 17 de Enero de 2023, de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/752>

Villoslada Ucañan, J. (2013). COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVORIO DE CONCRETO ARMADO Y UN RESERVORIO CON PLANCHAS DE ACERO CORRUGADO. Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Zeballos, A. (Julio de 2014). Criterios para el análisis de vulnerabilidad de tanques de almacenamiento de agua.

**ANEXOS**
**ANEXO N° 1. Matriz de Consistencia**

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>
<p>¿Cuál de los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra analiza mejor el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> sección circular apoyado?</p>	<p>Analizar el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado mediante los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra.</p>	<p>El modelo matemático de Housner analiza mejor el comportamiento estructural de un reservorio de 500 m<sup>3</sup> de sección circular apoyado que los modelos matemáticos de Haroun y Malhotra.</p>	<p>Comportamiento estructural del reservorio de sección circular apoyado de 500 m<sup>3</sup>.</p>	<p><b>JUSTIFICACION CIENTÍFICA</b></p> <p>El Perú actualmente la norma E-0.30 el cual establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las edificaciones, no contempla una metodología para el análisis de este tipo de estructuras, es por ello que se comparó el comportamiento dinámico del reservorio circular apoyado de 500 m<sup>3</sup>, aplicando los modelos matemáticos de Housner, Haroun y Malhotra.</p>
	<p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b></p>		<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p>	<p><b>JUSTIFICACION TÉCNICA-PRACTICA</b></p>
	<p>Comparar las fuerzas, momentos y cortantes por los modelos matemáticos Housner, Haroun y Malhotra.</p>		<p>Modelo matemático de Housner.</p>	<p>Al haber obtenido el análisis deseado, los profesionales que realicen proyectos de agua potable tendrán un criterio para utilizar el modelo matemático más óptimo para el análisis y diseño de reservorios de sección circular apoyados. Así mismo, la presente investigación se enfoca en el análisis del comportamiento dinámico de reservorios circulares apoyados, ya que las estructuras de los reservorios no son diseñadas por un análisis sísmico dinámico es por ello que se llevó a cabo esta tesis.</p>
	<p>Comparar los desplazamientos de las masas por los modelos matemáticos Housner, Haroun y Malhotra.</p>		<p>Modelo matemático de Haroun.</p>	
	<p>Modelo matemático de Malhotra.</p>			

**ANEXO N° 2. Matriz de Operacionalización de Variables**

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENCIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
Análisis estructural del reservorio de sección circular apoyado de 500 m <sup>3</sup> .	Análisis del comportamiento estructural en reservorios de sección circular apoyados, se determinan mediante cargas impulsiva y convectiva las cuales son generadas por el agua. (Moslemi & Kianoush, 2012)	Deformaciones y modos de vibración	Desplazamientos (mm) y periodo de vibración (s)
Modelos matemáticos de Housner	Housner propuso el primer modelo simplificado para el cálculo de la respuesta dinámica Desarrolla una metodología capaz de solucionar una gran variedad de problemas aplicando soluciones y ecuaciones que simplifican el análisis de las diferentes formas de depósitos la excitación sísmica vibra de dos maneras diferentes (Moreno Reyna, 2015).	Masa convectiva, masa impulsiva y rigidez	Masa (kg) y rigidez (kg/m)
Modelos matemáticos de Haroun	Haroun modificó el modelo modificado de Housner. En esta nueva variación determina que la masa de líquido durante la excitación sísmica vibra en tres formas diferentes, al contrario del modelo de Housner (Moreno Reyna, 2015).	Masa convectiva, masa impulsiva y rigidez	Masa (kg) y rigidez (kg/m)
Modelos matemáticos	Malhotra utiliza la masa de	Masa convectiva,	Masa (kg) y

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENCIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
de Malhotra	líquido durante la excitación sísmica, vibra en dos formas diferentes, asociadas a las dos masas equivalentes, denominadas: masa convectiva $m_c$ , (parte superior de la masa de líquido en donde se producen las olas en la superficie del líquido) y masa impulsiva $m_i$ , (parte de la masa de líquido que vibra junto a la pared del tanque).	masa impulsiva, amortiguamiento, convectivo, amortiguamiento impulsivo y rigidez	rigidez (kg/m)



### ANEXO N° 3. Diseño de Reservorio

#### DISEÑO DE RESERVORIO CIRCULAR APOYADO

##### DATOS PARA EL DISEÑO

$f'_c =$	280	Kg/cm <sup>2</sup>	
$f'_y =$	4200	Kg/cm <sup>2</sup>	
$q_{adm} =$	0.8	Kg/cm <sup>2</sup>	→ 8.00 Tn/m <sup>2</sup>

##### PREDIMENSIONAMIENTO

V:	Volumen del reservorio	500	m <sup>3</sup>
di:	Diametro interior del reservorio		
de:	Diametro exterior del reservorio		
ep:	Espesor de la pared		
f:	Flecha de la tapa (forma de bóveda)		
et:	Espesor de la losa del techo		
H:	Altura del muro		
h:	Altura del agua		
a:	Brecha de aire		

Asumiremos: h=	5.50	m	Altura de salida de agua =	0.00
Altura libre : a=	0.65	m	H = h + a + hs =	6.15
			HT = H + E losa =	6.25
E losa=	0.1	m.		

##### Cálculo de di:

Remplazando valores:

$$V = \frac{\pi \times di^2 \times h}{4}$$

$$di = 10.76$$

$$di = 11.00 \text{ m.}$$

##### Cálculo de f:

$$f = \frac{1}{6} \cdot di$$

$$f = 1.83 \text{ m.}$$

##### Cálculo de ep:

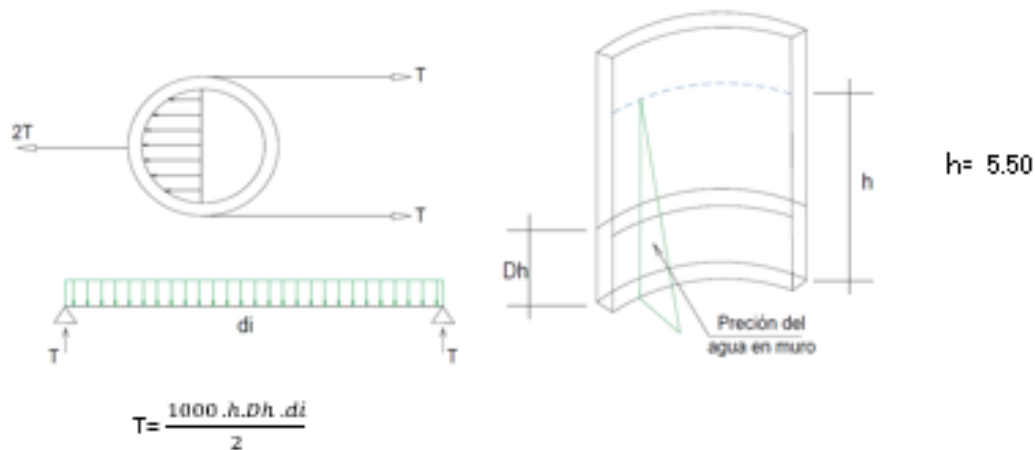
se calcula considerando los siguientes criterios

$$1 \text{ Según company: } ep \geq (7 + 2h)/100$$

$$ep \geq 0.18 \text{ m.}$$

- 2 Según normatividad:
- $$e_p \geq \frac{h}{12}$$
- $$e_p \geq 0.46 \text{ m.}$$
- $$e_p \geq 37.00 \text{ cm.}$$

- 3 Considerando una junta libre de movimiento entre la pared y el fondo, se tiene que sólo en la pared se producen esfuerzos de tracción. La presión sobre un elemento de pared situada a "h" metros por debajo del nivel del agua es de  $\gamma_{\text{agua}} \cdot h$  (kg/cm<sup>2</sup>), y el esfuerzo de tracción de las paredes de un anillo de altura elemental "h" a la profundidad "h" tal como se muestra en el gráfico es:



Análisis  $D_h = 1.00 \text{ m}$   
 La tracción será máxima cuando el agua llega  $h = 5.50 \text{ m}$   
 Reemplazando en la fórmula tenemos:  $T = 30250 \text{ kg.}$

Sabemos que la fuerza de tracción admisible del concreto se estima de 10% a 15% de su resistencia a la compresión, es decir:

$$T_c = f'c \cdot 10\% \cdot 1.0 \text{ m} \cdot e_p$$

$$e_p \geq 10.80 \text{ cm}$$

el valor mínimo para el espesor de la pared que cumple con todos los criterios vistos sea:

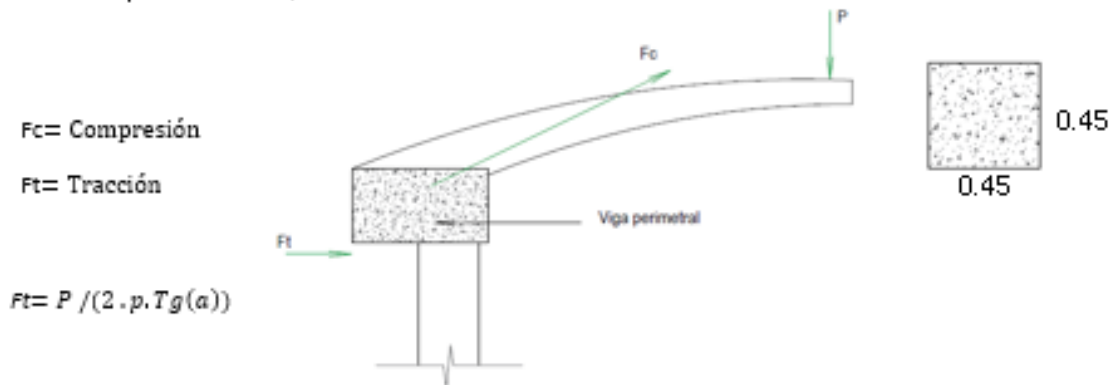
$$e_p \geq 37.00 \text{ cm}$$

Por lo tanto se tomara el valor de  $e_p = 40.00 \text{ cm}$

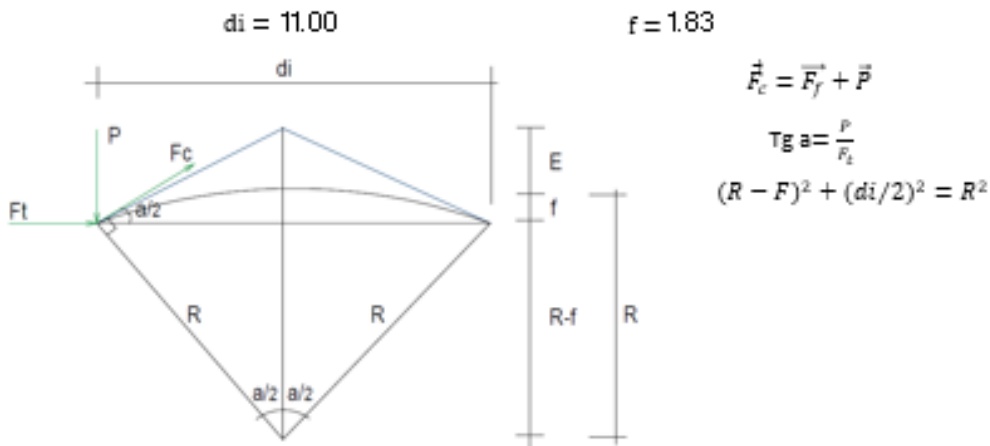
**Calculo (de):**  $de = di + 2 \cdot ep$   
 $de = 11.80 \text{ m}$  diametro exterior

**Cálculo del espesor de la losa del techo et:**

Como se indica anteriormente esta cubierta tendrá forma de bóveda, y se asentará sobre las paredes por intermedio de una junta de cartón asfáltico, evitándose así empotramientos que originarían grietas en las paredes por flexión. Asimismo, la viga perimetral se comportará como zunchos y será la que contrarreste al empuje debido a su forma de la cubierta. El empuje horizontal total en una cúpula de revolución es:



Se calcularán 2 valores del espesor, teniendo en cuenta el esfuerzo a la compresión y el esfuerzo cortante del concreto para ello primero será necesario calcular los esfuerzos de compresión y tracción originados por el peso y su forma de la cúpula ( $f_c$  y  $F_t$ ).



$Tg \frac{a}{2} = \left( \frac{di}{2} \right) / (R-f) = 0.75$        $R = 9.17 \text{ m.}$   
 $a = 73.74 \text{ }^\circ$        $\frac{a}{2} = 36.87 \text{ }^\circ$

Del gráfico  $F_c = P/\text{Sen}(\alpha)$

Metrado de cargas

Peso propio	=	240	kg/m <sup>2</sup>
Sobre carga	=	150	kg/m <sup>2</sup>
Acabados	=	100	kg/m <sup>2</sup>
Otros	=	50	kg/m <sup>2</sup>

TOTAL = 540 kg/m<sup>2</sup>

Área de la cúpula =  $2 \cdot \pi \cdot r \cdot f = 63.36 \text{ m}^2$  (casquete efectivo)

Peso P = 540 Kg/m<sup>2</sup> · 63.36 m<sup>2</sup>

P = 34211.94 Kg.

Reemplazando en las fórmulas, tenemos:

$F_t = 7260.00 \text{ Kg.}$
$F_c = 57019.91 \text{ Kg.}$

Desarrollo de la línea de arranque (longitud de la circunferencia descrita) =  $L_c$

$$L_c = \pi \cdot d_i = 34.56 \text{ m.}$$

Presión por metro lineal de circunferencia de arranque es P/ml

$$\frac{P}{ml} = \frac{F_c}{L_c} = 1650.00 \text{ Kg/ml}$$

Esfuerzo a la compresión del concreto  $P_c$

Por seguridad:

$$P_c = 0.45 \cdot f_c \cdot b \cdot e_t \text{ para un ancho de } b = 100.00 \text{ cm}$$

$e_t$  = espesor de la losa del techo

igualamos esta ecuación a la presión por metro lineal: P/ml

$$0.45 \cdot 280 \cdot 100.00 \cdot e_t = 1650.00$$

Primer espesor:  $e_t = 0.13 \text{ cm}$

Este espesor es totalmente insuficiente para su construcción más aún para soportar las cargas antes mencionadas.

Esfuerzo cortante por metro lineal en el zuncho (viga perimetral) - V/ml

$$\frac{V}{ml} = \frac{P}{L_c} = 990.00 \text{ Kg/ml}$$

Esfuerzo permisible al corte por el concreto -  $V_u$

$$V_u = 0.5 \cdot (f'c)^{1/2} \cdot b \cdot e_t$$

para un ancho de  $b = 100.00 \text{ cm}$

igualamos la ecuación al valor del cortante por metro lineal:

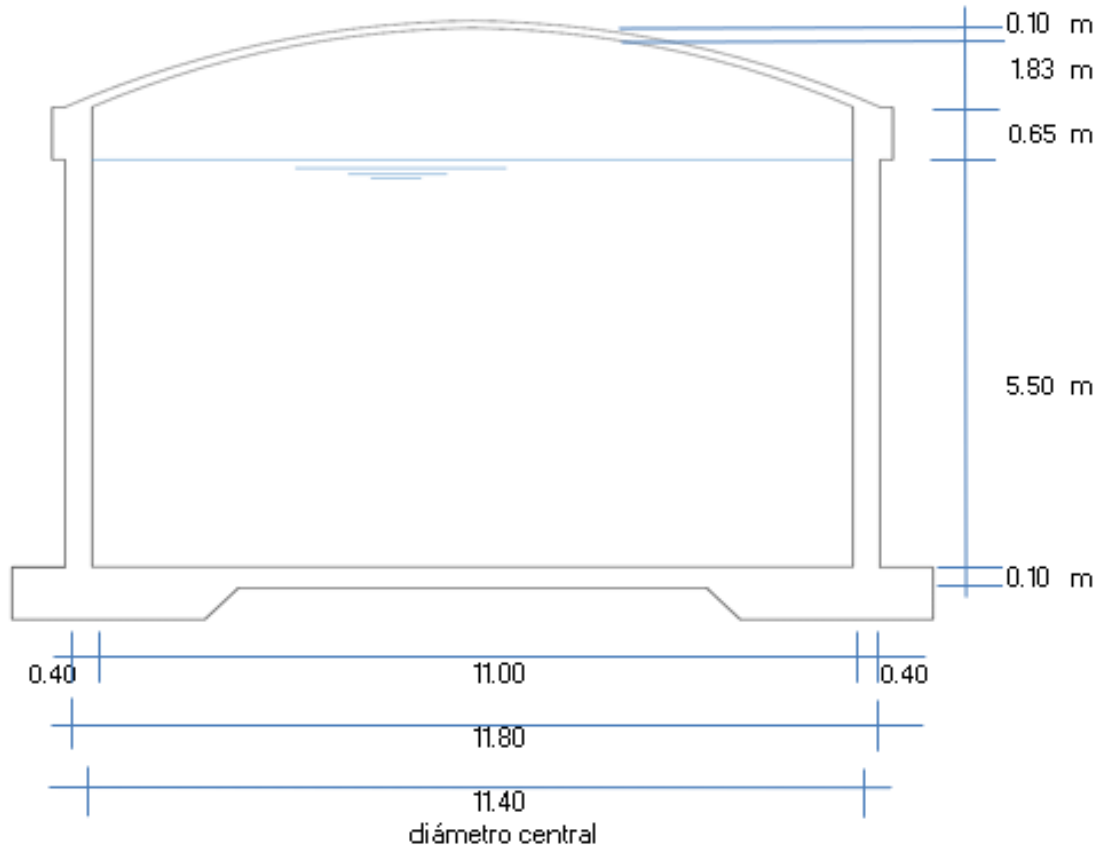
$$0.5 \cdot (280)^{1/2} \cdot 100.00 \cdot e_t = 990.00$$

Degundo espesor :  $et = 1.18 \text{ cm}$

De igual manera este espesor es totalmente insuficiente. De acuerdo al R.N.C., especifica un espesor mínimo de 5 cm para losas, por lo que adoptamos un espesor de losa de techo:

$et = 10.00 \text{ cm}$

### Valores del predimensionado



Peso específico del concreto  $\gamma_c = 2.40 \text{ Tn/m}^2$

Peso específico del agua  $\gamma_a = 1.00 \text{ Tn/m}^2$

Zapata perimetral =

0.8 m.

$h = 0.40 \text{ m.}$

## METRADO DEL RESERVORIO

Losa de techo	e= 10.00 cm	$(\pi \cdot di \cdot f \cdot et \cdot Yc) =$	16.31 Ton.
Viga perimetral		$\pi \cdot dc \cdot b \cdot d \cdot Yc =$	17.41 Ton.
Muros o pedestales laterales		$\pi \cdot dc \cdot e \cdot h \cdot Yc =$	211.4 Ton.
Peso de zapata corrida		$\pi \cdot dc \cdot b \cdot h \cdot Yc =$	27.51 Ton.

### Diseño de zapata corrida:

La zapata corrida soportará una carga lineal uniforme de:

Losa de techo	16.31 Ton.
Viga perimetral	17.41 Ton.
Muro del reservorio	211.4 Ton.
Peso de zapata	27.51 Ton.

-----  
272.67 Ton.

$$L = 34.56 \text{ m.}$$

$$\text{Peso por metro lineal} = 7.89 \text{ Ton/m}$$

Valor asumido de estudio de suelos:

$$q_u = 0.80 \text{ Kg/cm}^2$$

Ancho de zapata corrida (b)

$$b = \text{Peso por metro lineal} / q_u = 7.89 / 8.00$$

$$b = 0.99 \text{ m.}$$

Para efectos de construcción, asumimos un  $b = 1.00 \text{ m.}$

permitiéndonos una reacción neta de:

$$\sigma = \text{Peso por metro lineal} / b$$

$$\sigma = 0.79 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{reacción neta} < q_u = \text{si cumple}$$

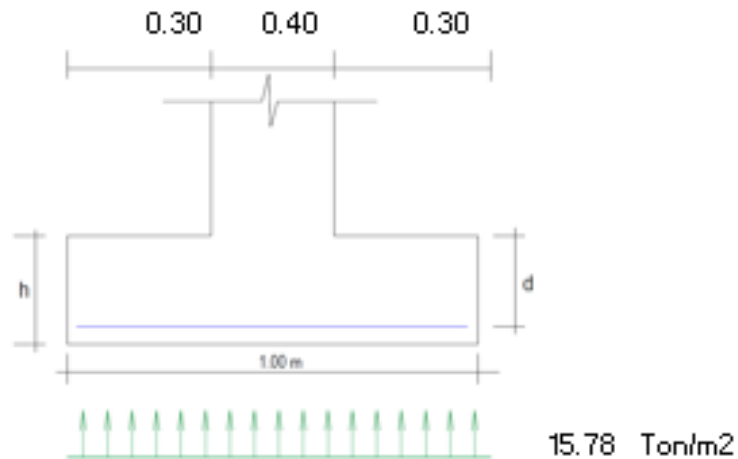
La presión neta de diseño o rotura  $\sigma_{rd} = \delta_s \cdot \text{Peso por metro lineal} / \text{Azap}$

$$\text{Peso específico del suelo asumido } \delta_s = 2.00 \text{ Tn/m}^2$$

$$\delta_s \cdot \sigma_{rd} = 15.78 \text{ Ton/m}^2$$

## CÁLCULO DE MASAS, ALTURAS Y RIGIDEZ DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE HOUSNER, HAROUN Y MALHOTRA

El peralte efectivo de la zapata se circulará tomando 1.00 lineal de zapata:



La cortante crítico o actuante está a una distancia "d" del muro, del gráfico:

$$V_u = 15.7806 \cdot (30 - d) / b \cdot d$$

$$b = 80 \text{ cm}$$

Cortante asumido por el concreto:

$$V_c = \phi \cdot 0.53 \cdot f'_c \cdot (1/2) \quad \phi = 0.9$$

$$V_c = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Igualando la ecuación:

$$d = 0.077 \text{ m.}$$

Recubrimiento:

$$r = 7.5 \text{ cm.}$$

$$h = d + r + \phi/2$$

$$h = 15.79$$

Adoptamos una h = 40.00 cm.

## ANEXO N° 4. Cálculo de los Modelos Matemáticos

### DATOS DEL RESERVORIO APOYADO DE

$$Rr := 5.5 \cdot m$$

$$Hl := 5.5 \cdot m$$

$$Dr := 11 \cdot m$$

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

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$f'c := 280 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$E := 15000 \cdot \sqrt{f'c \cdot \frac{cm^2}{kg}} \cdot \frac{kg}{cm^2} = 250998.01 \frac{kg}{cm^2}$$

Radio de  
Altura del líquido de  
Diámetro del

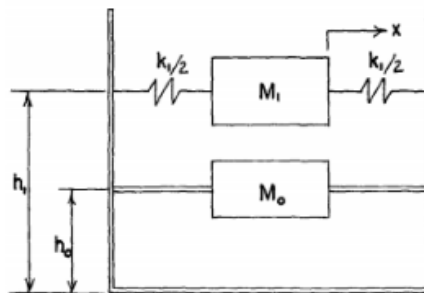
Peso específico del agua

Aceleración de la

Resistencia ala compresión del

Módulo de elasticidad

### MODELO MATEMATICO DE



Modelo simplificado de

Cálculo de la masa del reservorio

$$Mf := \frac{(\pi \cdot Rr^2 \cdot Hl \cdot \rho)}{g} = 53298.78 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

Cálculo de la masa impulsiva

$$m_o := Mf \cdot \frac{\tanh\left(1.7 \cdot \frac{Rr}{Hl}\right)}{\left(1.7 \cdot \frac{Rr}{Hl}\right)} = 29327.15 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$



Cálculo de la altura impulsiva

$$h_o := 0.38 \cdot Hl = 2.09 \text{ m}$$

Cálculo de la masa convectiva

$$m_l := Mt \cdot 0.38 \cdot \frac{Rr}{Hl} \cdot \tanh\left(1.84 \cdot \frac{Hl}{Rr}\right) = 19256.96 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

Cálculo de la altura convectiva

$$h_l := Hl \cdot \left(1 - \frac{1}{1.84 \cdot \frac{Hl}{Rr} \cdot \tanh\left(1.84 \cdot \frac{Hl}{Rr}\right)}\right) = 2.36 \text{ m}$$

Cálculo de la rigidez convectiva

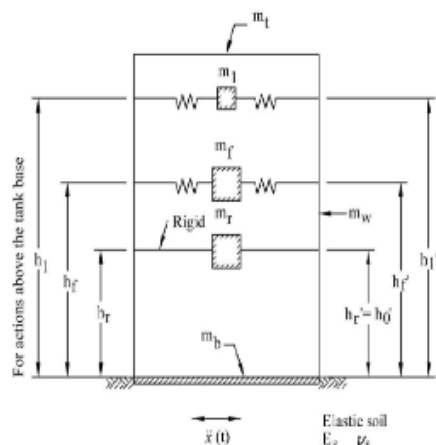
$$k := 0.71 \cdot \frac{g}{Hl} \cdot \tanh\left(1.84 \cdot \frac{Hl}{Rr}\right)^2 \cdot Mt = 60996.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Cálculo de la rigidez unitaria

$$\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2 = 37$$

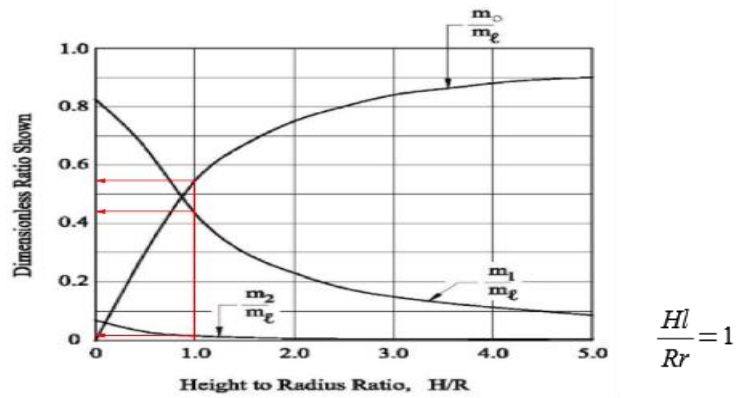
$$K_i := \frac{k}{\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2} = 1648.56 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

## MODELO MATEMÁTICO DE



Modelo modificado por Haroun

Ábaco para cálculo de masas



Cálculo de la masa del

$$m_l := \frac{(\pi \cdot Rr^2 \cdot Hl \cdot \rho)}{g} = 53298.78 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

Cálculo de la masa rígida

$$m_0 := m_l \cdot 0.55 = 29314.33 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

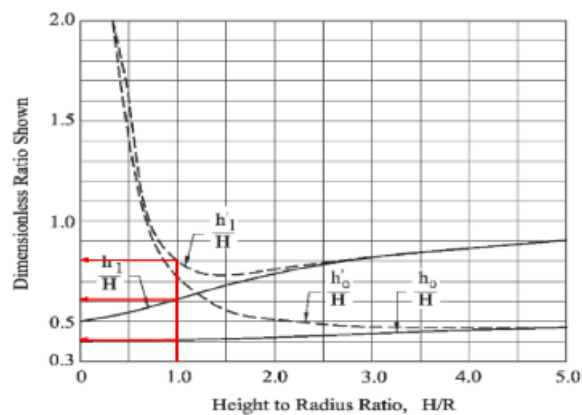
Cálculo de la masa impulsiva

$$m_1 := m_l \cdot 0.42 = 22385.49 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

Cálculo de la masa

$$m_2 := m_l \cdot 0.02 = 1065.98 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

Ábaco para el cálculo de alturas



Altura para la masa rígida

$$h_0 := Hl \cdot 0.4 = 2.2 \text{ m}$$

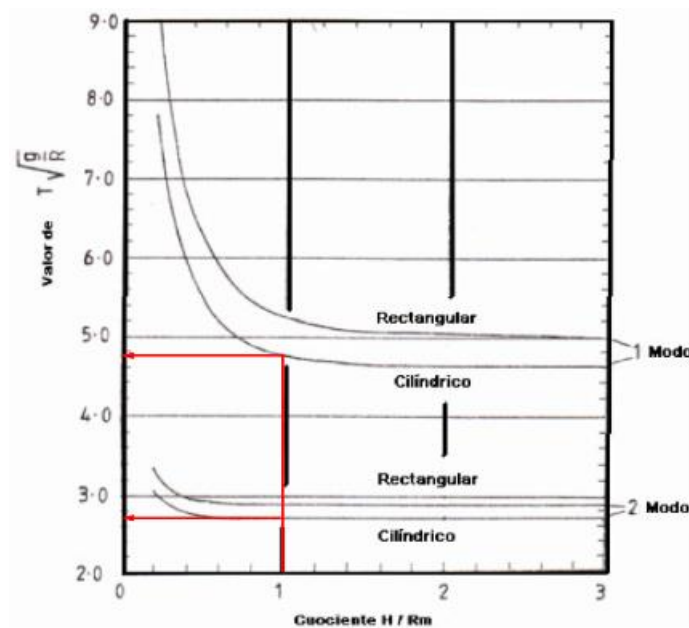
Altura para la masa

$$h_1 := Hl \cdot 0.6 = 3.3 \text{ m}$$

Altura para la masa

$$h_2 := Hl \cdot 0.8 = 4.4 \text{ m}$$

Ábaco para cálculo de periodo



Cálculo del periodo para modo

$$T_c := \frac{5.75}{\sqrt{\frac{g}{Rr}}} = 4.31 \text{ s}$$

$$T_{c'} := \frac{2.80}{\sqrt{\frac{g}{Rr}}} = 2.1 \text{ s}$$

Cálculo de la velocidad angular

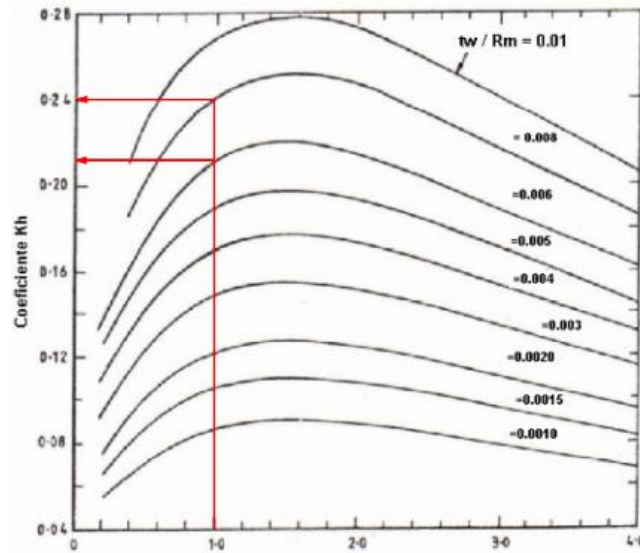
$$\omega_c := \frac{2\pi}{T_c} = 1.46 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\omega_{c'} := \frac{2\pi}{T_{c'}} = 3 \frac{1}{\text{s}}$$

Cálculo de la rigidez

$$K_c := m_2 \cdot \omega_c^2 = 2269.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ábaco para el cálculo coeficiente del periodo impulsivo



Coeficiente del periodo

interpolando la gráfica

$$e_i := 0.40 \cdot m$$

$$\frac{e_i}{Rr} = 0.07$$

$$\begin{aligned} 0.73 &= kh \\ 0.008 &= 0.24 \\ 0.006 &= 0.21 \end{aligned}$$

$$\frac{kh - 0.21}{0.03} = \frac{0.67}{0.02} \xrightarrow{\text{solve, } kh} 1.215$$

$$kh := 1.215$$

Cálculo del periodo impulsivo

$$T_i := \frac{5.61 \cdot \pi \cdot Hl}{kh} \cdot \left( \sqrt{\frac{\rho}{E \cdot g}} \right) = 0.02 \text{ s}$$

$$T_i = 0.02 \text{ s}$$

Cálculo la velocidad angular

$$\omega_i := \frac{2 \pi}{T_i} = 390.73 \frac{1}{s}$$

$$k_i := m_I \cdot \omega_i^2 = 3417582065.76 \frac{kg}{m}$$

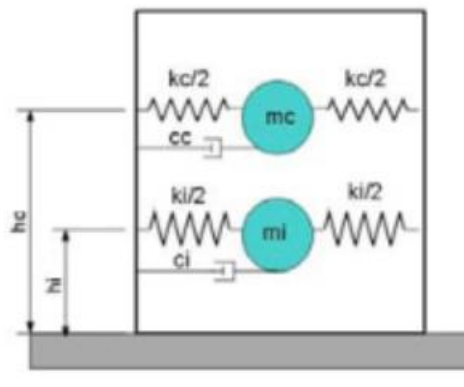
Cálculo de la rigidez unitaria convectiva e

$$\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2 = 37$$

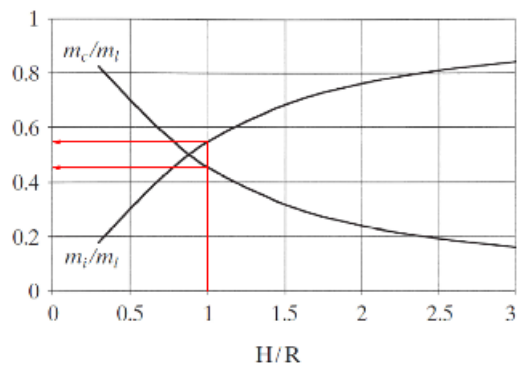
$$K_{cI} := \frac{K_c}{\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2} = 61.34 \frac{kg}{m}$$

$$K_{iI} := \frac{k_i}{\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2} = 92367082.86 \frac{kg}{m}$$

### MODELO MATEMÁTICO



Ábaco para cálculo de la masa convectiva e impulsiva



Cálculo de la masa

Cálculo la rigidez impulsiva<sup>2</sup>

$$m_{con} := Mt \cdot 0.45 = 23984.45 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

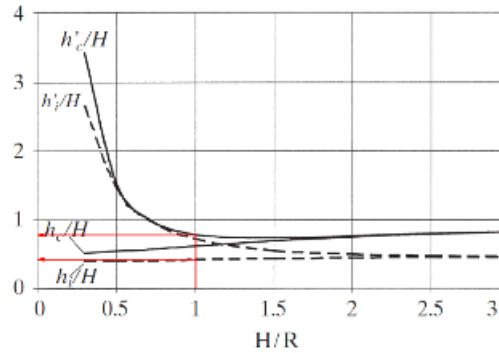
$$\frac{m_{con}}{Mt} = 0.45$$

Cálculo de la masa impulsiva

$$m_{imp} := Mt \cdot 0.55 = 29314.33 \frac{kg \cdot s^2}{m}$$

$$\frac{m_{imp}}{Mt} = 0.55$$

Ábaco para el cálculo de las alturas de la masa convectiva e impulsiva



Cálculo de la altura de la masa

$$h_c := Hl \cdot 0.7 = 3.85 \text{ m}$$

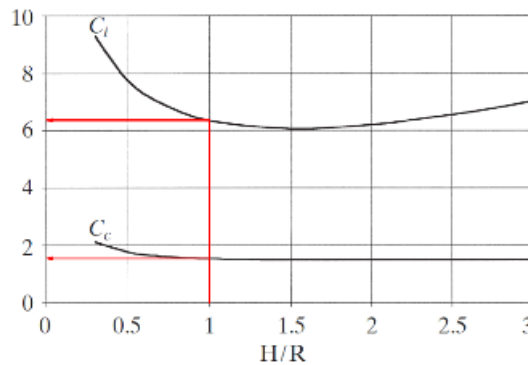
$$\frac{h_c}{Hl} = 0.7$$

Cálculo de la altura de la masa

$$h_i := Hl \cdot 0.42 = 2.31 \text{ m}$$

$$\frac{h_i}{Hl} = 0.42$$

Ábaco para el cálculo del coeficiente convectivo e impulsivo



Cálculo del coeficiente

$$C_c := 1.6 \cdot \frac{s}{\sqrt{m}}$$

Cálculo del coeficiente impulsivo

$$C_i := 6.3 \cdot \frac{s}{\sqrt{m}}$$

Cálculo del periodo impulsivo

$$T_{imp} := C_i \cdot \frac{Hl \cdot \sqrt{\rho}}{\sqrt{\frac{e_t}{Rr}} \cdot \sqrt{E}} = 0.08 \text{ s}$$

Cálculo del periodo convectivo

$$T_{con} := C_c \cdot \sqrt{Rr} = 3.75 \text{ s}$$

Cálculo de la velocidad angular

$$\omega_{imp} := \frac{2 \cdot \pi}{T_{imp}} = 77.47 \frac{1}{s}$$

Cálculo de la velocidad angular

$$\omega_{con} := \frac{2 \cdot \pi}{T_{con}} = 1.67 \frac{1}{s}$$

Cálculo de la rigidez convectiva

$$k_{con} := m_{con} \cdot \omega_{con}^2 = 67249.16 \frac{kg}{m}$$

Cálculo de la rigidez impulsiva

$$k_{imp} := m_{imp} \cdot \omega_{imp}^2 = 175954666.99 \frac{kg}{m}$$

Cálculo de la rigidez unitaria convectiva e

$$\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2 = 37$$

$$K_{conl} := \frac{k_{con}}{\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2} = 1817.54 \frac{kg}{m}$$

$$K_{impl} := \frac{k_{imp}}{\sum_{i=0}^{72} \cos(i \cdot 5^\circ)^2} = 475531.54 \frac{kg}{m}$$

### ANEXO N° 5. Espectro de Pseudoaceleración

$$Sa_{ti} = \frac{Z * I * S * C_{ti}}{Rw_i} * g \quad Rw_i \text{ si } t < 2.4 \text{ s}$$

$$Sa_{tc} = \frac{Z * I * S * C_{tc}}{Rw_c} * g \quad j \leftarrow 2.5 \frac{t_p}{t} \quad C \leftarrow j \text{ si } j \leq 2.5$$

$$C_t = 2.5 * \left( \frac{T_p}{t} \right) \rightarrow C_t \leq 2.5$$

**Tabla 4**

*Factor de zona “Z” E 0.30 Diseño Sismorresistente*

**Tabla N°1**  
**FACTORES DE ZONA "Z"**

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

*Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente.*



**Tabla 5**
*Factor “U” E 0.30 Diseño Sismorresistente*

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
<b>B</b> Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3

*Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente.*
**Tabla 6**
*Factor de suelo “S” E 0.30 Diseño Sismorresistente*

Tabla N°3 FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA	SUELO			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

*Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente.*

**Tabla 7**

Periodos “ $T_P$ ” y “ $T_L$ ” E 0.30 Diseño Sismorresistente

<b>Tabla N°4 PERIODOS "<math>T_P</math>" Y "<math>T_L</math>"</b>				
	<b>PERFIL DEL SUELO</b>			
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$T_P$ (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
$T_L$ (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente.

Se podran elegir entre el factor de modificación inpuensiva “ $R_{wi}$ ”para periodos cortos y el factor de modificación convectiva “ $R_{wc}$ ” para periodos largos.

**Tabla 8**

Factor de Modificación de respuesta  $R_{wi}$  y  $R_{wc}$  E 0.30 Diseño Sismorresistente

Tipo Tanque	<b>Factor de Modificación de Respuesta</b>		<b><math>R_{wc}</math></b>
	<b><math>R_{wi}</math> Superficial</b>	<b><math>R_{wi}</math> Enterrado</b>	
Tanques anclados o base flexible	4.5	4.25	1
Tanques de base fija o articulada	2.75	4	1
Tanque sin anclar, encerrados o abiertos	2	2.75	1
Tanques elevados	3	0	1

Fuente: Llasa Funes

$$Z = 0.35$$

$$I = U = 1.30$$

$$S_2 = 1.30$$

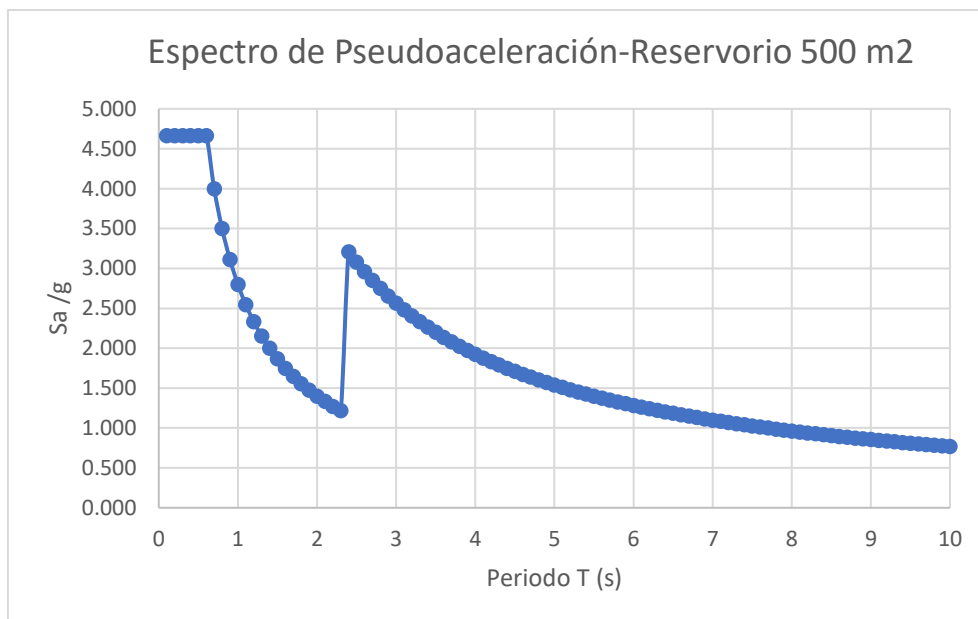
$$t_p = 0.60$$

$$Rw_i = 2.75$$

$$Rw_c = 1.00$$

**Figura 82**

*Espectro de Pseudoaceleración*



*Fuente:* Elaboración propia.


**ANEXO N° 6. Reservorios de Agua Potable E.P.S. SEDACAJ – Cajamarca**

**Figura 83**

*Ubicación y capacidades de los reservorios de sección circular apoyado de la  
E.P.S. SEDACAJ*

**Formato N° 6  
Reservorios de Agua Potable  
Al mes de Marzo 2023**

Localidad	Nombre de Reservorio	Capacidad (M3)	Estado de Conservación	Ubicación
Cajamarca	R-1	1,000	Bueno	Planta Santa Apolonia
Cajamarca	R-2	2,500	Regular	Sector Pencapampa
Cajamarca	R-3	700	Bueno	Barrio la Esperanza
Cajamarca	R-4	1,500	Inoperativo	Barrio Santa Elena
Cajamarca	R-5	350	Bueno	Barrio Delta
Cajamarca	R-6	1,500	Bueno	Barrio Santa Elena
Contumaza	Mishcayacu	180	Bueno	Mishcayacu
San Miguel	San Miguel	212	Bueno	San Miguel

  
-----  
Ing. Daniel Arsenio Sánchez García  
Gerente General  
E.P.S. SEDACAJ S.A.



-----  
Ing. Jhony A. Chávez Sánchez  
Jefe (e) Div. de Producción AP  
y Tratamiento AS.  
E.P.S. SEDACAJ S.A.

Fuente: E.P.S. SEDACAJ – Cajamarca (<https://sedacaj.com.pe/docs/f06t12023.pdf>)

**Tabla 9**

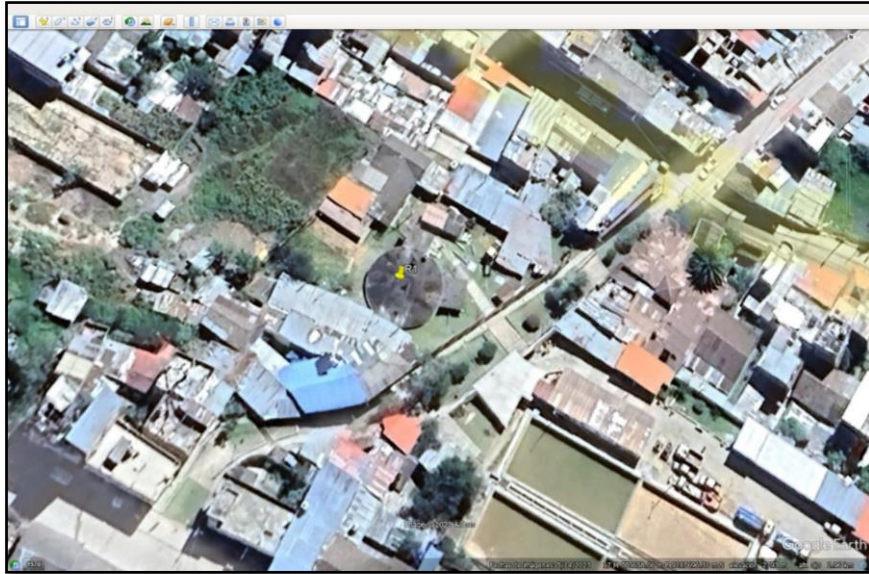
*Ubicación en coordenadas UTM de los reservorios de sección circular apoyado de la E.P.S. SEDACAJ*

RESERVORIOS E.P.S. SEDACAJ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA						
RESERVORIO	TIPO APOYADO	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	UBICACIÓN (coordenadas UTM)			ESTADO ACTUAL
			ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	
RESERVORIO N°1	APOYADO	1000.00	773658.06	9207696.30	2793.00	operativo
RESERVORIO N°2	APOYADO	2500.00	773059.72	9208488.37	2786.00	operativo
RESERVORIO N°3	APOYADO	700.00	773607.73	9207415.18	2851.00	operativo
RESERVORIO N°4	APOYADO	1500.00	774683.81	9206182.84	2784.00	inoperativo
RESERVORIO N°5	APOYADO	350.00	772843.03	9206858.23	2982.00	operativo
RESERVORIO N°6	APOYADO	1500.00	774700.16	9206175.31	2784.00	operativo

*Fuente: Elaboración propia 2023.*

**Figura 84**

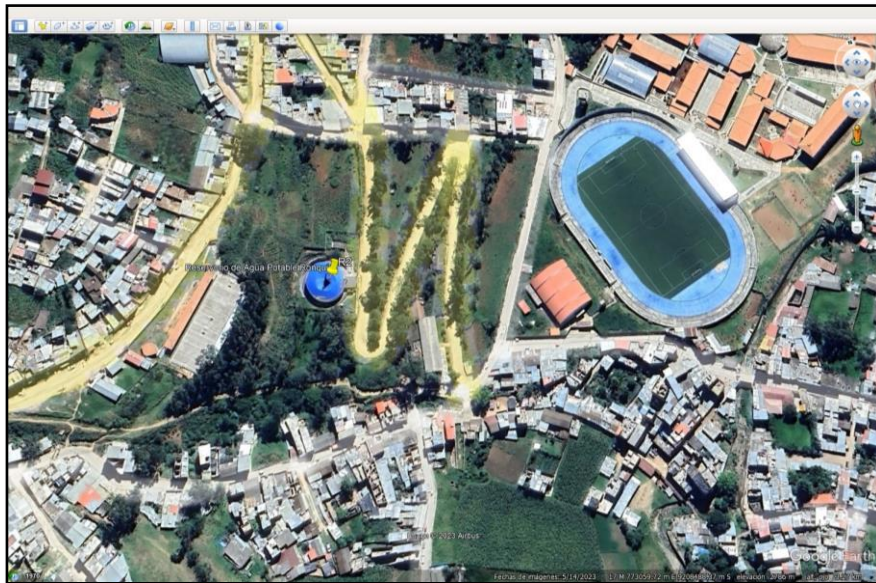
*Reservorio N°1 de sección circular apoyado de 1000 m<sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.*



*Fuente: Elaboración propia 2023*

**Figura 85**

*Reservorio N°2 de sección circular apoyado de 2500 m<sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.*



*Fuente: Elaboración propia 2023*

**Figura 86**

*Reservorio N°3 de sección circular apoyado de 700 m<sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.*



*Fuente: Elaboración propia 2023*

**Figura 87**

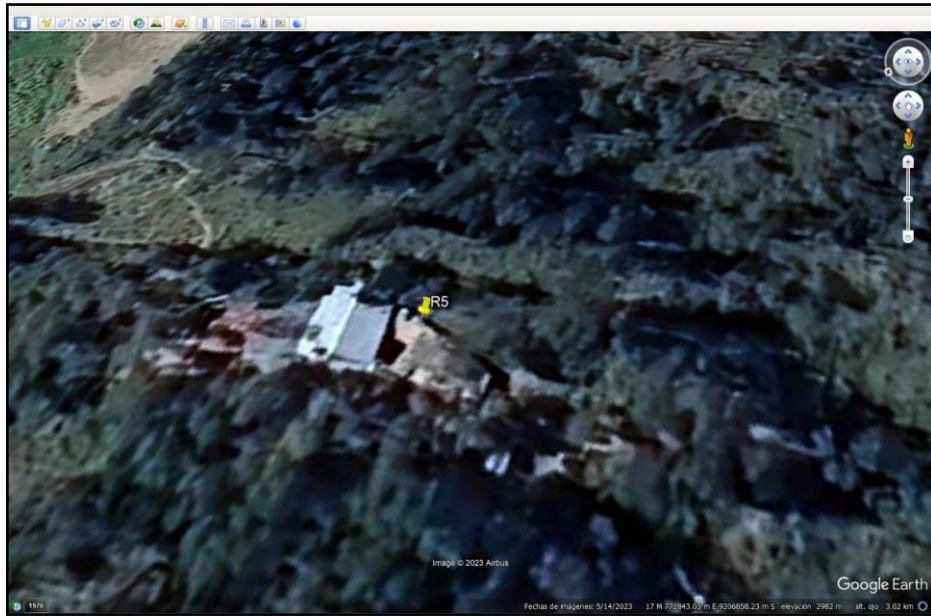
*Reservorio N°4 de sección circular apoyado de 1500 m<sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.*



*Fuente: Elaboración propia 2023*

**Figura 88**

*Reservorio N°5 de sección circular apoyado de 350 m<sup>3</sup> de la EPS. SEDACAJ.*

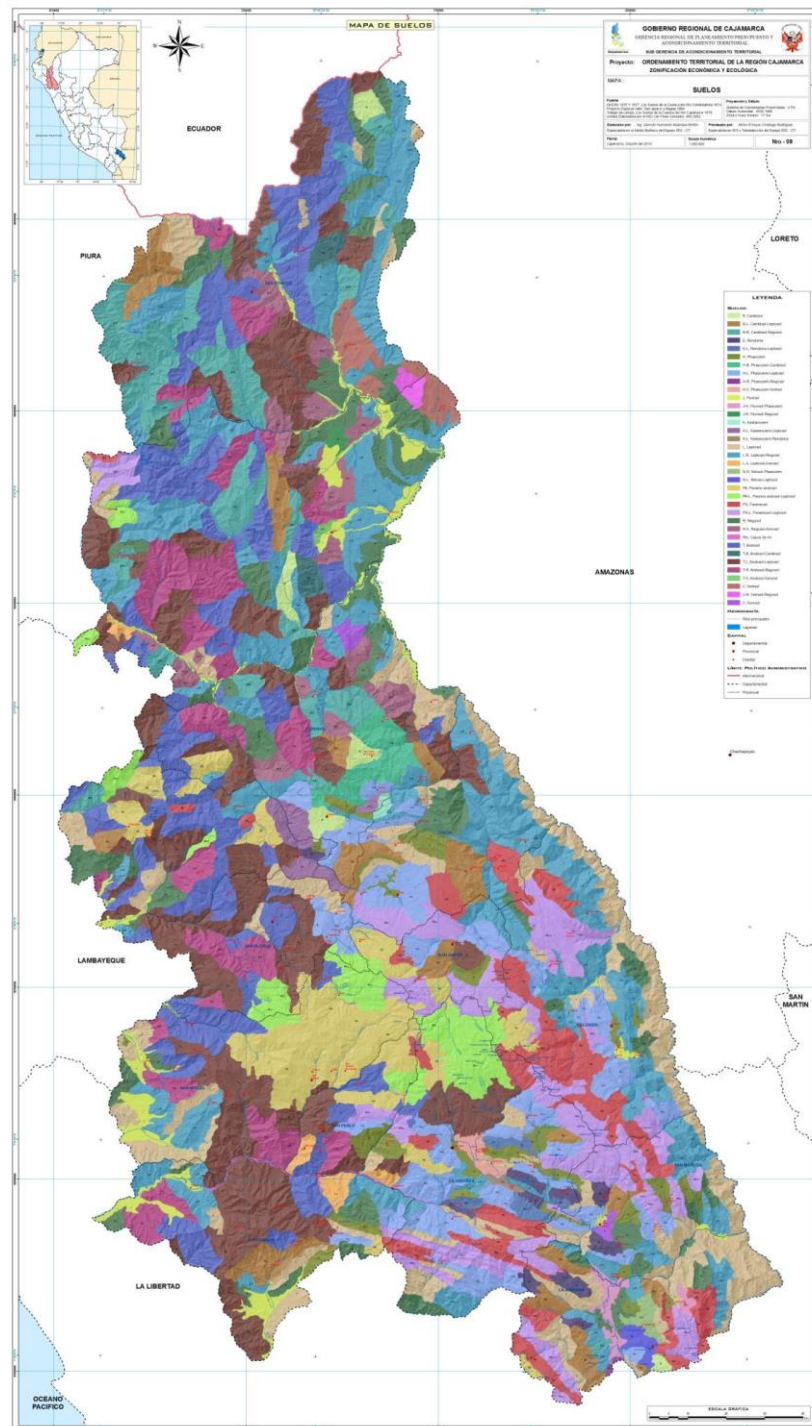


*Fuente: Elaboración propia 2023*



**Figura 89**

*Mapa de suelos del departamento de Cajamarca*



*Fuente:* Estudio de Suelos y Capacidad de Uso Mayor del Departamento de Cajamarca.