

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL MENCION EN ESTRUCTURAS



**“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA
SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA
ALMACENAMIENTO DE AGUA”**

TESIS

Presentado por:

Br. JUAN CARLOS HUISA CHURA

ASESOR:

Msc. Ing JOSE VELASQUEZ VARGAS

Para Obtener el Grado Académico de:

MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL MENCION EN ESTRUCTURAS

TACNA – PERU

2017

AGRADECIMIENTO

Al Msc. Jose Jose Velasquez Varga, por su constante asesoría y motivación a lo largo del Desarrollo de esta tesis,

A Merly Giuliana Jimenez Salinas, por su apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis,

DEDICATORIA

A mis padres, por su paciencia, comprensión y aliento durante todos estos años.

A mis hermanos por su apoyo en todo momento.

INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN	22
1. EL PROBLEMA.....	24
1.1. Planeamiento del Problema	24
1.2. Formulación del Problema	24
1.3. Justificación de la Investigación.....	25
1.4. Objetivos de la Investigación	25
1.4.1. Objetivo general.....	25
1.4.2. Objetivos específicos	26
2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO	27
2.1. Estado del arte	27
2.2. Daños en reservorios ante sollicitaciones sísmicas	28
2.3. Tipos de Reservorios.....	32
2.4. Estudio del Comportamiento de Reservorios Sometidos a Sismos	32

2.5.	Extensión del Estudio a Reservorios Cilíndricos	38
2.6.	Modelos Mecánicos Simplificados	43
2.6.1.	Modelo de Housner (1954).....	43
2.6.2.	Modelo de Housner (1963).....	44
2.6.3.	Modelo de Veletsos y Yang (1976).....	45
2.6.4.	Modelo de Haroun y Housner (1981).....	45
2.6.5.	Modelo de Malhontra	46
2.6.6.	Modelos de mecánicos con aisladores sísmicos.....	48
2.6.6.1.	Modelo estructural para aislamiento con LRB	51
2.6.6.2.	Modelamiento estructural para un Amortiguador de masa viscosa (VMD)..	53
2.7.	Normas técnicas para el análisis de reservorios.....	55
2.7.1.	ACI350.3-06.....	55
2.8.	Normas técnicas para el análisis sísmico	57
2.8.1.	NTE E.030.....	57
3.	MARCO METODOLOGICO.....	58
3.1.	Hipótesis.....	58
3.2.	Variables	58
3.3.	Tipo de investigación	58

3.4.	Diseño de investigación	58
3.5.	Ámbito de estudio y Tiempo Social de la Investigación	58
3.6.	Población y Muestra.....	58
3.7.	Técnicas e Instrumentos.....	58
4.	PROPUESTA DE METODOLOGÍA.....	59
4.1.	Generalidades.....	59
4.2.	Propiedades mecánicas del concreto.....	59
4.3.	Acero de Refuerzo.....	60
4.4.	Modelo dinámico	61
4.4.1.	Para Reservorios Rectangulares	61
4.4.1.1.	Determinación del Peso de la componente Impulsiva y Convectiva.....	61
4.4.1.1.1.	Peso de la componente Impulsiva.....	61
4.4.1.1.2.	Peso de la componente Convectiva	61
4.4.1.2.	Determinación de la altura de la componente Convectiva e Impulsiva.....	63
4.4.1.2.1.	Altura de la componente Impulsiva.....	63
4.4.1.2.2.	Altura de la componente Convectiva.....	64
4.4.1.3.	Propiedades dinámicas.....	66
4.4.1.3.1.	Calculo del periodo Impulsivo.....	66

4.4.1.3.2.	Calculo del periodo Convectivo	66
4.4.2.	Para reservorios Circulares.....	67
4.4.2.1.	Determinación del peso de la componente Impulsiva y Convectiva	67
4.4.2.1.1.	Peso de la componente Impulsiva.....	67
4.4.2.1.2.	Peso de la componente Convectiva	68
4.4.2.2.	Determinación de la altura de la componente Convectiva e Impulsiva.....	69
4.4.2.2.1.	Altura de la componente Impulsiva	69
4.4.2.2.2.	Altura de la componente Convectiva.....	70
4.4.2.3.	Propiedades dinámicas.....	72
4.4.2.3.1.	Calculo del periodo Impulsivo.....	72
4.4.2.3.2.	Calculo del periodo Convectivo	73
4.5.	Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Rectangulares.....	73
4.6.	Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Circulares.....	74
4.7.	Definición de los Parámetros sísmicos	74
4.7.1.	Factor de zona	74
4.7.2.	Parámetros de sitio	75
4.7.3.	Factor de amplificación sísmica (C).....	76
4.7.4.	Factor de uso	76

4.7.5.	Factor de respuesta sísmica	77
4.8.	Determinación de la presión Hidrostática	77
4.9.	Determinación del espectro de diseño de la Norma E.030	79
4.10.	Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000.....	81
4.11.	Calculo de los Parámetros para la Modelación bilineal de los aisladores HDR	82
4.12.	Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000 con Aisladores Sísmicos	91
5.	CASO DE APLICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	93
5.1.	Modelo de Análisis	93
5.1.1.	Características del reservorio R-1	93
5.1.2.	Propiedades mecánicas del concreto	93
5.1.3.	Acero de Refuerzo.....	94
5.2.	Modelo dinámico	94
5.2.1.	Determinación del Peso de la Componente Impulsiva y Convectiva para el reservorio R-1.....	94
5.2.1.1.	Calculo del peso de la componente Impulsiva.....	94
5.2.1.2.	Calculo del peso de la componente Convectiva	94

5.2.2.	Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.	95
5.2.2.1.	Altura de la componente Impulsiva.....	95
5.2.2.2.	Altura de la componente Convectiva.....	95
5.2.3.	Propiedades Dinámicas	95
5.2.3.1.	Calculo del periodo Convectivo	95
5.3.	Calculo de Rigidez de Resorte en secciones Circulares.....	96
5.4.	Definimos los parámetros sísmicos.....	97
5.5.	Determinación de la presión Hidrostática.....	97
5.6.	Espectro de Diseño de la Norma E. 030	98
5.7.	Resumen de resultados.....	98
5.7.1.	Resumen de Resultados de los parámetros dinámicos	98
5.8.	Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000	99
5.9.	Resultados Finales del Análisis Dinámico.....	109
5.10.	Verificación del modelo por análisis tiempo historia.....	115
5.10.1.	Respuesta dinámica del Reservorio a acelerogramas peruanos	115
5.10.2.	Normalización de los acelerogramas.....	117
5.10.3.	Resultados de Análisis Tiempo – Historia	119
5.11.	Análisis dinámico con Aisladores Sísmicos (RBD).....	120

5.11.1. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000 con Aisladores Sísmicos	120
5.11.2. Resumen de Resultados Obtenidos	122
5.12. Análisis de Resultados.....	122
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.1. Conclusiones	125
6.2. Recomendaciones.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1 Evaluación de Reservorios tras el sismo de Pisco 15 de Agosto 2007 (Fuente: J. Kuroiwa 2012).....	31
Tabla 4.7.1.1 Factor de Zona (Z). Fuente (Norma E.030)	75
Tabla 4.7.2.1 Factor de Suelo (S). Fuente (Norma E.030)	76
Tabla 4.7.2.2 Factor de TP(S) y TL(S). Fuente (Norma E.030).....	76
Tabla 4.7.4.1 Factor de Uso (U). Fuente (Norma E.030).....	77
Tabla 4.7.4.1 Factor de Respuesta sísmica (R). Fuente (Norma E.030).....	77
Tabla 4.11.1 Espectro de Respuesta sísmica a utilizar en el Modelo Dinámico.....	83
Tabla 5.1.1.1 Propiedades geometrías y de cargas.....	93
Tabla 5.4.1 Parámetros Sísmicos a Utilizar	97
Tabla 6.4.1 1 Resultados de los Parámetros Dinámicos R-01	98
Tabla 5.9.1 Periodos y frecuencias	114
Tabla 6.9.1 Fuerzas Cortantes y Momentos Volcantes.....	114
Tabla 5.10.1.1 Señales Sísmicas.	115
Tabla 5.10.3.1 Resultados del Análisis Tiempo - Historia	119
Tabla 5.11.1.1 Propiedades Mecánicas del Aislador HDR.....	120

Tabla 5.11.2.1 Resultado de las Fuerzas Cortantes y Momentos Volcantes con Aislador Sismico	122
Tabla 5.11.2.2 Modos, Periodos y Frecuencias circulares (Aislador Sísmico).....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Daños estructurales de Reservoirio Elevado de 50 m ³ después del terremoto de 8.7 magnitud (Chile 1960).....	29
Figura 2.2.2 Colapso del reservorio elevado de 100 m ³ después del terremoto de 7.7 de magnitud BHUJ (India 2001).....	29
Figura 2.2.3 Colapso del reservorio elevado después del terremoto de 7.2 de magnitud [Argelia, 1980]	30
Figura 2.2.4 Falla estructural en viga de reservorio elevado después del terremoto de 7.29 de magnitud [Pisco, 2007].....	31
Figura 2.2.5 Tipos de reservorios.....	32
Figura 2.4.1 Reservoirio rectangular de estudio	33
Figura 2.4.2 Velocidad vertical v en una porción de fluido de espesor dx limitado entre dos membranas adyacentes.	34
Figura 2.4.3 Restricciones y condiciones consideradas para evaluar los modos de vibración.....	36
Figura 2.5.1 Planta y elevación de reservorio circular.....	39
Figura 2.5.2 Reservoirio circular esbelto	39
Figura 2.5.2 Reservoirio circular.....	41

Figura	2.6.1.1	Modelo mecánico equivalente según Housner (1954).....	44
Figura	2.6.2.1	Modelo Mecánico Equivalente según Housner (1963)	44
Figura	2.6.3.1	Modelo Mecánico Equivalente según Veletsos y Yang (1976).....	45
Figura	2.6.4.1	Modelo Mecánico Equivalente según Haroun y Housner (1981).	46
Figura	2.6.5.1	Modelo Mecánico Equivalente según Malholtra et al. (2000).	48
Figura	2.6.6.1	Mejora de la seguridad, funcionamiento y preservación de un edificio gracias al sistema de aislación en la base. (2000). Fuente (6).....	49
Figura	2.6.6.2	Reservorio para almacenamiento de gas natural líquido con base aislada después del terremoto de Maule 2010 de Magnitud 8.8. Fuente (6).....	50
Figura	2.6.6.3	Aisladores instalados en la cimentación de un tanque para almacenamiento de gas natural líquido. Fuente (6)	50
Figura	2.6.6.1.1	Modelo Mecánico con Aislador Sísmico.....	51
Figura	2.6.6.1.2	Modelo hysteretico del sistema de aislación LRB. Fuente (18)	53
Figura	2.6.6.2.1	modelo simplificado del sistema VMD. Fuente (19).....	54
Figura	4.2.1	Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del concreto no confinado, Whitney.....	59
Figura	4.3.1	Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del acero.....	60

Figura 4.4.4.1.1 Factores W_i / W_L and W_c / W_L vs Relación L/H_L para Reservorios rectangulares (Fuente ACI 350.3.06).....	62
Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i / H_L and h_c / H_L vs relación L/H_L para reservorios Rectangulares EBP (Fuente ACI 350.3.06)	65
Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i / H_L and h_c / H_L vs relación L/H_L para reservorios Circulares EBP (Fuente ACI 350.3.06).	65
Figura 4.4.2.1 Factores W_i / W_L y W_c / W_L vs D/H_L para Reservorios Circulares. (Fuente ACI 350.3.06)	68
Figura 4.3.1 factores h_i / H_L y h_c / H_L versus relación D/H_L para reservorios circulares (EBP).(Fuente ACI 350.03-6)	71
Figura 4.4.2.2 factores h_i / H_L y h_c / H_L versus relación D/H_L para reservorios circulares (EBP).(Fuente ACI 350.03-6)	71
Figura 8.9.1 Espectro de Respuesta sísmica	80
Figura 8.9.2 Espectro de Respuesta sísmica a utilizar en el Modelo Dinamico	80
Figura 6.6.1 Espectro de Respuesta Sísmica R-01.....	98
Figura 5.8.1 Modelo en 3D Reservorio Tipo INTZE.....	99
Figura 5.8.2 Definición de las propiedades mecánicas del concreto	100
Figura 5.8.3 Definición de las secciones de los elementos Shell.....	100

Figura	5.8.4 Definición de las secciones de los elementos Shell.....	101
Figura	5.8.5 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Impulsivo.....	102
Figura	5.8.6 Definimos el diafragma para simular el comportamiento del peso impulsivo.....	102
Figura	5.8.7 Seleccionamos los puntos a la altura del Peso Impulsivo, luego asignamos el Diafragma para simular el comportamiento rígido de la masa Impulsiva.	103
Figura	5.8.8 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Convectivo.	104
Figura	5.8.9 Definimos el resorte asignando las rigidez.....	104
Figura	5.8.10 Asignamos la rigidez del resorte, luego dibujamos los resorte para ellos ingresamos a a Draw/Draw 2 Joint Link.....	105
Figura	5.8.11 Definimos el Join Patterms para asignar la presión hidrostática	106
Figura	5.8.12 Seleccionamos las paredes de la cuba, luego asignamos la presion hidrostática para ello ingresamos a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure. ...	106
Figura	5.8.13 Asignamos el Espectro de Respuesta para las direcciones del Sismo en X e Y	107
Figura	5.8.14 Definimos los casos de cargas	107

Figura	5.8.14 Definimos los datos del caso de carga para el sismo en X-X.....	108
Figura	5.8.15 Definimos las Combinaciones de cargas	108
Figura	5.9.1 Modelo estructural en SAP2000 en base a elementos bidimensionales (Shell) R-1.....	109
Figura	5.9.2. Sección transversal de los elementos del reservorio y modelo de masas impulsiva y convectiva para el análisis sísmico.....	110
Figura	5.9.3. Distribución de esfuerzos axiales (S11) en kgf/cm ² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).....	110
Figura	5.9.4. Distribución de esfuerzos axiales (S22) en kgf/cm ² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).....	111
Figura	5.9.5. Distribución de esfuerzos tangenciales (S11) en kgf/cm ² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).....	111
Figura	5.9.6. Distribución de esfuerzos tangenciales (S11) en kgf/cm ² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).....	111
Figura	6.9.7. Distribución de esfuerzos meridionales (S22) en kgf/cm ² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).....	112
Figura	5.9.8. Distribución de esfuerzos meridionales (S22) en kgf/cm ² en la cara superior (Bottom Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).	112

Figura 5.9.8.fuerza Anular Considerando solo Fuerzas Estáticas ($F_{11} = 86580 \text{ Kg/m}$)	113
Figura 5.9.8. fuerza Anular cuando hay Sismo ($F_{11} = 93333.11 \text{ Kg/m}$).....	113
Figura 5.9.8. El desplazamiento máximo es de 2.261 cm sismo x-x.....	114
Figura 5.10.1.1 Estación Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Magnitud 6.5 Mb, 7 de Julio del 2001.....	115
Figura 6.10.1.2. Estación San Luis Gonzaga, Ica, Magnitud 8.0 MI, 15 de Agosto del 2007.....	116
Figura 6.10.1.3. Complejo Deportivo Rolando Catacora – Gobierno Regional de Moquegua, Moquegua, Magnitud 7 Mb, 23 de Junio del 2001.	116
Figura 5.10.1.4. Parque de la Reserva – Cercado de Lima, Lima, Magnitud 8.2 Mw, 17 de Octubre del 1966.	116
Figura 5.10.2.1. Espectro de Respuesta	117
Figura 5.10.2.2. Espectro de Respuesta utilizando los acelerogramas originales....	118
Figura 5.10.2.3. Espectro de respuesta de los acelerogramas escalados para el reservorio R-1.....	118
Figura 5.10.3.1. Resultados de los desplazamientos Tiempo – Historia.....	119

Figura 5.11.1.1 Asignamos las propiedades del aislador HDR, ingresamos a Define/Section Properties/link/Support Properties/Add New Property.....	121
Figura 5.11.1.2 Asignamos el aislador para ello ingresamos a Draw/ Draw 1 Joint Link	121
Figura 5.12.1. Comparación de Fuerzas cortantes Basal (Base fija vs Base Aislada)	123
Figura 5.12.2. Comparación de Momentos Volcantes (Base fija vs Base Aislada).	124

RESUMEN

Los reservorios son estructuras de almacenamiento de agua para el consumo de la población, por lo cual no pueden quedar inoperativas después de un evento sísmico de gran magnitud, pero en los años se ha demostrado que ante eventos sísmicos de gran magnitud la estructuras presentan daños e incluso a colapsar.

En esta tesis se formulará una guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua.

Para el modelamiento se empleó el programa SAP2000, para el agua se empleó el modelo simplificado de Housner que considera una masa convectiva y otra impulsiva. El análisis se realizó con el espectro de respuesta de la norma E 030 y Seismic Design of Liquid-Containing concrete structures (ACI 350.3-06). Las respuestas de interés a analizar serán los esfuerzos internos en las paredes, las fuerzas y momentos flectores, la fuerza cortante basal, el desplazamiento en el extremo del reservorio, para lo cual se realizó una guía con procedimientos para obtener resultados confiables y así proceder a realizar el diseño de los elementos estructurales. Además de los cálculos Obtenidos con Base fija se procedió hacer una comparación los resultados obtenidos con una base aislada.

ABSTRACT

Reservoirs are water storage structures for the consumption of the population, so they can not be inoperative after a major seismic events, but over the years it has been shown that in the event of large seismic events the structures are damaged And even to collapse.

In this thesis a design guide will be formulated to improve the seismic response in reservoirs of reinforced concrete for water storage.

For the modeling, the SAP2000 program was used. For the water, the simplified Housner model was used, considering a convective mass and an impulsive one. The analysis was performed with the response spectrum of the standard E 030 and Seismic Design of Liquid-Containing concrete structures (ACI 350.3-06). The responses of interest to be analyzed will be the internal stresses in the walls, the forces and bending moments, the basal shear force, the displacement at the end of the reservoir, for which a guide was performed with procedures to obtain reliable results and thus proceed to Design the structural elements. In addition to the calculations obtained with Fixed Base, a comparison was made of the results obtained with an isolated base.

INTRODUCCIÓN

Los reservorios de concreto armado cumplen un papel fundamental en el suministro de agua a la población, sin embargo son susceptibles ante eventos sísmicos severos que puedan dañar la estructura, por el desplazamiento excesivo, pandeo del muro y colapso de la estructura, el Perú es un país altamente sísmico ya que pertenece al cinturón de fuego del pacífico, es muy importante que las estructuras permanezcan operativas después del evento sísmico de gran magnitud, bastantes reservorios de agua se construyen en la zona sísmica 4 ($Z= 0.45$), el tipo de suelo de rango (rango VS30 entre 500 m / s y 1 500 m / s) S1, y el tipo de suelo rango S2 (VS30 entre 180 m / s Y 500 m / s). Z es el factor de zona interpretado como la aceleración horizontal máxima en el suelo con una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años,

En nuestra normativa peruana no existe una metodología para el análisis de estas estructuras contenedoras de agua, para lo cual en esta tesis se formulará una guía de diseño sísmico para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua aplicando el modelo de Housner que considera una masa convectiva y otra impulsiva. El análisis se realizará con el espectro de respuesta de la norma E 030 y SEISMIC DESIGN OF LIQUID-CONTAINING CONCRETE STRUCTURES (ACI 350.3-06). Las respuestas de interés a analizar serán los esfuerzos

internos en las paredes, las fuerzas y momentos flectores, la fuerza cortante basal, el desplazamiento en el extremo del reservorio y la ductilidad demanda.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planeamiento del Problema

Los reservorios son estructuras de almacenamiento de agua para el consumo de la población, por lo cual no pueden quedar inoperativas después de un evento sísmico de gran magnitud, pero en los años se ha demostrado que ante eventos sísmicos severos las estructuras presentan daños e incluso llegan a colapsar, por lo que es importante un adecuado análisis sísmico. En la normativa peruana no indica una metodología para analizar este tipo de estructuras que son esenciales ya que sirven para el abastecimiento de agua a la población,

1.2. Formulación del Problema

1.2.1.- Problema principal

¿De qué manera la formulación de una guía de diseño contribuirá a mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua?

1.2.2.- Problemas Secundarios

¿De qué manera la propuesta de una guía de diseño contribuirá a mejorar el comportamiento de la estructura ante sollicitaciones sísmicas en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua?

¿De qué manera el modelo Dinámico de Housner contribuirá a mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua?

1.3. Justificación de la Investigación

Los reservorios son estructuras de concreto que se utilizan para el almacenamiento del agua, los cuales no pueden quedar inoperativas después del evento sísmico, en el Perú no existe una metodología para el diseño de este tipo de estructuras por lo cual los resultados no son confiables.

La norma E.030 no contempla los parámetros sísmicos para este tipo de estructuras, por lo cual se han reportado fallas por el pobre comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos pasados, por ejemplo, se reportó los daños de 04 reservorios durante el evento sísmico de Pisco del año 2007 (volumen 3050 m³ de agua), dejando parcialmente desabastecida a la población. Por tanto, con esta tesis se busca proponer una guía para el análisis sísmico de reservorios a fin de proponer una metodología para el análisis dinámico y así obtener resultados confiables con los cuales realizar el diseño estructural de los reservorios.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Formular una guía de diseño que contribuya a mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua

1.4.2. Objetivos específicos

Formular una guía de diseño para mejorar el comportamiento de la estructura ante sollicitaciones sísmicas en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua

Evaluar el modelo Dinámico de Housner para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua

Determinar los parámetros a utilizar para el análisis sísmico de los reservorios, para lo cual se empleará códigos extranjeros como el ACI-350.3, el ACI 371, y la norma peruana de diseño sismo resistente E 0.30

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO

2.1. Estado del arte

El análisis sísmico de los reservorios requiere consideraciones esenciales, debido a las fuerzas hidrodinámicas ejercidas en el fluido sobre la pared del reservorio, a lo largo de los estudios se ha demostrado la respuesta que existen ante sollicitaciones sísmicas se ve afectada por la interacion fluido – Estructura (Livaoglu y Dogangun, 2006).

Durante años se ha investigado las interaccion fluido – estructura, A partir de ensayos (Graham y Rodriguez, 1952) se ha comprobado que el líquido vibrante dentro del reservorio tiene dos componentes, una que se mueve con el Reservorio (componente impulsiva) y otra que representa el movimiento de olas en superficie (componente convectiva). Housner (Housner, 1954 y 1957) propuso el primer modelo simplificado (MSM) para el cálculo de la respuesta dinámica, que sigue siendo ampliamente utilizado. En estudios posteriores, el modelo de Housner de MSM ha sido modificado para tener en cuenta la flexibilidad de la pared del Reservorio. Veletsos y Yang (Veletsos y Yang, 1976) utilizaron una masa para describir el efecto impulsivo y dos masas para el efecto convectivo . Haroun y Housner (Haroun y Housner, 1981; Haroun, 1983) dividen la masa impulsiva en dos partes; una parte rígidamente conectada al Reservorio y otra que representa la masa que participa con un movimiento relativo debido a la deformación de la pared del Reservorio. Malhotra (Malhotra, 2000) realizó modificaciones a las propiedades del MSM simplificado propuesto por Veletsos y Yang

(Veletsos y Yang , 1976). El procedimiento tiene en cuenta las acciones impulsivas y convectivas del líquido en reservorios con fundaciones rígidas.

En los últimos años se han realizados investigaciones utilizando aisladores sísmicos ((Hwan, 2004; Shekari, 2008; Curadelli, 2013), para reducir la respuesta sísmica ante eventos de gran magnitud (Fuerzas cortantes, desplazamientos y momentos volcantes).

2.2. Daños en reservorios ante sollicitaciones sísmicas

Los reservorios deben permanecer funcionales en el periodo posterior al terremoto para asegurar el suministro a la población de agua y para cualquier eventual incendio que puede ocurrir durante los sismos. A continuación, mencionamos las fallas que se han presentado:

Terremoto de Chile (22 de mayo de 1960) reservorio elevado de Hotel Puerto Varas, el terremoto fue de una magnitud de 8.5 Mb, la capacidad del reservorio elevado fue de 50 m³, el soporte fue aporticado con columnas cuadradas de 0.40 x 0.40 separados a unos 1.80 m, durante el evento sísmico donde se formaron las rotulas plásticas fue en las vigas producto de la elevada fuerza cortante como se ve en la figura, en las columnas no se presentaron fallas.



Figura 2.2.1 Daños estructurales de Reservorio Elevado de 50 m³ después del terremoto de 8.7 magnitud (Chile 1960).

Terremoto en la india en 2001 con una magnitud $M= 7.7$ BHUJ, el reservorio tenía una capacidad de 100 m³, durante el evento sísmico donde se formaron las rotulas plásticas fueron entre las conexión columna- viga, lo cual creó una inestabilidad y posteriormente al colapso de estructura, las fallas fueron por corte.



Figura 2.2.2 Colapso del reservorio elevado de 100 m³ después del terremoto de 7.7 de magnitud BHUJ (India 2001)

Terremoto de El-Asnam de 1980, Argelia, el terremoto tuvo una magnitud de 7.2 Mb, el reservorio fallo por torsión, el centro inercia con el centro de rigidez no coincidían por tanto ante las sollicitaciones sísmicas colapso.



Figura 2.2.3 Colapso del reservorio elevado después del terremoto de 7.2 de magnitud [Argelia, 1980]

El 15 de agosto del 2007 ocurrió un sismo con una magnitud de 7.9 escala del momento, en la ciudad de Ica, los daños presentados en reservorios se detallan a continuación.

ITEM	Reservorios	Volumen	Año	Estado Actual	Tipo
1	Angostura Limón	350.00	1989	Regular	Elevado
2	Angostura Limón	400.00	2005	Regular	Apoyado
3	Urb. San Joaquín	1,000.00	1966	Regular	Elevado
4	Balneario	375.00	1966	En mal Estado	Apoyado
5	Urb. San Isidro	350.00	1966	Dañado requiere	Elevado
6	Urb. José de la	1,500.00	1971	Req. Rehabilitación	Elevado
7	Estadio José	1,500.00	1971	Bueno	Elevado
8	AA.HH.	1,000.00	1989	Req. reforzamiento	Apoyado

9	Urb. Angostura	600.00	1982	Bueno	Elevado
10	Caserío de	20.00	1982	En mal Estado	Elevado
11	P. J . Sta. Rosa	500.00	1991	Regular	Apoiado
12	Reservorio Central	1,200.00	1994	En mal Estado	Elevado
13	P. J	160.00	1991	Regular	Apoiado
Total en m3		8,955.00			

Tabla 2.2.1 Evaluación de Reservorios tras el sismo de Pisco 15 de Agosto 2007

(Fuente: J. Kuroiwa 2012)



Figura 2.2.4 Falla estructural en viga de reservorio elevado después del terremoto de 7.29 de magnitud [Pisco, 2007].

2.3. Tipos de Reservorios

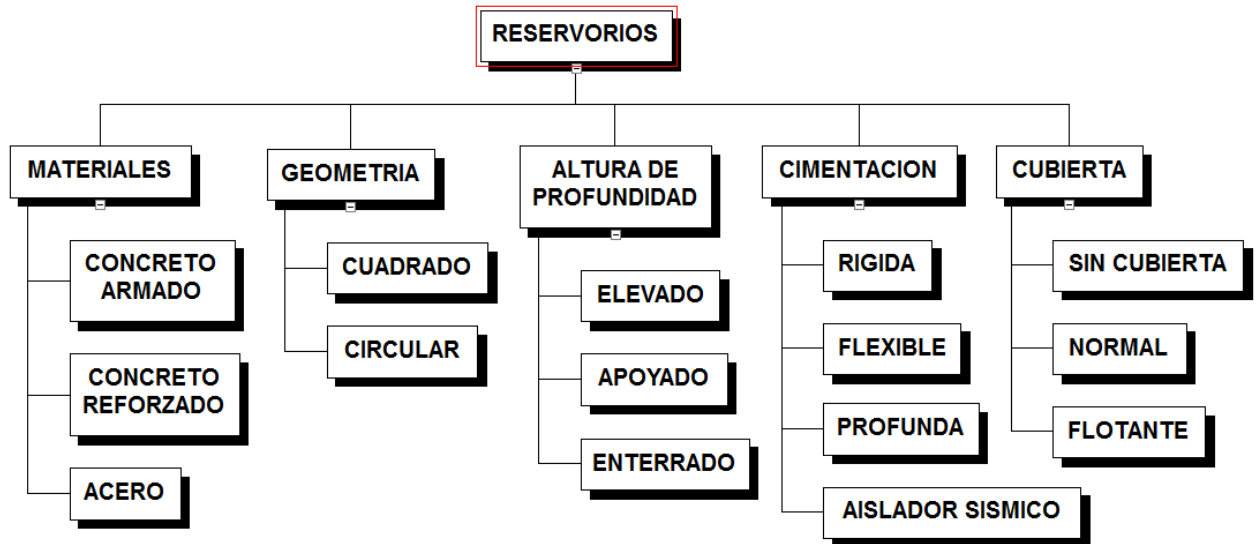


Figura 2.2.5 Tipos de reservorios

2.4. Estudio del Comportamiento de Reservorios Sometidos a Sismos

Las presiones hidrodinámicas durante un evento sísmico son de importancia para comprender el comportamiento de la estructura, Las primeras aproximaciones de solución a este fenómeno fueron propuestas por diversos autores como Westergaard que en 1933, determinó las presiones en una represa vertical rectangular sometida a aceleración horizontal, Jacobsen en 1949 resolvió el problema correspondiente para reservorios circulares, en 1952 Graham y Rodríguez realizaron un completo análisis de las presiones impulsivas y convectivas sobre contenedores rectangulares, etc. Las bases de las soluciones propuestas fueron tratadas similarmente pues requerían encontrar una solución a la ecuación de Laplace que satisfaga las condiciones de borde

En 1954 George W. Housner desarrolló uno de los estudios más reconocidos sobre la teoría de presiones hidrodinámicas en reservorios de almacenamiento y la idealización

de un modelo mecánico masa – resorte capaz de simplificar su respuesta. En primera instancia, el estudio y formulación analítica se aplica al comportamiento de reservorios rectangulares y desde ahí se hace extensiva a reservorios circulares. A continuación, se detalla una breve reseña de los principales postulados y formulaciones utilizadas en el estudio de Housner (1954). En el reservorio rectangular de estudio se considera una superficie de líquido completamente horizontal y a las paredes del contenedor se les aplica una aceleración horizontal \dot{u}_0 en la dirección “x” horizontal. Además, para determinar las presiones que actúan sobre las paredes del reservorio debidas a la aceleración y la interacción del líquido se deben considerar para el fluido una columna de líquido de altura h , longitud $2l$ y espesor unitario como se muestra en la Figura 2.4.1

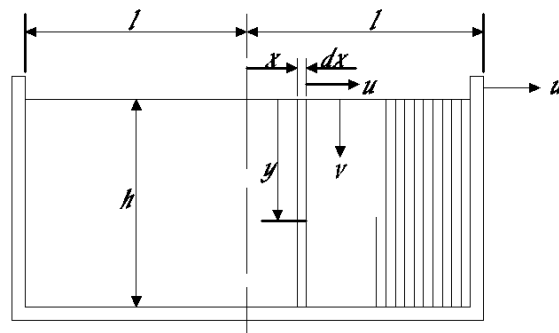


Figura 2.4.1 Reservorio rectangular de estudio

El efecto del fluido es similar al que se obtendría si la componente horizontal de la velocidad del fluido u fuera independiente de la coordenada “y”. Bajo estas condiciones el líquido actúa como si estuviera limitado entre membranas delgadas verticales sin masa espaciadas a una distancia dx entre sí. Cuando las paredes son sometidas a una aceleración, las membranas también serán aceleradas de igual forma con el fluido haciendo que el fluido se presione verticalmente con respecto a las membranas.

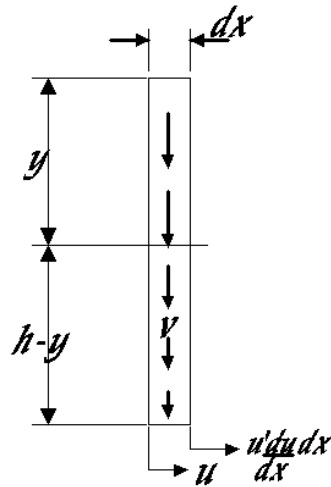


Figura 2.4.2 Velocidad vertical v en una porción de fluido de espesor dx limitado entre dos membranas adyacentes.

Como resultado, se puede definir una velocidad vertical v que depende de la velocidad horizontal u .

$$v = (h - y) \frac{du}{dx} \quad (2.4.1)$$

Dado que el fluido se considera incompresible, la aceleración vertical \dot{v} es proporcional a la velocidad v , lo mismo sucede para la aceleración horizontal \dot{u} y u . Por tanto, la presión en el fluido entre dos membranas está dada por:

$$\frac{\delta p}{\delta y} = -\rho \dot{v} \quad (2.4.2)$$

Donde ρ es la densidad del fluido y la fuerza horizontal total en una membrana es:

$$P = \int_0^h p dy \quad (2.4.3)$$

Para obtener una expresión para la presión en la pared, en primer lugar se obtiene la ecuación correspondiente a p .

$$p = -\rho \int_0^y (h - y) \frac{d\dot{u}}{dx} dy = -\rho h^2 \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \frac{d\dot{u}}{dx} \quad (2.4.4)$$

Esta expresión de p es reemplazada en la ecuación de la fuerza total P sobre la membrana.

$$P = -\rho h^2 \int_0^h \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \frac{d\dot{u}}{dx} dy = -\rho \frac{h^3}{3} \frac{d\dot{u}}{dx} \quad (2.4.5)$$

De esta forma se obtiene una expresión para la fuerza sobre las paredes que es resuelta cuando la velocidad horizontal u es conocida. El problema del cálculo de dicha velocidad se determina mediante el Principio de Hamilton que relaciona la energía cinética y potencial en forma de integrales múltiples con límites de integración adecuados. La solución simplificada da como resultado una ecuación diferencial para resolver la velocidad horizontal u .

$$\frac{d^2u}{dx^2} - \frac{3}{h}u = 0 \quad (2.4.6)$$

La solución de esta ecuación y sus condiciones de borde se muestran a continuación:

$$\dot{u} = C_1 \cosh \sqrt{3} \frac{x}{h} + C_2 \sinh \sqrt{3} \frac{x}{h} \quad (2.4.7)$$

$$\dot{u} = \dot{u}_0 \text{ en } x = \pm l$$

Por tanto la solución para \dot{u} es:

$$\dot{u} = \dot{u}_0 \frac{\cosh \sqrt{3} \frac{x}{h}}{\cosh \sqrt{3} \frac{l}{h}} \quad (2.4.8)$$

De esta forma se obtiene una expresión reducida para la presión actuante sobre las paredes mayoritariamente asociada el modo impulsivo:

$$p_w = \rho \dot{u}_0 h \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \sqrt{3} \tanh \sqrt{3} \frac{l}{h} \quad (2.4.9)$$

Dadas estas expresiones se reconoce que la aceleración \dot{u}_0 produce un incremento de presión en una pared y una disminución en la otra, es decir, se observa el comportamiento oscilatorio del fluido. Ahora se presenta la forma en que se deducen las expresiones para el movimiento oscilatorio del fluido asociado al modo convectivo:

$$u = \frac{l^2 - x^2}{2} \frac{d\theta}{dy} \quad (2.4.10)$$

$$v = \theta \dot{x} \quad (2.4.11)$$

Los efectos de las presiones impulsivas hacen que la parte superior del fluido tienda a oscilar y por tanto que tenga modos fundamentales de vibrar, para encontrar estos modos se considera que el fluido está limitado entre membranas rígidas a las que se les permite rotar como se muestra en la Figura 2.4.3.

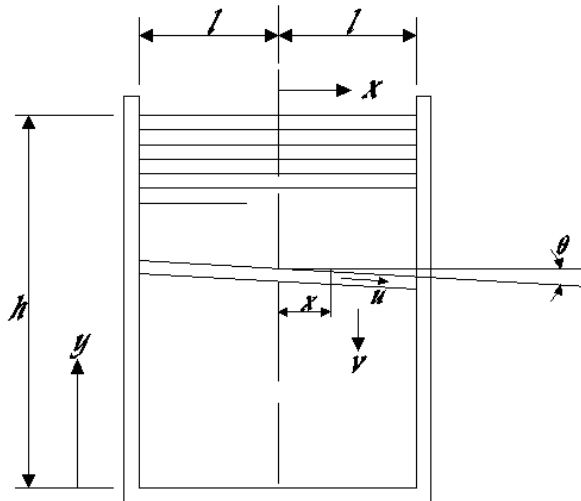


Figura 2.4.3 Restricciones y condiciones consideradas para evaluar los modos de vibración

A partir de las ecuaciones mostradas anteriormente, se definen dos expresiones para encontrar la presión del líquido ejercida sobre la pared de la siguiente forma:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \dot{u} \quad (2.4.12)$$

$$p = -\rho \frac{l^3}{2} \left(\frac{x}{l} - \frac{1}{3} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right) \frac{d\ddot{\theta}}{dx} \quad (2.4.13)$$

Aplicando la ecuación de movimiento para una porción del fluido, se puede encontrar una ecuación diferencial del tipo $\frac{d^2\ddot{\theta}}{dy^2}$, la cual al resolverla para las condiciones de borde apropiadas, resulta en una expresión para oscilaciones de forma sinusoidal.

$$\theta = \theta_0 \frac{\sinh \sqrt{\frac{5y}{2l}}}{\sinh \sqrt{\frac{5h}{2l}}} \sin \omega t \quad (2.4.14)$$

Donde ωt , frecuencia angular por tiempo.

Para determinar la frecuencia circular angular de vibración que define el comportamiento oscilatorio del fluido, se utiliza la máxima energía cinética y la máxima energía potencial de tal forma que se obtiene una expresión general para ω .

$$\omega_n^2 = \frac{g}{l} n \sqrt{\frac{5}{2}} \tanh \left(n \sqrt{\frac{5h}{2l}} \right) \quad (2.4.15)$$

Donde n representa el enésimo modo.

De esta forma se deriva una expresión para la presión en las paredes debido al movimiento oscilatorio:

$$p_w = \left(\rho \frac{l^3}{3} \sqrt{\frac{5}{2}} \frac{\cosh \left(\sqrt{\frac{5y}{2l}} \right)}{\sinh \left(\sqrt{\frac{5h}{2l}} \right)} \right) \omega^2 \theta_0 \sin \omega t \quad (2.4.16)$$

En este resumen del estudio realizado por George W. Housner se presentaron los puntos principales de la conceptualización del análisis hecho para reservorios rectangulares. A

partir de la base teórica presentada y las expresiones encontradas, el autor las hace extensivas a Reservorios cilíndricos apoyados en la base.

2.5. Extensión del Estudio a Reservorios Cilíndricos

En el reservorio circular el líquido está limitado entre membranas fijas paralelas al eje “x”, cada porción de líquido de espesor unitario puede ser abordada como si fuera una sección de un reservorio rectangular esbelto. Por lo tanto las expresiones derivadas anteriormente pueden ser aplicadas para el caso de los reservorios cilíndricos, en la que la presión ejercida contra la pared del reservorio asociada al modo impulsivo se obtiene a partir de la ecuación (2.17)

$$p_w = -\rho\dot{u}_0 h\sqrt{3} \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \tanh \left(\sqrt{3} \frac{R}{h} \right) \cos\theta \quad (2.5.1)$$

Nótese el uso de la longitud del radio R que reemplaza a l en la ecuación para reservorios rectangulares. Otro parámetro a tomar en cuenta es la presión en el fondo del reservorio (base) cuya expresión es:

$$p_b = \rho\dot{u}_0 h \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.5.2)$$

Donde: $l^2 = R^2 - x^2$

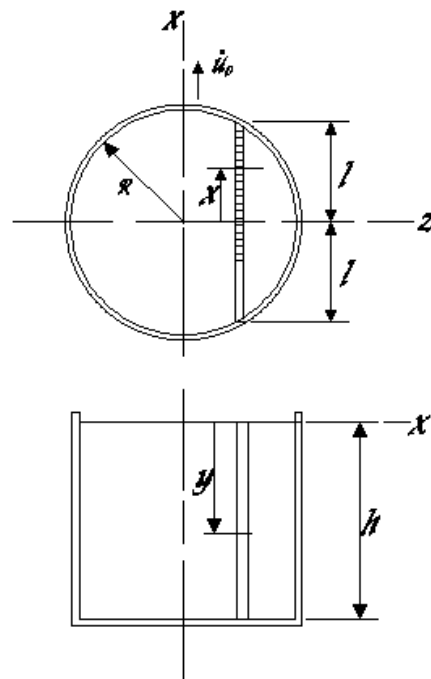


Figura 2.5.1 Planta y elevación de reservorio circular

Para reservorios esbeltos como el que se muestra en la Figura 2.5.2 la parte de fluido por debajo de h se considera que se mueve solidariamente con el reservorio de forma rígida.

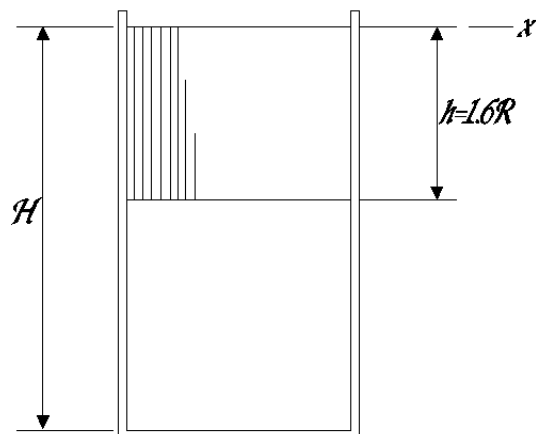


Figura 2.5.2 Reservorio circular esbelto

Tomando la expresión de la presión p_w se puede determinar la ecuación para la fuerza total sobre las paredes.

$$\int_0^h \int_0^{2\pi} p_w \cos\theta R d\theta dy = -\rho \dot{u}_0 \pi R^2 h \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{3R}{h}}\right)}{\sqrt{\frac{3R}{h}}} \quad (2.5.3)$$

La fuerza ejercida tiene el mismo efecto que tendría una masa equivalente M_o , que se moviese solidariamente con el reservorio (base de la formulación de los modelos equivalentes), la expresión correspondiente es:

$$M_o = M \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{3R}{h}}\right)}{\sqrt{\frac{3R}{h}}} \quad (2.5.4)$$

Para ejercer un momento igual al que produce la presión del fluido en la pared, esta masa M_o debe ubicarse a una altura h_o por encima de la base.

$$h_o = h \frac{3}{8} \quad (2.5.5)$$

Si los efectos del momento producido por las presiones en el fondo del reservorio se incluye, la masa M_o se ubica a una altura igual a:

$$h_o = h \frac{3}{8} \left(1 + \frac{4}{3} \left(\frac{\sqrt{\frac{3R}{h}}}{\tanh\left(\sqrt{\frac{3R}{h}}\right)} - 1 \right) \right) \quad (2.5.6)$$

Para determinar las presiones asociadas al primer modo de vibración (primer modo convectivo) del líquido se deben considerar las restricciones dadas por membranas horizontales libres a rotación como se muestra en la Figura 2.10.

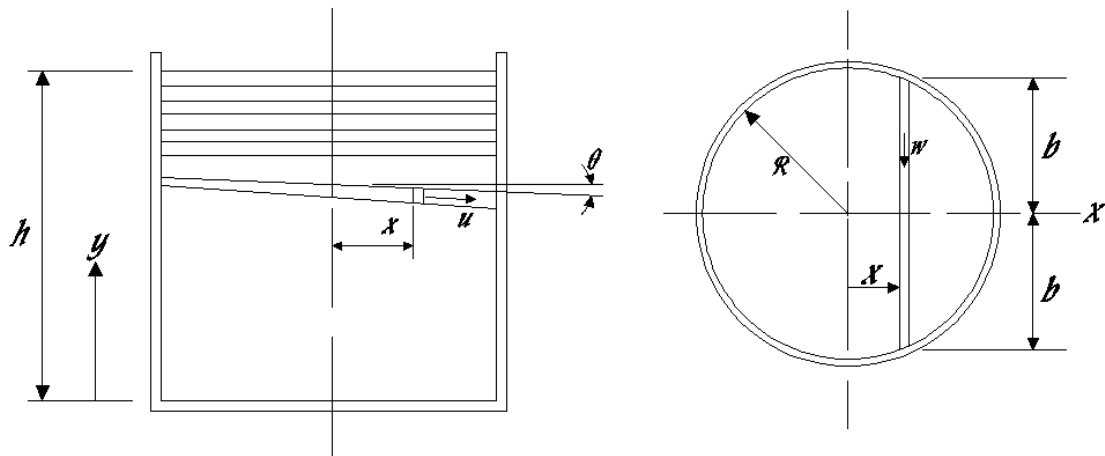


Figura 2.5.2 Reservorio circular

Se definen las variables u, v, w como las componentes de velocidad en las direcciones x, y, z respectivamente y a las cuales se les da restricciones de flujo de tal forma que:

- A un valor dado de “ x ”, “ y ” se mueve con la misma velocidad v .
- A un valor dado “ x ”, el fluido se mueve con u uniforme.

De manera análoga al trabajo realizado para reservorios rectangulares, la energía cinética total y la energía potencial del fluido son utilizadas mediante el Principio de Hamilton para llegar a dos expresiones del movimiento oscilatorio del fluido:

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta y^2} - \frac{I_z}{K} \dot{\theta} = 0 \quad (2.5.7)$$

Donde I_z representa el momento polar de inercia.

$$\frac{\delta^2}{\delta t^2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_h + g I_z \theta_h = 0 \quad (2.5.8)$$

A partir de estas ecuaciones se obtienen otras expresiones para definir los parámetros correspondientes a las vibraciones libres:

$$\theta = \theta_0 \frac{\sinh \sqrt{\frac{l_z}{k}} y}{\sinh \sqrt{\frac{l_z}{k}} h} \sin \omega t \quad (2.5.9)$$

$$\omega^2 = g \sqrt{\frac{l_z}{k}} \tanh \left(\sqrt{\frac{l_z}{k}} \right) h \quad (2.5.10)$$

Este análisis es general y aplica a cualquier contenedor cilíndrico para el cual los ejes “x”, “y” son ejes de simetría. Particularmente, la solución para el reservorio de estudio se presenta a continuación:

$$\omega^2 = \frac{g}{R} \sqrt{\frac{27}{8}} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \right) \frac{h}{R} \quad (2.5.11)$$

La presión en el fluido se expresa mediante dos ecuaciones del tipo $\frac{\delta p}{\delta z} = -\rho \dot{w}$, $\frac{\delta p}{\delta x} = -\rho \dot{u}$ que provienen de la definición de las componentes de velocidad. Al evaluarse se obtiene una ecuación general para la presión del fluido en el reservorio cilíndrico. De esta forma se determina la presión en la pared cuya ecuación es:

$$p_w = -\rho \frac{\delta \ddot{\theta}}{\delta y} \frac{R^2}{3} \left(1 - \frac{\cos^2 \theta}{3} \right) \cos \theta \quad (2.5.12)$$

Y la fuerza horizontal total sobre la pared es:

$$P = -\pi \frac{1}{4} \rho \omega^2 R^4 \theta_0 \sin \omega t \quad (2.5.13)$$

Se puede considerar que los efectos de esta fuerza son producidos por una masa M_1 (base de la formulación de los modelos equivalentes) con un movimiento oscilatorio horizontal que puede representarse por un movimiento armónico mediante la siguiente expresión:

$$x_1 = A_1 \sin \omega t \quad (2.5.14)$$

Donde la masa equivalente M_1 asociada al modo convectivo y su coeficiente A_1 son:

$$M_1 = M \frac{1}{4} \sqrt{\frac{27}{8}} \frac{R}{h} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right) \quad (2.5.15)$$

$$A_1 = \theta_o h \frac{1}{\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{R}{h} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right)} \quad (2.5.16)$$

Para que M_1 produzca el mismo momento que las presiones en la pared, esta masa equivalente se debe ubicar a una altura h_1 por encima de la base (incluyendo los efectos de la presión en el fondo).

$$h_1 = h \left(1 - \frac{2 \cosh \sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} - \frac{31}{16}}{\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \sinh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right)} \right) \quad (2.5.17)$$

Una vez definidas las bases teóricas del origen de las presiones hidrodinámicas se puede definir, junto a algunas simplificaciones conceptuales, un modelo mecánico del tipo masa – resorte para representar la respuesta de un sistema reservorio – líquido que se muestra en la siguiente sección.

2.6. Modelos Mecánicos Simplificados

2.6.1. Modelo de Housner (1954)

Housner para representar el comportamiento del fluido de una forma simplificada realiza un modelo simplificado donde una porción del líquido permanece rígidamente fija a las paredes (Masa Impulsiva), y una serie de masas que representan el movimiento oscilatorio unidas a las paredes del tanque mediante resortes de rigidez K .

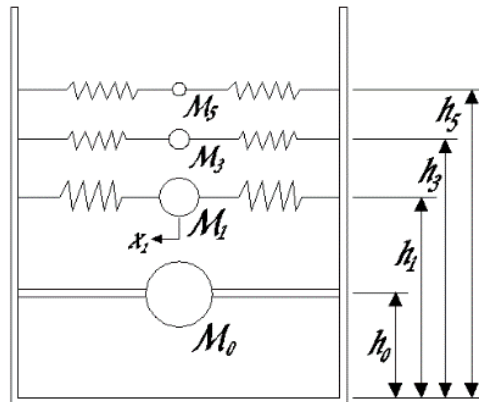


Figura 2.6.1.1 Modelo mecánico equivalente según Housner (1954).

2.6.2. Modelo de Housner (1963)

El modelo mecánico muestra una simplificación al modelo de Housner (1954), en el cual solo considera una masa convectiva que representa el movimiento del oleaje de la superficie libre, la masa impulsiva se considera rígidamente unida a las paredes del reservorio. En este modelo m_i , h_i representan la masa y altura impulsiva efectiva del líquido respectivamente, lo mismo sucede para la componente convectiva m_c , h_c .

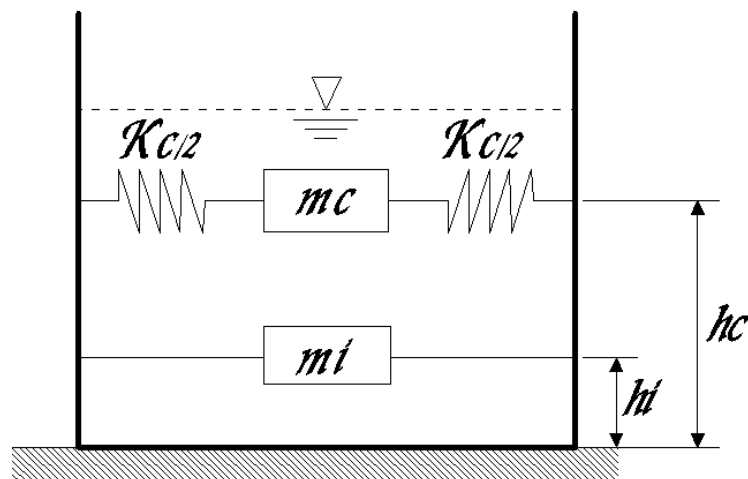


Figura 2.6.2.1 Modelo Mecánico Equivalente según Housner (1963)

2.6.3. Modelo de Veletsos y Yang (1976)

Este modelo es una aproximación a la solución de los efectos de la flexibilidad de las paredes investigada solamente para la respuesta impulsiva y no se considera los efectos de flexibilidad en el modo convectivo debido a que estas oscilaciones están dominadas por oscilaciones de periodos muchos más grandes que las impulsivas y por tanto se espera que sus efectos sean similares a los considerados en las de reservorio rígido.

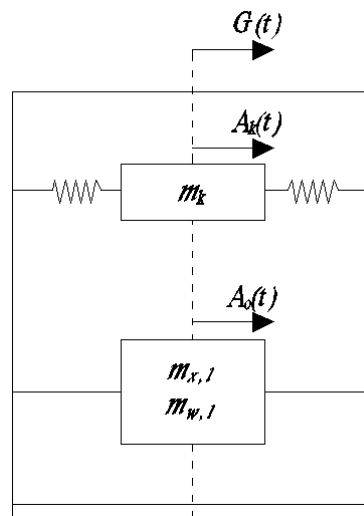


Figura 2.6.3.1 Modelo Mecánico Equivalente según Veletsos y Yang (1976).

2.6.4. Modelo de Haroun y Housner (1981)

El modelo de Haroun y Housner (1981) nace de la necesidad de mejorar la forma en que se abordaba el problema de la deformación de las paredes del reservorio, por tanto este nuevo modelo se origina como una extensión de estudios anteriores realizados por Housner (1954, 1963) en los que se asumía que las paredes son rígidas.

La base conceptual del estudio considerada al reservorio de almacenamiento mediante un sistema de coordenadas cilíndricas dentro de las cuales, entre otros parámetros, se

definen componentes de desplazamiento en la membrana para representar la deformación de las paredes. Adicionalmente, se reconoce que los efectos de la respuesta hidrodinámica están dados por la superposición de oscilaciones de estos tipos:

- Componente convectiva asociada a periodos largos.
- Componente impulsiva “rígida” que se mueve en sincronía con la aceleración horizontal y del reservorio.
- Componente impulsiva “flexible” asociada a periodos cortos representando las vibraciones de la pared deformable.

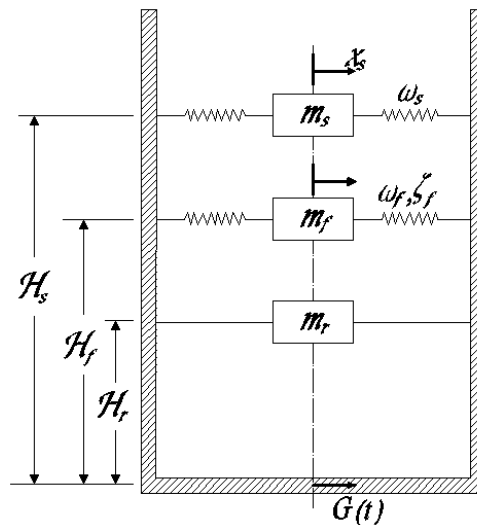


Figura 2.6.4.1 Modelo Mecánico Equivalente según Haroun y Housner (1981).

2.6.5. Modelo de Malhontra

El modelo de Malholtra et. al. (2000) es parte de un estudio para simplificar el procedimiento de diseño sísmico de reservorios circulares apoyados en la base. El

procedimiento propuesto toma en cuenta las acciones impulsivas y convectivas del líquido contenido sobre reservorios de acero u hormigón fijados sobre cimentaciones rígidas. El alcance de este estudio aborda únicamente el análisis elástico de Reservorios totalmente anclados y rígidamente soportados.

El procedimiento presentado está basado en estudios anteriores principalmente a los realizados por Veletsos con ciertas modificaciones para simplificar su aplicación, haciendo que el procedimiento sea simple, preciso, y aplicable a una cantidad amplia de Reservorios de diferentes relaciones altura – radio (H/R). A continuación se presentan algunas de las modificaciones realizadas:

- Representar la respuesta dinámica del sistema reservorio – líquido solamente con los primeros modos impulsivos y convectivos.
- Combinar la masa modal impulsiva mayor con el primer modo impulsivo. Lo mismo sucede para el modo convectivo.
- Ajustar las alturas de los modos para tomar en cuenta los efectos volcantes de los modos más altos.
- Generalizar la expresión del periodo impulsivo para que pueda ser usada para Reservorios de acero y hormigón de diferentes espesores.

El modelo mecánico simplificado se presenta en la Figura 2.6.4.1, en él se puede observar las masas y alturas efectivas $m_i h_i$, $m_c h_c$ asociada al modo impulsivo y convectivo respectivamente. Nótese que no existe una masa asociada a la vibración de las paredes

flexibles como en algunos de los modelos mecánicos presentados anteriormente, sin embargo se puede observar la diferenciación de amortiguamientos para los espectros de respuesta elástica relacionada a cada masa. El estudio señala que el amortiguamiento adecuado para los espectros de respuesta debe ser de 0.5% para el modo convectivo y 2% para el modo impulsivo en el caso de reservorios de acero. Con las observaciones mencionadas anteriormente, el modelo mecánico representado por un sistema de un grado de libertad se muestra a continuación:

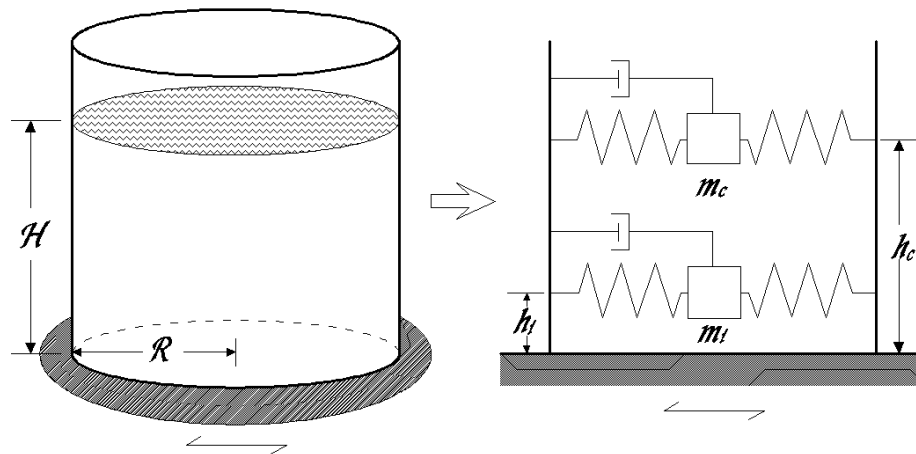


Figura 2.6.5.1 Modelo Mecánico Equivalente según Malholtra et al. (2000).

2.6.6. Modelos de mecánicos con aisladores sísmicos

El método convencional de diseño ante terremotos es aumentar la resistencia de la estructura para que pueda tener tolerancias antes eventos de gran magnitud, como consecuencia se aplicarían mayores fuerzas a la estructura, por el contrario, el efecto de la entrada sísmica puede reducirse significativamente mediante el empleo de aisladores

sísmicos, el sistema de aislamiento funciona como un filtro que reduce la transmisión de las fuerzas sísmicas a la estructura.

El sistema de aislación sísmica busca mejorar el desempeño de la estructura a través de reducción de las fuerzas cortantes y momentos. El excelente desempeño que las estructuras aisladas han tenido durante eventos sísmicos severos (Buckle y Mayes, 1990; Kasai et al., 2013), respaldan las ventajas de esta alternativa en cuanto a aumentar considerablemente el nivel de seguridad para las personas y la operatividad de las estructuras. Además, estudios teóricos, análisis numéricos y ensayos de laboratorio demuestran el buen comportamiento que se puede lograr con los sistemas de aislación en la protección de estructuras sometidas a movimientos sísmicos severos (Naeim y Kelly, 1999; Deb, 2004; Christopoulos y Filiatrault, 2006). Por lo tanto, es importante destacar que el análisis sísmico, juega un papel importante en el desarrollo del desempeño requerido en la etapa de diseño sismoresistente de estructuras con sistema de aislación sísmica en la base.

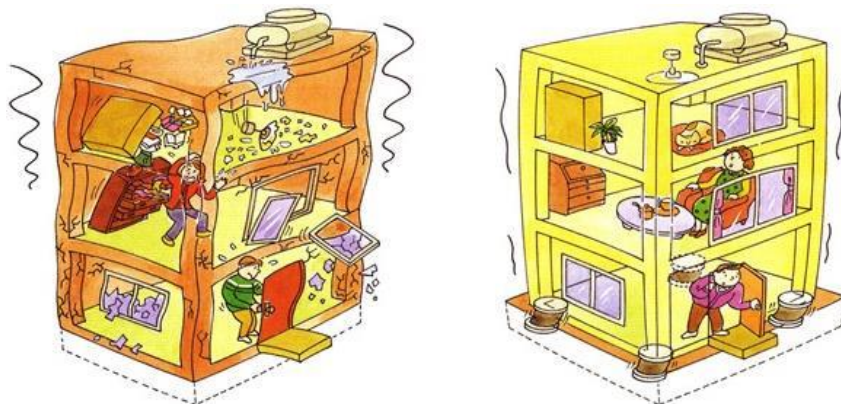


Figura 2.6.6.1 Mejora de la seguridad, funcionamiento y preservación de un edificio gracias al sistema de aislación en la base. (2000). Fuente (6)



Figura 2.6.6.2 Reservorio para almacenamiento de gas natural líquido con base aislada después del terremoto de Maule 2010 de Magnitud 8.8. Fuente (6)



Figura 2.6.6.3 Aisladores instalados en la cimentación de un tanque para almacenamiento de gas natural líquido. Fuente (6)

A continuación, se describen algunos modelos utilizados para el aislamiento sísmico de reservorios:

2.6.6.1. Modelo estructural para aislamiento con LRB

El modelo estructural utilizado es base fija y el reservorio de agua aislada, se utilizaron para estimar la apropiada respuesta sísmica (cortante en la base, momento de volteo de la pared, desplazamiento vertical del chapoteo y el desplazamiento lateral de la base del Reservorio)

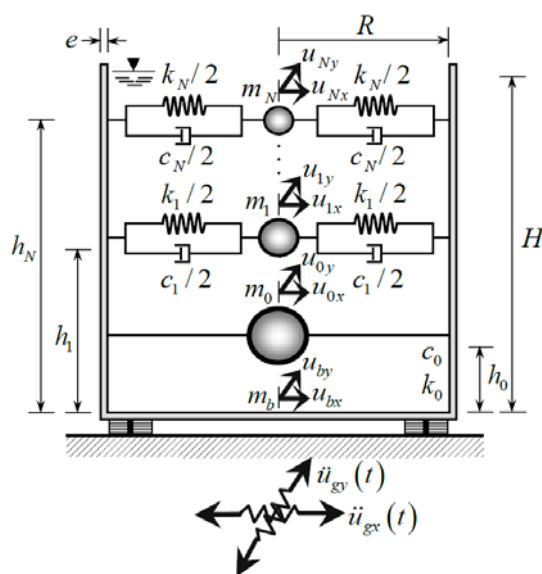


Figura 2.6.6.1.1 Modelo Mecánico con Aislador Sísmico

La masa total de agua almacenada en el reservorio está representada por una serie de masas concentradas que producen fuerzas y momentos equivalentes en las paredes del reservorio debido al movimiento horizontal del suelo durante un terremoto.

La parte del agua que participa en el deslizamiento de la superficie se llama convectiva donde k_j es la rigidez C_j es el amortiguamiento, h_j es la altura y u_j es el desplazamiento con respecto a la base del reservorio asociada a la masa convectiva M_j

La parte de la masa del agua que se mueve conjuntamente con el reservorio se denomina impulsiva donde k_0 es la rigidez C_0 es el amortiguamiento, h_0 es la altura y u_0 es el desplazamiento con respecto a la base del reservorio asociada a la masa impulsiva m_0 . Además, u_b es el desplazamiento lateral de la base del reservorio con relación al suelo, asociado a la masa neta del Reservorio m_b ; \ddot{U}_g es la aceleración terrestre del terremoto horizontal; Y $m_w = m_0 + \sum_{j=1}^{\infty} m_j = 1$

M_j es la masa total de agua [4]. Finalmente, el peso total del sistema Reservorio-agua se puede expresar como $W = m_t g$, donde $m_t = m_w + m_b$ es la masa total del sistema reservorio-agua y g es la aceleración gravitacional. Para tener en cuenta la flexibilidad del contenedor, las paredes del. Las siguientes constantes también se consideraron en los cálculos: coeficiente de amortiguación $\zeta_w = 0,5\%$ para el agua y $\zeta_{RC} = 5\%$ para el RC, módulo de elasticidad $E_{RC} = 21\ 300$ MPa y relación de Poisson $\nu_{RC} = 0,20$ para el RC, densidad $\rho_w = 1\ 000$ kg / m³ para el agua y $\rho_{RC} = 2\ 400$ kg / m³ para el RC .

El modelo de fuerzas de restauración histórica bidireccional se utilizara para representar el comportamiento histórico del sistema de aislamiento. La figura 2.6.6.1.2 muestra el modelo matemático del sistema de aislamiento LRB

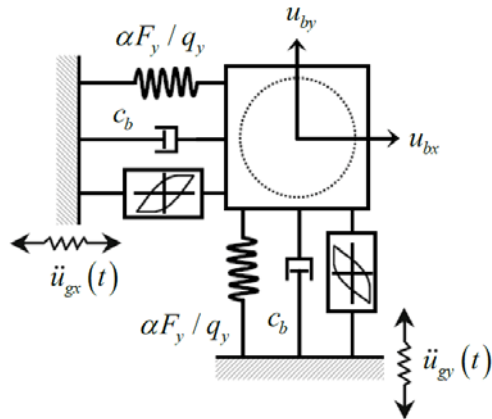


Figura 2.6.6.1.2 Modelo histerético del sistema de aislamiento LRB. Fuente (18)

Las fuerzas de restauración del sistema de aislamiento, F_{bx} y F_{by} , en las direcciones x e y , respectivamente, están dadas por las ecuaciones (2.6.6.1) y (2.6.6.2), donde α es la relación entre la rigidez lateral posterior al pre-rendimiento del sistema de aislamiento, F_y es la resistencia a la flexión del sistema de aislamiento.

$$F_{bx} = c_b u_{bx} + \alpha(F_y/q_y)u_{bx} + (1 - \alpha)F_y Z_{hx} \quad (2.6.6.1)$$

$$F_{by} = c_b u_{by} + \alpha(F_y/q_y)u_{by} + (1 - \alpha)F_y Z_{hy} \quad (2.6.6.2)$$

Z_{hx} y Z_{hy} representan los componentes históricos de las fuerzas restauradoras, u_{bx} y u_{by} son el desplazamiento lateral de la base del Reservorio con respecto al suelo en las direcciones x e y , Respectivamente, y C_b representan el amortiguamiento viscoso del sistema de aislamiento.

2.6.6.2. Modelamiento estructural para un Amortiguador de masa viscosa (VMD)

Se está estudiando la utilización un amortiguador de masa rotatorio denominado amortiguador de masa viscoso (VMD) con cojinetes de aislamiento, para controlar las

respuestas del chapoteo en periodos largos, la respuesta del chapoteo puede ser destructiva y provocar daños al reservorio como ruptura de la junta, el pandeo de la cubierta superior o el daños de techos flotantes a largos periodos.

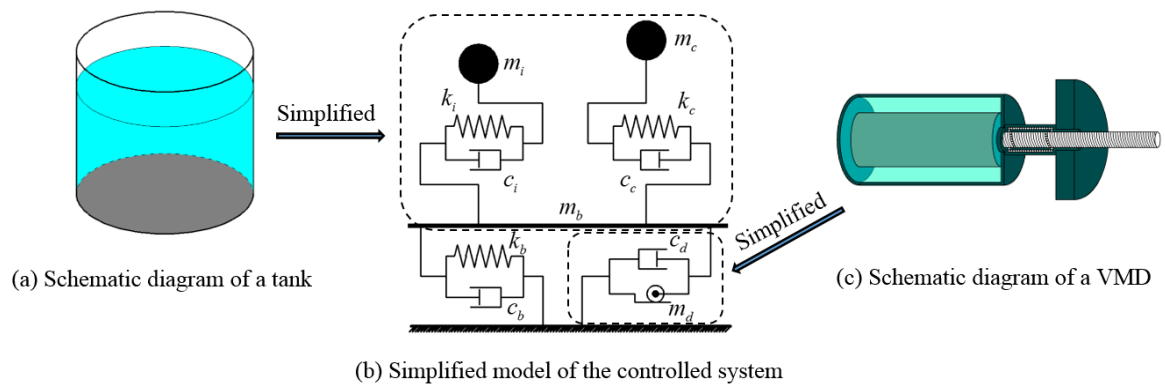


Figura 2.6.6.2.1 modelo simplificado del sistema VMD. Fuente (19)

Donde m , k y c son la masa equivalente, la rigidez equivalente y el coeficiente de amortiguación equivalente, respectivamente. Los subíndices i y c representan los componentes impulsivos y convectivo, respectivamente, y los subíndices b y d designan el sistema de aislamiento y el sistema VMD, respectivamente. Mediante el uso del método de Malhotra.

El VMD consta principalmente de dos partes, un volante y un tubo interior recubierto con fluido viscoso, ambos montados con una tornilla de bolas, a través del tornillo de bola y la tuerca de bola, el movimiento longitudinal, como la deriva de entre pisos de un edificio puede ser transferido en el movimiento de rotación de alta velocidad y el tubo

interno. En consecuencia, tanto la masa inercial equivalente del volante como el efecto viscoso pueden amplificarse significativamente.

Para derivar un modelo matemático, el volante rotativo puede simplificarse como un elemento de masa, y el fluido viscoso alrededor del tubo interno rotatorio puede idealizarse como un elemento amortiguador viscoso. Los caracteres físicos de este sistema son que los dos elementos comparten el mismo desplazamiento mientras que tienen fuerzas dependientes, que pueden ser modeladas por la conexión paralela entre el elemento de masa y el elemento viscoso. Por lo tanto, el modelo mecánico para un VMD se puede representar como se muestra en la Fig. 1, donde c_d indica el coeficiente de amortiguación equivalente del elemento amortiguador viscoso y m_d , la masa equivalente del elemento de masa giratoria.

2.7. Normas técnicas para el análisis de reservorios

En nuestro país no se dispone de una norma específica para realizar el análisis y diseño de estructuras hidráulicas, como lo son, los reservorios elevados. Existen códigos extranjeros que proporcionan recomendaciones mínimas a tener en cuenta durante la etapa de análisis y diseño. A continuación, se hace una breve descripción de algunos códigos o normas relacionados con el análisis no lineal de reservorios elevados de concreto armado.

2.7.1. ACI350.3-06

El código ACI 350.3-06, ofrece procedimientos simplificados para el análisis y diseño sísmico de estructuras de concreto armado que contienen líquido.

El capítulo 4 del ACI 350.3-06 está orientado a determinar las fuerzas generadas por el sismo. Para determinar dichas fuerzas se puede realizar un análisis estático o un análisis dinámico. Las fuerzas del análisis estático propuesto en ese capítulo se obtienen a partir de las fuerzas generadas por el comportamiento hidrodinámico del agua. Para ello, se emplea el modelo simplificado de Housner. Por otro lado, las fuerzas del análisis dinámico, se obtienen del espectro de diseño construido a partir de los parámetros de sitio y factores indicados en dicho manual. En las Tablas N° 2.1 y 2.2 se muestran los factores de importancia (I) y de reducción de la respuesta (R) que se obtienen a partir del uso y del tipo de estructura, respectivamente.

Para el caso de los reservorios elevados de agua, el factor de importancia que le corresponde es 1.25, ya que éstos pertenecen al sistema de abastecimiento de agua de la ciudad, lo que los hace parte del sistema de línea vida. Asimismo, al ser elevados, el factor de reducción R_i es dos, y el R_c es uno. El factor R_i corresponde al modo impulsivo, donde el reservorio y un porcentaje del agua se comportan como una unidad, y el factor R_c al modo convectivo, que es el movimiento aislado del agua restante. Los valores de R_i están relacionados con la ductilidad del reservorio, por ello los valores oscilan entre 1.5 y 3.25. Por otro lado, no se puede hablar de una ductilidad del agua, por ello, el factor de reducción para el modo convectivo es uno.

2.8. Normas técnicas para el análisis sísmico

2.8.1. NTE E.030

La norma técnica de edificaciones E.030, es la norma peruana que se emplea para el diseño sismorresistente de las edificaciones. En ella, se encuentran los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación y tipo de suelo. En esta investigación se tomaron los valores de la NTE E.030 aprobada en el año 2016.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Hipótesis

La formulación de una guía de diseño sísmico contribuirá a mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua.

3.2. Variables

Identificación de la variable independiente

Guía de diseño

Identificación de la variable dependiente

Respuesta sísmica

3.3. Tipo de investigación

La investigación, por su naturaleza, es de carácter teórico explicativa.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es teórico

3.5. Ámbito de estudio y Tiempo Social de la Investigación

Para estructuras de reservorios construidas en el Perú para un tiempo útil de 50 años de vida útil.

3.6. Población y Muestra

La población de estudios de esta investigación es toda la tipología de reservorios

3.7. Técnicas e Instrumentos

La técnica de recolección de datos sería la observación de textos y bibliografías

CAPITULO IV

4. PROPUESTA DE METODOLOGÍA

4.1. Generalidades

Para el análisis de sísmico de reservorios utilizaremos el modelo mecánico de Housner, calcularemos los datos de la componente impulsiva y convectiva, se definirán las características de los materiales también se definirá las dimensiones de acuerdo a la geometría, la relación L/H_L en caso de secciones rectangulares y en caso la relación D/H_L . En secciones Circulares.

4.2. Propiedades mecánicas del concreto

Definiremos las propiedades mecánicas del concreto de acuerdo a lo siguiente.

Peso Específico = 2400 kg/m³

Resistencia nominal a compresión f'_c

Módulo de elasticidad $E_c = 15000\sqrt{f'_c}$

Módulo de Ruptura $f_r = 2\sqrt{f'_c}$

Curva de comportamiento. Se asumirá el modelo esfuerzo – deformación de Whitney.

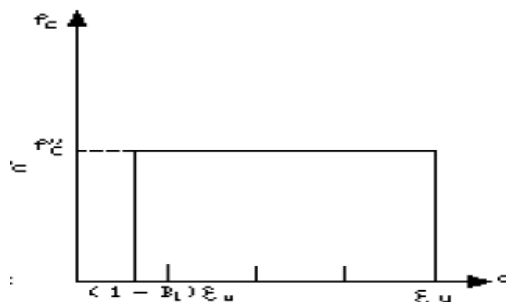


Figura 4.2.1 Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del concreto no confinado, Whitney.

4.3. Acero de Refuerzo.

Deformación Unitaria Máxima $\epsilon_c = 0.003$

Corrugado, grado 60, esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kg/cm² = 4.2 ton/cm²

Módulo de elasticidad = $E_s = 2'000,000$ kg/cm²

Deformación al inicio de la fluencia = 0.0021

Curva de comportamiento: Se simplificara idealizándola como dos líneas rectas (Park, Pauley¹) ignorando la resistencia superior de cedencia y el aumento en el esfuerzo debido al endurecimiento por deformación.

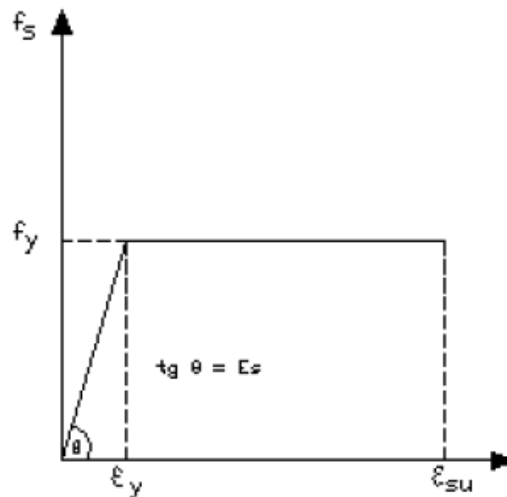


Figura 4.3.1 Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del acero.

4.4. Modelo dinámico

4.4.1. Para Reservorios Rectangulares

4.4.1.1. Determinación del Peso de la componente impulsiva y Convectiva

Para el cálculo del peso de la componente impulsiva y convectiva se realizara de acuerdo a la relación $\frac{L}{H_L}$, donde L es la longitud en la dirección del sismo y H_L es la altura del agua, para lo cual emplearemos las fórmulas de acuerdo al capítulo 9 Modelo dinámico.

4.4.1.1.1. Peso de la componente Impulsiva

$$\frac{W_I}{W_L} = \frac{\text{Tanh} \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

Donde.

W_i = *Peso de la componente Impulsiva (tn)*

W_L = *Peso del agua (tn)*

L = *largo interno de los reservorios paralelo a la direccion de la fuerza sismica (m)*

H_L = *Altura del liquido (m)*

4.4.1.1.2. Peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \text{tanh} \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

Donde:

W_c = Peso de la componente Convectiva (tn)

W_L = Peso del agua (tn)

L = largo interno de los reservorios paralelo a la dirección de la fuerza
sismica (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Factores de masas Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

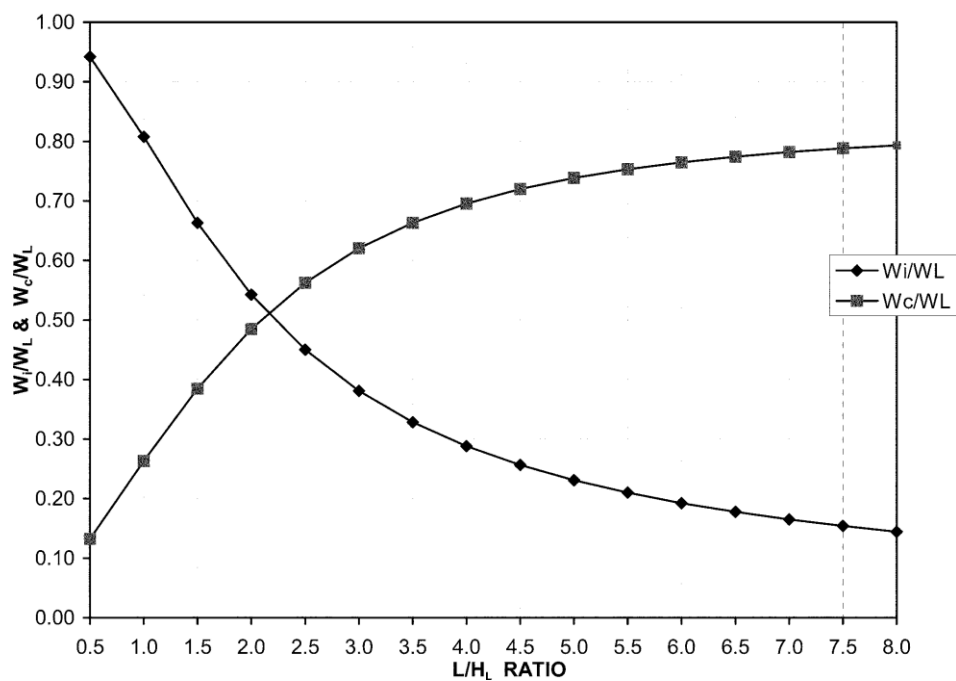


Figura 4.4.4.1.1 Factores W_i/W_L and W_c/W_L vs Relación L/H_L para Reservorios rectangulares (Fuente ACI 350.3.06).

4.4.1.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

4.4.1.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Para el cálculo de la altura de la componente impulsiva se calcula en función de la relación longitud de reservorio paralela a la dirección de sismo – Altura de líquido, se toma algunas consideraciones de acuerdo al ACI 350.03.06.

Sin Presión en la Base

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{H_L}$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

Con presión en la Base

$$\frac{L}{H_L} < 0.75 \quad \frac{h'_i}{H_L} = 0.45$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 0.75 \quad \frac{h'_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}{2 \tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}$$

Donde

h_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

h'_i = altura de la componente impulsiva con presión en la base

L = largo interno de los reservorios paralelo a la dirección de la fuerza sísmica (m)

H_L = Altura del líquido (m)

4.4.1.2.2. Altura de la componente Convectiva

Sin presión en la Base

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

Con presión en la Base

$$\frac{h'_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.16 \frac{H_L}{L} \right] - 2.01}{3.16 \left(\frac{H}{L} \right) \sinh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

Donde

h_c = altura de la componente convectiva

L = largo interno de los reservorios paralelo a la dirección de la fuerza
sismica (m)

H_L = Altura del líquido (m)

Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

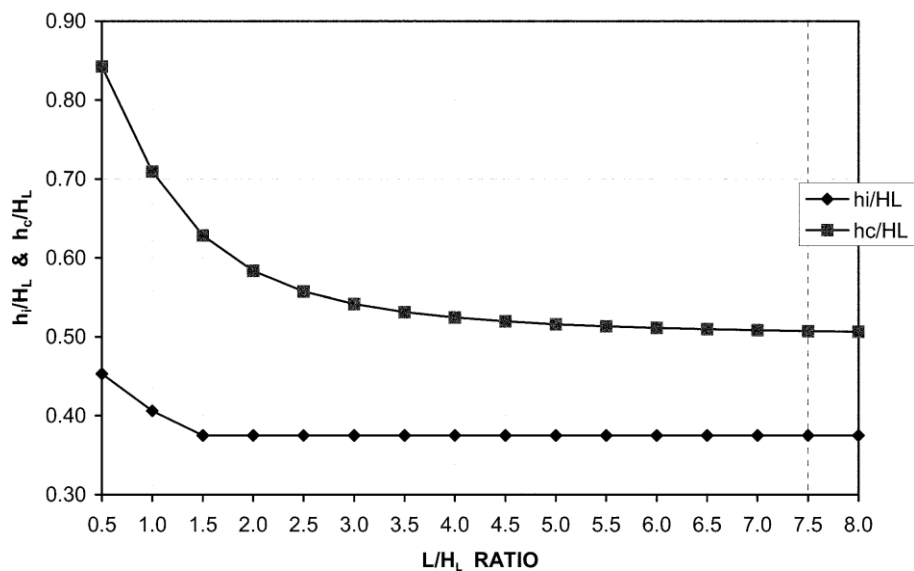


Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i/HL and h_c/HL vs relación L/HL para reservorios

Rectangulares EBP (Fuente ACI 350.3.06)

Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

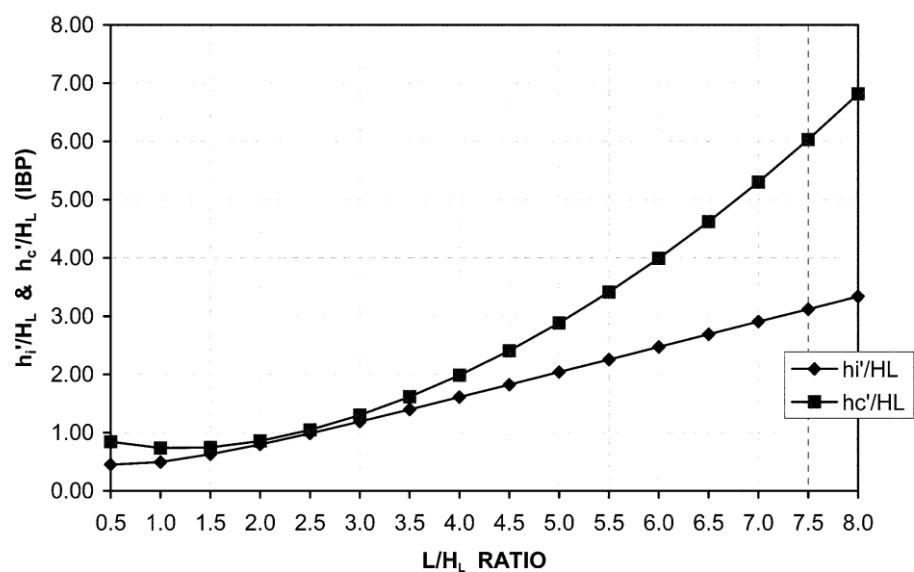


Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i'/HL and h_c'/HL vs relación L/HL para reservorios

Circulares EBP (Fuente ACI 350.3.06).

4.4.1.3. Propiedades dinámicas

4.4.1.3.1. Calculo del periodo Impulsivo

Para el cálculo del periodo de la componente impulsiva se debe calcular la frecuencia circular de modo impulsivo ω_i (rad/s) que está en función de la masa y rigidez del muro de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad m = m_w + m_i$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$T_i =$ Periodo fundamental de la componente impulsiva, seg.

$\omega_i =$ Frecuencia circular del modo impulsivo de vibracion, rad/s

$m =$ masa, $kN s^2/m^4$

$m_w =$ masa por unida de ancho, $kN s^2/m^4$

$m_i =$ masa de la componente impulsica de liquido por unidad de ancho, $kN s^2$
/m⁴

4.4.1.3.2. Calculo del periodo Convectivo

Para el cálculo del periodo de la componente convectiva se calcula la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo que está en función del coeficiente λ y de la longitud L , se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

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

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

T_c = *Periodo fundamental de la componente convectiva, seg.*

ω_c = *Frecuencia circular del modo convectivo de vibracion, rad/s*

L = *Longitud del largo interno paralelo a la fuerza sismica, m*

4.4.2. Para reservorios Circulares

4.4.2.1. Determinación del peso de la componente Impulsiva y Convectiva

Para el cálculo del peso de la componente Impulsiva y convectiva se calcula en función del peso del líquido, el diámetro y altura del agua, para lo cual se emplearan las siguientes fórmulas de acuerdo ACI 350.03.06:

4.4.2.1.1. Peso de la componente impulsiva

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

Donde.

W_i = *Peso de la componente Impulsiva (tn)*

W_L = *Peso del agua (tn)*

D = *Diametro interno (m)*

H_L = *Altura del liquido (m)*

4.4.2.1.2. Peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_C}{W_L} = 0.230 \left(\frac{D}{H_L} \right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]$$

Donde:

W_C = Peso de la componente Convectiva (tn)

W_L = Peso del agua (tn)

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Factores de Masa Impulsiva y Convectiva vs Relacion D/H_L

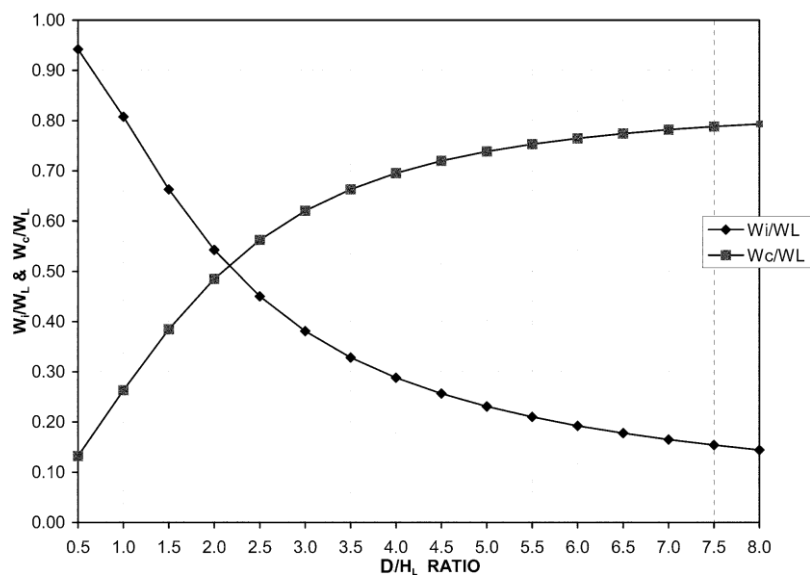


Figura 4.4.2.1 Factores W_i / W_L y W_c / W_L vs D/H_L para Reservorios Circulares.

(Fuente ACI 350.3.06)

4.4.2.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

Para el cálculo de la altura de la componente impulsiva y convectiva se calcula en función de la relación diámetro Interno – Altura de líquido, se toma algunas consideraciones de acuerdo al ACI 350.03.06 para el cálculo:

4.4.2.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Sin Presión en la Base

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} < 1.333$

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

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

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

Con presión en la Base

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} < 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_L} = 0.45$$

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} \geq 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right)}{2 \tanh \left[0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right) \right]} - \frac{1}{8}$$

Donde

h_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

h'_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

4.4.2.2.2. Altura de la componente Convectiva

Sin presión en la Base

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

Con presión en la Base

$$\frac{h'_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \sinh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]}$$

Donde

h_c = altura de la componente convectiva sin presión en la base

h'_c = Altura de la componente convectiva con presión en la base

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs Relación D/H_L

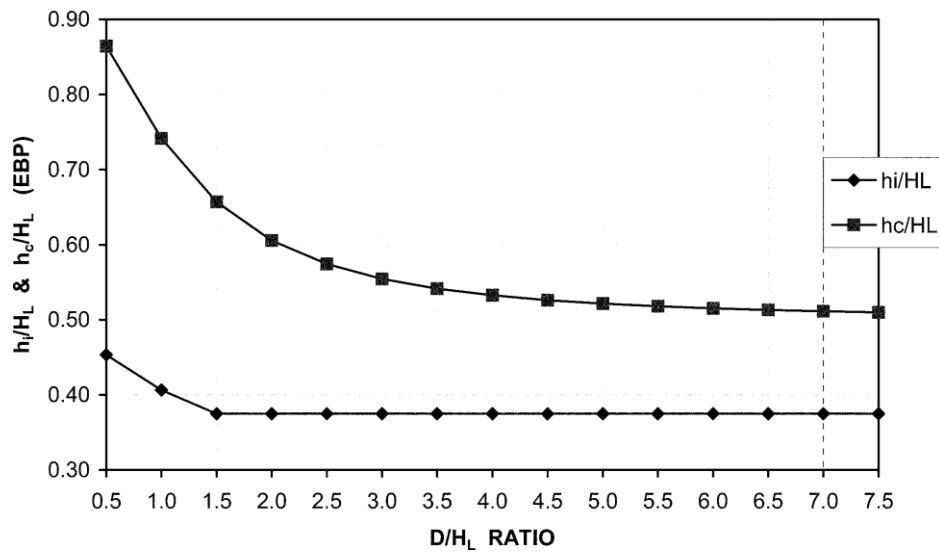


Figura 4.3.1 factores h_i/H_L y h_c/H_L versus relación D/H_L para reservorios circulares (EBP). (Fuente ACI 350.03-6)

Factores de Altura Impulsiva y Convectiva vs relación D/H_L

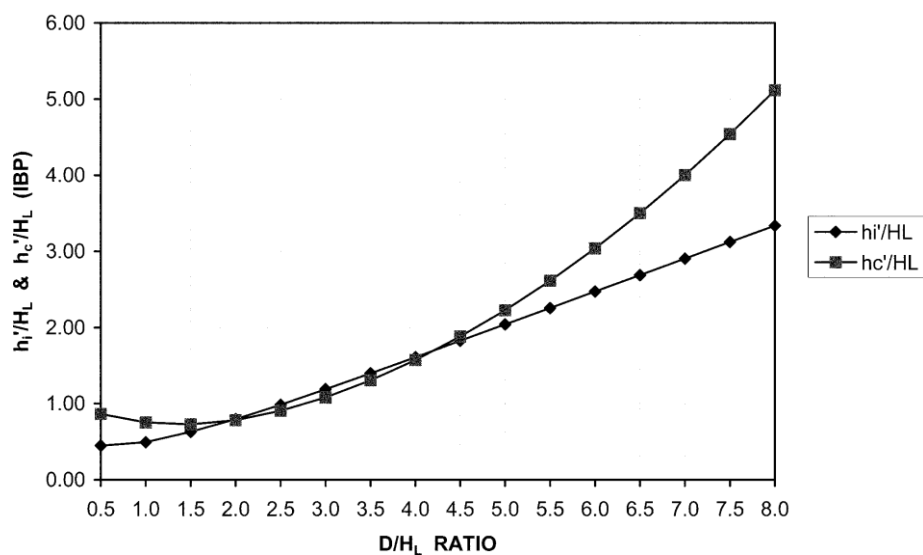


Figura 4.4.2.2 factores h_i / HL y h_c /HL versus relación D/HL para reservorios circulares (EBP). (Fuente ACI 350.03-6)

4.4.2.3. Propiedades dinámicas

4.4.2.3.1. Calculo del periodo Impulsivo

Para el cálculo del periodo de la componente impulsiva se debe calcular la frecuencia circular de modo impulsivo ω_i (rad/s), factor de amplificación del espectro periodo – dependiente para los movimientos horizontales C_l , de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\omega_i = C_l \frac{12}{H_L} \sqrt{E_c \frac{g}{\gamma_c}}$$

$$C_l = C_w 10 \sqrt{\frac{t_w}{12r}}$$

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

Donde:

T_i = Periodo fundamental de la componente impulsiva, seg.

ω_i = Frecuencia circular del modo impulsivo de vibracion, rad/s

E_c = Modulo de elasticidad del Concreto, kg/cm²

g = gravedad, 9.81 m/s²

γ_c = Peso especifico del Agua, kg/m³

C_w = Coeficiente para determinar la frecuencia fundamental del sistema.

4.4.2.3.2. Calculo del periodo Convectivo

Para el cálculo del periodo de la componente convectiva se calcula la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo que está en función del coeficiente λ y del diametro, se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

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

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

T_c = Periodo fundamental de la componente convectiva, seg.

ω_c = Frecuencia circular del modo convectivo de vibracion, rad/s

D = Diametro interno del Reservorio (m)

4.5. Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Rectangulares

$$K_c = \frac{5 W_L}{6 H_L} \tanh^2 \left(\sqrt{10} \frac{H_L}{L} \right)$$

K_c = frecuencia circular de oscilacion del primer modo convectivo (rad/seg)

H_L = Peso de la masa convectiva (Tnf)

L = Longitud (m.)

g = gravedad (m/s)

4.6. Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Circulares

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right)}{D}}$$

$$K_C = w_c \frac{W_C}{g}$$

$w_c =$ frecuencia circular de oscilacion del primer modo convectivo (rad/seg)

$W_C =$ Peso de la masa convectiva (Tnf)

$D =$ Diametro

$g =$ gravedad (m/s)

4.7. Definición de los Parámetros sísmicos

Para obtener los parámetros sísmicos utilizaremos la norma E.030 aprobado con Decreto supremo 003-2016-vivienda, en ella se encuentra los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación, tipo suelo y uso, para lo cual se tomaran los siguientes valores.

4.7.1. Factor de zona

El Perú esta zonificada en 4 zonas que fueron calculados de acuerdo a las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia

epicentral, a cada zona se asigna un factor Z se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

TABLA N° 01	
FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Tabla 4.7.1.1 Factor de Zona (Z). Fuente (Norma E.030)

4.7.2. Parámetros de sitio

El factor de suelo se obtiene en función de los perfiles de suelo que se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de ondas, para suelos granulares, el valor promedio ponderado de los \bar{N}_{60} , obtenidos mediante un ensayo de penetración (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia de corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos, para lo cual se tiene la siguiente clasificación:

Perfil tipo S_0 : Roca Dura

Perfil tipo S_1 : Roca o suelos muy rígidos

Perfil tipo S_2 : Suelos intermedios

Perfil tipo S_3 : Suelos Blandos

Perfil tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

De acuerdo a la clasificación obtenida se podrán sacar los valores del factor de suelo S y de los periodos T_P y T_L , de acuerdo a las siguientes tablas:

Suelo	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_2	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 4.7.2.1 Factor de Suelo (S). Fuente (Norma E.030).

	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_P(S)$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L(S)$	3.00	2.5	2.0	1.60

Tabla 4.7.2.2 Factor de $T_P(S)$ y $T_L(S)$. Fuente (Norma E.030)

4.7.3. Factor de amplificación sísmica (C)

De acuerdo a las características del sitio, se definirá el factor de amplificación (C) de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 T < T_P & \quad C = 2.5 \\
 T_P \leq T < T_L & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right) \\
 T \geq T_L & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P T_L}{T} \right)
 \end{aligned}$$

4.7.4. Factor de Uso

Los reservorios son estructuras esenciales, después de un evento sísmico de gran magnitud tiene que quedar operativa para el abastecimiento de la la población.

CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
A2	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo.	1.5

Tabla 4.7.4.1 Factor de Uso (U). Fuente (Norma E.030)

4.7.5. Factor de respuesta sísmica

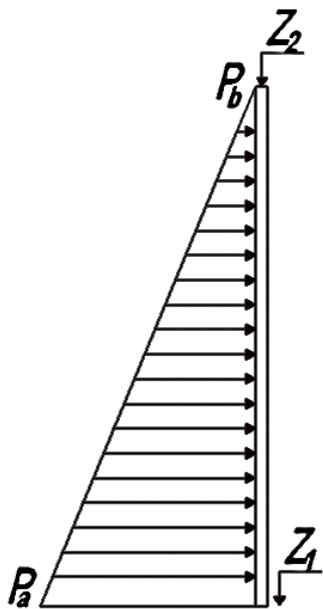
Para el análisis de sísmico vamos a tener dos factores de respuesta uno para la componente impulsiva y otra para la componente convectiva, por tanto vamos a tener dos espectros de respuesta los cuales escalaremos de acuerdo a las recomendaciones de ACI 350.3-06 para tener el espectro de respuesta a utilizar.

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

Tabla 4.7.4.1 Factor de Respuesta sísmica (R). Fuente (ACI 350-3-6)

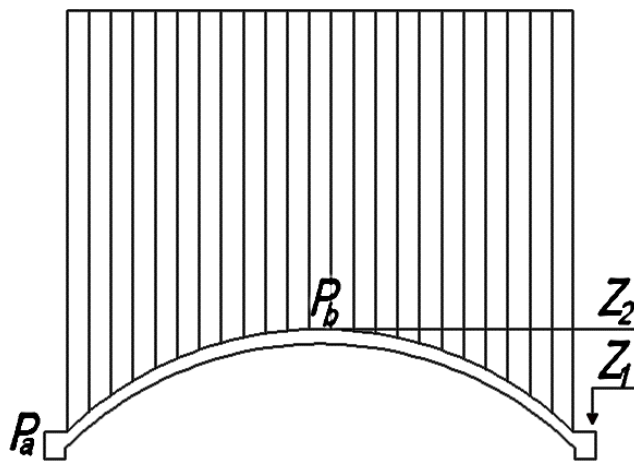
4.8. Determinación de la presión Hidrostática

La presión hidrostática o presión de líquido es una carga no distribuida ejercida por el líquido en las paredes y bases del reservorio, se calcular de acuerdo a las siguientes formulas:



$$C(Z_1) + D = P_a$$

$$C(Z_2) + D = P_b$$



$$C(Z_1) + D = P_a$$

$$C(Z_2) + D = P_b$$

4.9. Determinación del espectro de diseño de la Norma E.030

Para la determinación del espectro de respuesta sísmica se utilizarán los parámetros sísmicos Z, U, S, C y R de acuerdo a la normativa peruana, en función de los periodos se calculará la aceleración espectral.

Para la utilización del espectro de respuesta deben ser escalados por un factor de reducción, que según ACI 350.3-06 utilizaremos para la dos componentes una impulsiva y de uno para el periodo convectivo, también se debe considerar que la razón de amortiguamiento crítico para la zona del periodo convectivo es de 0.5%, por lo cual el espectro debe multiplicarse por un factor de $\beta=1.5$ de acuerdo a lo indicado en ACI 350.3-06, con lo indicado, el espectro fue dividido en dos zonas, una que corresponde a la zona de periodo convectivo y la otra para la componente Impulsiva, según la recomendación de ACI 350.3-06 el periodo donde se produce la división de las zonas es a 2.4 seg, esto se debe a que a periodos mayores a 2.4 seg existe un comportamiento Hidrodinámico y con ella la participación de la masa convectiva.

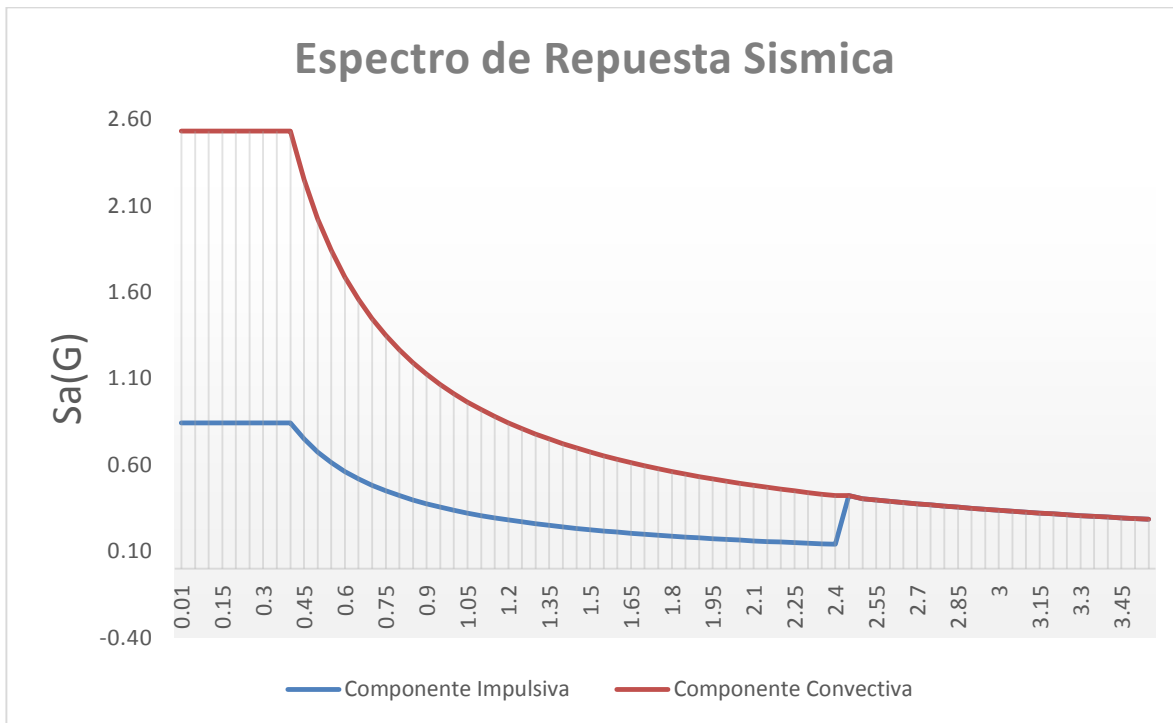


Figura 8.9.1 Espectro de Respuesta sismica

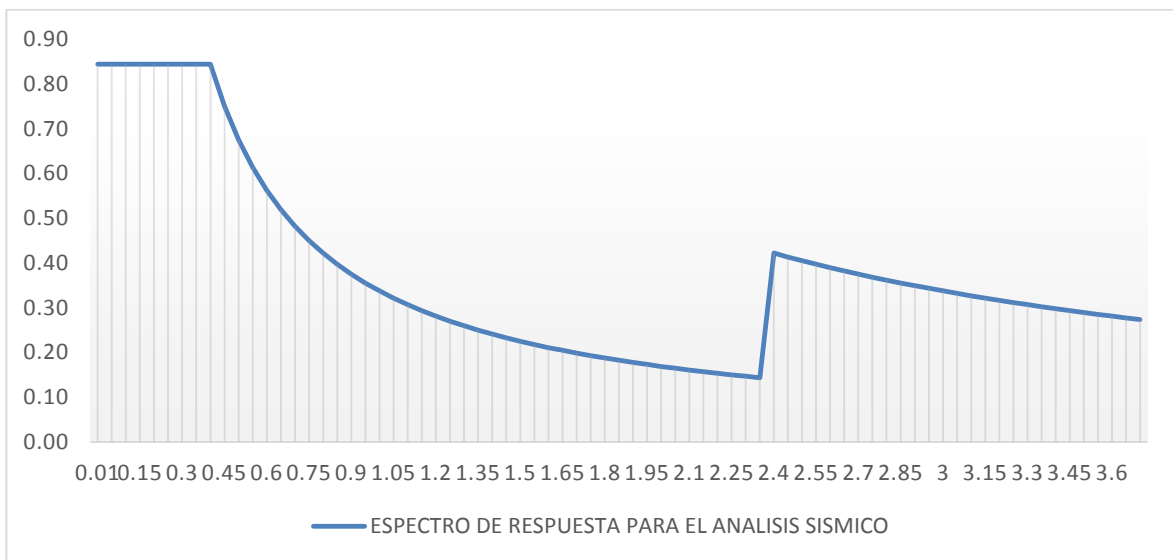


Figura 8.9.2 Espectro de Respuesta sísmica a utilizar en el Modelo Dinámico

4.10. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000

A continuación se describe los procedimientos seguidos para el análisis dinámico de reservorios.

- Se dibujaron los trames del fuste y la cuba en el programa SAP 2000 de acuerdo a las dimensiones.
- Se definen las propiedades mecánicas de los materiales para ello se ingresa a la opción Define/Materials
- Se define las secciones de los muros y elementos estructurales para ello se ingresa a Define/Section Properties/frame sections o área Sections.
- Definiremos los patrones de cargas para ello ingresaremos a define/Load Patterns
- Para asignar el peso impulsivo se creará un punto en la altura calculada para el peso impulsivo, se asignará como un diafragma, para ello se ingresará Define/Joint constraints, luego se seleccionará los puntos en la altura h_i Assign/Joint/Constraints, para asignar el peso se ingresará a Assign/Masses
- Para asignar el peso convectivo se creará un punto en la altura calculada para el peso convectivo para ello se irá a Draw/Draw special joint, luego se creará el resorte para ello se ingresará a Define/Section Properties/ link/support properties, donde se asignará la rigidez calculada, luego dibujaremos los resortes para lo cual ingresaremos a Draw/Draw 2 Joint Link, para asignar el peso se ingresará a Assign/Masses.
- La presión Hidrostática se asignará de acuerdo a los factores calculados para ello se ingresará primero a Define/Joint Patterns para definir el patrón de carga para la presión

del agua, luego seleccionamos los muros y asignamos la presión hidrostática para ello se ingresara a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.

- Definimos el espectro de respuesta para lo cual ingresamos a Define/Response Spectrum, luego definimos los casos de cargas ingresamos a Define/Load Cases
- Definimos las combinaciones de cargas para ello ingresamos a Define/ Load Combinations
- Después de haber realizado todos los pasos correremos el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis.

4.11. Cálculo de los Parámetros para la Modelación bilineal de los aisladores

HDR

Para el cálculo de los parámetros de modelación bilineal del aislador HDR hay contar con los siguientes datos iniciales, se detalla a continuación:

- Módulo de rigidez a cortante
- Amortiguamiento
- Máxima deformación lateral a cortante
- Módulo de elasticidad volumétrico
- Tipo de conexión

Estos datos son obtenidos de acuerdo a las propiedades mecánicas del aislador, además hay que tener como dato el peso de la edificación.

Paso 1. Cálculo de la rigidez horizontal total del sistema de aislación, con las cargas de peso propio más 25% de la carga viva.

Rigidez horizontal de cada aislador

$$k_H = m \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2$$

Desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento, asumiendo $\beta=10\%$, por lo que $B_D=B_M=1.37$

CALCULO DE B_D O B_M	
Amortiguamiento Efectivo en %	B_D O B_M
≤ 2	0.65
5	1.00
10	1.37
15	1.67
20	1.94
30	2.17
40	2.38
≥ 50	3.02

Tabla 4.11.1 Espectro de Respuesta sísmica a utilizar en el Modelo Dinámico

Paso 2. Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento, asumiendo un amortiguamiento efectivo del 10% como dato inicial.

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2} \right) * C_{VD} * T_D}{B_D}$$

Paso 3. Suma de las alturas de las capas del caucho

Considerando una deformación de corte directa máxima $\gamma_s = 150\%$

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_s}$$

Ahora con una deformación de corte directa máxima $\gamma_{max} = 150\%$

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

Podemos observar que en este tipo de aisladores, la máxima deformación lateral a cortante de diseño nos da la altura de toda la suma de capas del caucho más pequeñas.

$$n = \frac{t_r}{0.01}$$

Paso 4. Área que necesitaría el aislador

$$A = \frac{k_H * t_r}{G_A}$$

Paso 5. Diámetro exterior del aislador imponiéndose un valor para el diámetro inicial

$D_i = 15\text{cm}$

$$A = \pi \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) \rightarrow D_e = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi} + D_i^2}$$

En base a lo calculado se asume $D_e = 1.10\text{m}$, lo que nos daría un área $A = 0.9327 \text{ m}^2$, sabiendo que esta acción compromete a modificar el periodo objetivo; claro que lo primero que se comprueba a continuación es que los esfuerzos a compresión sean menores que los admisibles, tomándose la carga máxima en la vida útil del aislador que se calcula con el 50% de la carga viva considerando efectos del sismo de diseño elástico.

$$\rho = \frac{CARGA_{MAX}}{A}$$

Paso 6. Cálculo de la rigidez horizontal de cada aislador.

$$k_H = \frac{G * A}{tr}$$

Paso 7. Calculo de la rigidez compuesta del sistema de aislamiento

$$k_{H\ TOTAL} = N * k_H$$

Paso 8. Cálculo del periodo real del sistema de aislamiento

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_H}}$$

Paso 9. Con lo que se cumple la hipótesis de período deseado de 2 segundos casi perfectamente.

$$\beta = \frac{n * \beta_{impuesto} * k_H}{k_{H\ TOTAL}} = 10\%$$

Paso 10. Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento.

$$D_D = \frac{(g/4\pi^2) * C_{VD} * T_D}{B_D}$$

Paso 11. Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento con efectos de torsión según la norma.

$$D_{TD\ norma} = 1.1 * D_D$$

Paso 12. Verificación de la deformación a cortante máximo.

$$\gamma_s = \frac{D_{TD\ norma}}{Hr}$$

Paso 13. Cálculo del cortante de diseño de los elementos por encima de la interfaz de aislamiento y el cortante de base elástico del código.

$$V_s = \frac{k_H * D_D}{R_1}$$

$$C_S = \frac{V_s}{W}$$

Paso 14. Procedimiento para determinar los detalles de los aisladores

a) Cálculo del tamaño relativo de una lámina de goma, mediante el factor de forma S y considerando el espesor de la capa de goma $t=0.01\text{m}$. Este factor de forma debe dar valores mayores a 10 para asegurar que la rigidez vertical será la adecuada.

$$S = \frac{De - Di}{4 * tr}$$

b) Cálculo del módulo de compresión del compuesto caucho y acero para un aislador, considerando el módulo de elasticidad volumétrico de $k = 2000 \text{ Kg/cm}$

$$Ec = \left(\frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3k} \right)^{-1}$$

c) Cálculo de la rigidez vertical compuesta del sistema de aislamiento

$$K_v = \frac{E_c * A}{Hr}$$

$$K_{v\text{TOTAL}} = N * K_v$$

d) Verificación de la frecuencia natural vertical

El período vertical real es

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_v}}$$

La frecuencia natural vertical es

$$f_v = \frac{1}{T}$$

e) Altura total del aislador (H), que corresponde a la sumatoria de las capas de goma, las placas de acero tiene un espesor de $t_s = 3$ mm según los datos comerciales.

$$h = 2 * 2.5 + tr + (n - 1)t_s$$

Los discos de acero tendrán un recubrimiento de 5mm, de modo que el diámetro para cada aislador es:

$$\emptyset_s = -0.01$$

Paso 15. Procedimiento para determinar el coeficiente de seguridad a pandeo

a) Calculo de la inercia del disco de acero, y no de la sección transversal completa para estar al lado de la seguridad al momento de determinar la carga crítica.

$$I = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{\emptyset_s}{2} \right)^4 - \left(\frac{Di^2}{2} \right)^4 \right)$$

Carga de pandeo de Euler de cada aislador es:

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_c * I}{3 * tr^2}$$

b) Cálculo de la rigidez efectiva a cortante

Área efectiva a cortante de un aislador

$$A_s = A + \frac{tr + disco}{tr}$$

Rigidez a cortante de cada aislador

$$P_S = G * A_s$$

c) Cálculo de la carga crítica para cada tipo de aislador

Cuando se tiene que la carga de pandeo de Euler es muy superior a la rigidez a cortante por unidad de longitud, como es el caso, se puede aplicar la siguiente fórmula

$$P_{CRITICA} = \sqrt{P_E * P_S}$$

d) Cálculo del coeficiente de seguridad

$$SF = \frac{P_{CRITICA}}{P_{max}}$$

Paso 16. Procedimiento para determinar el desplazamiento máximo del centro de rigidez del sistema de aislamiento en el caso del sismo máximo esperado.

La norma requiere recalcular el período y amortiguamiento en el máximo sismo, y con esto se sabe que llegaremos a desplazamientos mayores que el sismo de diseño

- a) Normalmente los compuestos de los aisladores experimentan un incremento del 20% de deformación a cortante y un decremento de amortiguamiento de un 1%.
- b) Cálculo de la rigidez horizontal del sistema de aislamiento

$$k_H = \frac{G_A * A}{tr}$$

Rigidez compuesta del sistema de aislamiento

$$k_{H\,TOTAL} = N * k_H$$

- c) Determinación del coeficiente de amortiguamiento B_M

$$B_M = \frac{24 * \beta * k_H}{k_{H\,TOTAL}} = 9\%$$

- d) Período efectivo en el máximo desplazamiento del sistema aislado

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_H}}$$

- e) Desplazamiento máximo del centro de rigidez del sistema de aislamiento

$$D_M = \frac{(g/4\pi^2) * C_{VM} * T_M}{B_M}$$

El valor de BM se obtuvo de la interpolación de los datos de la tabla 2

f) Desplazamiento máximo del centro de rigidez del sistema de aislamiento con efectos de torsión según la norma

$$D_{TM\ norma} = 1.1 * D_D$$

Paso 17. Determinación del desplazamiento de rodamiento y verificación del volcamiento global

A pesar de que la conexión del sistema de aislamiento es empernada, se verifica el comportamiento de inestabilidad de rodamiento que está asociado con un desplazamiento máximo que si se sobrepasa el mismo de aislador rodaría.

$$D_{MAX} = \frac{De}{1 + k_H * h/C \arg a_{D+0.3L}}$$

Se confirma que los desplazamientos anteriores son mucho menores que los cálculos y por tanto cumple la verificación.

Paso 18. Determinación de los parámetros para la modelación bilineal de los aisladores HDR

a) Desplazamiento de fluencia del aislador

$$D_Y = 0.1 * tr$$

b) Las energías disipadas por el aislador

$$W_D = 2\pi * k_{eff} * D_D^2 * \beta$$

c) Las fuerzas a deformación nula de los aisladores

$$Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_Y)}$$

d) Rigidez post-fluencia de los aisladores

$$k_2 = k_{eff} - \frac{Q}{D_D}$$

e) Rigidez inicial de los aisladores

$$k_1 = \frac{Q}{D_Y} + k_2$$

f) Fuerza de fluencia de los aisladores

$$F_Y = Q + k_2 * D_Y$$

g) Frecuencia angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T_{real}}$$

h) Amortiguamiento efectivo de los aisladores

$$C = \frac{W_D}{\pi * D_D^2 * \omega}$$

4.12. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000 con

Aisladores Sísmicos

A continuación se describe el procedimiento para la asignación del aislador sísmico.

Paso 1. Para asignar las propiedades del Aislador sísmico ingresamos a Define/Section Properties/link/Support Properties/Add New Property, donde se asignara los valores caculados de acuerdo a procedimientos descritos.

Paso 2. Después de haber asignado las propiedades del Aislador, se procede a dibujar los aisladores para ello vamos a Draw/ Draw 1 Joint Link

Paso 3. Después de haber realizado el paso correremos el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis

CAPITULO V

5. CASO DE APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

5.1. Modelo de Análisis

Para el análisis se seleccionó un reservorio tipo INTZE, proyectado en el departamento de Tacna de volumen de 1400 m³ los parámetros sísmicos utilizados son de acuerdo a la norma sismo-resistente E.030.

5.1.1. Características del reservorio R-1

El reservorio tiene una capacidad R-2 de 1400 m³ de capacidad, para el diseño del reservorio se empleó un $f'c$ de 280 kg/cm². En la tabla se muestra el dimensionamiento del reservorio donde se observa la relación diámetro (D) interior entre la altura de agua H_L es de 2.27, este dato es importante para determinar la masa impulsiva y convectiva.

<i>Propiedades geométricas y de cargas</i>	
Diámetro interior de la cuba (D)	16.60 m
Altura Efectiva de Líquido (H_L)	7.30 m
Peso de fuste	439.16 Tnf
Peso del depósito	558.97 Tnf
Peso del agua	1,400.00 Tnf
Peso de la carga viva	35.96 tnf
Relación D/H_L	2.27

Tabla 5.1.1.1 Propiedades geometrías y de cargas

5.1.2. Propiedades mecánicas del concreto

Peso Específico = 2400 kg/m³

Resistencia nominal a compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad $E_c = 15000\sqrt{f'c} = 250998.01 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Ruptura $f_r = 2\sqrt{f'c} = 33.47 \text{ kg/cm}^2$

5.1.3. Acero de Refuerzo.

Deformación Unitaria Máxima $\epsilon_c = 0.003$

Corrugado, grado 60, esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kg/cm² = 4.2 ton/cm²

Módulo de elasticidad = $E_s = 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$

Deformación al inicio de la fluencia = 0.0021

5.2. Modelo dinámico

5.2.1. Determinación del Peso de la Componente Impulsiva y Convectiva para el reservorio R-1

5.2.1.1. Cálculo del peso de la componente impulsiva

Para el cálculo del peso impulsivo utilizamos la siguiente ecuación:

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

$$\frac{W_i}{1400} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{16.60}{7.30} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{16.6}{7.3} \right)}$$

$$W_i = 683.76 \text{ tnf}$$

5.2.1.2. Cálculo del peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_C}{W_L} = 0.230 \left(\frac{D}{H_L} \right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]$$

$$\frac{W_C}{1400} = 0.230 \left(\frac{16.6}{7.30} \right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{16.6}{7.30} \right) \right]$$

$$W_c = 676.85 \text{ tnf}$$

5.2.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

5.2.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Utilizaremos la siguiente ecuación Considerando $\frac{D}{H_L} \geq 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

$$\frac{h_i}{7.3} = 0.375$$

$$h_i = 2.737 \text{ m.}$$

5.2.2.2. Altura de la componente Convectiva

Utilizaremos la siguiente ecuación considerando que no hay presión el base

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

$$\frac{h_c}{8.29} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \right] - 1}{3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \sinh \left[3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \right]}$$

$$h_c = 4.282 \text{ m.}$$

5.2.3. Propiedades Dinámicas

5.2.3.1. Calculo del periodo Convectivo

Utilizaremos la siguiente ecuación

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

$$\lambda = 5.776$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c = 1.419$$

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

$$T_c = 4.43 \text{ seg.}$$

5.3. Calculo de Rigidez de Resorte en secciones Circulares

Para el cálculo utilizaremos la siguiente ecuación:

Para el reservorio R-01

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right)}{D}}$$

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh\left(\frac{3.68(7.30)}{16.6}\right)}{16.6}} = 1.418 \text{ rad/seg}$$

$$K_C = w_c \frac{W_C}{g}$$

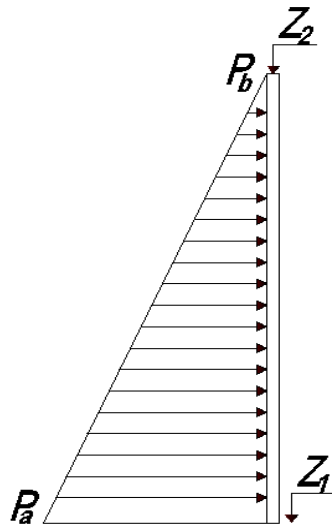
$$K_C = 138.701 \text{ kg/cm}^2$$

5.4. Definimos los parámetros sísmicos

PARAMETROS	
Z =	0.45
U =	1.5
S =	1.05
Tp =	0.6
Ri =	2
Rc =	0.666666667

Tabla 5.4.1 Parámetros Sísmicos a Utilizar

5.5. Determinación de la presión Hidrostática.



Para lo cual utilizaremos la ecuación

Para el reservorio R-01

$$C(18.80) + D = 7.3$$

$$C(26.10) + D = 0$$

$$C = -1$$

$$D = 26.10$$

5.6. Espectro de Diseño de la Norma E. 030

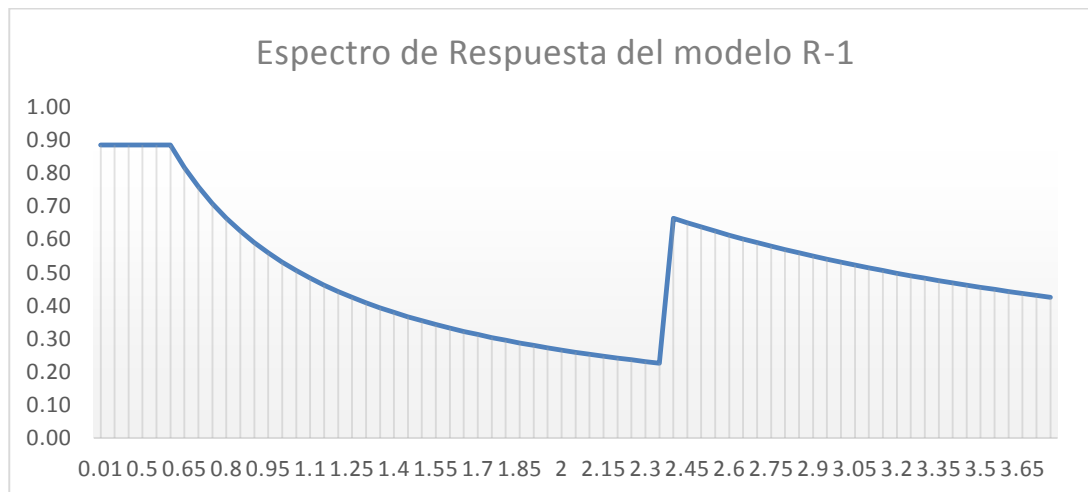


Figura 6.6.1 Espectro de Respuesta Sísmica R-01

5.7. Resumen de resultados

5.7.1. Resumen de Resultados de los parámetros dinámicos

Masa Total del Líquido Almacenado (WF)	1,400.00 Tnf
D/HL	2.274
Wi / WF	0.488
Wc / WF	0.483
Peso Equivalente de la Componente Impulsiva Wi	683.76 Tnf
Peso Equivalente de la Componente Convectiva Wc	676.85 Tnf
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (hi)	2.737 m.
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (hc)	4.282 m.
Aceleración debido a la gravedad (g)	9.81 m/seg ²
λ	5.776
Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (wc)	1.419 rad/seg
Periodo natural del primer modo convectivo (Tc)	4.43 seg.

Tabla 6.4.1 1 Resultados de los Parámetros Dinámicos R-01

5.8. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000

A continuación se describe los procedimientos seguidos para el análisis dinámico de reservorios para ello utilizaremos el reservorio R-1.

Se dibujaron los trames del fuste y la cuba en el programa SAP 2000 de acuerdo a las dimensiones.

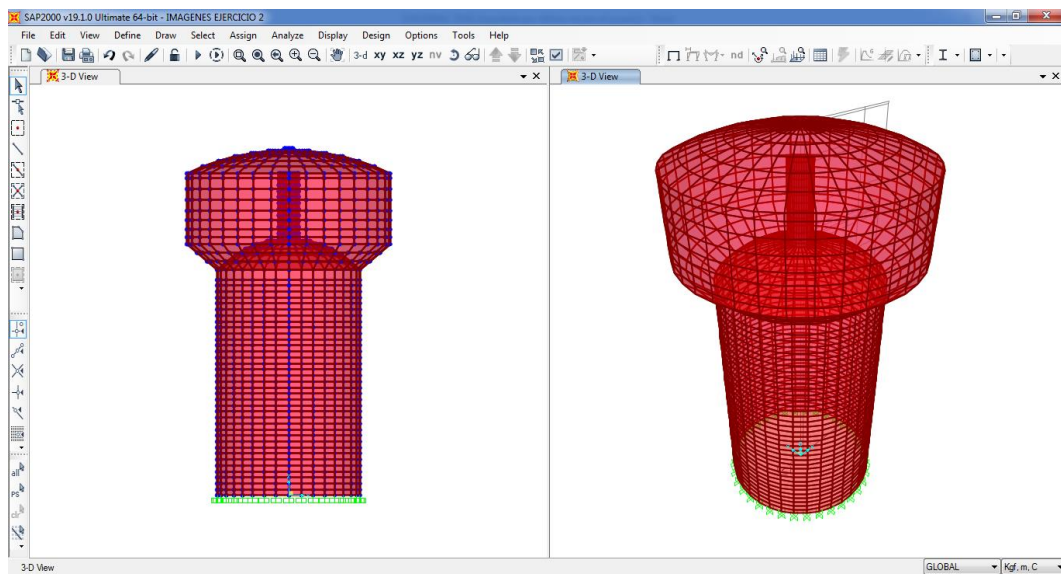


Figura 5.8.1 Modelo en 3D Reservorio Tipo INTZE

Paso 1. Se definen las propiedades mecánica de los materiales para ello se ingresa a la opción Define/Materials.

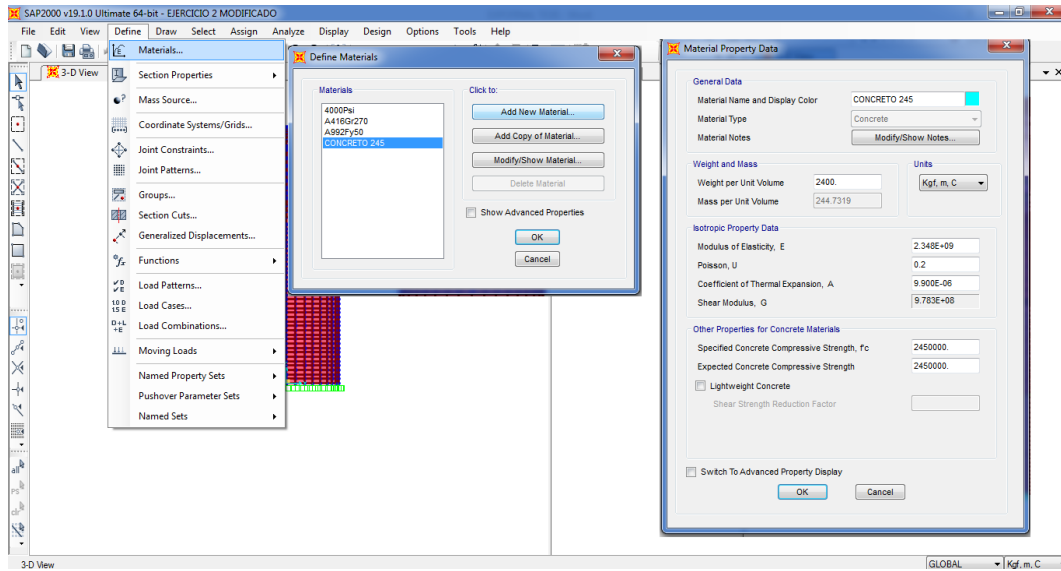


Figura 5.8.2 Definición de las propiedades mecánicas del concreto

Paso 2. Se define las secciones de los muros y elementos estructurales para ello se ingresa a Define/Section Properties/frame sections o área Sections.

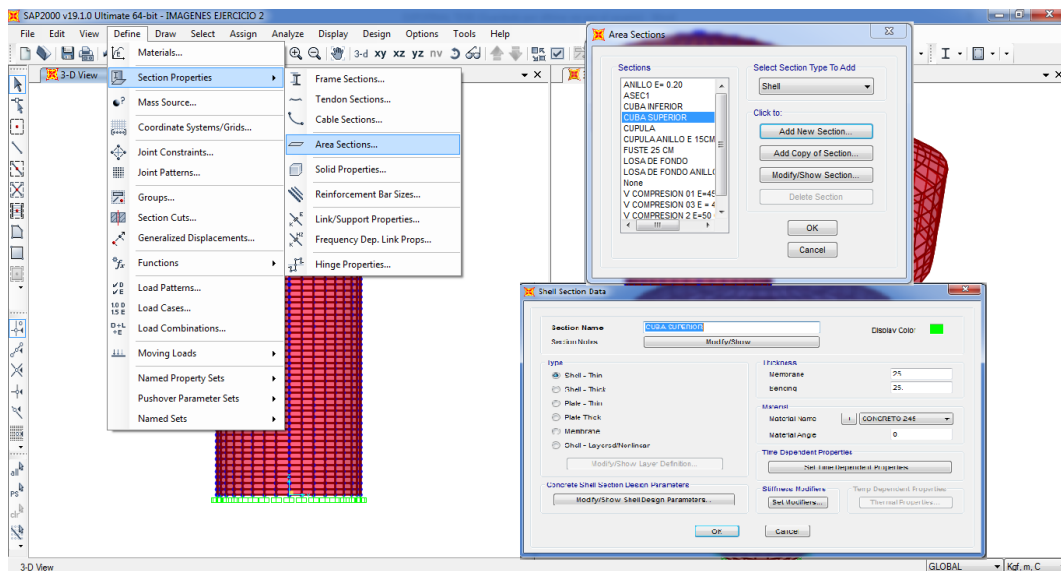


Figura 5.8.3 Definición de las secciones de los elementos Shell

Paso 3. Definiremos los patrones de cargas para ello ingresaremos a define/Load Patterns

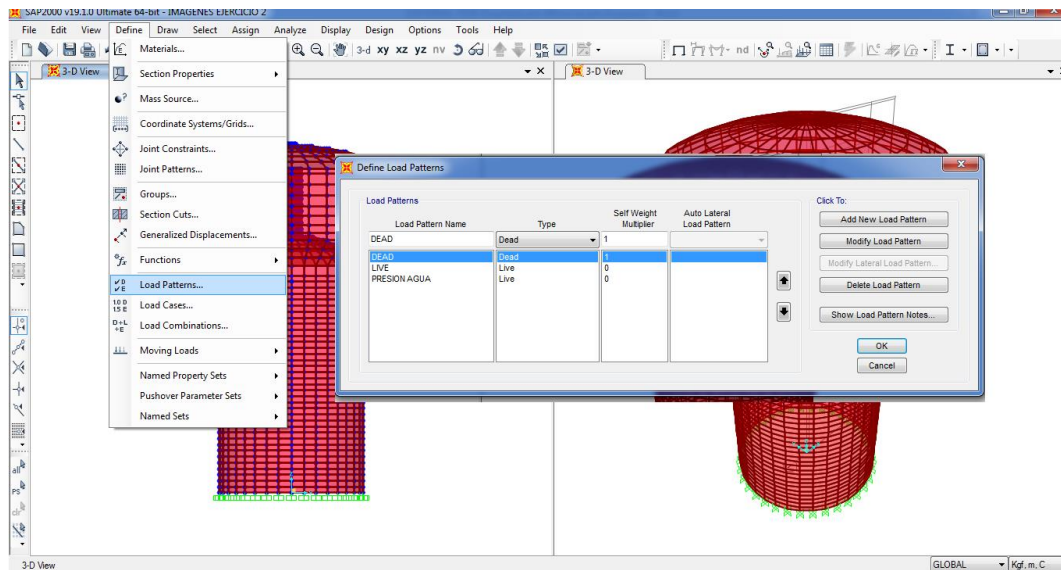


Figura 5.8.4 Definición de las secciones de los elementos Shell

Paso 4. Para asignar el peso impulsivo se creara un punto en la altura calculada para el peso impulsivo, se asignara como un diafragma, para ello se ingresara Define/Joint constraints, luego se seleccionara los puntos en la altura h_i Assing/Joint/Constraints, para asignar el peso se ingresara a Assing/Masses

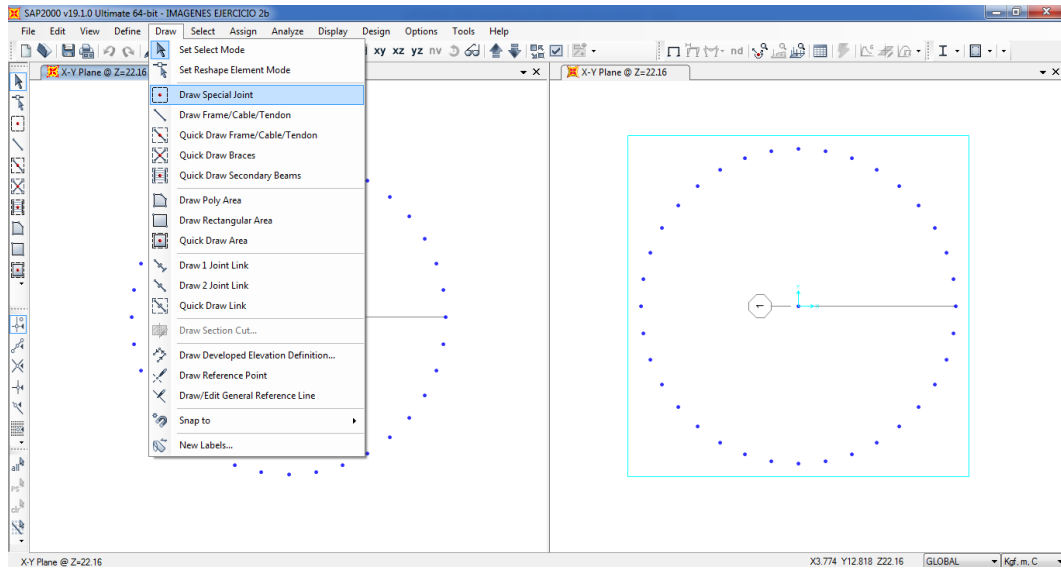


Figura 5.8.5 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Impulsivo

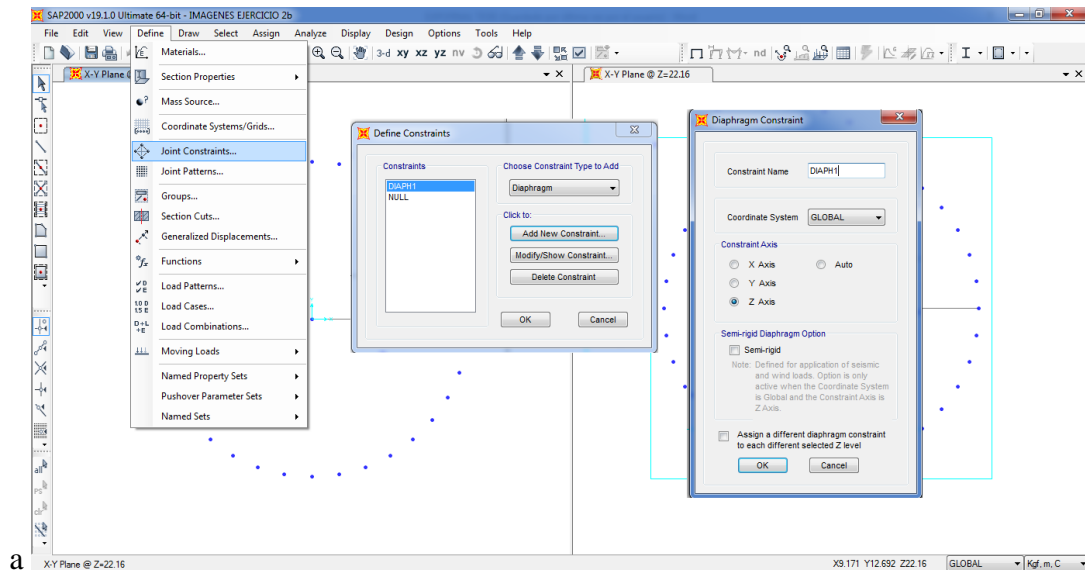


Figura 5.8.6 Definimos el diafragma para simular el comportamiento del peso impulsivo

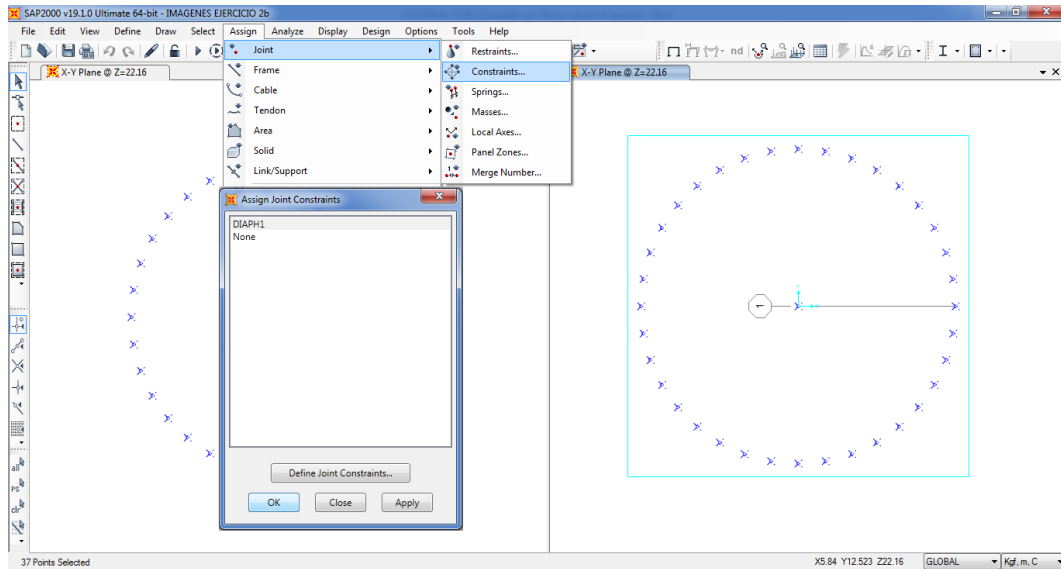


Figura 5.8.7 Seleccionamos los puntos a la altura del Peso Impulsivo, luego asignamos el Diafragma para simular el comportamiento rígido de la masa Impulsiva.

Paso 5. Para asignar la el peso convectivo se creara un punto en la altura calculada para el peso convectivo para ello se ira a Draw/Draw special joint, luego se creara el resorte para ello se ingresara a Define/Section Properties/ link/support properties, donde se asignara la rigidez calculada, luego dibujaremos los resortes para lo cual ingresaremos a Draw/Draw 2 Joint Link, para asignar el peso se ingresara a Assing/Masses.

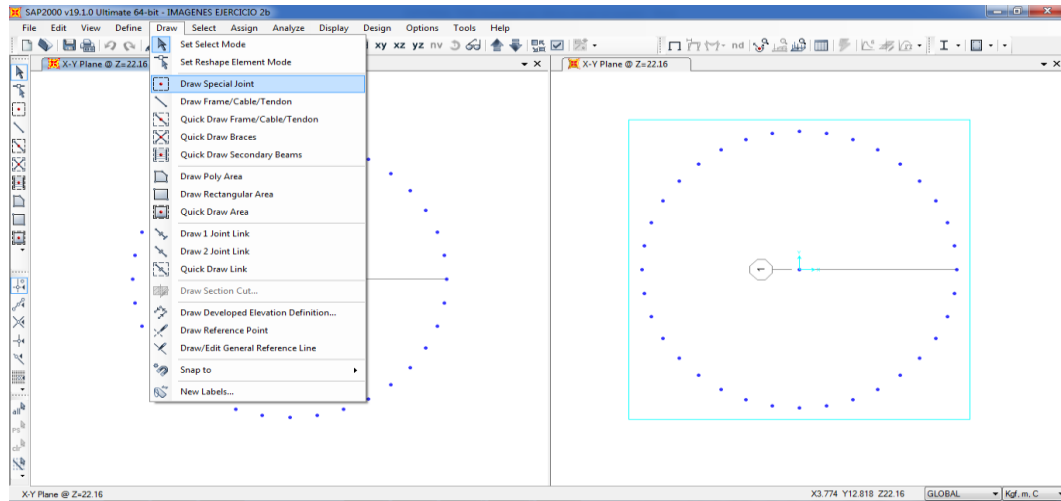


Figura 5.8.8 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Convectivo.

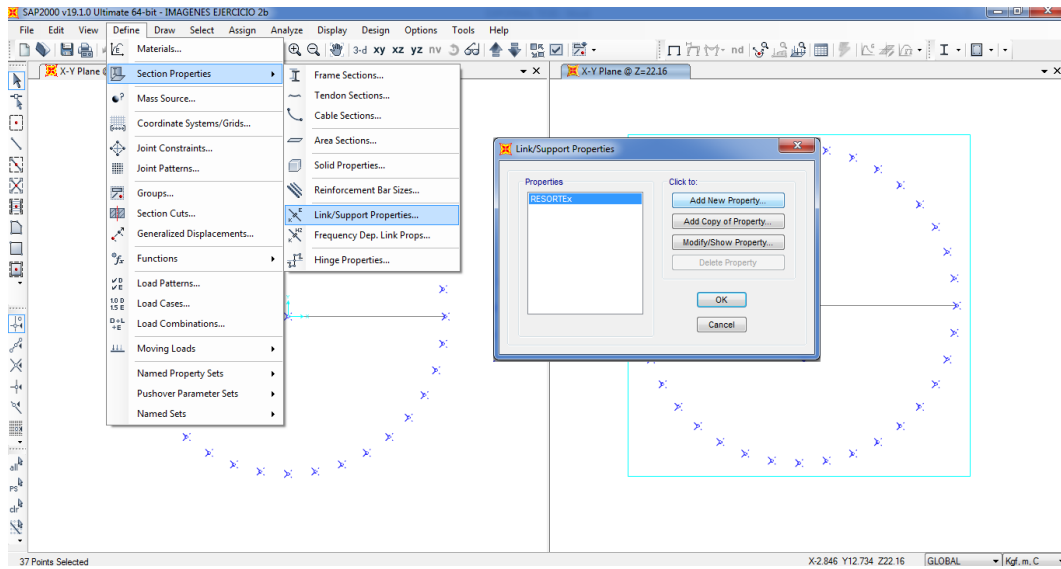


Figura 5.8.9 Definimos el resorte asignando las rigidez

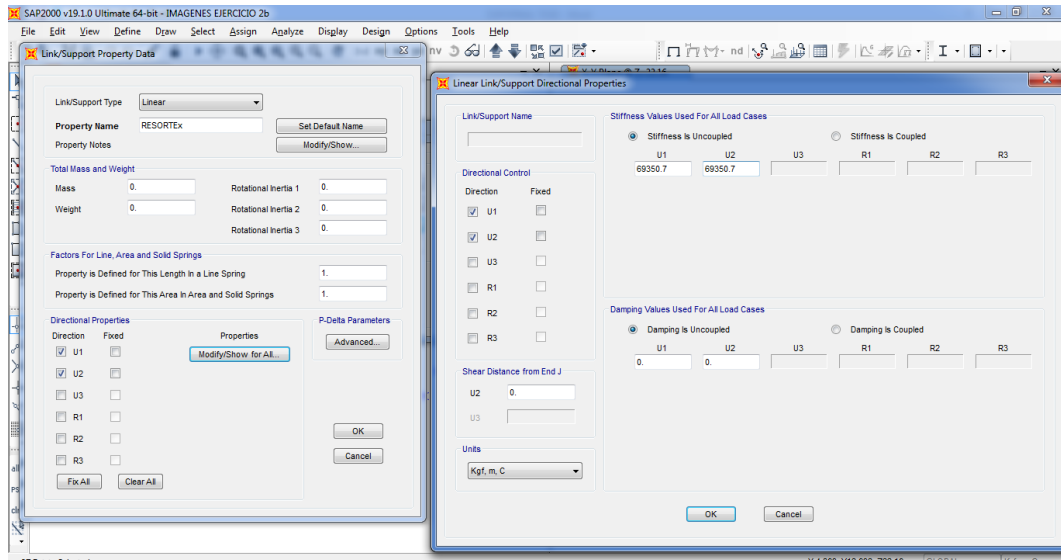


Figura 5.8.10 Asignamos la rigidez del resorte, luego dibujamos los resorte para ellos ingresamos a a Draw/Draw 2 Joint Link

Paso 6. La presión Hidrostática se asignara de acuerdo a los factores calculados para ello se ingresara primero a Define/Joint Patterns para definir el patrón de carga para la presión del agua, luego seleccionamos los muros y asignamos la presión hidrostática para ello se ingresara a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.

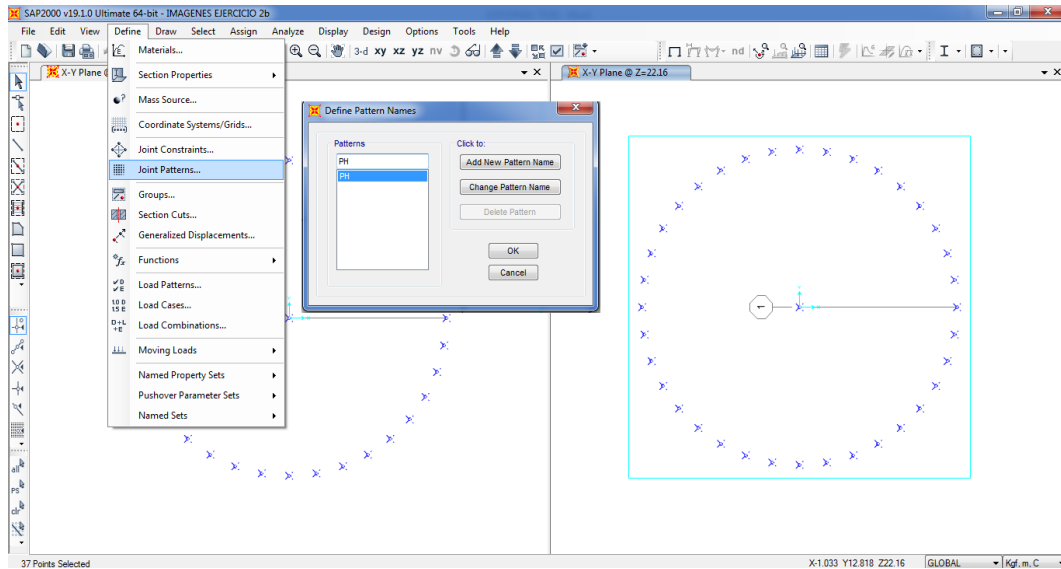


Figura 5.8.11 Definimos el Join Patterns para asignar la presión hidrostática

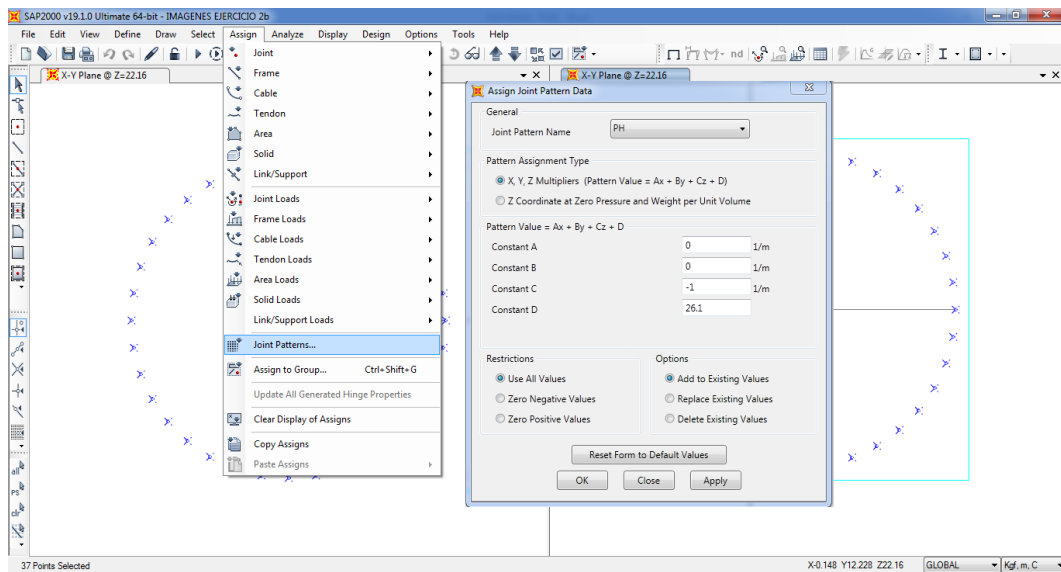


Figura 5.8.12 Seleccionamos las paredes de la cuba, luego asignamos la presión hidrostática para ello ingresamos a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.

Paso 7. Definimos el espectro de respuesta para lo cual ingresamos a Define/Response Spectrum, luego definimos los casos de cargas ingresamos a Define/Load Cases

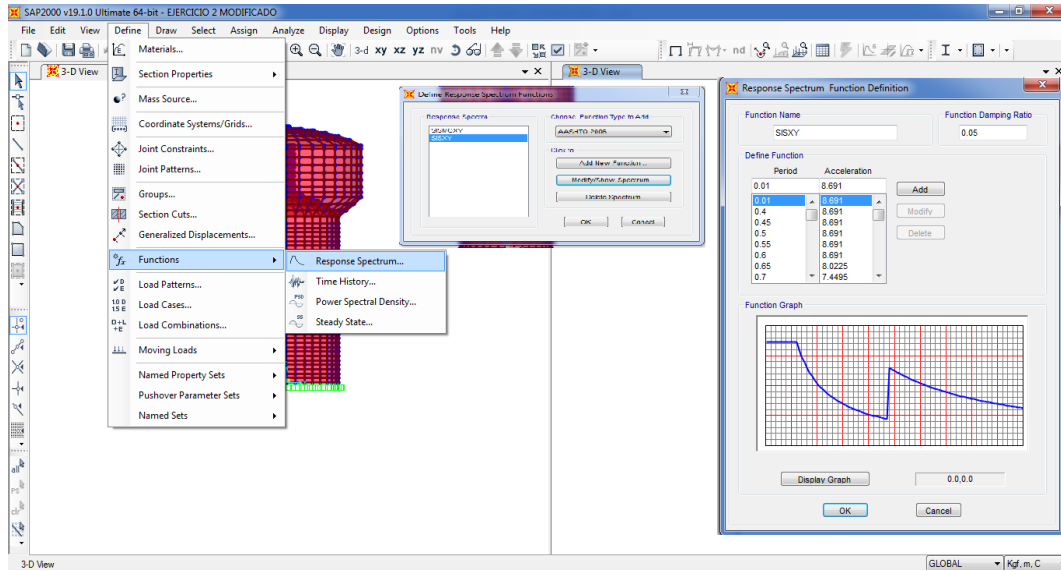


Figura 5.8.13 Asignamos el Espectro de Respuesta para las direcciones del Sismo en X e Y

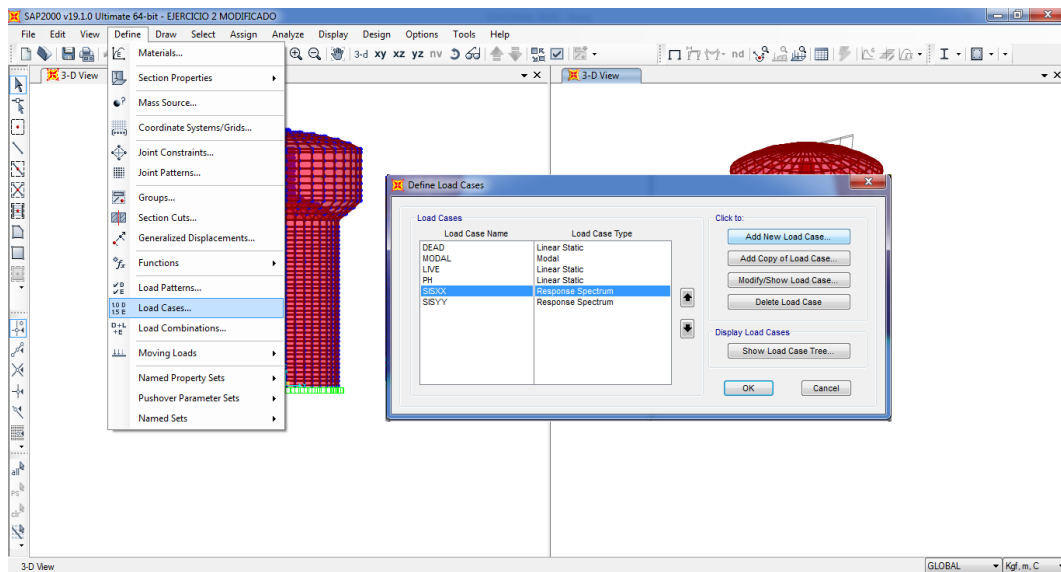


Figura 5.8.14 Definimos los casos de cargas

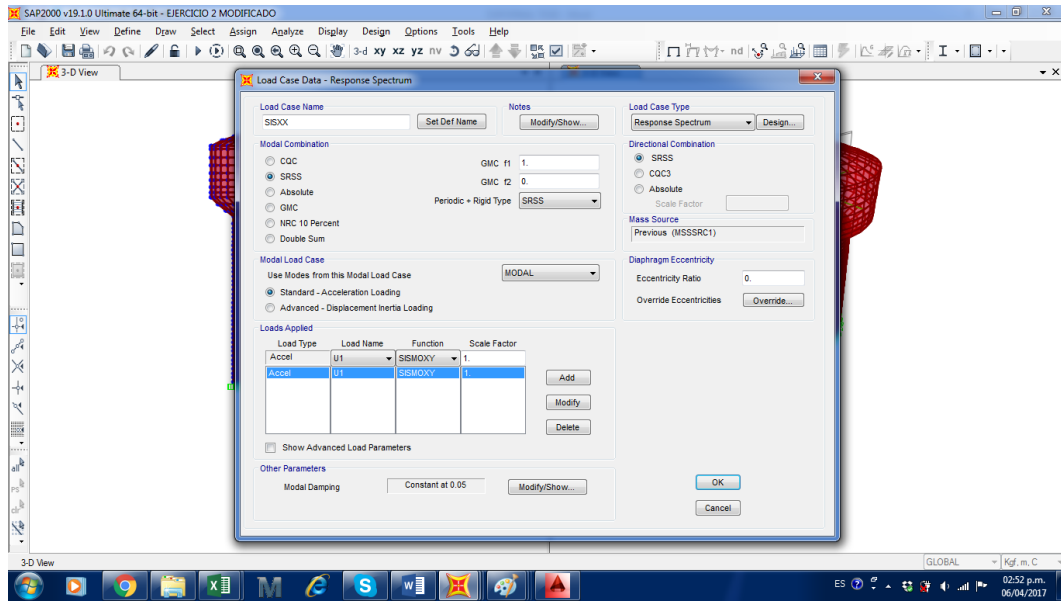


Figura 5.8.14 Definimos los datos del caso de carga para el sismo en X-X

Paso 8. Definimos las combinaciones de cargas para ello ingresamos a Define/ Load Combinations

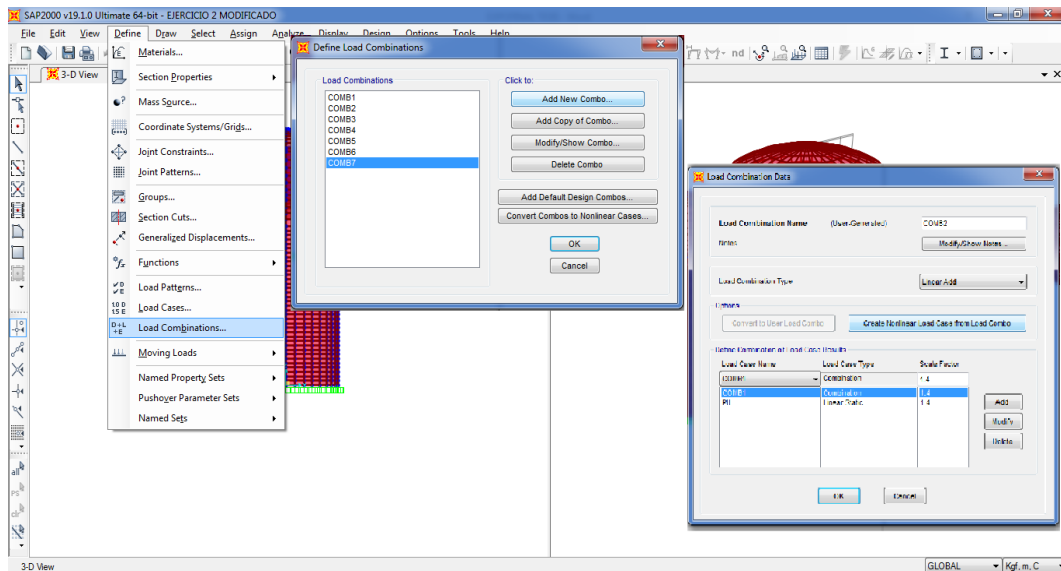


Figura 5.8.15 Definimos las Combinaciones de cargas

Paso 9. Después de haber realizado todos los pasos correremos el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis

5.9. Resultados Finales del Análisis Dinámico

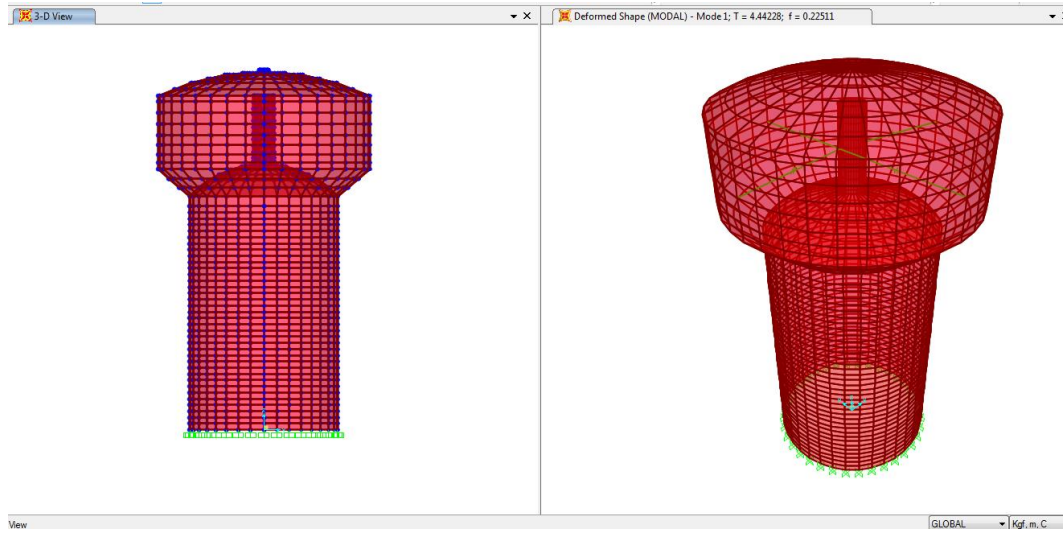


Figura 5.9.1 Modelo estructural en SAP2000 en base a elementos bidimensionales (Shell) R-1.

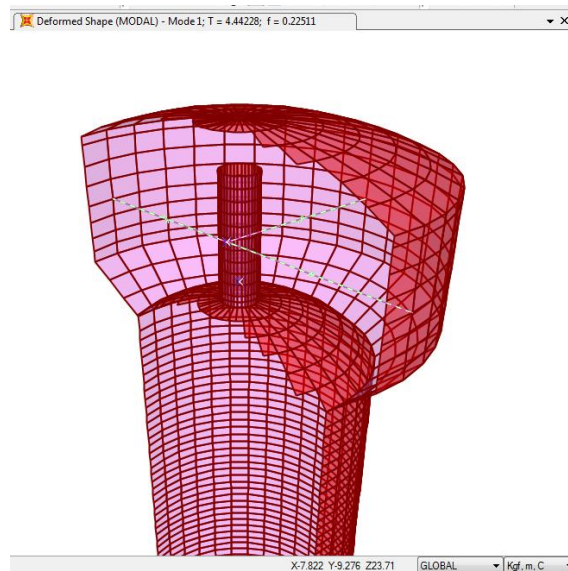


Figura 5.9.2. Sección transversal de los elementos del reservorio y modelo de masas impulsiva y convectiva para el análisis sísmico.

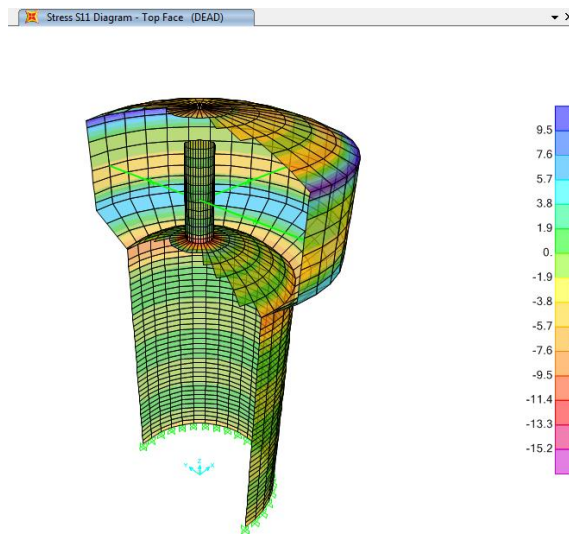


Figura 5.9.3. Distribución de esfuerzos axiales (S11) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).

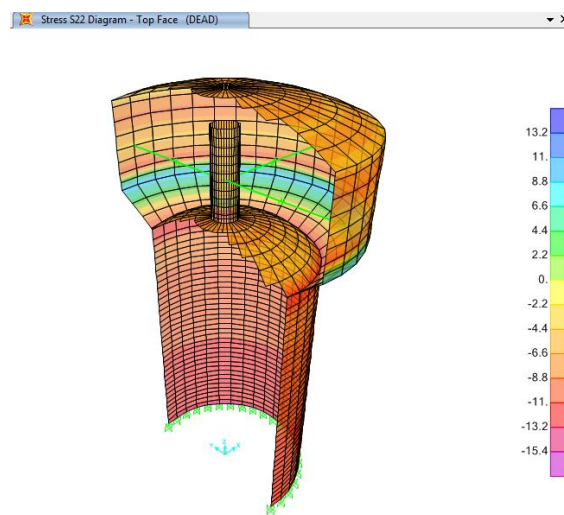


Figura 5.9.4. Distribución de esfuerzos axiales (S22) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).

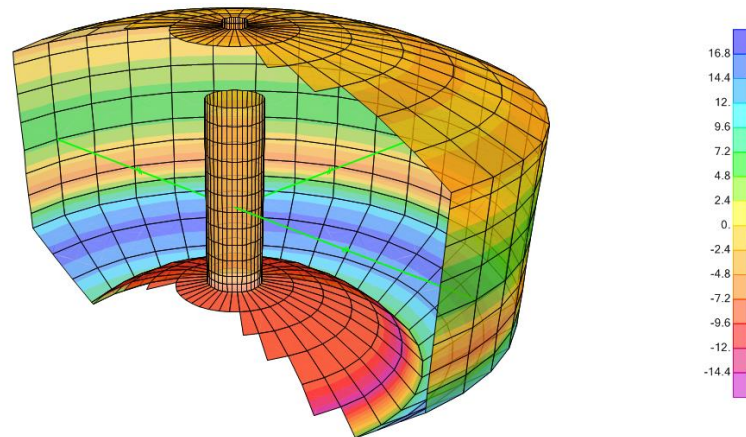


Figura 5.9.5. Distribución de esfuerzos tangenciales (S11) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

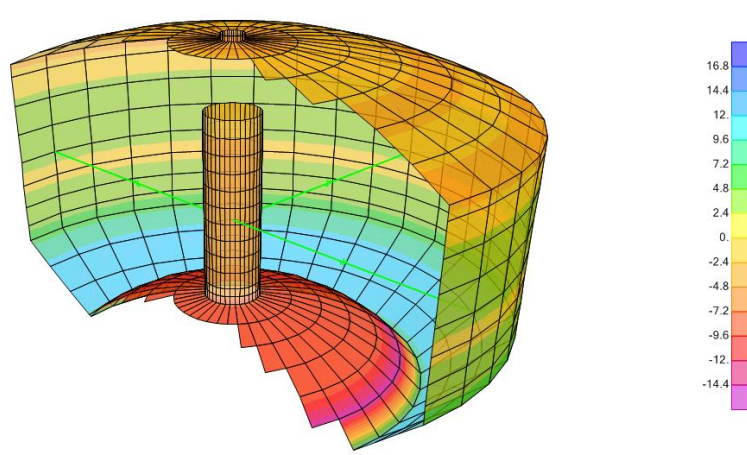


Figura 5.9.6. Distribución de esfuerzos tangenciales (S11) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

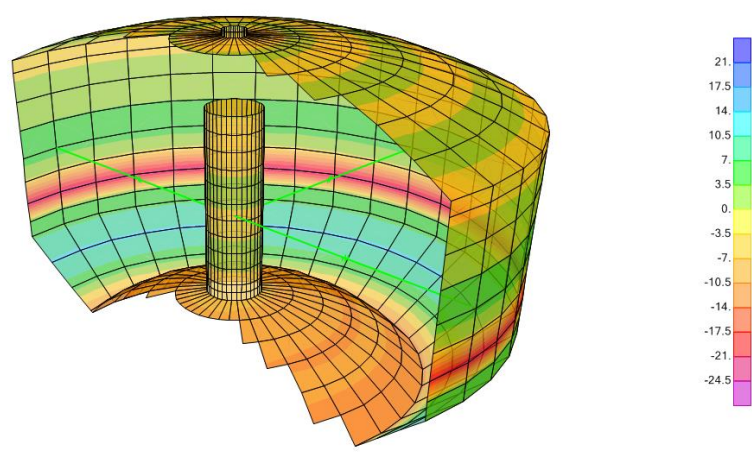


Figura 6.9.7. Distribución de esfuerzos meridianales (S22) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

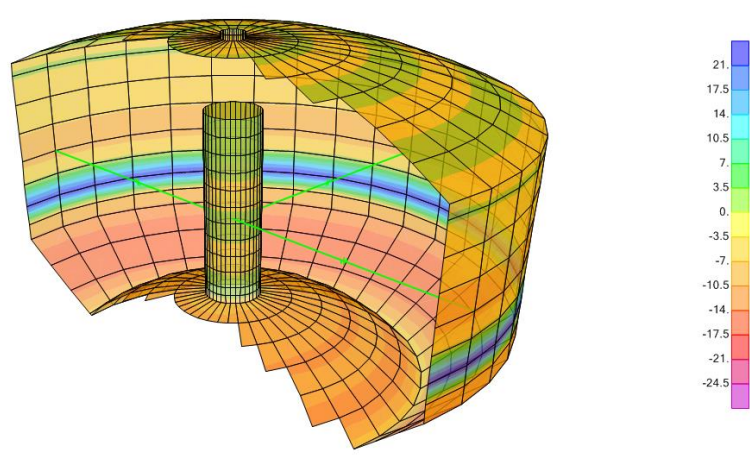


Figura 5.9.8. Distribución de esfuerzos meridionalse (S22) en kgf/cm² en la cara superior (Bottom Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

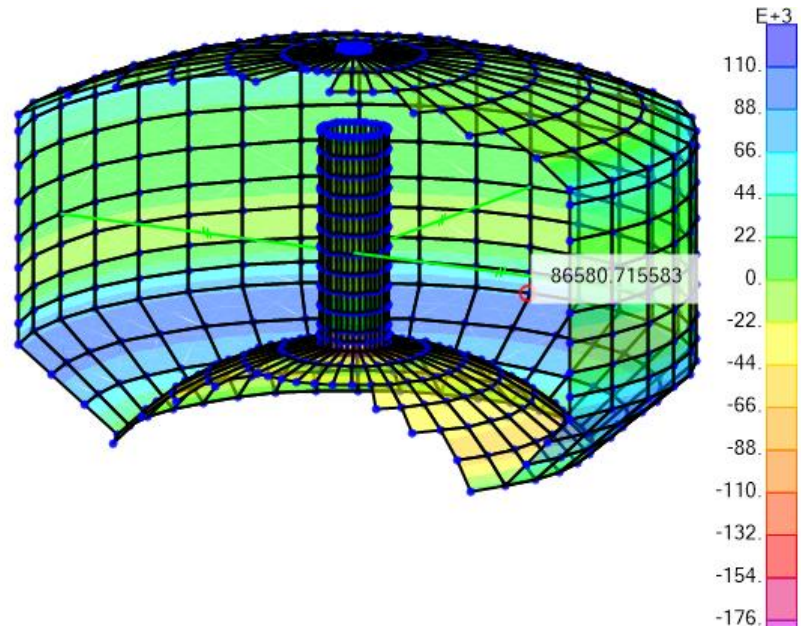


Figura 5.9.8.fuerza Anular Considerando solo Fuerzas Estáticas (F11 =86580 Kg/m)

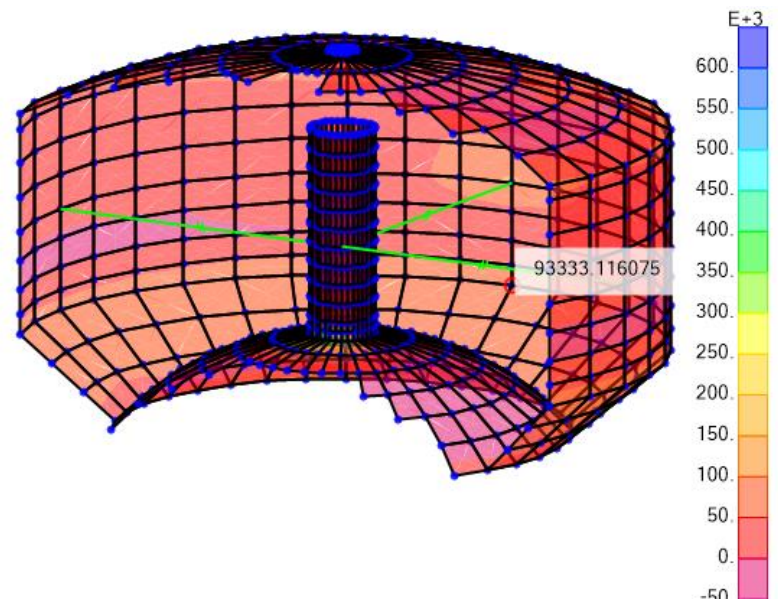


Figura 5.9.8. fuerza Anular cuando hay Sismo (F11 =93333.11 Kg/m)

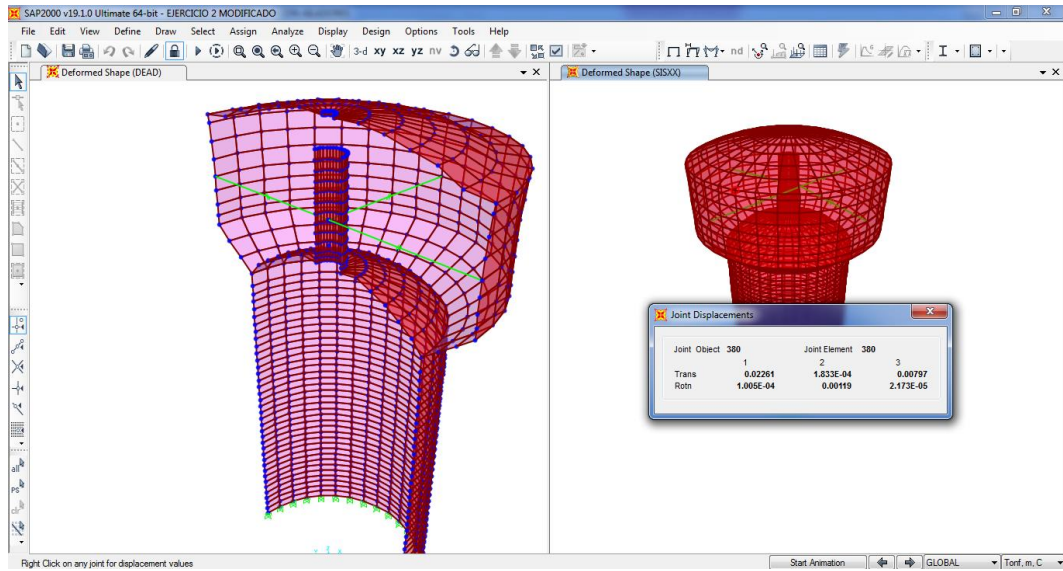


Figura 5.9.8. El desplazamiento máximo es de 2.261 cm sismo x-x

ITEM	Periodo	frecuencia
	Seg.	Rad/seg.
1	4.442279	0.225109664
2	4.442268	0.225110255
3	0.284219	3.518409858
4	0.284219	3.518411467
5	0.215571	4.638843249
6	0.215571	4.638843453
7	0.122421	8.168553286
8	0.091877	10.88405775

Tabla 5.9.1 Periodos y frecuencias.

Descripción		P	V2	V3	T	M2	M3
		KN	KN	KN	KN. m	KN. m	KN. m
COMB7	Ma	7815.92	1134.102	1134.109	0.0019	15346.4	15346.3
COMB7	Min	3588.94	-1134.102	-1134.109	-0.0019	15346.4	15346.3

Tabla 6.9.1 Fuerzas Cortantes y Momentos Volcantes.

5.10. Verificación del modelo por análisis tiempo historia

5.10.1. Respuesta dinámica del Reservorio a Acelerogramas Peruanos

Los reservorios analizados en esta tesis están ubicados en el departamento de Lima, por ello, los acelerogramas empleados para el análisis son peruanos. Se seleccionaron acelerogramas con magnitudes de momentos mayores o iguales a seis y PGA mayor a 0.09 g. En la Tabla 3.5 se muestran las principales características de los acelerogramas empleados. Sólo se utilizó la componente horizontal más crítica para el análisis.

ID	Año	Lugar	N° Datos	PGA (g)	Magnitud
1	2001	Arequipa	27593	0.09	6.50
2	2007	Pisco	21807	0.26	8.00
3	2001	Moquegua	19892	0.12	7.00
4	1966	Lima	19892	0.27	8.20

Tabla 5.10.1.1 Señales Sísmicas.

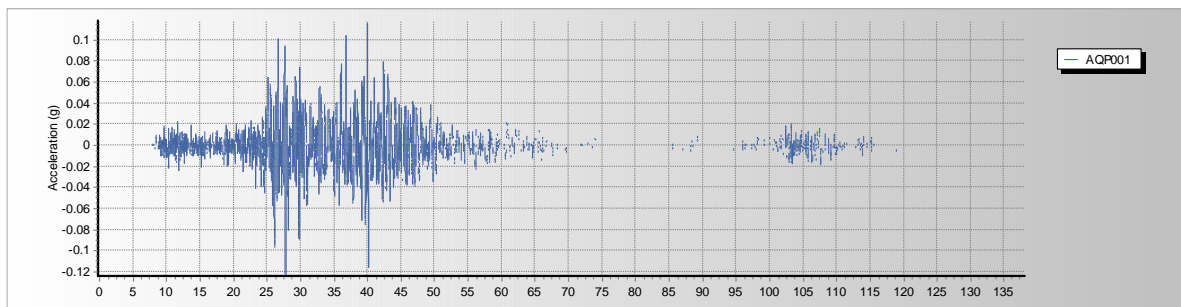


Figura 5.10.1.1 Estación Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Magnitud

6.5 Mb, 7 de Julio del 2001

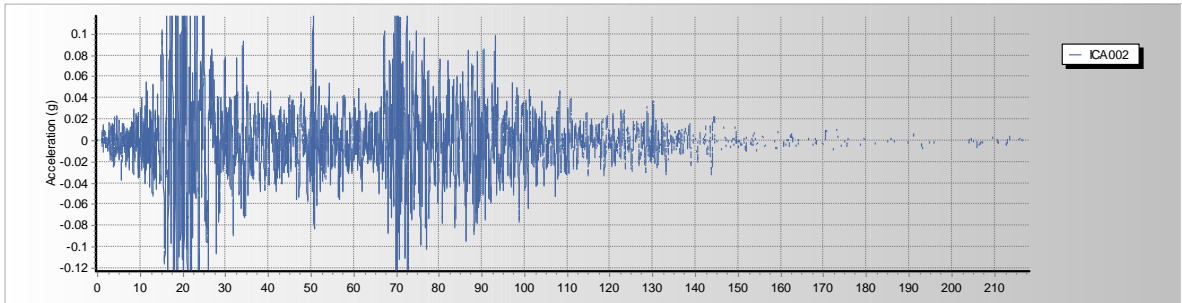


Figura 6.10.1.2. Estación San Luis Gonzaga, Ica, Magnitud 8.0 MI, 15 de Agosto del 2007

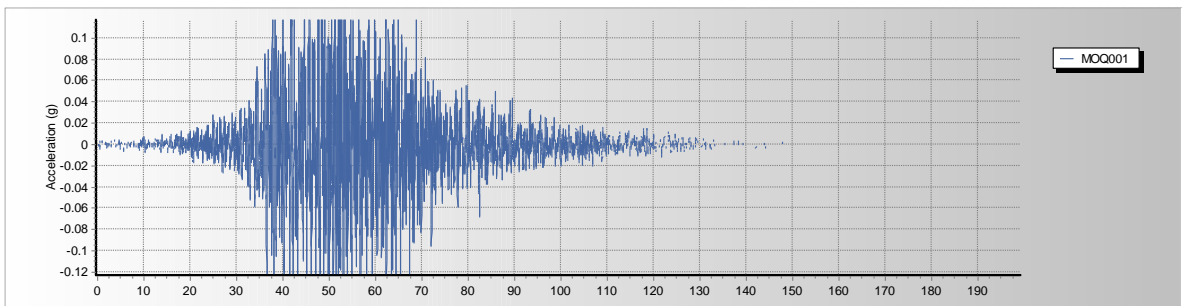


Figura 6.10.1.3. Complejo Deportivo Rolando Catacora – Gobierno Regional de Moquegua, Moquegua, Magnitud 7 Mb, 23 de Junio del 2001.

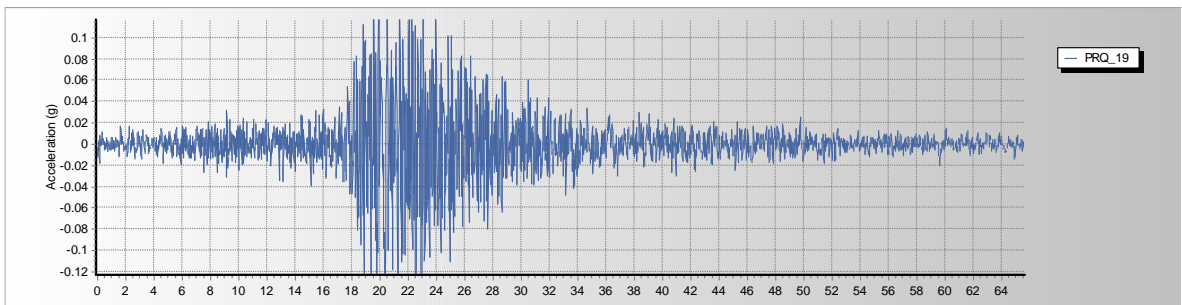


Figura 5.10.1.4. Parque de la Reserva – Cercado de Lima, Lima, Magnitud 8.2 Mw, 17 de Octubre del 1966.

5.10.2. Normalización de los acelerogramas

Para hallar el espectro de pseudoaceleración de cada acelerograma se utilizó el programa seismomatch. En la Fig.5.10.2. se muestra el espectro de respuesta para los acelerogramas empleados en ésta tesis y el espectro de respuesta de la norma peruana. Después, se obtuvo el promedio de las pseudoaceleraciones en el rango de 0.2 a 1.5 T, donde T es el periodo natural del reservorio (0.4s para el caso del reservorio R-1 lleno). Ese promedio se comparó con el promedio obtenido del espectro elástico en el mismo rango y se obtuvo un factor de amplificación. Finalmente, se aseguró que el PGA para el acelerograma escalado sea mayor al PGA indicado por la norma, es decir, mayor a 0.45g.

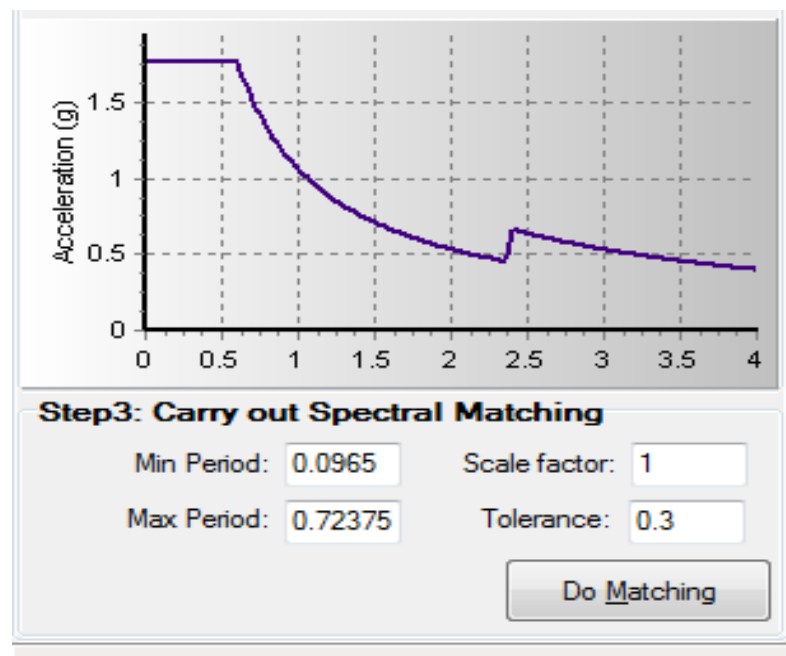


Figura 5.10.2.1. Espectro de Respuesta

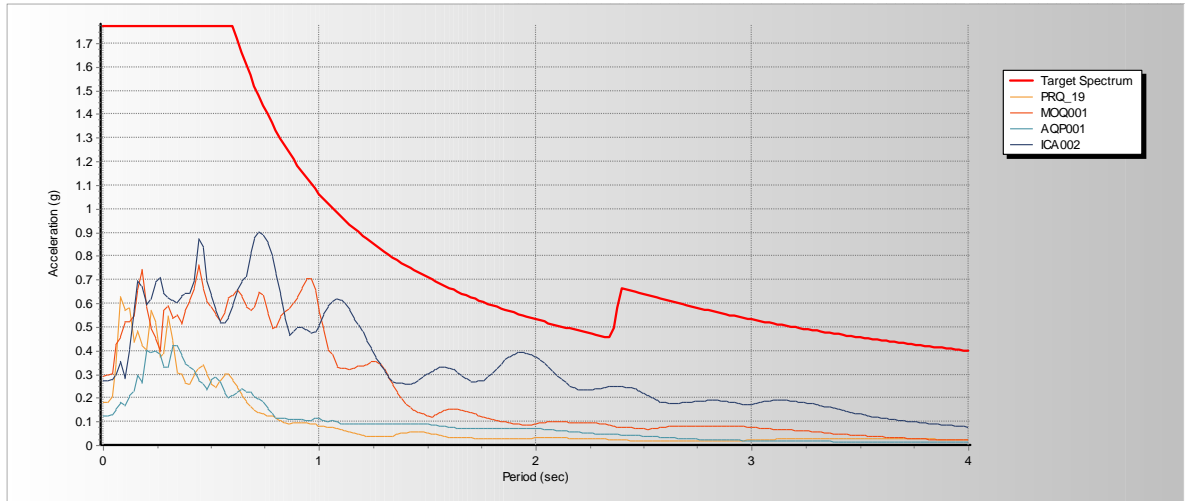


Figura 5.10.2.2. Espectro de Respuesta utilizando los acelerogramas originales.

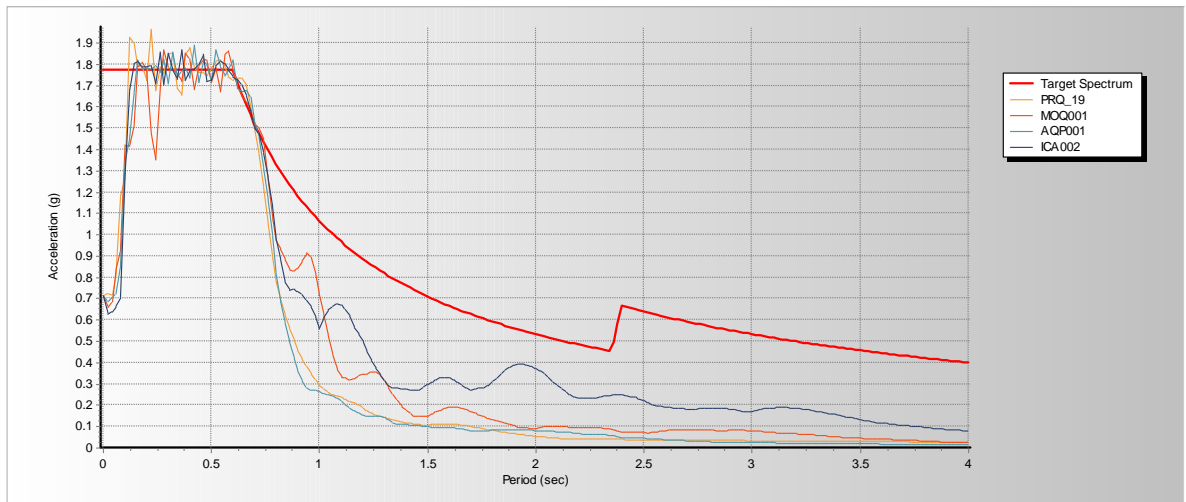


Figura 5.10.2.3. Espectro de respuesta de los acelerogramas escalados para el reservorio R-1

5.10.3. Resultados de Análisis Tiempo – Historia

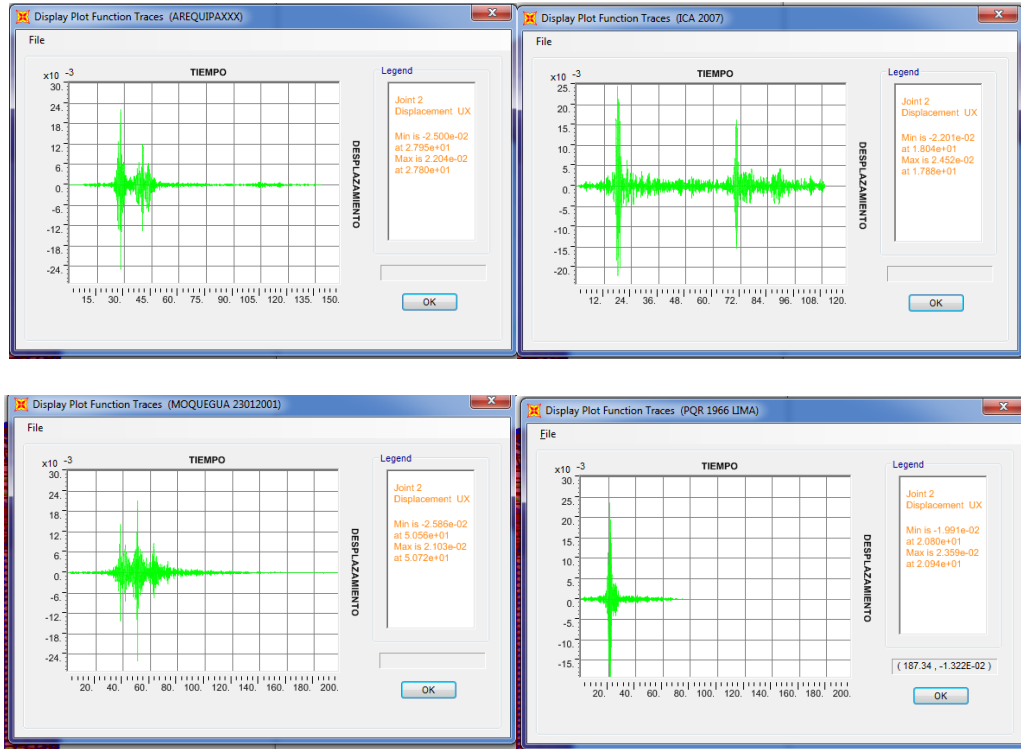


Figura 5.10.3.1. Resultados de los desplazamientos Tiempo – Historia

ID	Año	Lugar	N°	PGA	Magnitud	DESPLAZAMIENTO	
1	2001	Arequipa	27593	0.09	6.5	MAX	2.204
						MIN	-2.500
2	2007	Pisco	21807	0.26	8	MAX	2.450
						MIN	-2.200
3	2001	Moquegua	19892	0.12	7	MAX	2.103
						MIN	-2.586
4	1966	Lima	19892	0.27	8.2	MAX	2.094
						MIN	-1.991

Tabla 5.10.3.1 Resultados del Análisis Tiempo – Historia

5.11. Análisis dinámico con Aisladores sísmicos (RBD)

5.11.1. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000 con Aisladores Sísmicos

A continuación se describe el procedimiento para la asignación del aislador sísmico de acuerdo a lo calculado:

PROPIEDADES	HDR	UNIDADES
Rigidez Vertical	42,528.920	Ton/m
Rigidez Efectiva Lineal	67.567	Ton/m
Rigidez Inicial	221.461	Ton/m
Fuerza de Fluencia	3.543	Ton/m
Relacion de rigidez post-	0.250	Ton.seg/m
Amortiguamiento Efectivo	4.293	Ton/m

Tabla 5.11.1.1 Propiedades Mecánicas del Aislador HDR

Paso 1. Para asignar las propiedades del Aislador sísmico ingresamos a Define/Section Properties/link/Support Properties/Add New Property, donde se asignara los valores calculados de acuerdo a procedimientos descritos.

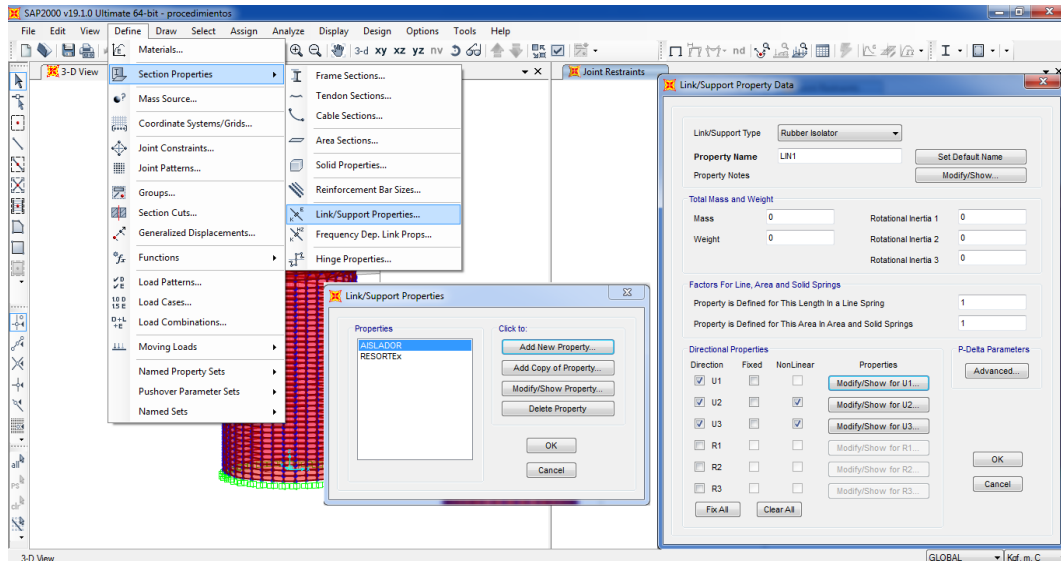


Figura 5.11.1.1 Asignamos las propiedades del aislador HDR, ingresamos a Define/Section Properties/link/Support Properties/Add New Property.

Paso 2. Después de haber asignado las propiedades del Aislador, se procede a dibujar los aisladores para ello vamos a Draw/ Draw 1 Joint Link.

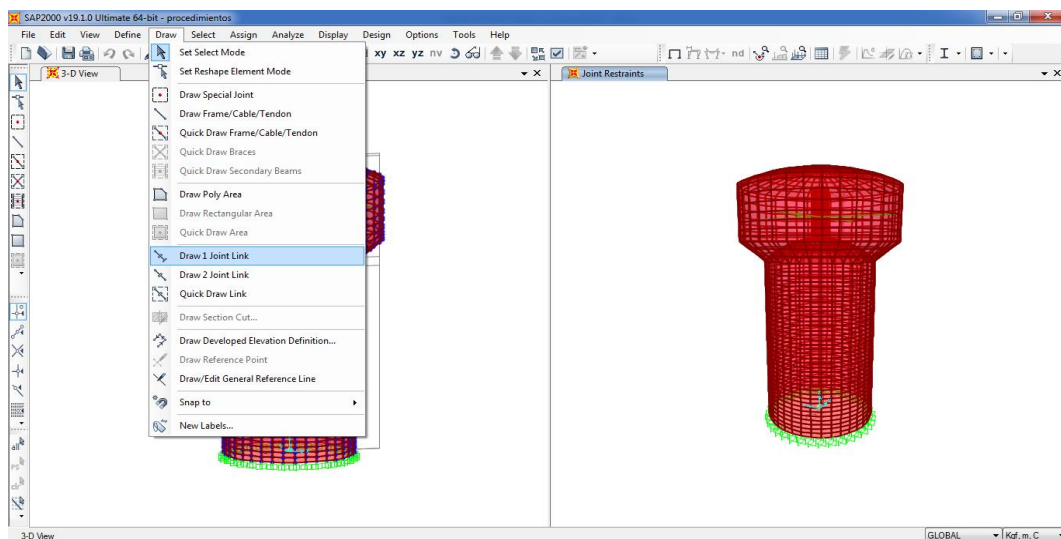


Figura 5.11.1.2 Asignamos el aislador para ello ingresamos a Draw/ Draw 1 Joint

Link

Paso 3. Después de haber realizado el paso correremos el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis.

5.11.2. Resumen de Resultados Obtenidos

Descripción		P	V2	V3	T	M2	M3
		Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
COMB7	Max	797.00	82.65	82.65	0.00	750.90	750.90
COMB7	Min	365.97	-82.65	-82.65	-0.00	-750.90	-750.90

Tabla 5.11.2.1 Resultado de las Fuerzas Cortantes y Momentos Volcantes con Aislador Sísmico.

ITEM	Perido	frecuencia
	Seg	rad/seg
1	4.59471	0.21764158
2	4.594699	0.21764211
3	1.659191	0.60270333
4	1.659191	0.6027034
5	1.43531	0.69671384
6	0.217208	4.60389035
7	0.217208	4.60389035
8	0.168859	5.92209772

Tabla 5.11.2.2 Modos, Periodos y Frecuencias circulares (Aislador Sísmico)

5.12. Análisis de Resultados

Para el análisis sísmico de los reservorios se utilizó dos modelos, uno empotrado a la base y el otro con aislador sísmico para modelar se ha utilizado el programa Sap2000, se ha modelado utilizando elementos Shell (Pared y Base del Reservorio), elementos lineales LLink (uniones entre las masas convectivas e impulsiva del agua con las paredes del

Reserorio), y finalmente los sistemas de aislación se han modelado utilizando elementos no lineales NLLink (Aislador tipo HRD. Las respuestas sísmicas de interés son la fuerza cortante basal, el momento volcante de las paredes, el desplazamiento lateral del reservorio.

Para estimar la respuesta sísmica de diseño asociada a un caso de estudio, se utilizó el valor promedio de las respuestas sísmicas, obtenidas de los análisis tiempo-historia (CSI, 2014) empleando los 4 registros sísmicos del movimiento del suelo seleccionados y escalados de acuerdo al procedimiento.

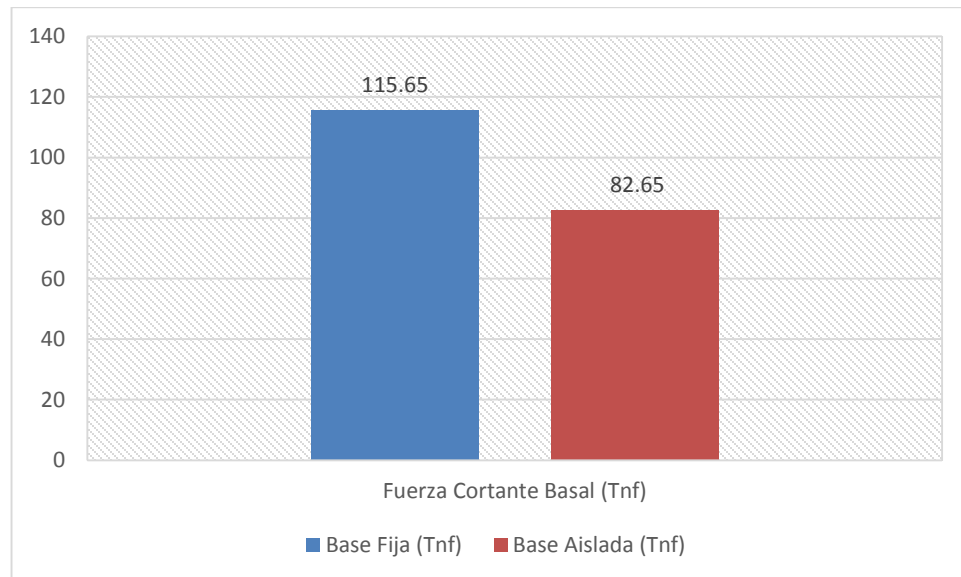


Figura 5.12.1. Comparación de Fuerzas cortantes Basal (Base fija vs Base Aislada)

Fuente Propia

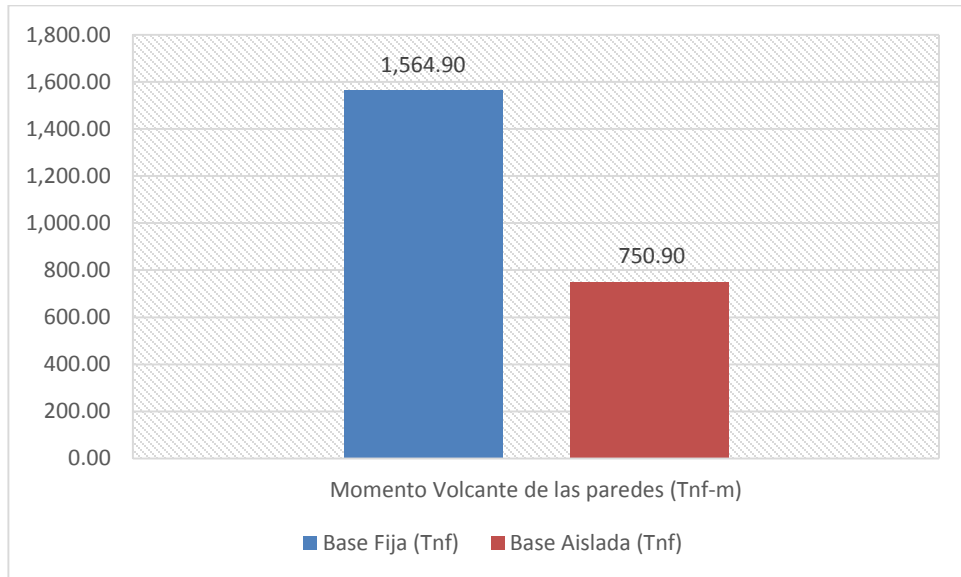


Figura 5.12.2. Comparación de Momentos Volcantes (Base fija vs Base Aislada).

Fuente Propia

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Los reservorios son estructuras esenciales que no pueden quedar inoperativas después de un sismo severo ya que sirve para el abastecimiento de agua a la población, y es importante realizar un buen análisis dinámico de la estructura fin de obtener resultados confiables y poder realizar el diseño de los elementos estructurales y garantizar que las estructuras estén operativas después de evento sísmico de gran magnitud.

Se formuló la guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua siguiendo la metodología planteada en el ACI 350 para obtener la propiedades dinámicas, también se empleó la norma E.030 para obtener los parámetros sísmicos y luego se modelo en el programa Sap 2000 para obtener los desplazamientos, momentos flectores y fuerzas cortantes.

Se utilizó el modelo mecánico simplificado de Housner para obtener la respuesta sísmica del reservorio el cual considera que el agua se comporta de dos maneras, una que se comporta con la estructura que se llama masa impulsiva y otra que simula el oleaje mediante unos resortes al cual se le denomina masa convectiva.

Aplicando la metodología propuesta para un reservorio circular elevado elevado tipo Intze se obtiene que el periodo para la componente convectiva es de 4.44 segundos y para la componente impulsiva es de 0.28 segundos, la cortante basal es de 1134.102 KN y un momento volcante de 15 346.45 KN-m, siendo estos resultados confiables para proceder a realizar el diseño de los elementos estructurales

En caso de reservorios rectangulares hay que tener ciertas consideraciones para el análisis sísmicos, el análisis se realizaran en las dos direcciones tanto en X-X y Y-Y, por consecuencia tendremos una componente convectiva e impulsiva para la dirección X-X y otra componente convectiva e impulsiva para la dirección Y-Y, por lo cual tendremos dos periodos convectivos e impulsivos.

De acuerdo a los cálculos realizados para reservorios con base fija y aislada, se concluye que los reservorios aislados tienen un mejor comportamiento sísmico, se reducen la cortante basal y los momentos volcantes en un ratio de 45%.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda que los reservorios al ser estructuras esenciales se plantee en la normativa Peruana la utilización de aisladores sísmicos a fin de reducir la respuesta sísmica de la estructura, ya que este tipo de estructuras tiene que estar operativas durante y después del evento sísmico.

Se recomienda que se aplique la metodología planteada a fin obtener valores confiables y poder realizar un buen análisis sísmico de la estructura.

El espectro de la Norma no está optimizado para periodos mayores a 2 segundos, como es el caso de las estructuras aisladas. Así, se recomienda hacer uso de un análisis tiempo historia considerando la máxima fuerza resultante de tres acelerogramas representativos (como lo sugieren las normas técnicas consultadas) o la función espectral elaborada en el acápite 6.1.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary, Reported by ACI Committee 318.
2. Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350M-01) and Commentary (ACI 350RM-01), Reported By ACI Committee 350.
3. Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350M-01) and Commentary (ACI 350RM-01), Reported By ACI Committee 350.
4. Concrete Structures for Containment of Hazardous Materials (ACI 350.2R-04), Reported by ACI Committee 350.
5. Design Considerations for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350.4R-04), Reported by ACI Committee 350.
6. Elvis Jony Mamani Yana, Tesis “RESPUESTA SÍSMICA DE TANQUES DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

APOYADOS SOBRE UN SISTEMA DE AISLACIÓN DEL TIPO PÉNDULO
FRICCIONAL.

7. HAROUM., (1983), "Vibration Studies and Test of Liquid Storage Tanks",
Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 11, pp 179-206.
8. HAROUM, AND GEORGE W. HOUSNER (1981), "Seismic Design of Liquid
Storage Tanks", ASCE, Proceedings J. of Technical Councils, Vol. 107, No. TC1,
April, pp 191-345.
9. HOUSNER, G. W., "Earthquake Pressures on Fluid Containers, Eighth Technical
Report under Office of Naval Research, Project Designation No. 081- 095,
California Institute of Technology, Pasadena, California, 1954.".
10. HOUSNER, G. W. "The dynamic behavior of water tanks. Bulletin of the
Seismological Society of America. 53: 381–387. 1963".
11. PORTLAND CEMENT, ASSOCIATION (PCA) "Circular Concrete Tanks".

12. Reglamento Nacional de Edificaciones (E.030-Diseño Sismo resistente).
13. R. PARK y T. PAULAY, 1988. “Estructuras de Concreto Reforzado”, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda.
14. Rosenblueth E. Newmark N.M. “Fundamentos de ingeniería sísmica” Ed. Diana. Primera edición julio de 1976.
15. SEISMIC DESIGN OF LIQUID-CONTAINING CONCRETE STRUCTURES (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01).
16. Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-06) and Commentary (350.3R-06), Reported by ACI Committee 350.
17. SÁNCHEZ S. H., VARGAS O., S Y BARRANCO C.,F (1999), “Estudio del comportamiento sísmico de Reservorios de almacenamiento mediante diferentes métodos de análisis propuestos”, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, 17-20 Nov.

18. R. Zhang, H. Luo , X. Ren, “SLOSHING CONTROL OF A LIQUID STORAGE TANK UNDER LONG PERIOD GROUND EXCITATION”.

19. V. I. Fernandez-Davila and E. J. Mamani, “SEISMIC RESPONSE OF BASE-ISOLATED REINFORCED CONCRETE WATER STORAGE TANKS. I: LRB ISOLATION SYSTEM”.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

**“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN
RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”**

**GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO
ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA**

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

1. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO

1.1. Estado del arte

El análisis sísmico de los reservorios requiere consideraciones esenciales, debido a las fuerzas hidrodinámicas ejercidas en el fluido sobre la pared del reservorio, a lo largo de los estudios se ha demostrado la respuesta que existen ante sollicitaciones sísmicas se ve afectada por la interaccion fluido – Estructura (Livaoglu y Dogangun, 2006).

Durante años se ha investigado las interaccion fluido – estructura, A partir de ensayos (Graham y Rodriguez, 1952) se ha comprobado que el líquido vibrante dentro del reservorio tiene dos componentes, una que se mueve con el Reservorio (componente impulsiva) y otra que representa el movimiento de olas en superficie (componente convectiva). Housner (Housner, 1954 y 1957) propuso el primer modelo simplificado (MSM) para el cálculo de la respuesta dinámica, que sigue siendo ampliamente utilizado. En estudios posteriores, el modelo de Housner de MSM ha sido modificado para tener en cuenta la flexibilidad de la pared del Reservorio. Veletsos y Yang (Veletsos y Yang, 1976) utilizaron una masa para describir el efecto impulsivo y dos masas para el efecto convectivo . Haroun y Housner (Haroun y Housner, 1981; Haroun, 1983) dividen la masa impulsiva en dos partes; una parte rígidamente conectada al Reservorio y otra que representa la masa que participa con un movimiento relativo debido a la deformación de la pared del Reservorio. Malhotra (Malhotra, 2000) realizó



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

modificaciones a las propiedades del MSM simplificado propuesto por Veletsos y Yang (Veletsos y Yang , 1976). El procedimiento tiene en cuenta las acciones impulsivas y convectivas del líquido en reservorios con fundaciones rígidas.

En los últimos años se han realizados investigaciones utilizando aisladores sísmicos ((Hwan, 2004; Shekari, 2008; Curadelli, 2013), para reducir la respuesta sísmica ante eventos de gran magnitud (Fuerzas cortantes, desplazamientos y momentos volcantes).

1.2. Daños en reservorios ante solicitaciones sísmicas

Los reservorios deben permanecer funcionales en el periodo posterior al terremoto para asegurar el suministro a la población de agua y para cualquier eventual incendio que puede ocurrir durante los sismos. A continuación, mencionamos las fallas que se han presentado:

Terremoto de Chile (22 de mayo de 1960) reservorio elevado de Hotel Puerto Varas, el terremoto fue de una magnitud de 8.5 Mb, la capacidad del reservorio elevado fue de 50 m³, el soporte fue aporticado con columnas cuadradas de 0.40 x 0.40 separadas a unos 1.80 m, durante el evento sísmico donde se formaron las rotulas plásticas fue en las vigas producto de la elevada fuerza cortante como se ve en la figura, en las columnas no se presentaron fallas.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA



Figura 2.2.1 Daños estructurales de Reservorio Elevado de 50 m³ después del terremoto de 8.7 magnitud (Chile 1960).

Terremoto en la india en 2001 con una magnitud $M= 7.7$ BHUJ, el reservorio tenía una capacidad de 100 m³, durante el evento sísmico donde se formaron las rotulas plásticas fueron entre las conexión columna- viga, lo cual creó una inestabilidad y posteriormente al colapso de estructura, las fallas fueron por corte.



Figura 2.2.2 Colapso del reservorio elevado de 100 m³ después del terremoto de 7.7 de magnitud BHUJ (India 2001)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Terremoto de El-Asnam de 1980, Argelia, el terremoto tuvo una magnitud de 7.2 Mb, el reservorio fallo por torsión, el centro inercia con el centro de rigidez no coincidían por tanto ante las sollicitaciones sísmicas colapso.



Figura 2.2.3 Colapso del reservorio elevado después del terremoto de 7.2 de magnitud [Argelia, 1980]

El 15 de agosto del 2007 ocurrió un sismo con una magnitud de 7.9 escala del momento, en la ciudad de Ica, los daños presentados en reservorios se detallan a continuación.

ITEM	Reservorios	Volumen	Año	Estado Actual	Tipo
1	Angostura Limón	350.00	1989	Regular	Elevado
2	Angostura Limón	400.00	2005	Regular	Apoyado
3	Urb. San Joaquín	1,000.00	1966	Regular	Elevado
4	Balneario	375.00	1966	En mal Estado	Apoyado
5	Urb. San Isidro	350.00	1966	Dañado requiere	Elevado
6	Urb. José de la	1,500.00	1971	Req. Rehabilitación	Elevado
7	Estadio José	1,500.00	1971	Bueno	Elevado



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

8	AA.HH.	1,000.00	1989	Req. reforzamiento	Apoyado
9	Urb. Angostura	600.00	1982	Bueno	Elevado
10	Caserío de	20.00	1982	En mal Estado	Elevado
11	P. J . Sta. Rosa	500.00	1991	Regular	Apoyado
12	Reservorio Central	1,200.00	1994	En mal Estado	Elevado
13	P. J	160.00	1991	Regular	Apoyado
Total en m3		8,955.00			

Tabla 2.2.1 Evaluación de Reservorios tras el sismo de Pisco 15 de Agosto 2007

(Fuente: J. Kuroiwa 2012)



Figura 2.2.4 Falla estructural en viga de reservorio elevado después del terremoto de 7.29 de magnitud [Pisco, 2007].



1.3. Tipos de Reservorios

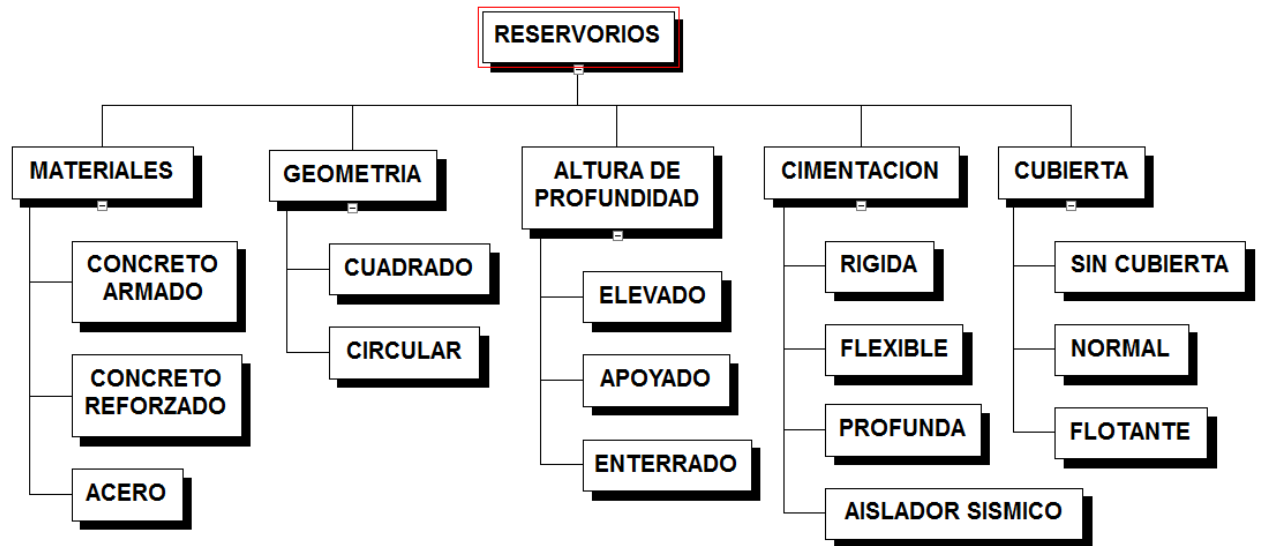


Figura 2.2.5 Tipos de reservorios

1.4. Estudio del Comportamiento de Reservorios Sometidos a Sismos

Las presiones hidrodinámicas durante un evento sísmico son de importancia para comprender el comportamiento de la estructura, Las primeras aproximaciones de solución a este fenómeno fueron propuestas por diversos autores como Westergaard que en 1933, determinó las presiones en una represa vertical rectangular sometida a aceleración horizontal, Jacobsen en 1949 resolvió el problema correspondiente para reservorios circulares, en 1952 Graham y Rodríguez realizaron un completo análisis de las presiones impulsivas y convectivas sobre contenedores rectangulares, etc. Las bases de las soluciones propuestas fueron tratadas similarmente pues requerían encontrar una solución a la ecuación de Laplace que satisfaga las condiciones de borde



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

En 1954 George W. Housner desarrolló uno de los estudios más reconocidos sobre la teoría de presiones hidrodinámicas en reservorios de almacenamiento y la idealización de un modelo mecánico masa – resorte capaz de simplificar su respuesta. En primera instancia, el estudio y formulación analítica se aplica al comportamiento de reservorios rectangulares y desde ahí se hace extensiva a reservorios circulares. A continuación, se detalla una breve reseña de los principales postulados y formulaciones utilizadas en el estudio de Housner (1954). En el reservorio rectangular de estudio se considera una superficie de líquido completamente horizontal y a las paredes del contenedor se les aplica una aceleración horizontal \dot{u}_0 en la dirección “x” horizontal. Además, para determinar las presiones que actúan sobre las paredes del reservorio debidas a la aceleración y la interacción del líquido se deben considerar para el fluido una columna de líquido de altura h , longitud $2l$ y espesor unitario como se muestra en la Figura 2.4.1

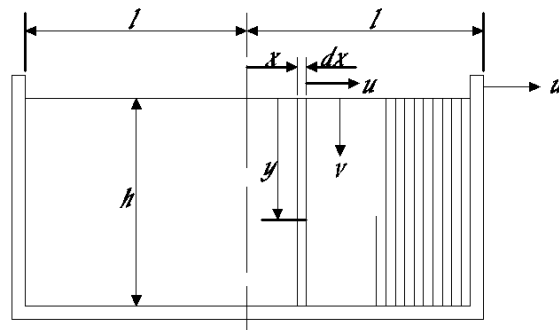


Figura 2.4.1 Reservorio rectangular de estudio

El efecto del fluido es similar al que se obtendría si la componente horizontal de la velocidad del fluido u fuera independiente de la coordenada “y”. Bajo estas condiciones el líquido actúa como si estuviera limitado entre membranas delgadas verticales sin masa



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

espaciadas a una distancia dx entre sí. Cuando las paredes son sometidas a una aceleración, las membranas también serán aceleradas de igual forma con el fluido haciendo que el fluido se presione verticalmente con respecto a las membranas.

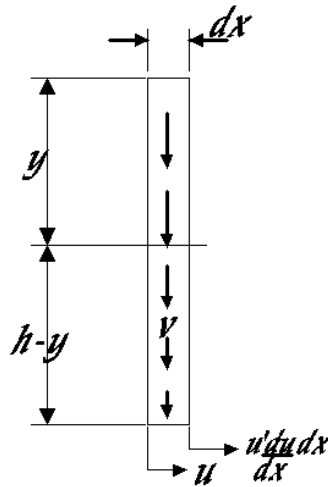


Figura 2.4.2 Velocidad vertical v en una porción de fluido de espesor dx limitado entre dos membranas adyacentes.

Como resultado, se puede definir una velocidad vertical v que depende de la velocidad horizontal u .

$$v = (h - y) \frac{du}{dx} \quad (2.4.1)$$

Dado que el fluido se considera incompresible, la aceleración vertical \dot{v} es proporcional a la velocidad v , lo mismo sucede para la aceleración horizontal \dot{u} y u . Por tanto, la presión en el fluido entre dos membranas está dada por:

$$\frac{\delta p}{\delta y} = -\rho \dot{v} \quad (2.4.2)$$

Donde ρ es la densidad del fluido y la fuerza horizontal total en una membrana es:



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$P = \int_0^h p \, dy \quad (2.4.3)$$

Para obtener una expresión para la presión en la pared, en primer lugar se obtiene la ecuación correspondiente a p .

$$p = -\rho \int_0^y (h - y) \frac{d\dot{u}}{dx} \, dy = -\rho h^2 \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \frac{d\dot{u}}{dx} \quad (2.4.4)$$

Esta expresión de p es reemplazada en la ecuación de la fuerza total P sobre la membrana.

$$P = -\rho h^2 \int_0^h \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \frac{d\dot{u}}{dx} \, dy = -\rho \frac{h^3}{3} \frac{d\dot{u}}{dx} \quad (2.4.5)$$

De esta forma se obtiene una expresión para la fuerza sobre las paredes que es resuelta cuando la velocidad horizontal u es conocida. El problema del cálculo de dicha velocidad se determina mediante el Principio de Hamilton que relaciona la energía cinética y potencial en forma de integrales múltiples con límites de integración adecuados. La solución simplificada da como resultado una ecuación diferencial para resolver la velocidad horizontal u .

$$\frac{d^2 u}{dx^2} - \frac{3}{h} u = 0 \quad (2.4.6)$$

La solución de esta ecuación y sus condiciones de borde se muestran a continuación:

$$\dot{u} = C_1 \cosh \sqrt{3} \frac{x}{h} + C_2 \sinh \sqrt{3} \frac{x}{h} \quad (2.4.7)$$

$$\dot{u} = \dot{u}_0 \text{ en } x = \pm l$$

Por tanto la solución para \dot{u} es:



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$\dot{u} = \dot{u}_0 \frac{\cosh\sqrt{3}\frac{x}{h}}{\cosh\sqrt{3}\frac{l}{h}} \quad (2.4.8)$$

De esta forma se obtiene una expresión reducida para la presión actuante sobre las paredes mayoritariamente asociada el modo impulsivo:

$$p_w = \rho \dot{u}_0 h \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \sqrt{3} \tanh\sqrt{3} \frac{l}{h} \quad (2.4.9)$$

Dadas estas expresiones se reconoce que la aceleración \dot{u}_0 produce un incremento de presión en una pared y una disminución en la otra, es decir, se observa el comportamiento oscilatorio del fluido. Ahora se presenta la forma en que se deducen las expresiones para el movimiento oscilatorio del fluido asociado al modo convectivo:

$$u = \frac{l^2 - x^2}{2} \frac{d\dot{\theta}}{dy} \quad (2.4.10)$$

$$v = \dot{\theta} x \quad (2.4.11)$$

Los efectos de las presiones impulsivas hacen que la parte superior del fluido tienda a oscilar y por tanto que tenga modos fundamentales de vibrar, para encontrar estos modos se considera que el fluido está limitado entre membranas rígidas a las que se les permite rotar como se muestra en la Figura 2.4.3.

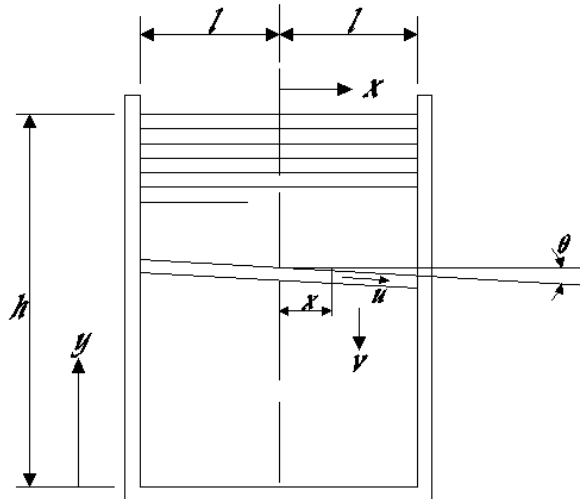


Figura 2.4.3 Restricciones y condiciones consideradas para evaluar los modos de vibración

A partir de las ecuaciones mostradas anteriormente, se definen dos expresiones para encontrar la presión del líquido ejercida sobre la pared de la siguiente forma:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \dot{u} \quad (2.4.12)$$

$$p = -\rho \frac{l^3}{2} \left(\frac{x}{l} - \frac{1}{3} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right) \frac{d\ddot{\theta}}{dx} \quad (2.4.13)$$

Aplicando la ecuación de movimiento para una porción del fluido, se puede encontrar una ecuación diferencial del tipo $\frac{d^2 \ddot{\theta}}{dy^2}$, la cual al resolverla para las condiciones de borde apropiadas, resulta en una expresión para oscilaciones de forma sinusoidal.

$$\theta = \theta_0 \frac{\sinh \sqrt{\frac{5y}{2l}}}{\sinh \sqrt{\frac{5h}{2l}}} \sin \omega t \quad (2.4.14)$$

Donde ωt , frecuencia angular por tiempo.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Para determinar la frecuencia circular angular de vibración que define el comportamiento oscilatorio del fluido, se utiliza la máxima energía cinética y la máxima energía potencial de tal forma que se obtiene una expresión general para ω .

$$\omega_n^2 = \frac{g}{l} n \sqrt{\frac{5}{2}} \tanh \left(n \sqrt{\frac{5}{2}} \frac{h}{l} \right) \quad (2.4.15)$$

Donde n representa el enésimo modo.

De esta forma se deriva una expresión para la presión en las paredes debido al movimiento oscilatorio:

$$p_w = \left(\rho \frac{l^3}{3} \sqrt{\frac{5}{2}} \frac{\cosh \left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{y}{l} \right)}{\sinh \left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{h}{l} \right)} \right) \omega^2 \theta_0 \sin \omega t \quad (2.4.16)$$

En este resumen del estudio realizado por George W. Housner se presentaron los puntos principales de la conceptualización del análisis hecho para reservorios rectangulares. A partir de la base teórica presentada y las expresiones encontradas, el autor las hace extensivas a Reservorios cilíndricos apoyados en la base.

1.5. Extensión del Estudio a Reservorios Cilíndricos

En el reservorio circular el líquido está limitado entre membranas fijas paralelas al eje “x”, cada porción de líquido de espesor unitario puede ser abordada como si fuera una sección de un reservorio rectangular esbelto. Por lo tanto las expresiones derivadas anteriormente pueden ser aplicadas para el caso de los reservorios cilíndricos, en la que la presión ejercida contra la pared del reservorio asociada al modo impulsivo se obtiene a partir de la ecuación (2.17)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

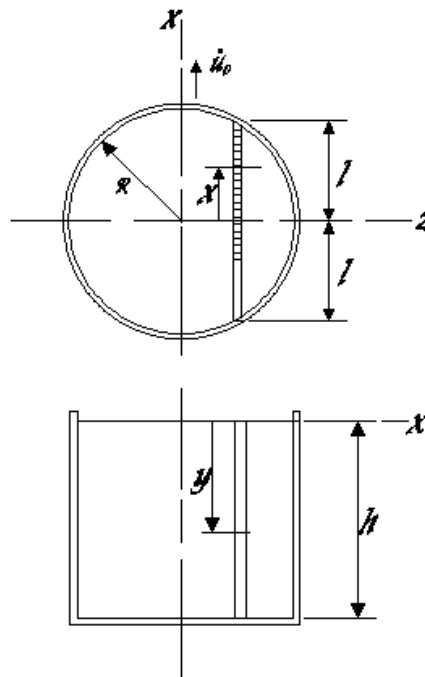
GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$p_w = -\rho \dot{u}_0 h \sqrt{3} \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right) \tanh \left(\sqrt{3} \frac{R}{h} \right) \cos \theta \quad (2.5.1)$$

Nótese el uso de la longitud del radio R que reemplaza a l en la ecuación para reservorios rectangulares. Otro parámetro a tomar en cuenta es la presión en el fondo del reservorio (base) cuya expresión es:

$$p_b = \rho \dot{u}_0 h \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.5.2)$$

Donde: $l^2 = R^2 - x^2$





UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Figura 2.5.1 Planta y elevación de reservorio circular

Para reservorios esbeltos como el que se muestra en la Figura 2.5.2 la parte de fluido por debajo de h se considera que se mueve solidariamente con el reservorio de forma rígida.

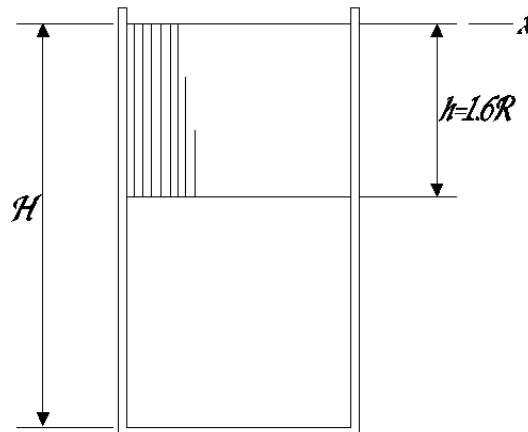


Figura 2.5.2 Reservorio circular esbelto

Tomando la expresión de la presión p_w se puede determinar la ecuación para la fuerza total sobre las paredes.

$$\int_0^h \int_0^{2\pi} p_w \cos\theta R d\theta dy = -\rho \dot{u}_0 \pi R^2 h \frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\sqrt{3}\frac{R}{h}} \quad (2.5.3)$$

La fuerza ejercida tiene el mismo efecto que tendría una masa equivalente M_o , que se moviese solidariamente con el reservorio (base de la formulación de los modelos equivalentes), la expresión correspondiente es:

$$M_o = M \frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\sqrt{3}\frac{R}{h}} \quad (2.5.4)$$

Para ejercer un momento igual al que produce la presión del fluido en la pared, esta masa M_o debe ubicarse a una altura h_o por encima de la base.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$h_o = h \frac{3}{8} \quad (2.5.5)$$

Si los efectos del momento producido por las presiones en el fondo del reservorio se incluye, la masa M_o se ubica a una altura igual a:

$$h_o = h \frac{3}{8} \left(1 + \frac{4}{3} \left(\frac{\sqrt{3}R}{h} \frac{1}{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)} - 1 \right) \right) \quad (2.5.6)$$

Para determinar las presiones asociadas al primer modo de vibración (primer modo convectivo) del líquido se deben considerar las restricciones dadas por membranas horizontales libres a rotación como se muestra en la Figura 2.10.

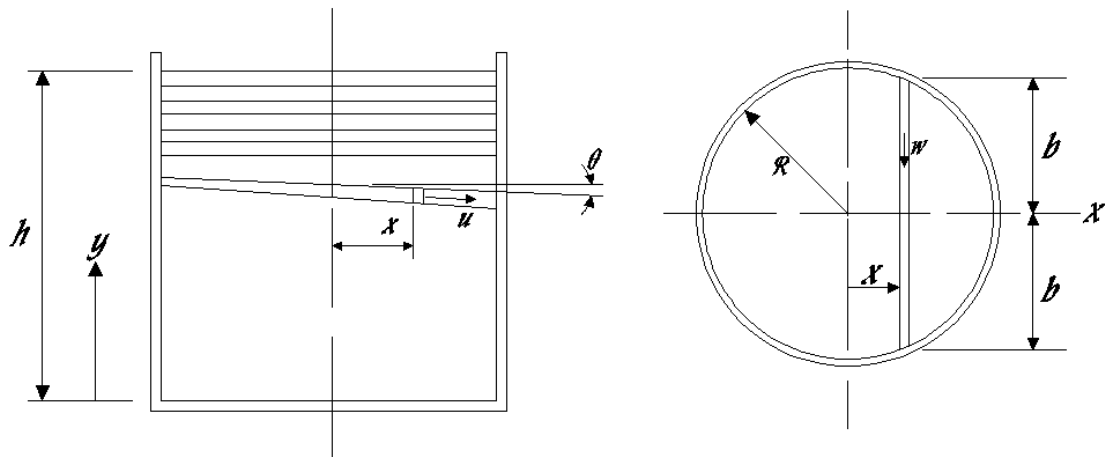


Figura 2.5.2 Reservorio circular

Se definen las variables u, v, w como las componentes de velocidad en las direcciones x, y, z respectivamente y a las cuales se les da restricciones de flujo de tal forma que:



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

- A un valor dado de “x”, “y” se mueve con la misma velocidad v .
- A un valor dado “x”, el fluido se mueve con u uniforme.

De manera análoga al trabajo realizado para reservorios rectangulares, la energía cinética total y la energía potencial del fluido son utilizadas mediante el Principio de Hamilton para llegar a dos expresiones del movimiento oscilatorio del fluido:

$$\frac{\delta^2 \dot{\theta}}{\delta y^2} - \frac{I_z}{K} \dot{\theta} = 0 \quad (2.5.7)$$

Donde I_z representa el momento polar de inercia.

$$\frac{\delta^2}{\delta t^2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_h + g I_z \theta_h = 0 \quad (2.5.8)$$

A partir de estas ecuaciones se obtienen otras expresiones para definir los parámetros correspondientes a las vibraciones libres:

$$\theta = \theta_0 \frac{\sinh \sqrt{\frac{I_z}{k}} y}{\sinh \sqrt{\frac{I_z}{k}} h} \sin \omega t \quad (2.5.9)$$

$$\omega^2 = g \sqrt{\frac{I_z}{k}} \tanh \left(\sqrt{\frac{I_z}{k}} h \right) \quad (2.5.10)$$

Este análisis es general y aplica a cualquier contenedor cilíndrico para el cual los ejes “x”, “y” son ejes de simetría. Particularmente, la solución para el reservorio de estudio se presenta a continuación:

$$\omega^2 = \frac{g}{R} \sqrt{\frac{27}{8}} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \right) \frac{h}{R} \quad (2.5.11)$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

La presión en el fluido se expresa mediante dos ecuaciones del tipo $\frac{\delta p}{\delta z} = -\rho \dot{w}$, $\frac{\delta p}{\delta x} = -\rho \dot{u}$ que provienen de la definición de las componentes de velocidad. Al evaluarse se obtiene una ecuación general para la presión del fluido en el reservorio cilíndrico.

De esta forma se determina la presión en la pared cuya ecuación es:

$$p_w = -\rho \frac{\delta \ddot{\theta}}{\delta y} \frac{R^2}{3} \left(1 - \frac{\cos^2 \theta}{3}\right) \cos \theta \quad (2.5.12)$$

Y la fuerza horizontal total sobre la pared es:

$$P = -\pi \frac{1}{4} \rho \omega^2 R^4 \theta_0 \sin \omega t \quad (2.5.13)$$

Se puede considerar que los efectos de esta fuerza son producidos por una masa M_1 (base de la formulación de los modelos equivalentes) con un movimiento oscilatorio horizontal que puede representarse por un movimiento armónico mediante la siguiente expresión:

$$x_1 = A_1 \sin \omega t \quad (2.5.14)$$

Donde la masa equivalente M_1 asociada al modo convectivo y su coeficiente A_1 son:

$$M_1 = M \frac{1}{4} \sqrt{\frac{27}{8}} \frac{R}{h} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right) \quad (2.5.15)$$

$$A_1 = \theta_0 h \frac{1}{\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \tanh \left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \right)} \quad (2.5.16)$$

Para que M_1 produzca el mismo momento que las presiones en la pared, esta masa equivalente se debe ubicar a una altura h_1 por encima de la base (incluyendo los efectos de la presión en el fondo).



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$h_1 = h \left(1 - \frac{2 \cosh \sqrt{\frac{27h}{8R} - \frac{31}{16}}}{\sqrt{\frac{27h}{8R}} \sinh \left(\sqrt{\frac{27h}{8R}} \right)} \right) \quad (2.5.17)$$

Una vez definidas las bases teóricas del origen de las presiones hidrodinámicas se puede definir, junto a algunas simplificaciones conceptuales, un modelo mecánico del tipo masa – resorte para representar la respuesta de un sistema reservorio – líquido que se muestra en la siguiente sección.

1.6. Modelos Mecánicos Simplificados

1.6.1. Modelo de Housner (1954)

Housner para representar el comportamiento del fluido de una forma simplificada realiza un modelo simplificado donde una porción del líquido permanece rígidamente fija a las paredes (Masa Impulsiva), y una serie de masas que representan el movimiento oscilatorio unidas a las paredes del tanque mediante resortes de rigidez K.

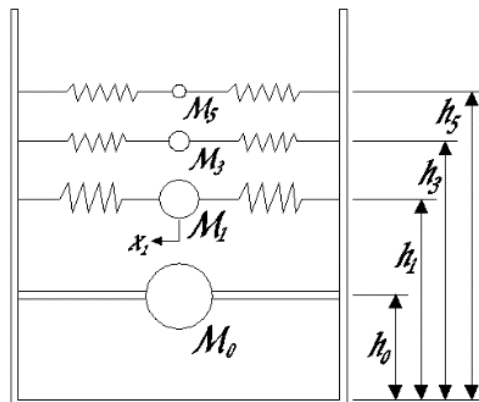


Figura 2.6.1.1 Modelo mecánico equivalente según Housner (1954).



1.6.2. Modelo de Housner (1963)

El modelo mecánico muestra una simplificación al modelo de Housner (1954), en el cual solo considera una masa convectiva que representa el movimiento del oleaje de la superficie libre, la masa impulsiva se considera rígidamente unida a las paredes del reservorio. En este modelo m_i , h_i representan la masa y altura impulsiva efectiva del líquido respectivamente, lo mismo sucede para la componente convectiva m_c , h_c .

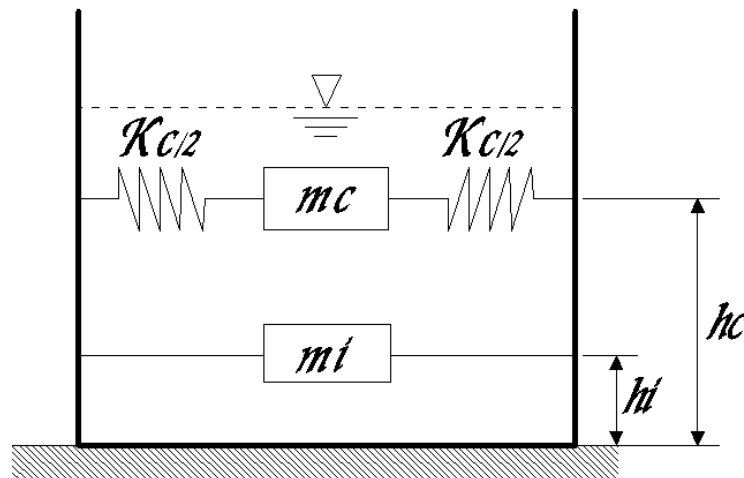


Figura 2.6.2.1 Modelo Mecánico Equivalente según Housner (1963)

1.6.3. Modelo de Veletsos y Yang (1976)

Este modelo es una aproximación a la solución de los efectos de la flexibilidad de las paredes investigada solamente para la respuesta impulsiva y no se considera los efectos de flexibilidad en el modo convectivo debido a que estas oscilaciones están dominadas por oscilaciones de periodos muchos más grandes que las impulsivas y por tanto se espera que sus efectos sean similares a los considerados en las de reservorio rígido.

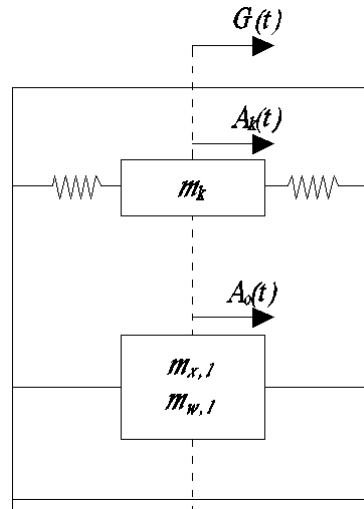


Figura 2.6.3.1 Modelo Mecánico Equivalente según Veletsos y Yang (1976).

1.6.4. Modelo de Haroun y Housner (1981)

El modelo de Haroun y Housner (1981) nace de la necesidad de mejorar la forma en que se abordaba el problema de la deformación de las paredes del reservorio, por tanto este nuevo modelo se origina como una extensión de estudios anteriores realizados por Housner (1954, 1963) en los que se asumía que las paredes son rígidas.

La base conceptual del estudio considerada al reservorio de almacenamiento mediante un sistema de coordenadas cilíndricas dentro de las cuales, entre otros parámetros, se definen componentes de desplazamiento en la membrana para representar la deformación de las paredes. Adicionalmente, se reconoce que los efectos de la respuesta hidrodinámica están dados por la superposición de oscilaciones de estos tipos:

- Componente convectiva asociada a periodos largos.



- Componente impulsiva “rígida” que se mueve en sincronía con la aceleración horizontal y del reservorio.
- Componente impulsiva “flexible” asociada a periodos cortos representando las vibraciones de la pared deformable.

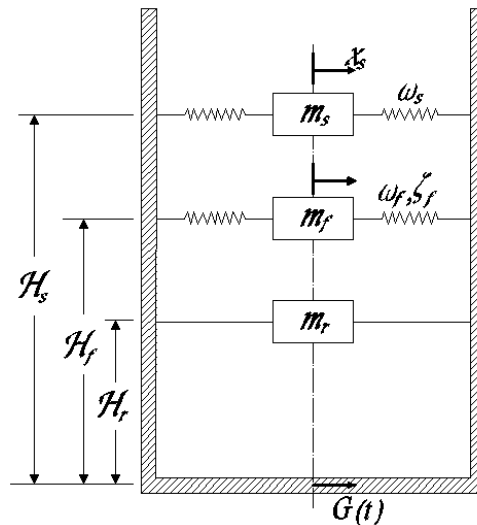


Figura 2.6.4.1 Modelo Mecánico Equivalente según Haroun y Housner (1981).

1.6.5. Modelo de Malhontra

El modelo de Malholtra et. al. (2000) es parte de un estudio para simplificar el procedimiento de diseño sísmico de reservorios circulares apoyados en la base. El procedimiento propuesto toma en cuenta las acciones impulsivas y convectivas del líquido contenido sobre reservorios de acero u hormigón fijados sobre cimentaciones



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

rígidas. El alcance de este estudio aborda únicamente el análisis elástico de Reservorios totalmente anclados y rígidamente soportados.

El procedimiento presentado está basado en estudios anteriores principalmente a los realizados por Veletsos con ciertas modificaciones para simplificar su aplicación, haciendo que el procedimiento sea simple, preciso, y aplicable a una cantidad amplia de Reservorios de diferentes relaciones altura – radio (H/R). A continuación se presentan algunas de las modificaciones realizadas:

- Representar la respuesta dinámica del sistema reservorio – líquido solamente con los primeros modos impulsivos y convectivos.
- Combinar la masa modal impulsiva mayor con el primer modo impulsivo. Lo mismo sucede para el modo convectivo.
- Ajustar las alturas de los modos para tomar en cuenta los efectos volcantes de los modos más altos.
- Generalizar la expresión del periodo impulsivo para que pueda ser usada para Reservorios de acero y hormigón de diferentes espesores.

El modelo mecánico simplificado se presenta en la Figura 2.6.4.1, en él se puede observar las masas y alturas efectivas $m_i h_i$, $m_c h_c$ asociada al modo impulsivo y convectivo respectivamente. Nótese que no existe una masa asociada a la vibración de las paredes flexibles como en algunos de los modelos mecánicos presentados anteriormente, sin



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

embargo se puede observar la diferenciación de amortiguamientos para los espectros de respuesta elástica relacionada a cada masa. El estudio señala que el amortiguamiento adecuado para los espectros de respuesta debe ser de 0.5% para el modo convectivo y 2% para el modo impulsivo en el caso de reservorios de acero. Con las observaciones mencionadas anteriormente, el modelo mecánico representado por un sistema de un grado de libertad se muestra a continuación:

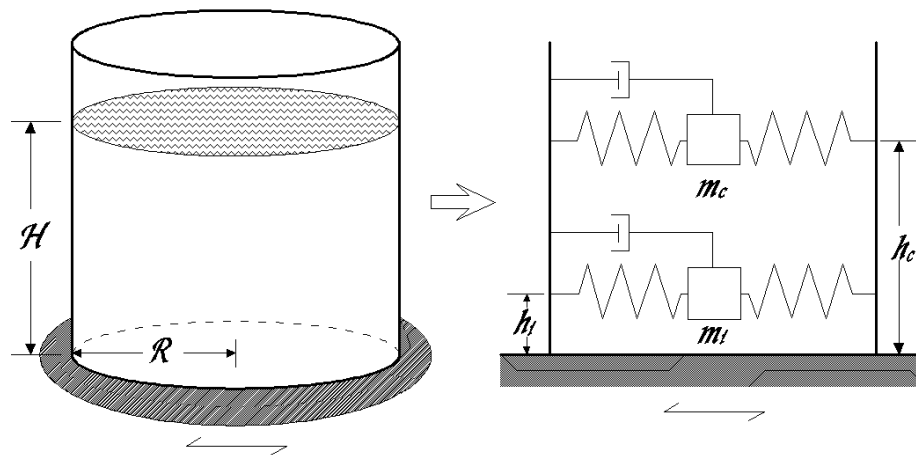


Figura 2.6.5.1 Modelo Mecánico Equivalente según Malholtra et al. (2000).

1.6.6. Modelos de mecánicas con aisladores sísmicos

El método convencional de diseño ante terremotos es aumentar la resistencia de la estructura para que pueda tener tolerancias antes eventos de gran magnitud, como consecuencia se aplicaran mayores fuerzas a la estructura, por el contrario, el efecto de la entrada sísmica puede reducirse significativamente mediante el empleo de aisladores sísmicos, el sistema de aislamiento funciona como un filtro que reduce la transmisión de las fuerzas sísmicas a la estructura.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

El sistema de aislación sísmica busca mejorar el desempeño de la estructura a través de reducción de las fuerzas cortantes y momentos. El excelente desempeño que las estructuras aisladas han tenido durante eventos sísmicos severos (Buckle y Mayes, 1990; Kasai et al., 2013), respaldan las ventajas de esta alternativa en cuanto a aumentar considerablemente el nivel de seguridad para las personas y la operatividad de las estructuras. Además, estudios teóricos, análisis numéricos y ensayos de laboratorio demuestran el buen comportamiento que se puede lograr con los sistemas de aislación en la protección de estructuras sometidas a movimientos sísmicos severos (Naeim y Kelly, 1999; Deb, 2004; Christopoulos y Filiatrault, 2006). Por lo tanto, es importante destacar que el análisis sísmico, juega un papel importante en el desarrollo del desempeño requerido en la etapa de diseño sismoresistente de estructuras con sistema de aislación sísmica en la base.

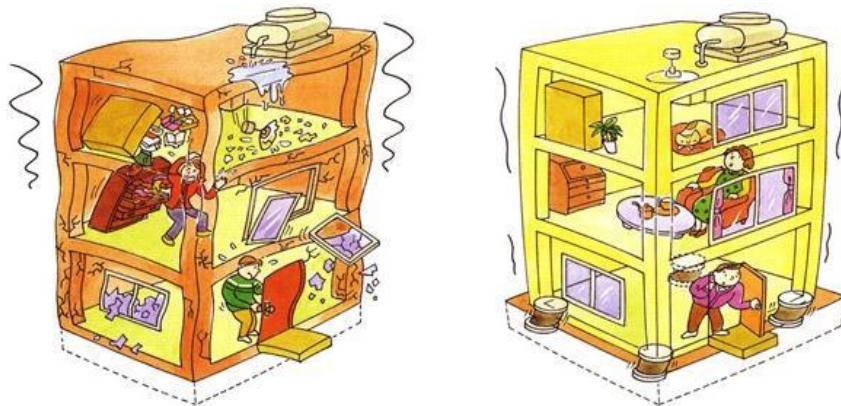


Figura 2.6.6.1 Mejora de la seguridad, funcionamiento y preservación de un edificio gracias al sistema de aislación en la base. (2000). Fuente (6)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA



Figura 2.6.6.2 Reservorio para almacenamiento de gas natural líquido con base aislada después del terremoto de Maule 2010 de Magnitud 8.8. Fuente (6)



Figura 2.6.6.3 Aisladores instalados en la cimentación de un tanque para almacenamiento de gas natural líquido. Fuente (6)

A continuación, se describen algunos modelos utilizados para el aislamiento sísmico de reservorios:



1.6.6.1. Modelo estructural para aislamiento con LRB

El modelo estructural utilizado es base fija y el reservorio de agua aislada, se utilizaron para estimar la apropiada respuesta sísmica (cortante en la base, momento de volteo de la pared, desplazamiento vertical del chapoteo y el desplazamiento lateral de la base del Reservorio)

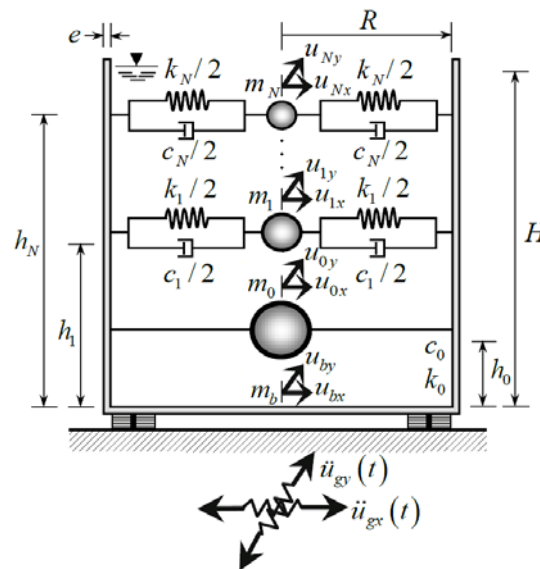


Figura 2.6.6.1.1 Modelo Mecánico con Aislador Sísmico

La masa total de agua almacenada en el reservorio está representada por una serie de masas concentradas que producen fuerzas y momentos equivalentes en las paredes del reservorio debido al movimiento horizontal del suelo durante un terremoto.

La parte del agua que participa en el deslizamiento de la superficie se llama convectiva donde k_j es la rigidez C_j es el amortiguamiento, h_j es la altura y u_j es el desplazamiento con respecto a la base del reservorio asociada a la masa convectiva M_j



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

La parte de la masa del agua que se mueve conjuntamente con el reservorio se denomina impulsiva donde k_0 es la rigidez C_0 es el amortiguamiento, h_0 es la altura y u_0 es el desplazamiento con respecto a la base del reservorio asociada a la masa impulsiva m_0

Además, u_b es el desplazamiento lateral de la base del reservorio con relación al suelo, asociado a la masa neta del Reservorio m_b ; \ddot{U}_g es la aceleración terrestre del terremoto horizontal; $\sum_{j=1}^{\infty} m_w = m_0 + \sum_{j=1}^{\infty} m_j = 1$

M_j es la masa total de agua [4]. Finalmente, el peso total del sistema Reservorio-agua se puede expresar como $W = m_t g$, donde $m_t = m_w + m_b$ es la masa total del sistema reservorio-agua y g es la aceleración gravitacional. Para tener en cuenta la flexibilidad del contenedor, las paredes del. Las siguientes constantes también se consideraron en los cálculos: coeficiente de amortiguación $\zeta_w = 0,5\%$ para el agua y $\zeta_{RC} = 5\%$ para el RC, módulo de elasticidad $E_{RC} = 21\ 300$ MPa y relación de Poisson $\nu_{RC} = 0,20$ para el RC, densidad $\rho_w = 1\ 000$ kg / m³ para el agua y $\rho_{RC} = 2\ 400$ kg / m³ para el RC .

El modelo de fuerzas de restauración histórica bidireccional se utilizara para representar el comportamiento histórico del sistema de aislamiento. La figura 2.6.6.1.2 muestra el modelo matemático del sistema de aislamiento LRB



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

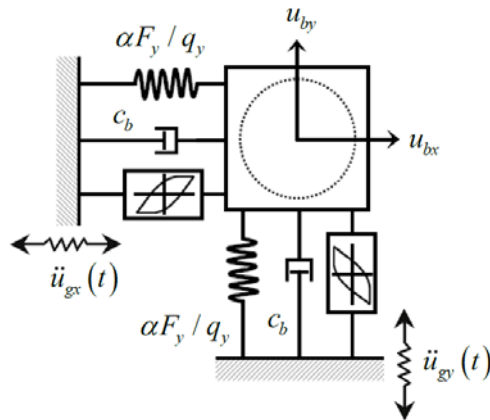


Figura 2.6.6.1.2 Modelo histerético del sistema de aislamiento LRB. Fuente (18)

Las fuerzas de restauración del sistema de aislamiento, F_{bx} y F_{by} , en las direcciones x e y , respectivamente, están dadas por las ecuaciones (2.6.6.1) y (2.6.6.2), donde α es la relación entre la rigidez lateral posterior al pre-rendimiento del sistema de aislamiento, F_y es la resistencia a la flexión del sistema de aislamiento.

$$F_{bx} = c_b u_{bx} + \alpha(F_y/q_y)u_{bx} + (1 - \alpha)F_y Z_{hx} \quad (2.6.6.1)$$

$$F_{by} = c_b u_{by} + \alpha(F_y/q_y)u_{by} + (1 - \alpha)F_y Z_{hy} \quad (2.6.6.2)$$

Z_{hx} y Z_{hy} representan los componentes histeréticos de las fuerzas restauradoras, u_{bx} y u_{by} son el desplazamiento lateral de la base del Reservoirio con respecto al suelo en las direcciones x e y , Respectivamente, y C_b representan el amortiguamiento viscoso del sistema de aislamiento.



1.6.6.2. Modelamiento estructural para un Amortiguador de masa viscosa (VMD)

Se está estudiando la utilización un amortiguador de masa rotatorio denominado amortiguador de masa viscoso (VMD) con cojinetes de aislamiento, para controlar las respuestas del chapoteo en periodos largos, la respuesta del chapoteo puede ser destructiva y provocar daños al reservorio como ruptura de la junta, el pandeo de la cubierta superior o el daños de techos flotantes a largos periodos.

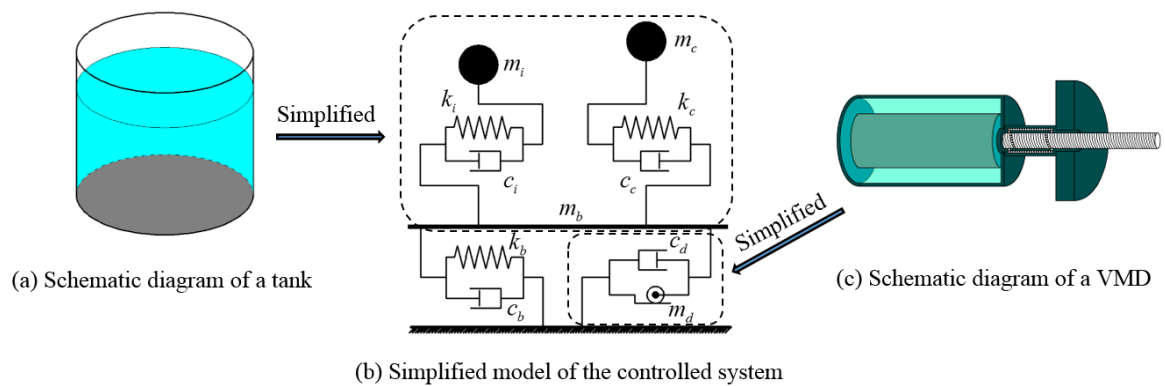


Figura 2.6.6.2.1 modelo simplificado del sistema VMD. Fuente (19)

Donde m , k y c son la masa equivalente, la rigidez equivalente y el coeficiente de amortiguación equivalente, respectivamente. Los subíndices i y c representan los componentes impulsivos y convectivo, respectivamente, y los subíndices b y d designan el sistema de aislamiento y el sistema VMD, respectivamente. Mediante el uso del método de Malhotra.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

El VMD consta principalmente de dos partes, un volante y un tubo interior recubierto con fluido viscoso, ambos montados con una tornilla de bolas, a través del tornillo de bola y la tuerca de bola, el movimiento longitudinal, como la deriva de entre pisos de un edificio puede ser transferido en el movimiento de rotación de alta velocidad y el tubo interno. En consecuencia, tanto la masa inercial equivalente del volante como el efecto viscoso pueden amplificarse significativamente.

Para derivar un modelo matemático, el volante rotativo puede simplificarse como un elemento de masa, y el fluido viscoso alrededor del tubo interno rotatorio puede idealizarse como un elemento amortiguador viscoso. Los caracteres físicos de este sistema son que los dos elementos comparten el mismo desplazamiento mientras que tienen fuerzas dependientes, que pueden ser modeladas por la conexión paralela entre el elemento de masa y el elemento viscoso. Por lo tanto, el modelo mecánico para un VMD se puede representar como se muestra en la Fig. 1, donde c_d indica el coeficiente de amortiguación equivalente del elemento amortiguador viscoso y m_d , la masa equivalente del elemento de masa giratoria.

1.7. Normas técnicas para el análisis de reservorios

En nuestro país no se dispone de una norma específica para realizar el análisis y diseño de estructuras hidráulicas, como lo son, los reservorios elevados. Existen códigos extranjeros que proporcionan recomendaciones mínimas a tener en cuenta durante la etapa de análisis y diseño. A continuación, se hace una breve descripción de algunos



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

códigos o normas relacionados con el análisis no lineal de reservorios elevados de concreto armado.

1.7.1. ACI350.3-06

El código ACI 350.3-06, ofrece procedimientos simplificados para el análisis y diseño sísmico de estructuras de concreto armado que contienen líquido.

El capítulo 4 del ACI 350.3-06 está orientado a determinar las fuerzas generadas por el sismo. Para determinar dichas fuerzas se puede realizar un análisis estático o un análisis dinámico. Las fuerzas del análisis estático propuesto en ese capítulo se obtienen a partir de las fuerzas generadas por el comportamiento hidrodinámico del agua. Para ello, se emplea el modelo simplificado de Housner. Por otro lado, las fuerzas del análisis dinámico, se obtienen del espectro de diseño construido a partir de los parámetros de sitio y factores indicados en dicho manual. En las Tablas N° 2.1 y 2.2 se muestran los factores de importancia (I) y de reducción de la respuesta (R) que se obtienen a partir del uso y del tipo de estructura, respectivamente.

Para el caso de los reservorios elevados de agua, el factor de importancia que le corresponde es 1.25, ya que éstos pertenecen al sistema de abastecimiento de agua de la ciudad, lo que los hace parte del sistema de línea vida. Asimismo, al ser elevados, el factor de reducción R_i es dos, y el R_c es uno. El factor R_i corresponde al modo impulsivo, donde el reservorio y un porcentaje del agua se comportan como una unidad, y el factor



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Re al modo convectivo, que es el movimiento aislado del agua restante. Los valores de R_i están relacionados con la ductilidad del reservorio, por ello los valores oscilan entre 1.5 y 3.25. Por otro lado, no se puede hablar de una ductilidad del agua, por ello, el factor de reducción para el modo convectivo es uno.

1.8. Normas técnicas para el análisis sísmico

1.8.1. NTE E.030

La norma técnica de edificaciones E.030, es la norma peruana que se emplea para el diseño sismorresistente de las edificaciones. En ella, se encuentran los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación y tipo de suelo. En esta investigación se tomaron los valores de la NTE E.030 aprobada en el año 2016.



2. METODOLOGÍA

2.1. Generalidades

Para el análisis de sísmico de reservorios utilizaremos el modelo mecánico de Housner, calcularemos los datos de la componente impulsiva y convectiva, se definirán las características de los materiales también se definirá las dimensiones de acuerdo a la geometría, la relación L/H_L en caso de secciones rectangulares y en caso la relación D/H_L . En secciones Circulares.

2.2. Propiedades mecánicas del concreto

Definiremos las propiedades mecánicas del concreto de acuerdo a lo siguiente.

Peso Específico = 2400 kg/m³

Resistencia nominal a compresión $f'c$

Módulo de elasticidad $E_c = 15000\sqrt{f'c}$

Módulo de Ruptura $f_r = 2\sqrt{f'c}$

Curva de comportamiento. Se asumirá el modelo esfuerzo – deformación de Whitney.

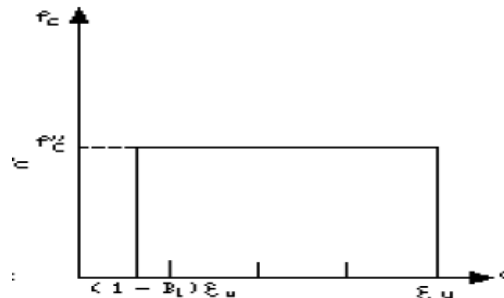


Figura 4.2.1 Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del concreto no confinado, Whitney.



2.3. Acero de Refuerzo.

Deformación Unitaria Máxima $\epsilon_c = 0.003$

Corrugado, grado 60, esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kg/cm² = 4.2 ton/cm²

Módulo de elasticidad = $E_s = 2'000,000$ kg/cm²

Deformación al inicio de la fluencia = 0.0021

Curva de comportamiento: Se simplificará idealizándola como dos líneas rectas (Park, Pauley¹) ignorando la resistencia superior de cedencia y el aumento en el esfuerzo debido al endurecimiento por deformación.

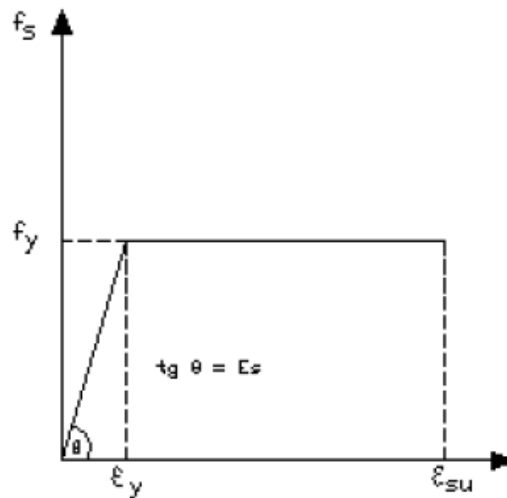


Figura 4.3.1 Modelo de comportamiento esfuerzo – deformación del acero.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4. Modelo dinámico

2.4.1. Para Reservorios Rectangulares

2.4.1.1. Determinación del Peso de la componente impulsiva y Convectiva

Para el cálculo del peso de la componente impulsiva y convectiva se realizara de acuerdo a la relación $\frac{L}{H_L}$, donde L es la longitud en la dirección del sismo y H_L es la altura del agua, para lo cual emplearemos las fórmulas de acuerdo al capítulo 9 Modelo dinámico.

2.4.1.1.1. Peso de la componente Impulsiva

$$\frac{W_I}{W_L} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

Donde.

W_i = *Peso de la componente Impulsiva (tn)*

W_L = *Peso del agua (tn)*

L = *largo interno de los reservorios paralelo a la direccion de la fuerza sismica (m)*

H_L = *Altura del liquido (m)*

2.4.1.1.2. Peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Donde:

W_c = Peso de la componente Convectiva (tn)

W_L = Peso del agua (tn)

L = largo interno de los reservorios paralelo a la direccion de la fuerza sismica (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Factores de masas Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

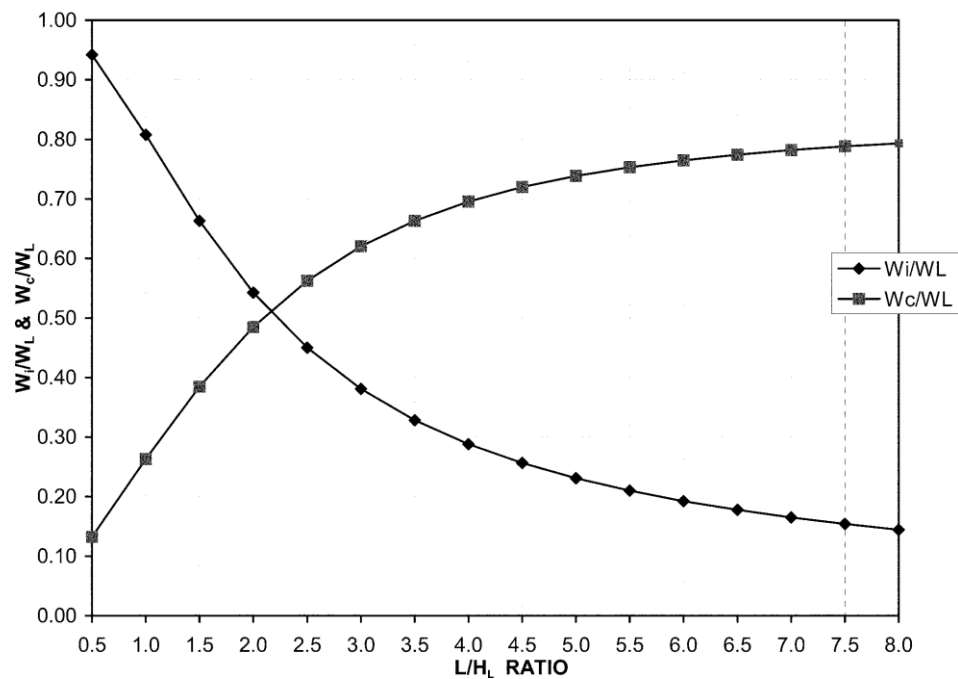


Figura 4.4.4.1.1 Factores W_i/W_L and W_c/W_L vs Relación L/H_L para Reservorios rectangulares (Fuente ACI 350.3.06).



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4.1.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

2.4.1.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Para el cálculo de la altura de la componente impulsiva se calcula en función de la relación longitud de reservorio paralela a la dirección de sismo – Altura de líquido, se toma algunas consideraciones de acuerdo al ACI 350.03.06.

Sin Presión en la Base

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{H_L}$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

Con presión en la Base

$$\frac{L}{H_L} < 0.75 \quad \frac{h'_i}{H_L} = 0.45$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 0.75 \quad \frac{h'_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}{2 \tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}$$

Donde

h_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

h'_i = altura de la componente impulsiva con presión en la base

L = largo interno de los reservorios paralelo a la dirección de la fuerza sismica (m)

H_L = Altura del liquido (m)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4.1.2.2. Altura de la componente Convectiva

Sin presión en la Base

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

Con presión en la Base

$$\frac{h'_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.16 \frac{H_L}{L} \right] - 2.01}{3.16 \left(\frac{H}{L} \right) \sinh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

Donde

h_c = altura de la componente convectiva

L = largo interno de los reservorios paralelo a la direccion de la fuerza
sismica (m)

H_L = Altura del liquido (m)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

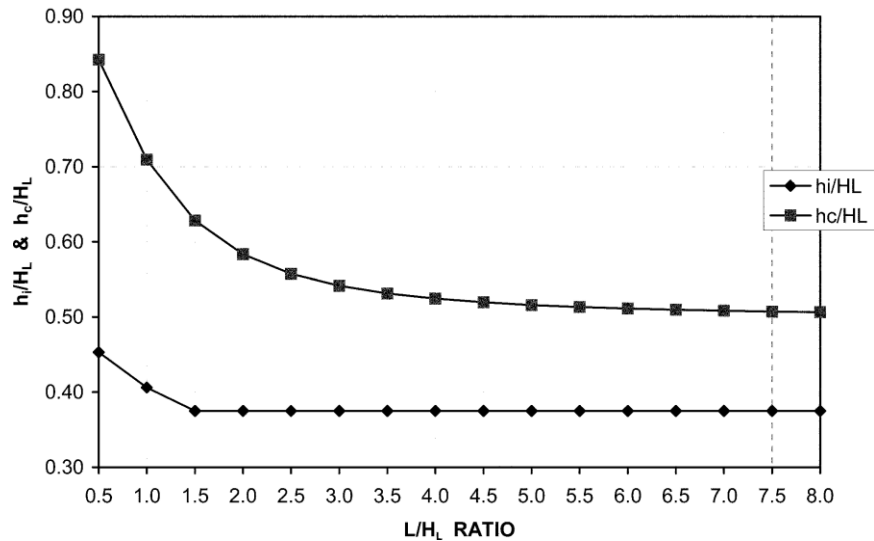


Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i / H_L and h_c / H_L vs relación L/H_L para reservorios Rectangulares EBP (Fuente ACI 350.3.06)

Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs la relación L/HL

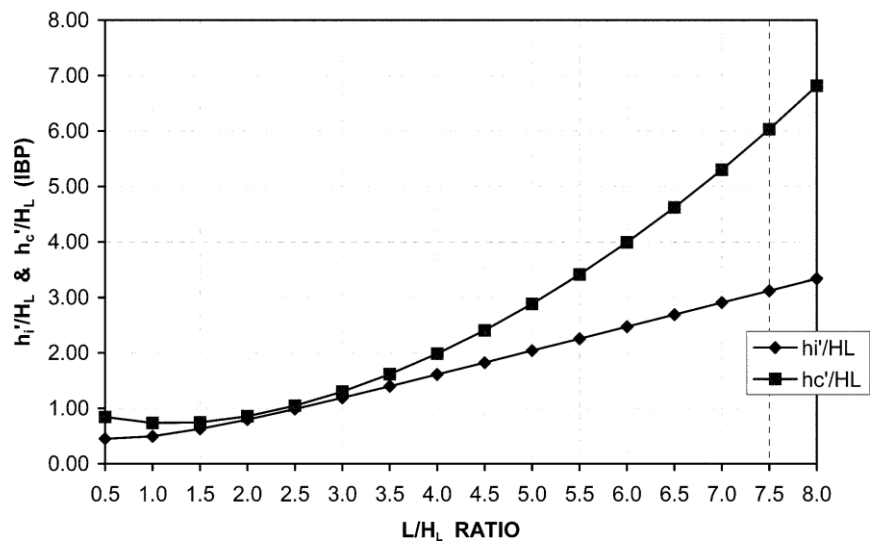


Figura 4.4.1.2.1 Factores h_i' / H_L and h_c' / H_L vs relación L/H_L para reservorios Circulares EBP (Fuente ACI 350.3.06).



2.4.1.3. Propiedades dinámicas

2.4.1.3.1. Calculo del periodo Impulsivo

Para el cálculo del periodo de la componente impulsiva se debe calcular la frecuencia circular de modo impulsivo ω_i (rad/s) que está en función de la masa y rigidez del muro de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad m = m_w + m_i$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

T_i = Periodo fundamental de la componente impulsiva, seg.

ω_i = Frecuencia circular del modo impulsivo de vibracion, rad/s

m = masa, $kN s^2/m^4$

m_w = masa por unida de ancho, $kN s^2/m^4$

m_i = masa de la componente impulsica de liquido por unidad de ancho, $kN s^2/m^4$

2.4.1.3.2. Calculo del periodo Convectivo

Para el cálculo del periodo de la componente convectiva se calcula la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo que está en función del coeficiente λ y de la longitud L , se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

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



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

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

T_c = Periodo fundamental de la componente convectiva, seg.

ω_c = Frecuencia circular del modo convectivo de vibracion, rad/s

L = Longitud del largo interno paralelo a la fuerza sismica, m

2.4.2. Para reservorios Circulares

2.4.2.1. Determinación del peso de la componente Impulsiva y Convectiva

Para el cálculo del peso de la componente Impulsiva y convectiva se calcula en función del peso del líquido, el diámetro y altura del agua, para lo cual se emplearan las siguientes fórmulas de acuerdo ACI 350.03.06:

2.4.2.1.1. Peso de la componente impulsiva

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

Donde.

W_i = Peso de la componente Impulsiva (tn)

W_L = Peso del agua (tn)

D = Diametro interno (m)

H_L = Altura del liquido (m)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4.2.1.2. Peso de la componente Convectiva

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

Donde:

W_c = Peso de la componente Convectiva (tn)

W_L = Peso del agua (tn)

D = Diametro interno del Reservoirio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Factores de Masa Impulsiva y Convectiva vs Relacion D/H_L

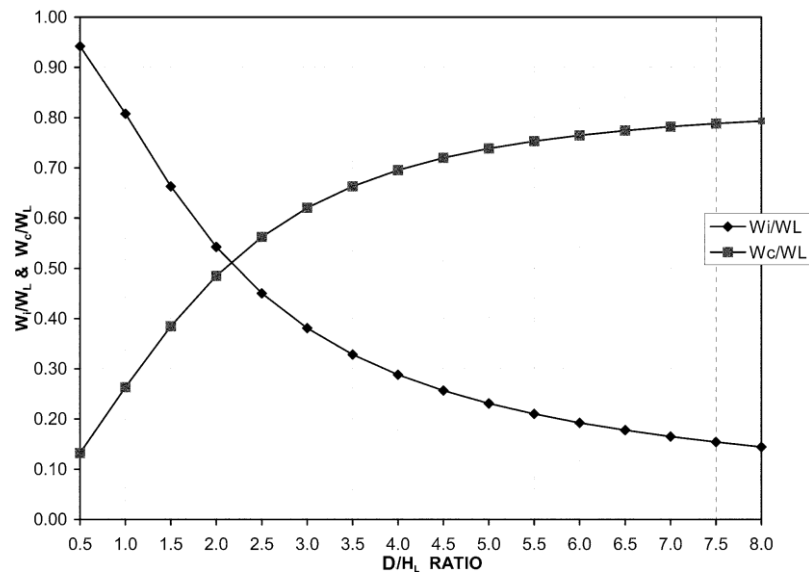


Figura 4.4.2.1 Factores W_i / W_L y W_c / W_L vs D / H_L para Reservorios Circulares.

(Fuente ACI 350.3.06)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4.2.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

Para el cálculo de la altura de la componente impulsiva y convectiva se calcula en función de la relación diámetro Interno – Altura de líquido, se toma algunas consideraciones de acuerdo al ACI 350.03.06 para el cálculo:

2.4.2.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Sin Presión en la Base

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} < 1.333$

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

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

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

Con presión en la Base

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} < 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_i} = 0.45$$

Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} \geq 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right)}{2 \tanh \left[0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right) \right]} - \frac{1}{8}$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Donde

h_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

h'_i = altura de la componente impulsiva con presión en la base

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

2.4.2.2.2. Altura de la componente Convectiva

Sin presión en la Base

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

Con presión en la Base

$$\frac{h'_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \sinh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]}$$

Donde

h_c = altura de la componente convectiva sin presión en la base

h'_c = Altura de la componente convectiva con presión en la base

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)



Factores de la Altura Impulsiva y Convectiva vs Relación D/H_L

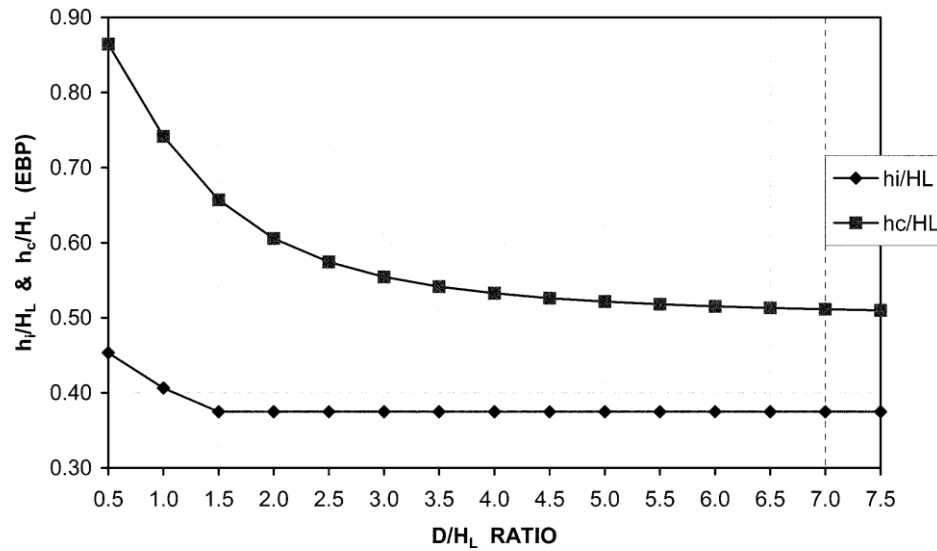
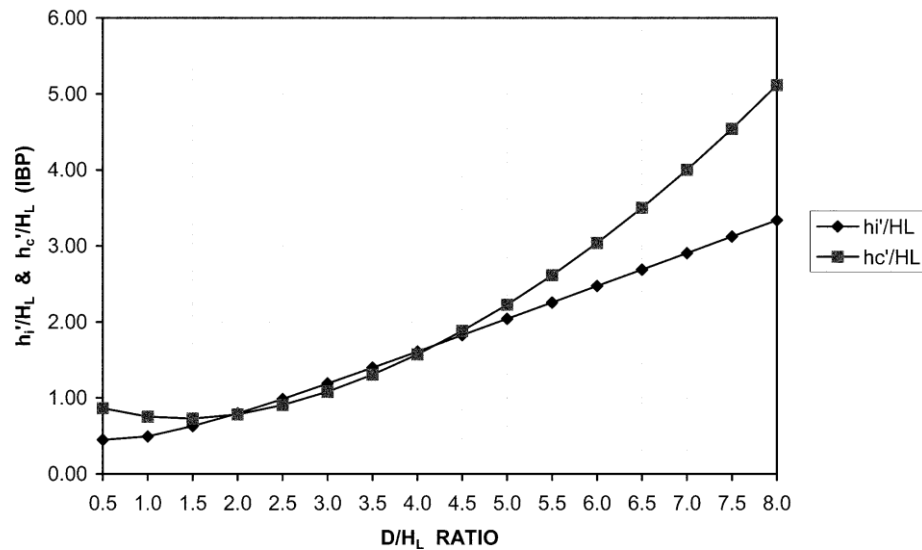


Figura 4.3.1 factores h_i/H_L y h_c/H_L versus relación D/H_L para reservorios circulares (EBP). (Fuente ACI 350.03-6)

Factores de Altura Impulsiva y Convectiva vs relación D/H_L





UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Figura 4.4.2.2 factores h_i / H_L y h_c / H_L versus relación D/H_L para reservorios circulares (EBP). (Fuente ACI 350.03-6)

2.4.2.3. Propiedades dinámicas

2.4.2.3.1. Calculo del periodo Impulsivo

Para el cálculo del periodo de la componente impulsiva se debe calcular la frecuencia circular de modo impulsivo ω_i (rad/s), factor de amplificación del espectro periodo – dependiente para los movimientos horizontales C_l , de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\omega_i = C_l \frac{12}{H_L} \sqrt{E_c \frac{g}{\gamma_c}}$$

$$C_l = C_w 10 \sqrt{\frac{t_w}{12r}}$$

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

Donde:

T_i = Periodo fundamental de la componente impulsiva, seg.

ω_i = Frecuencia circular del modo impulsivo de vibracion, rad/s

E_c = Modulo de elasticidad del Concreto, kg/cm²

g = gravedad, 9.81 m/s²

γ_c = Peso especifico del Agua, kg/m³

C_w = Coeficiente para determinar la frecuencia fundamental del sistema.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.4.2.3.2. Calculo del periodo Convectivo

Para el cálculo del periodo de la componente convectiva se calcula la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo que está en función del coeficiente λ y del diametro, se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

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

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

T_c = Periodo fundamental de la componente convectiva, seg.

ω_c = Frecuencia circular del modo convectivo de vibracion, rad/s

D = Diametro interno del Reservorio (m)

2.5. Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Rectangulares

$$K_c = \frac{5 W_L}{6 H_L} \tanh^2 \left(\sqrt{10} \frac{H_L}{L} \right)$$

K_c = frecuencia circular de oscilacion del primer modo convectivo (rad/seg)

H_L = Peso de la masa convectiva (Tnf)

L = Longitud (m.)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$g = \text{gravedad (m/s)}$

2.6. Calculo de la rigidez del Resorte en secciones Circulares

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right)}{D}}$$
$$K_C = w_c \frac{W_C}{g}$$

$w_c = \text{frecuencia circular de oscilacion del primer modo convectivo (rad/seg)}$

$W_C = \text{Peso de la masa convectiva (Tnf)}$

$D = \text{Diametro}$

$g = \text{gravedad (m/s)}$

2.7. Definición de los Parámetros sísmicos

Para obtener los parámetros sísmicos utilizaremos la norma E.030 aprobado con Decreto supremo 003-2016-vivienda, en ella se encuentra los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación, tipo suelo y uso, para lo cual se tomaran los siguientes valores.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.7.1. Factor de zona

El Perú esta zonificada en 4 zonas que fueron calculados de acuerdo a las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, a cada zona se asigna un factor Z se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rigido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

TABLA N° 01 FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Tabla 4.7.1.1 Factor de Zona (Z). Fuente (Norma E.030)

2.7.2. Parámetros de sitio

El factor de suelo se obtiene en función de los perfiles de suelo que se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de ondas, para suelos granulares, el valor promedio ponderado de los \bar{N}_{60} , obtenidos mediante un ensayo de penetración (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia de corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos, para lo cual se tiene la siguiente clasificación:

Perfil tipo S_0 : Roca Dura

Perfil tipo S_1 : Roca o suelos muy rigidos



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Perfil tipo S_2 : Suelos intermedios

Perfil tipo S_3 : Suelos Blandos

Perfil tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

De acuerdo a la clasificación obtenida se podrán sacar los valores del factor de suelo S y de los periodos T_P y T_L , de acuerdo a las siguientes tablas:

Suelo	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_2	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 4.7.2.1 Factor de Suelo (S). Fuente (Norma E.030).

	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_P(S)$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L(S)$	3.00	2.5	2.0	1.60

Tabla 4.7.2.2 Factor de $T_P(S)$ y $T_L(S)$. Fuente (Norma E.030)

2.7.3. Factor de amplificación sísmica (C)

De acuerdo a las características del sitio, se definirá el factor de amplificación (C) de acuerdo a las siguientes expresiones:



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$\begin{aligned}
 T < T_p & \quad C = 2.5 \\
 T_p \leq T < T_L & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \\
 T \geq T_L & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p T_L}{T} \right)
 \end{aligned}$$

2.7.4. Factor de Uso

Los reservorios son estructuras esenciales, después de un evento sísmico de gran magnitud tiene que quedar operativa para el abastecimiento de la la población.

CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
A2	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo.	1.5

Tabla 4.7.4.1 Factor de Uso (U). Fuente (Norma E.030)

2.7.5. Factor de respuesta sísmica

Para el análisis de sísmico vamos a tener dos factores de respuesta uno para la componente impulsiva y otra para la componente convectiva, por tanto vamos a tener dos espectros de respuesta los cuales escalaremos de acuerdo a las recomendaciones de ACI 350.3-06 para tener el espectro de respuesta a utilizar.

Tipo de estructura	Ri		Rc
	Sobre	Enterrados	
Anclados, Reservorios con base flexible	3.25	3.25	1



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

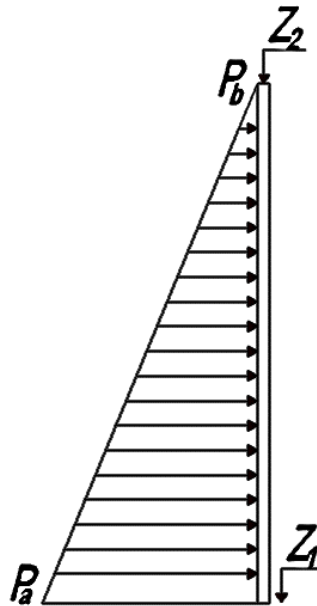
GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Reservorios con base empotrada o rotulada	2	3	1
Reservorios apoyados	1.5	2	1
Reservorios sobre pedestales	2		1

Tabla 4.7.4.1 Factor de Respuesta sísmica (R). Fuente (ACI 350-3-6)

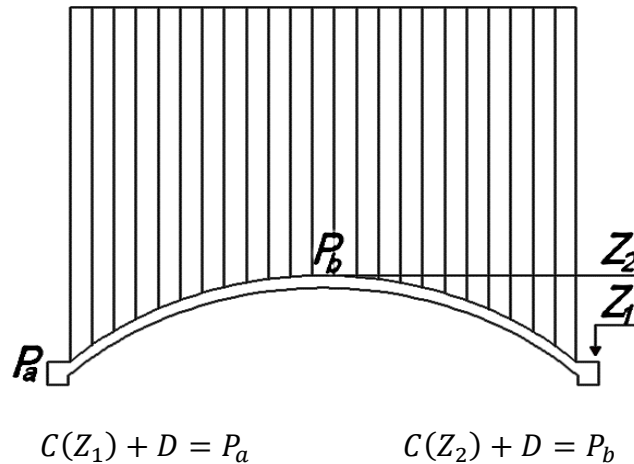
2.8. Determinación de la presión Hidrostática

La presión hidrostática o presión de líquido es una carga no distribuida ejercida por el líquido en las paredes y bases del reservorio, se calcular de acuerdo a las siguientes formulas:



$$C(Z_1) + D = P_a$$

$$C(Z_2) + D = P_b$$



2.9. Determinación del espectro de diseño de la Norma E.030

Para la determinación del espectro de respuesta sísmica se utilizarán los parámetros sísmicos Z, U, S, C y R de acuerdo a la normativa peruana, en función de los periodos se calculará la aceleración espectral.

Para la utilización del espectro de respuesta deben ser escalados por un factor de reducción, que según ACI 350.3-06 utilizaremos para la dos componentes una impulsiva y de uno para el periodo convectivo, también se debe considerar que la razón de amortiguamiento crítico para la zona del periodo convectivo es de 0.5%, por lo cual el espectro debe multiplicarse por un factor de $\beta=1.5$ de acuerdo a lo indicado en ACI 350.3-06, con lo indicado, el espectro fue dividido en dos zonas, una que corresponde a la zona de periodo convectivo y la otra para la componente Impulsiva, según la recomendación de ACI 350.3-06 el periodo donde se produce la división de las zonas es a 2.4 seg, esto se debe a que a periodos mayores a 2.4 seg existe un comportamiento Hidrodinámico y con ella la participación de la masa convectiva.

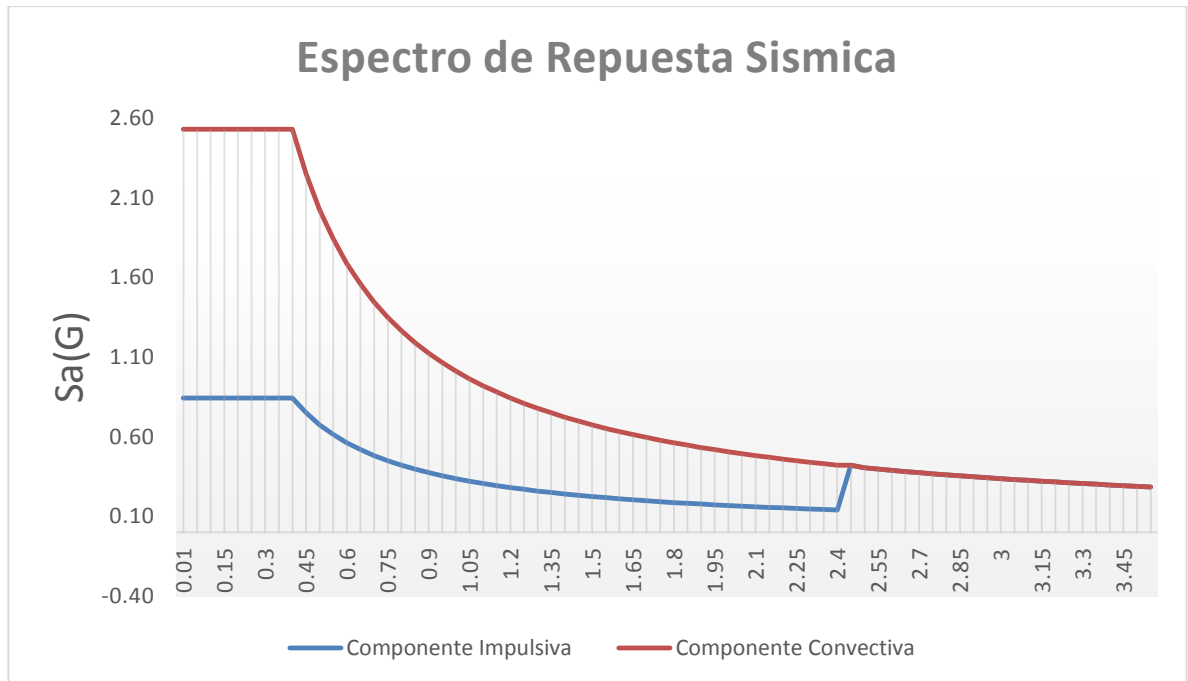


Figura 8.9.1 Espectro de Respuesta sismica



Figura 8.9.2 Espectro de Respuesta sísmica a utilizar en el Modelo Dinamico



3. CASO DE APLICACIÓN

3.1. Modelo de Análisis

Para el análisis se seleccionó un reservorio tipo INTZE, proyectado en el departamento de Tacna de volumen de 1400 m³ los parámetros sísmicos utilizados son de acuerdo a la norma sismo-resistente E.030.

3.1.1. Características del reservorio R-1

El reservorio tiene una capacidad R-2 de 1400 m³ de capacidad, para el diseño del reservorio se empleó un $f'c$ de 280 kg/cm². En la tabla se muestra el dimensionamiento del reservorio donde se observa la relación diámetro (D) interior entre la altura de agua H_L es de 2.27, este dato es importante para determinar la masa impulsiva y convectiva.

<i>Propiedades geométricas y de cargas</i>	
Diámetro interior de la cuba (D)	16.60 m
Altura Efectiva de Líquido (H_L)	7.30 m
Peso de fuste	439.16 Tnf
Peso del depósito	558.97 Tnf
Peso del agua	1,400.00 Tnf
Peso de la carga viva	35.96 tnf
Relación D/H_L	2.27

Tabla 5.1.1.1 Propiedades geometrías y de cargas

3.1.2. Propiedades mecánicas del concreto

Peso Específico = 2400 kg/m³

Resistencia nominal a compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad $E_c = 15000 \cdot \sqrt{f'c} = 250998.01 \text{ kg/cm}^2$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Módulo de Ruptura $f_r = 2\sqrt{f'_c} = 33.47 \text{ kg/cm}^2$

3.1.3. Acero de Refuerzo.

Deformación Unitaria Máxima $\epsilon_c = 0.003$

Corrugado, grado 60, esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kg/cm² = 4.2 ton/cm²

Módulo de elasticidad = $E_s = 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$

Deformación al inicio de la fluencia = 0.0021

3.2. Modelo dinámico

3.2.1. Determinación del Peso de la Componente Impulsiva y Convectiva para el reservorio R-1

3.2.1.1. Calculo del peso de la componente impulsiva

Para el cálculo del peso impulsivo utilizamos la siguiente ecuación:

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

$$\frac{W_i}{1400} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{16.60}{7.30} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{16.6}{7.3} \right)}$$

$$W_i = 683.76 \text{ tnf}$$

3.2.1.2. Calculo del peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_C}{W_L} = 0.230 \left(\frac{D}{H_L} \right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$\frac{W_c}{1400} = 0.230 \left(\frac{16.6}{7.30} \right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{16.6}{7.30} \right) \right]$$

$$W_c = 676.85 \text{ tnf}$$

3.2.2. Determinación de la altura de la componente convectiva e impulsiva.

3.2.2.1. Altura de la componente Impulsiva

Utilizaremos la siguiente ecuación Considerando $\frac{D}{H_L} \geq 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

$$\frac{h_i}{7.3} = 0.375$$

$$h_i = 2.737 \text{ m.}$$

3.2.2.2. Altura de la componente Convectiva

Utilizaremos la siguiente ecuación considerando que no hay presión el base

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

$$\frac{h_c}{8.29} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \right] - 1}{3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \sinh \left[3.68 \left(\frac{7.30}{16.6} \right) \right]}$$

$$h_c = 4.282 \text{ m.}$$

3.2.3. Propiedades Dinámicas

3.2.3.1. Calculo del periodo Convectivo

Utilizaremos la siguiente ecuación



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

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

$$\lambda = 5.776$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

$$\omega_c = 1.419$$

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

$$T_c = 4.43 \text{ seg.}$$

3.3. Calculo de Rigidez de Resorte en secciones Circulares

Para el cálculo utilizaremos la siguiente ecuación:

Para el reservorio R-01

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh \left(\frac{3.68H_L}{D} \right)}{D}}$$

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh \left(\frac{3.68(7.30)}{16.6} \right)}{16.6}} = 1.418 \text{ rad/seg}$$

$$K_C = w_c \frac{W_C}{g}$$

$$K_C = 138.701 \text{ kg/cm}^2$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

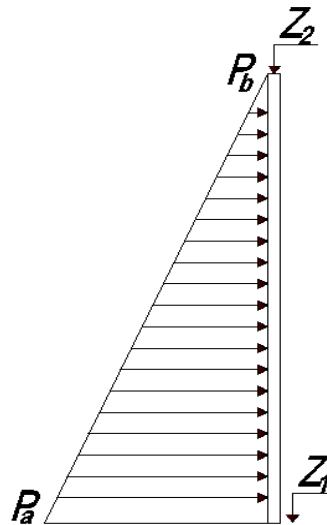
GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

3.4. Definimos los parámetros sísmicos

PARAMETROS	
Z =	0.45
U =	1.5
S =	1.05
T_p =	0.6
R_i =	2
R_c =	0.666666667

Tabla 5.4.1 Parámetros Sísmicos a Utilizar

3.5. Determinación de la presión Hidrostática.



Para lo cual utilizaremos la ecuación

Para el reservorio R-01

$$C(18.80) + D = 7.3$$

$$C(26.10) + D = 0$$

$$C = -1$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

$$D = 26.10$$

3.6. Espectro de Diseño de la Norma E. 030

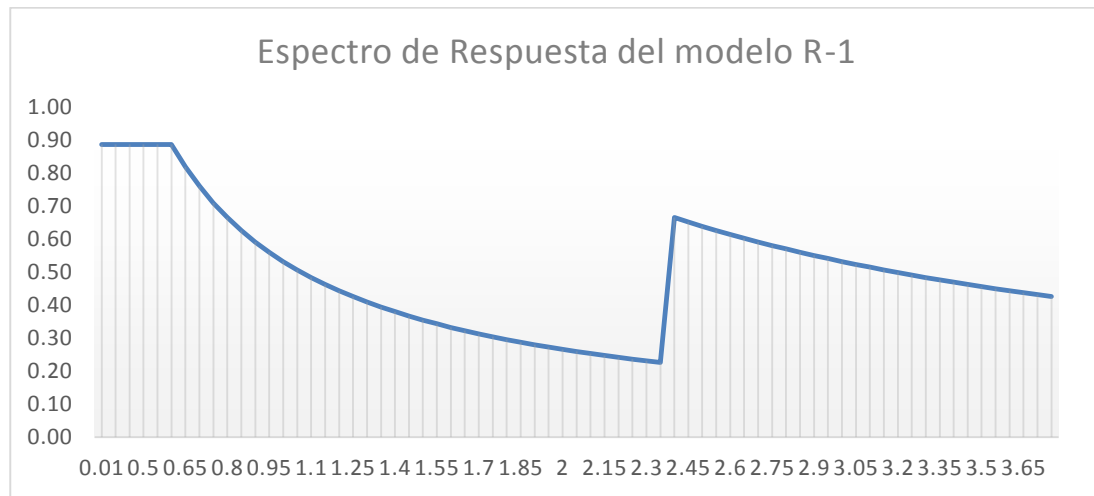


Figura 6.6.1 Espectro de Respuesta Sísmica R-01

3.7. Resumen de resultados

3.7.1. Resumen de Resultados de los parámetros dinámicos

Masa Total del Líquido Almacenado (WF)	1,400.00 Tnf
D/HL	2.274
Wi / WF	0.488
Wc / WF	0.483
Peso Equivalente de la Componente Impulsiva Wi	683.76 Tnf
Peso Equivalente de la Componente Convectiva Wc	676.85 Tnf
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (hi)	2.737 m.
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (hc)	4.282 m.
Aceleración debido a la gravedad (g)	9.81 m/seg ²
λ	5.776
Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (wc)	1.419 rad/seg
Periodo natural del primer modo convectivo (Tc)	4.43 seg.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Tabla 6.4.1 1 Resultados de los Parámetros Dinámicos R-01

3.8. Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000

A continuación se describe los procedimientos seguidos para el análisis dinámico de reservorios para ello utilizaremos el reservorio R-1.

Se dibujaron los trames del fuste y la cuba en el programa SAP 2000 de acuerdo a las dimensiones.

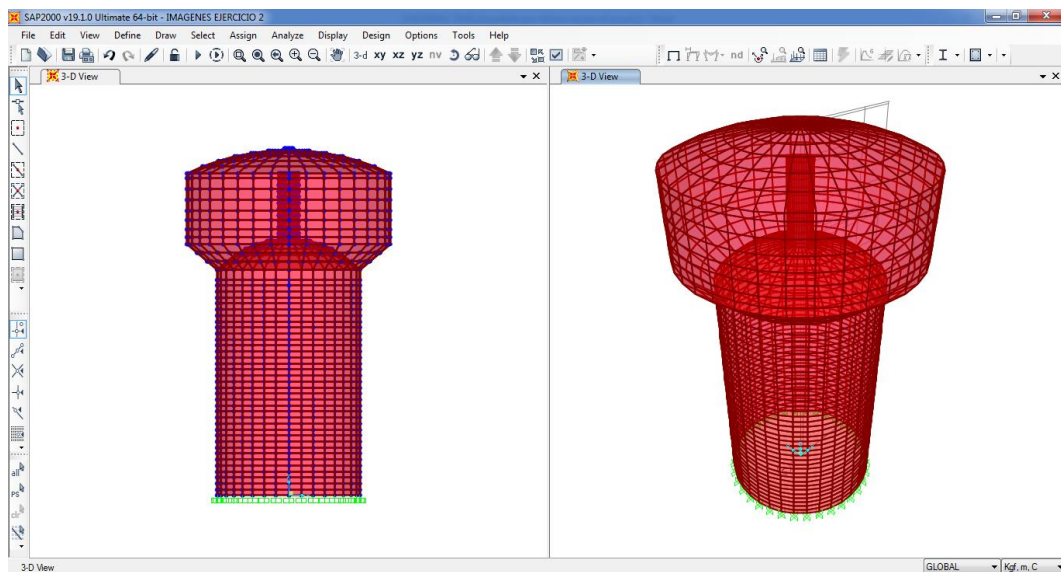


Figura 5.8.1 Modelo en 3D Reservorio Tipo INTZE

Paso 1. Se definen las propiedades mecánicas de los materiales para ello se ingresa a la opción Define/Materials.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

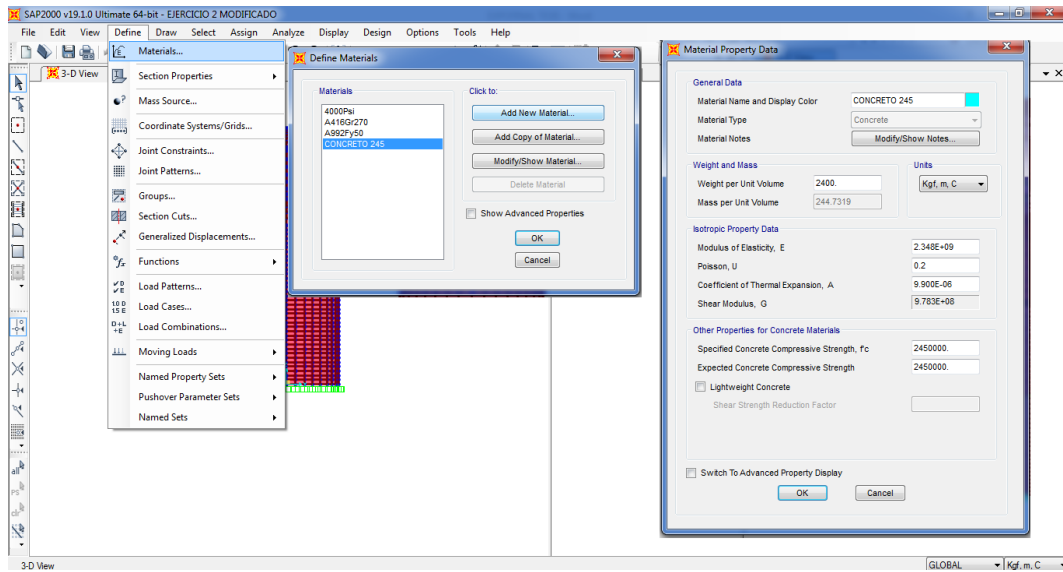


Figura 5.8.2 Definición de las propiedades mecánicas del concreto

Paso 2. Se define las secciones de los muros y elementos estructurales para ello se ingresa a Define/Section Properties/frame sections o área Sections.

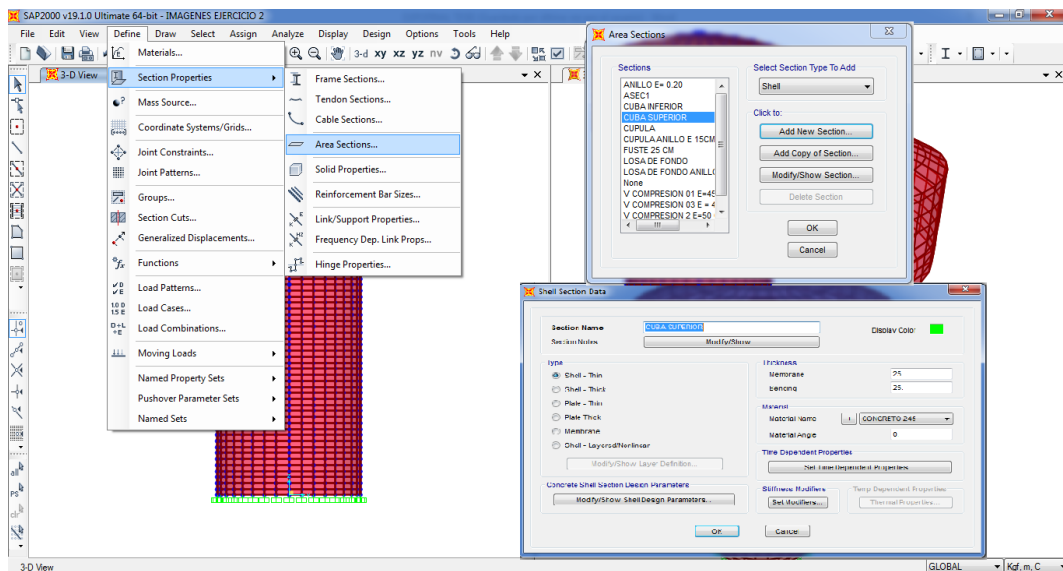


Figura 5.8.3 Definición de las secciones de los elementos Shell



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Paso 3. Definiremos los patrones de cargas para ello ingresaremos a define/Load Patterns

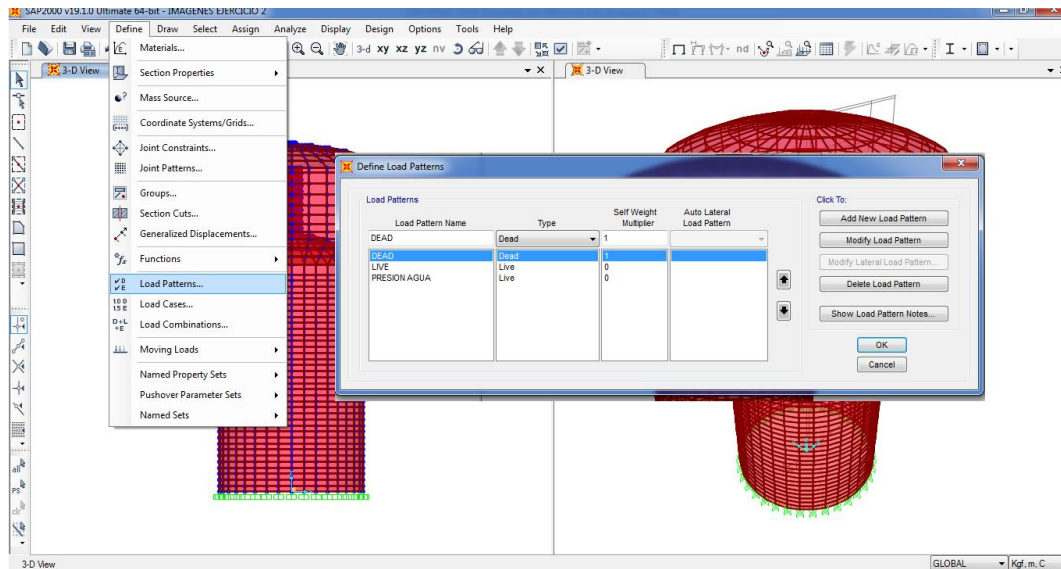


Figura 5.8.4 Definición de las secciones de los elementos Shell

Paso 4. Para asignar el peso impulsivo se creara un punto en la altura calculada para el peso impulsivo, se asignara como un diafragma, para ello se ingresara Define/Joint constraints, luego se seleccionara los puntos en la altura h_i Assing/Joint/Constraints, para asignar el peso se ingresara a Assing/Masses



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

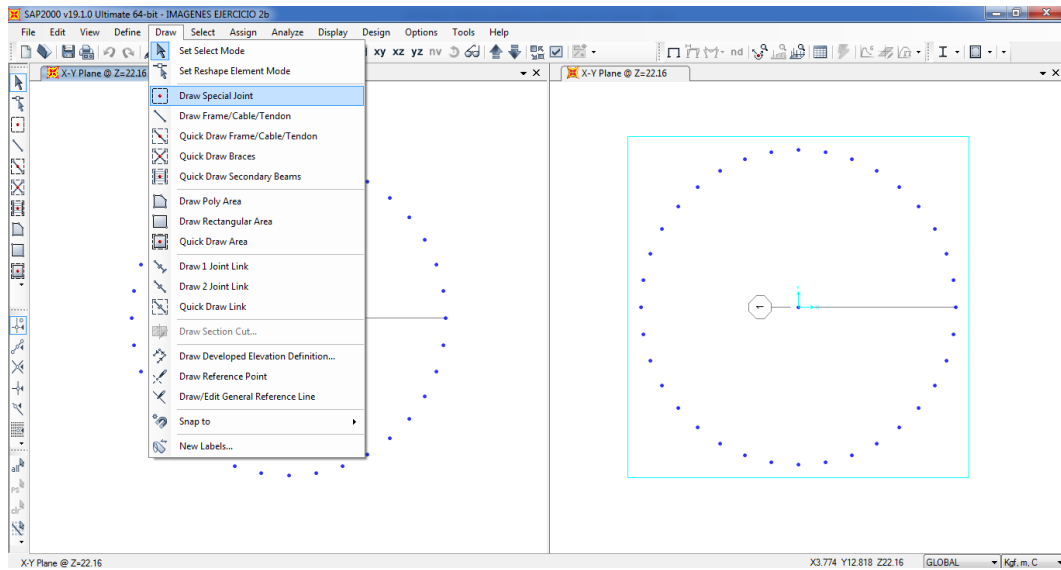


Figura 5.8.5 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Impulsivo

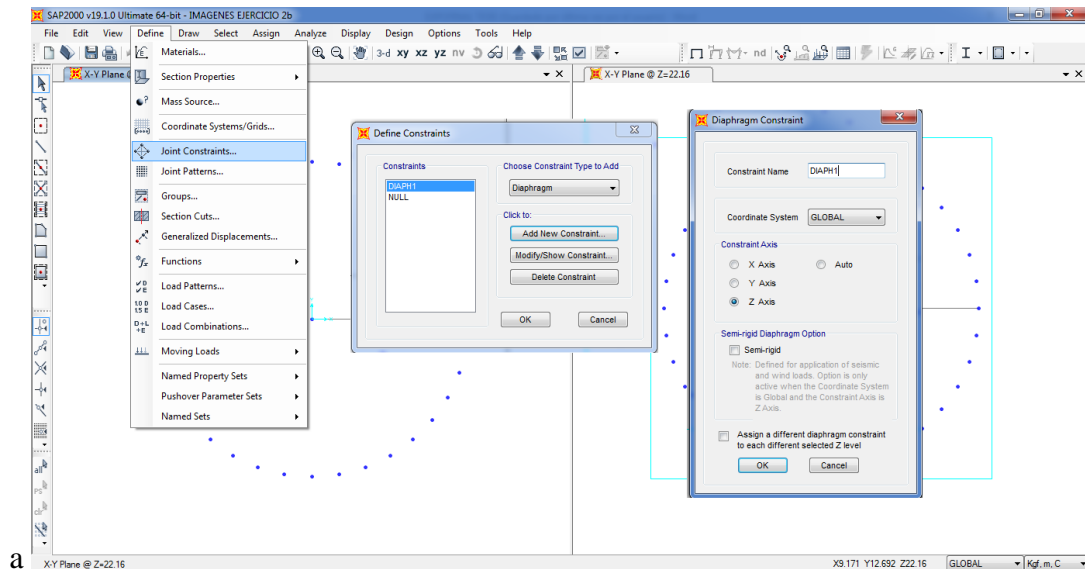


Figura 5.8.6 Definimos el diafragma para simular el comportamiento del peso impulsivo

impulsivo



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

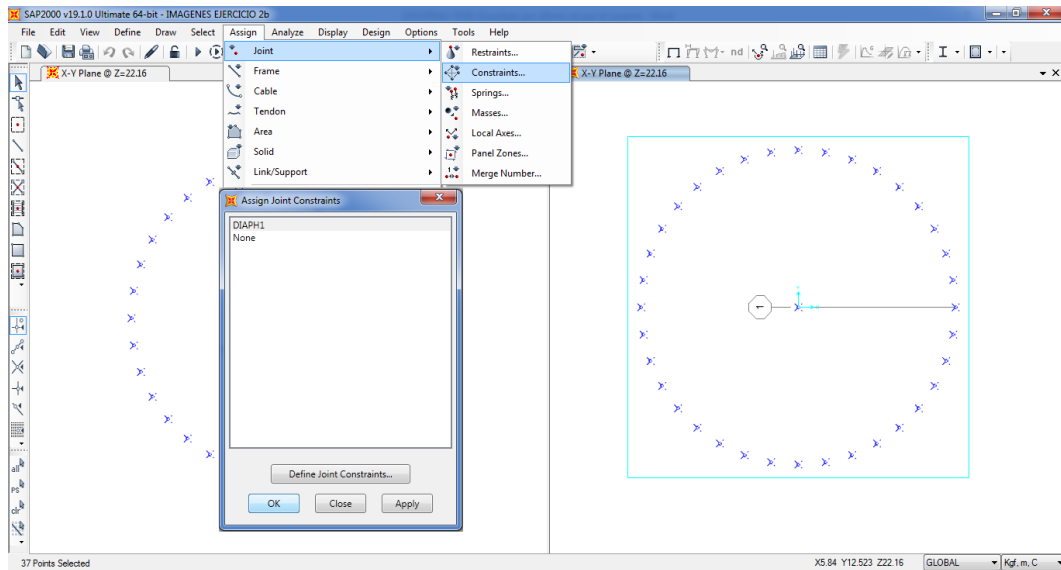


Figura 5.8.7 Seleccionamos los puntos a la altura del Peso Impulsivo, luego asignamos el Diafragma para simular el comportamiento rígido de la masa Impulsiva.

Paso 5. Para asignar la el peso convectivo se creara un punto en la altura calculada para el peso convectivo para ello se ira a Draw/Draw special joint, luego se creara el resorte para ello se ingresara a Define/Section Properties/ link/support properties, donde se asignara la rigidez calculada, luego dibujaremos los resortes para lo cual ingresaremos a Draw/Draw 2 Joint Link, para asignar el peso se ingresara a Assing/Masses.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

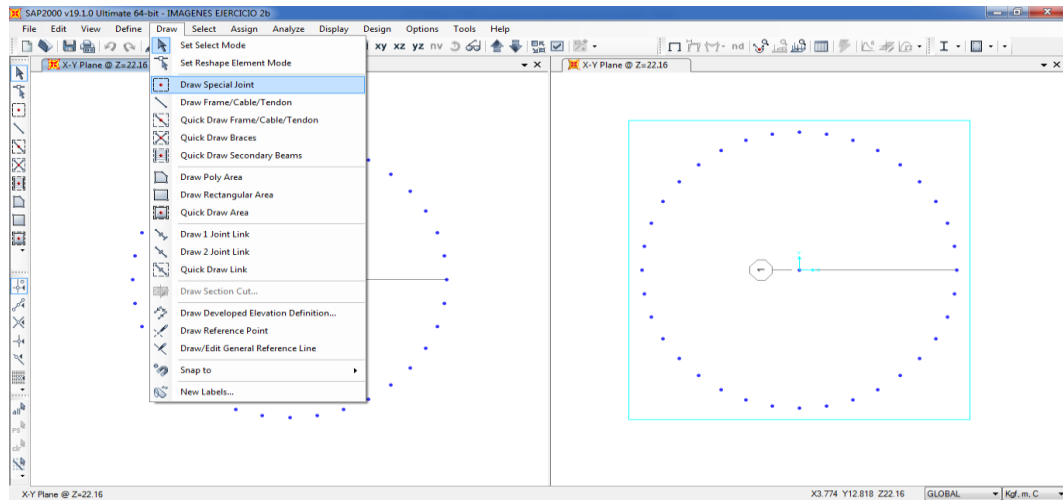


Figura 5.8.8 Dibujamos en punto donde estará Ubicado el Peso Convectivo.

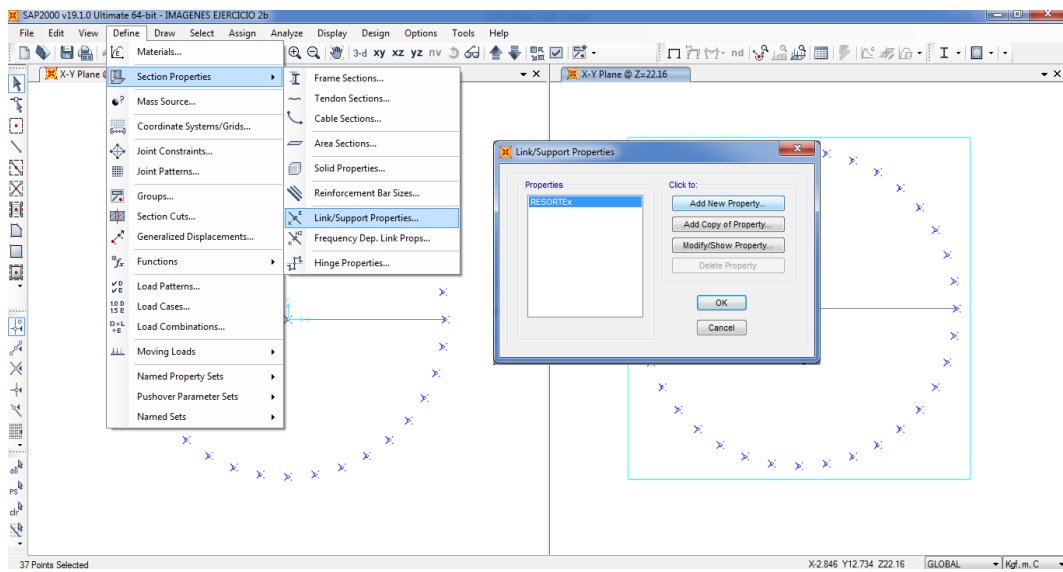


Figura 5.8.9 Definimos el resorte asignando las rigidez



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

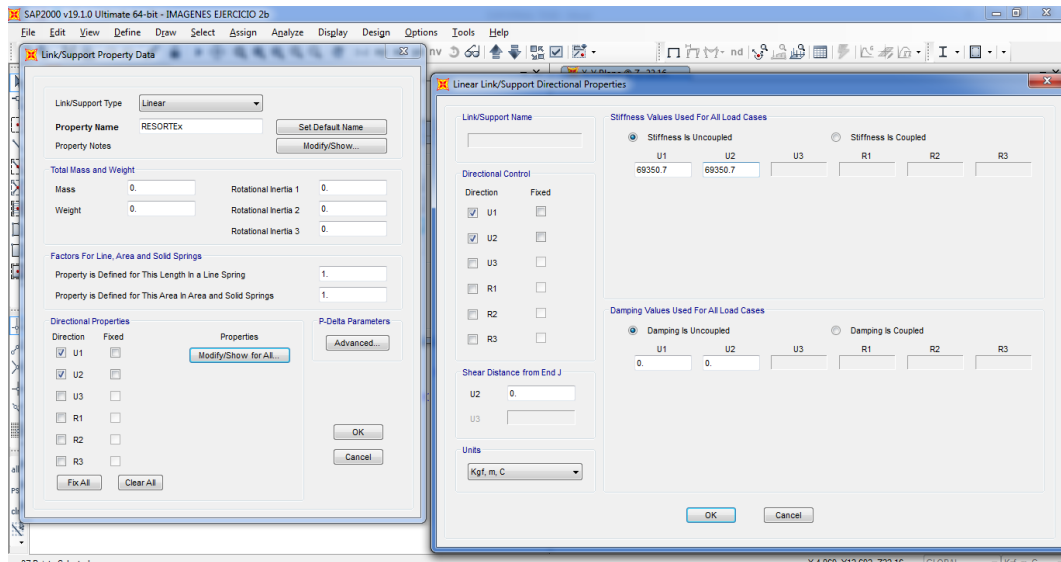


Figura 5.8.10 Asignamos la rigidez del resorte, luego dibujamos los resorte para ellos ingresamos a a Draw/Draw 2 Joint Link

Paso 6. La presión Hidrostática se asignara de acuerdo a los factores calculados para ello se ingresara primero a Define/Joint Patterns para definir el patrón de carga para la presión del agua, luego seleccionamos los muros y asignamos la presión hidrostática para ello se ingresara a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

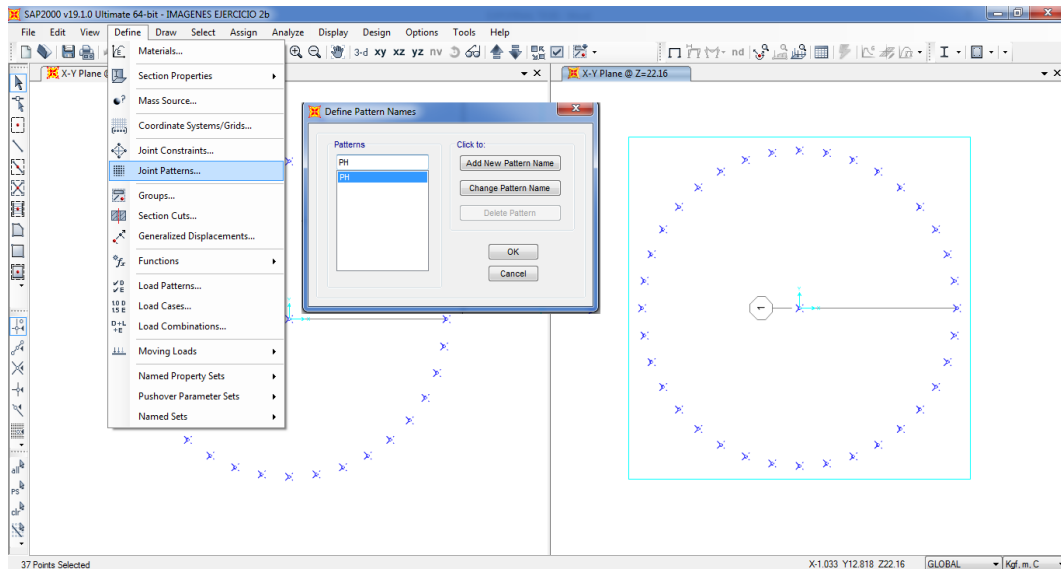


Figura 5.8.11 Definimos el Join Patterns para asignar la presión hidrostática

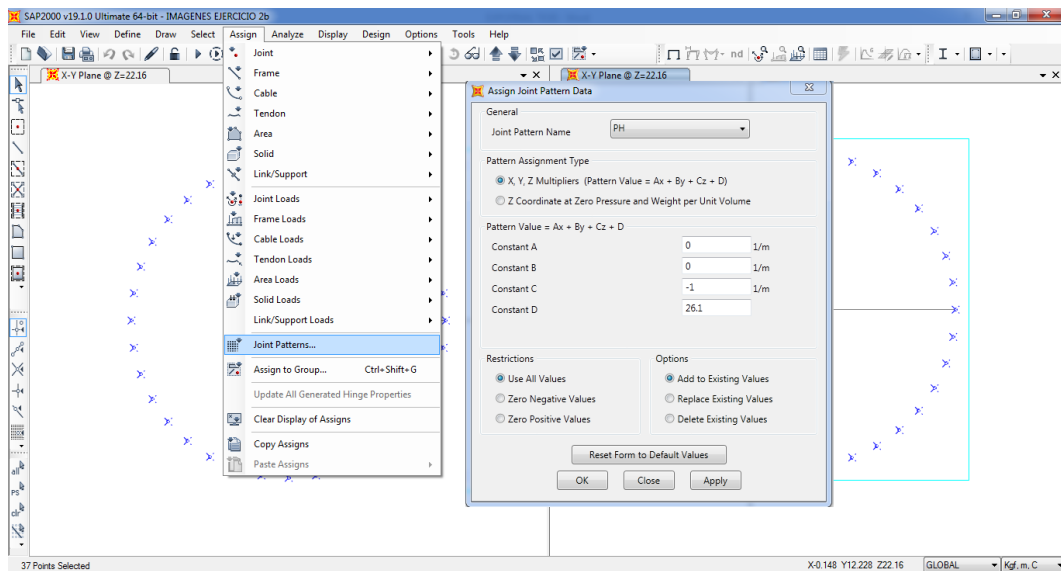


Figura 5.8.12 Seleccionamos las paredes de la cuba, luego asignamos la presión hidrostática para ello ingresamos a Assign/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assign/Area Loads/Surface pressure.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Paso 7. Definimos el espectro de respuesta para lo cual ingresamos a Define/Response Spectrum, luego definimos los casos de cargas ingresamos a Define/Load Cases

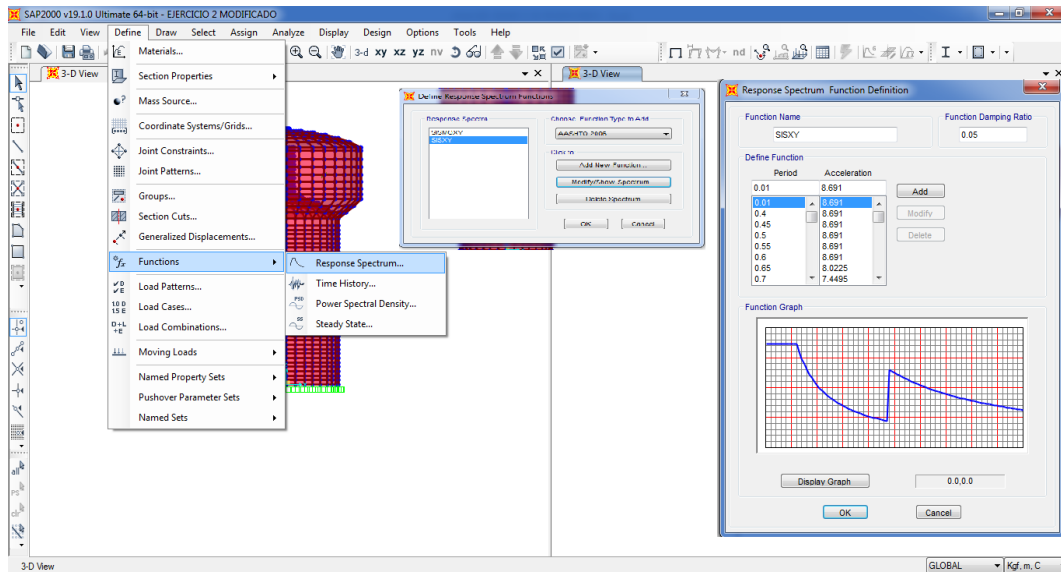
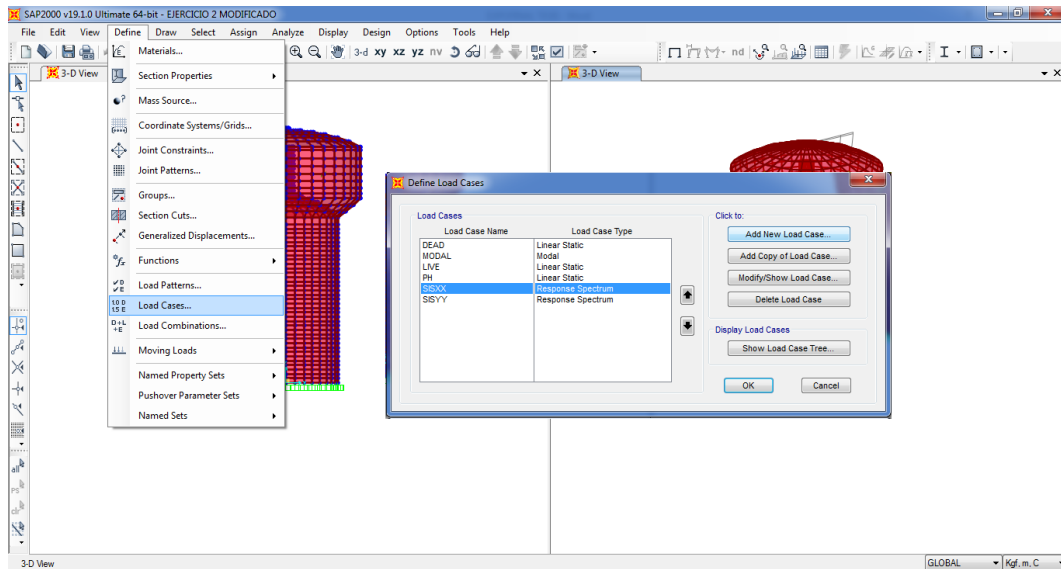


Figura 5.8.13 Asignamos el Espectro de Respuesta para las direcciones del Sismo en

X e Y





UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Figura 5.8.14 Definimos los casos de cargas

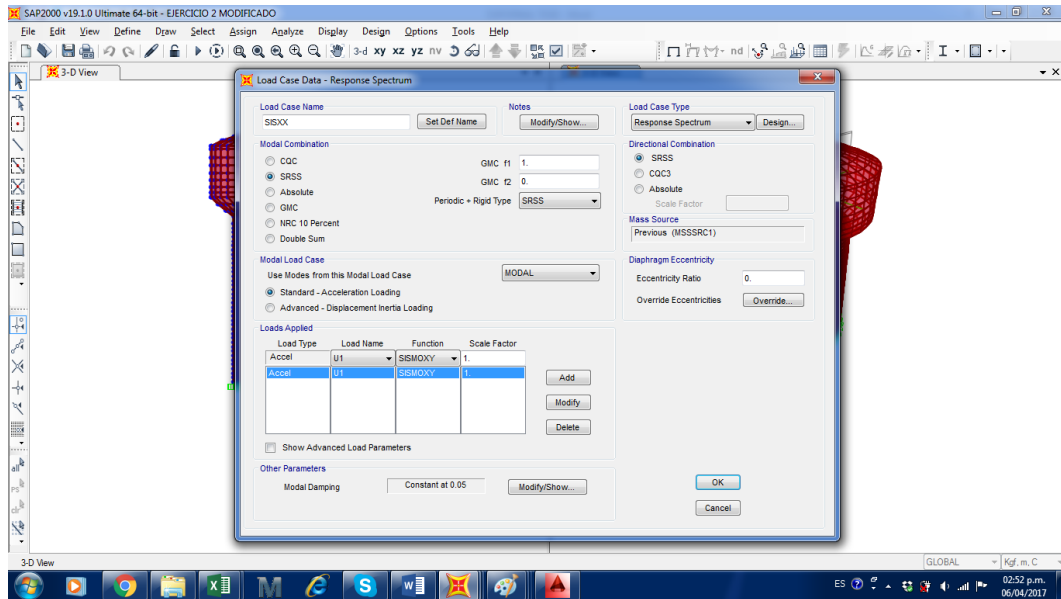


Figura 5.8.14 Definimos los datos del caso de carga para el sismo en X-X

Paso 8. Definimos las combinaciones de cargas para ello ingresamos a Define/ Load Combinations



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

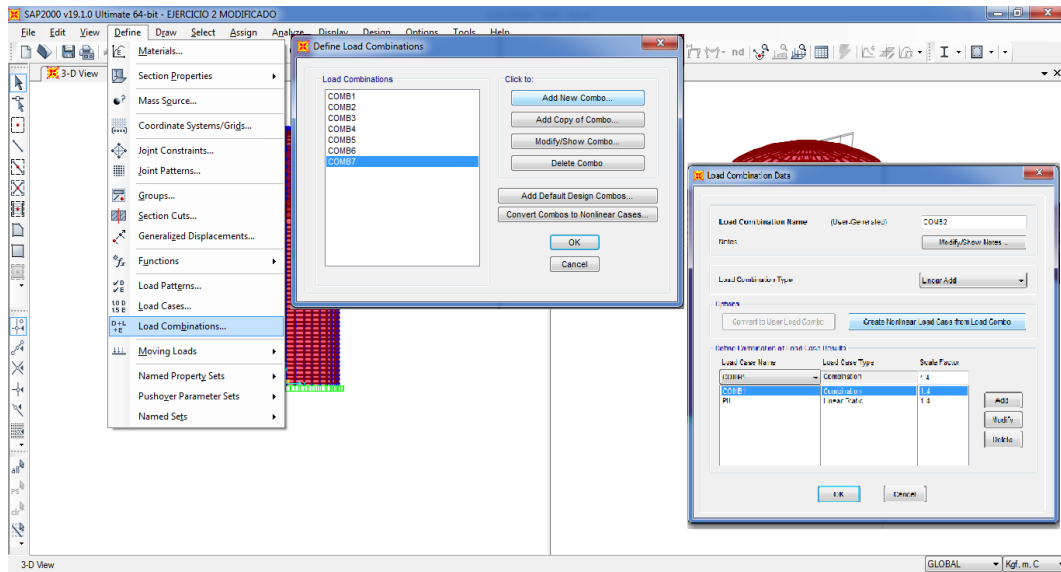


Figura 5.8.15 Definimos las Combinaciones de cargas

Paso 9. Después de haber realizado todos los pasos Comos correremos el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis

3.9. Resultados Finales del Análisis Dinámico

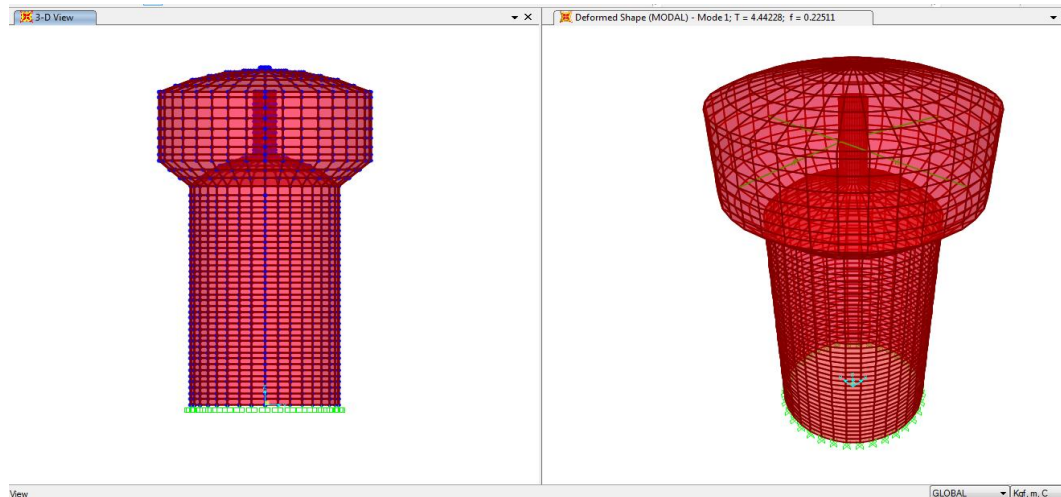


Figura 5.9.1 Modelo estructural en SAP2000 en base a elementos bidimensionales

(Shell) R-1.



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

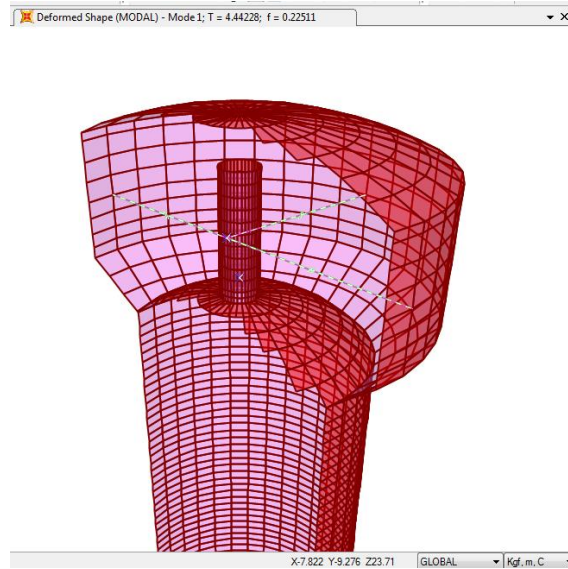


Figura 5.9.2. Sección transversal de los elementos del reservorio y modelo de masas impulsiva y convectiva para el análisis sísmico.

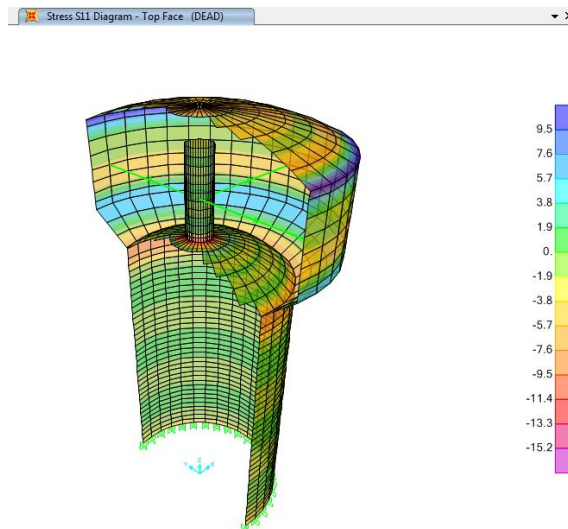


Figura 5.9.3. Distribución de esfuerzos axiales (S11) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

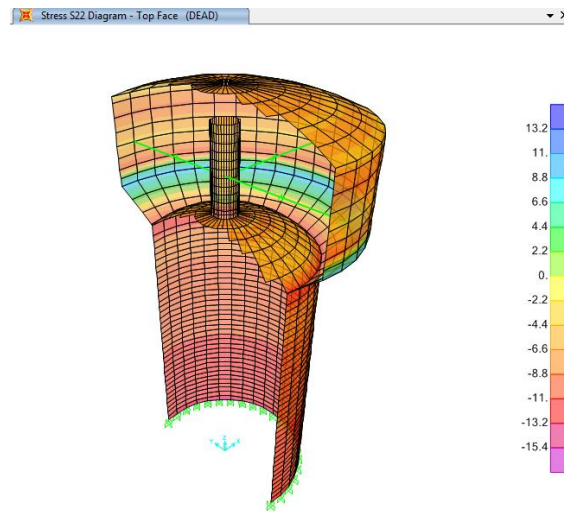


Figura 5.9.4. Distribución de esfuerzos axiales (S_{22}) en kgf/cm^2 en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo peso propio (D).

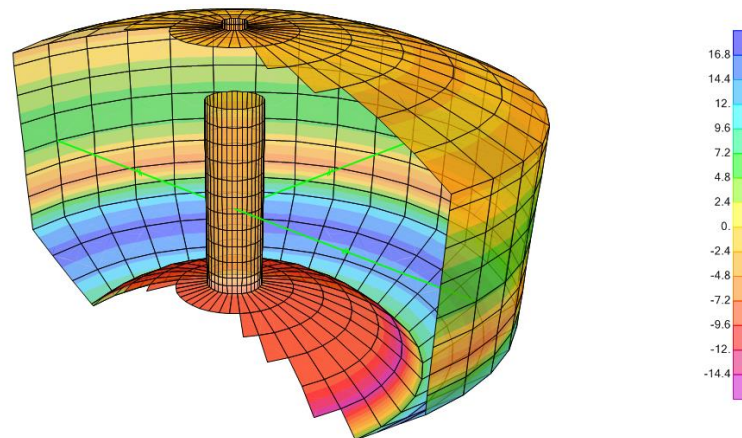


Figura 5.9.5. Distribución de esfuerzos tangenciales (S_{11}) en kgf/cm^2 en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

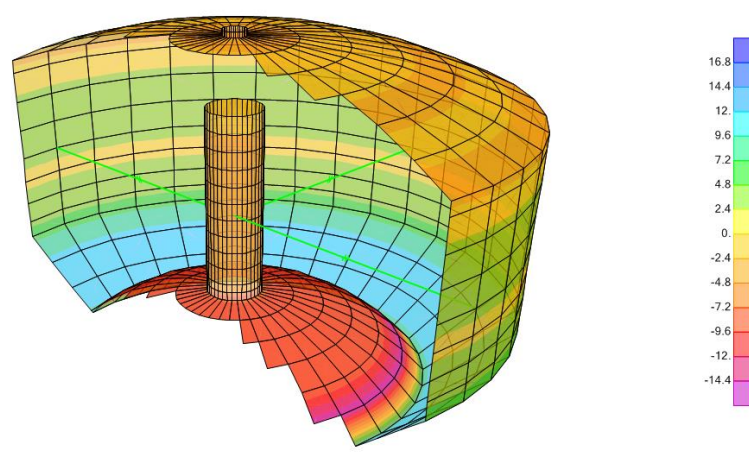


Figura 5.9.6. Distribución de esfuerzos tangenciales (S11) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

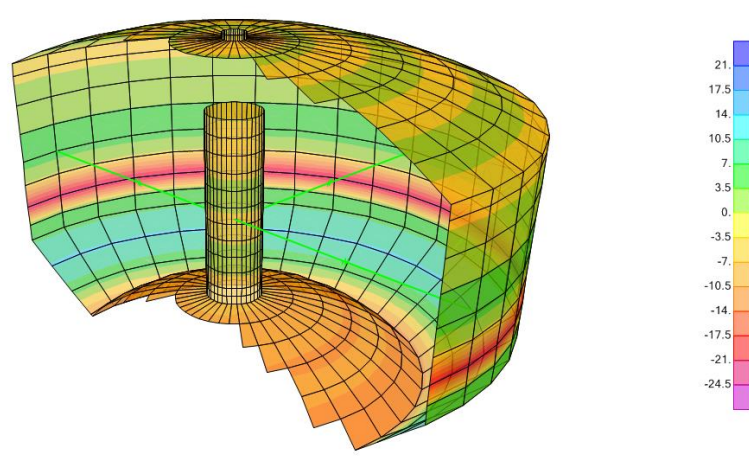


Figura 6.9.7. Distribución de esfuerzos meridionales (S22) en kgf/cm² en la cara superior (Top Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

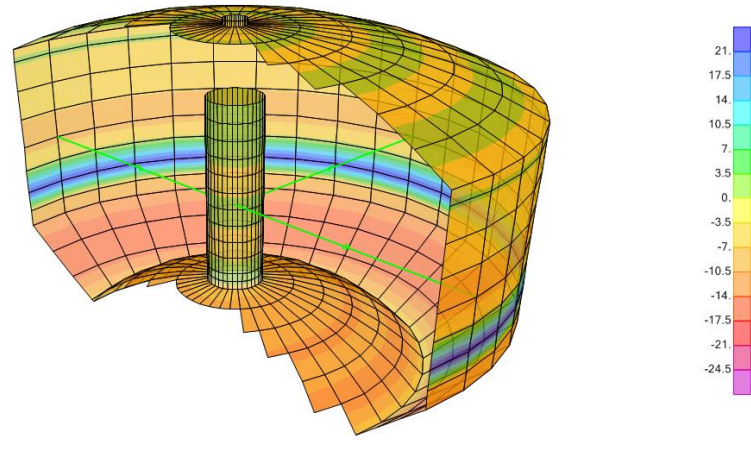


Figura 5.9.8. Distribución de esfuerzos meridionales (S22) en kgf/cm² en la cara superior (Bottom Face) de cada elemento de área (Shell) bajo carga hidrostática (F).

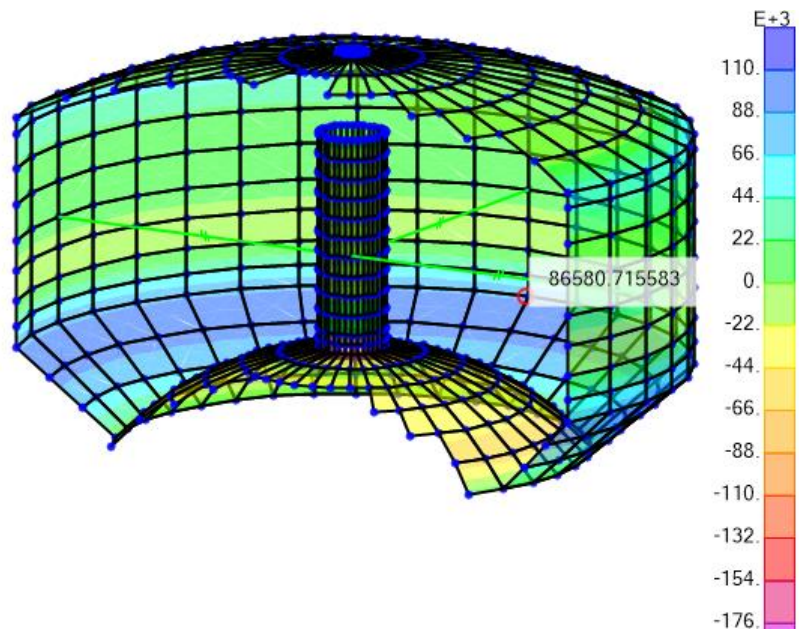


Figura 5.9.8.fuerza Anular Considerando solo Fuerzas Estáticas (F11 =86580 Kg/m)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

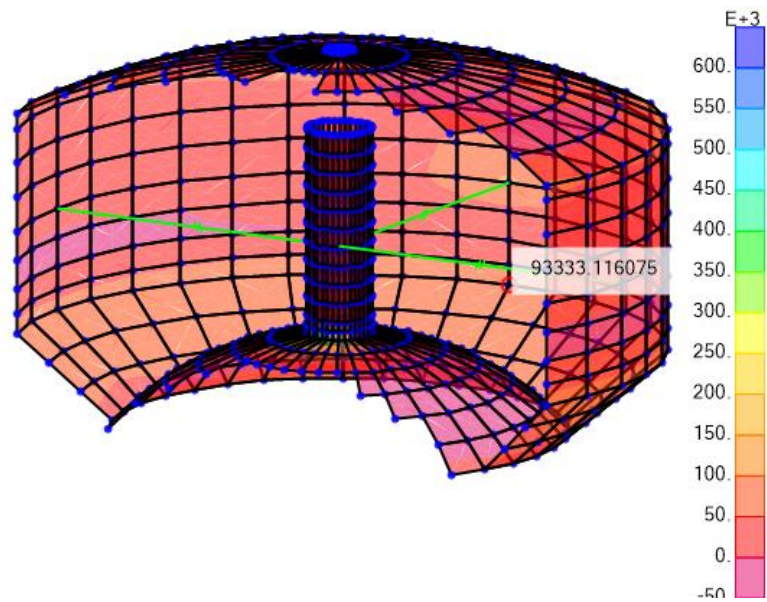


Figura 5.9.8. fuerza Anular cuando hay Sismo ($F_{11} = 93333.11 \text{ Kg/m}$)

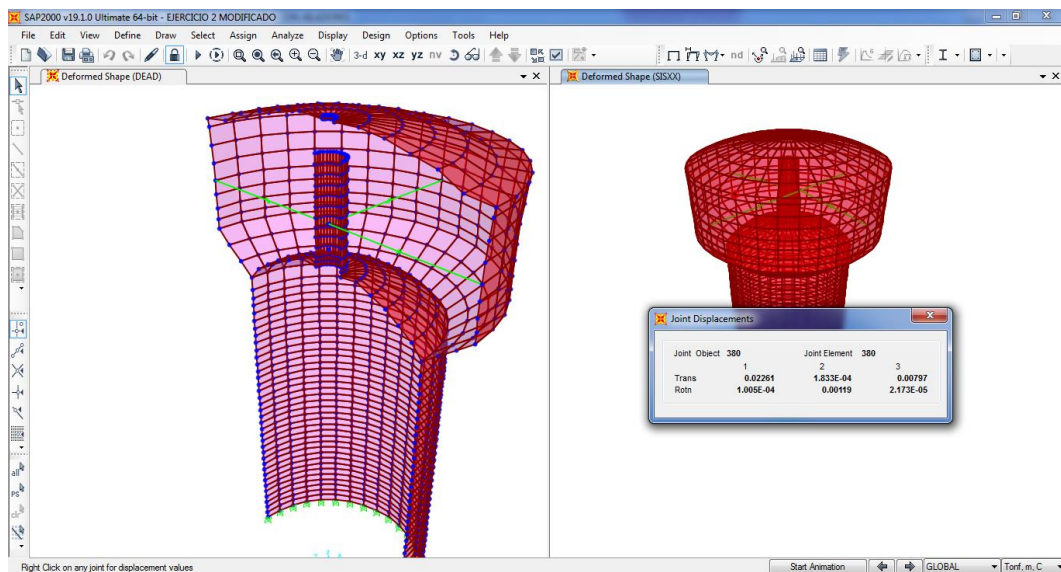


Figura 5.9.8. El desplazamiento máximo es de 2.261 cm sismo x-x



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

GUIA DE DISEÑO SISMICO DE RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

ITEM	Periodo	frecuencia
	Seg.	Rad/seg.
1	4.442279	0.225109664
2	4.442268	0.225110255
3	0.284219	3.518409858
4	0.284219	3.518411467
5	0.215571	4.638843249
6	0.215571	4.638843453
7	0.122421	8.168553286
8	0.091877	10.88405775

Tabla 5.9.1 Periodos y frecuencias.

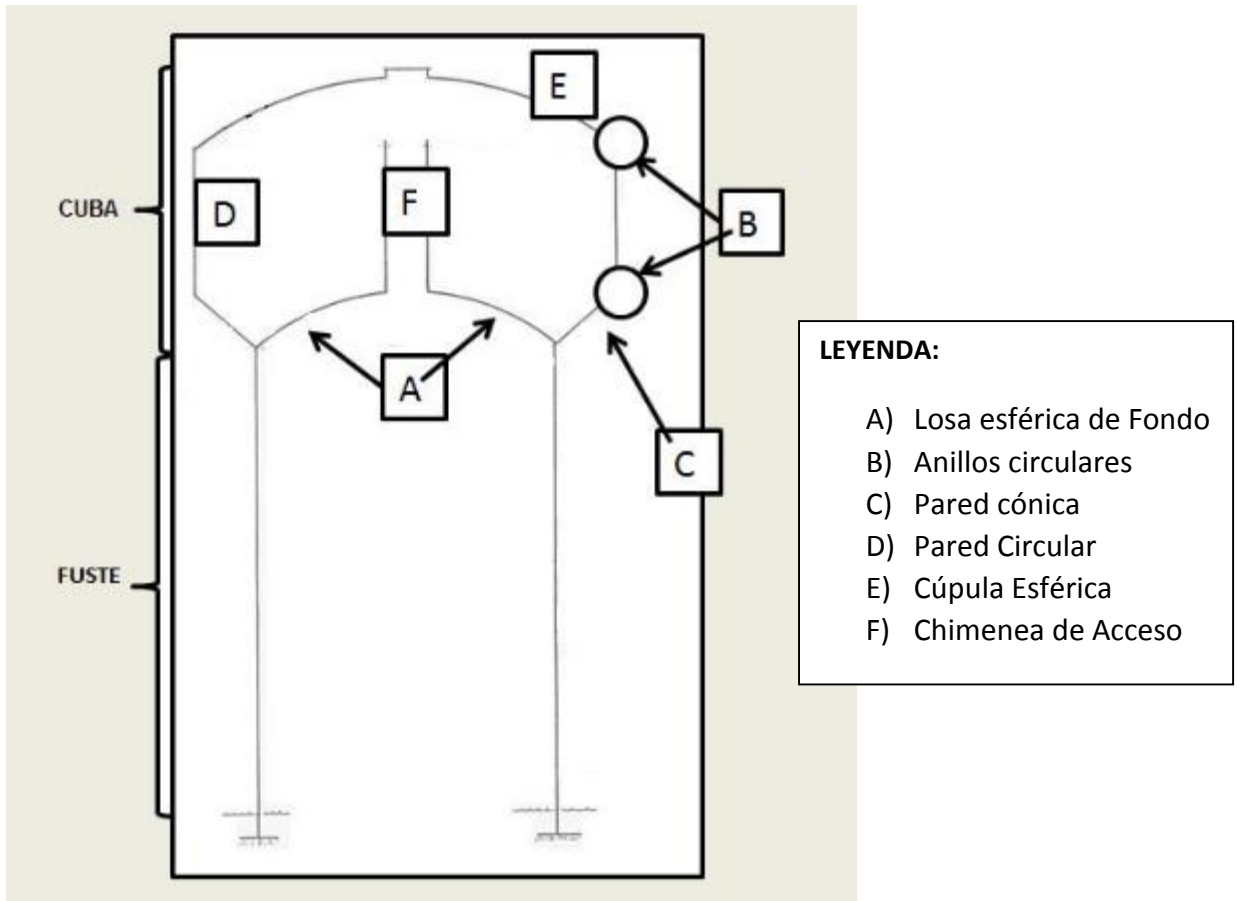
Descripción		P	V2	V3	T	M2	M3
		KN	KN	KN	KN. m	KN. m	KN. m
COMB7	Ma	7815.92	1134.102	1134.109	0.0019	15346.4	15346.3
COMB7	Min	3588.94	-1134.102	-1134.109	-0.0019	15346.4	15346.3

Tabla 6.9.1 Fuerzas Cortantes y Momentos Volcantes.



GUIA PARA EL ANALISIS SISMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS

Paso 1. Se define la geometría del reservorio, la dimensión de las paredes, la altura del Fuste y Cuba, por último las cargas:



Propiedades geométricas y de cargas

Diámetro interior de la cuba (D)	
Altura Efectiva de Líquido (H_L)	
Peso de fuste	
Peso del depósito	
Peso del agua	
Peso de la carga viva	
Relación D/H_L	



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

Paso2. Se definen las Propiedades dinámicas, para ello se calcula los pesos de la componente Impulsiva y Convectiva, utilizando las siguientes formulas.

Peso de la componente Impulsiva

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

Donde.

W_i = *Peso de la componente Impulsiva (tn)*

W_L = *Peso del agua (tn)*

D = *Diametro interno (m)*

H_L = *Altura del liquido (m)*

Peso de la componente Convectiva

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

Donde:

W_c = *Peso de la componente Convectiva (tn)*

W_L = *Peso del agua (tn)*

D = *Diametro interno del Reservoirio (m)*

H_L = *Altura del liquido (m)*

Paso3. Se definen las Propiedades dinámicas y se calcula las alturas de la componente Impulsiva y convectiva.

Altura de la componente Impulsiva

Sin Presión en la Base:



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

- a. Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} < 1.333$

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

- b. Para Reservorios con $\frac{D}{H_L} \geq 1.333$

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

Con presión en la Base

- a. Para tanques con $\frac{D}{H_L} < 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_i} = 0.45$$

- b. Para tanques con $\frac{D}{H_L} \geq 0.75$

$$\frac{h'_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right)}{2 \tanh \left[0.866 \left(\frac{D}{H_L} \right) \right]} - \frac{1}{8}$$

Donde

h_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

h'_i = altura de la componente impulsiva sin presión en la base

D = Diametro interno del Reservorio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Altura de la componente Convectiva

- a. Sin presión en la Base



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

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

b. Con presión en la Base

$$\frac{h'_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \sinh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]}$$

Donde

h_c = altura de la componente convectiva sin presión en la base

h'_c = Altura de la componente convectiva con presión en la base

D = Diametro interno del Reservoirio (m)

H_L = Altura del liquido (m)

Pasó 4. Se procede a calcular los periodos de componente impulsiva y convectiva de acuerdo a las siguientes formulas:

Calculo del periodo Impulsivo

Para el cálculo del periodo de la componente impulsiva se debe calcular la frecuencia circular de modo impulsivo ω_i (rad/s) y el factor de amplificación del espectro periodo – dependiente para los movimientos horizontales C_l , de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\omega_i = C_l \frac{12}{H_L} \sqrt{E_c \frac{g}{\gamma_c}}$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

$$C_l = C_w 10 \sqrt{\frac{t_w}{12r}}$$
$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$$

Donde:

T_i = Periodo fundamental de la componente impulsiva, seg.

ω_i = Frecuencia circular del modo impulsivo de vibracion, rad/s

E_c = Modulo de elasticidad del Concreto, kg/cm²

g = gravedad, 9.81 m/s²

γ_c = Peso especifico del Agua, kg/m³

C_w = Coeficiente para determinar la frecuencia fundamental del sistema.

Calculo del periodo Convectivo

Para hallar el periodo de la componente convectiva se calcula la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo, que está en función del coeficiente λ y del diametro, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}}$$

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

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

T_c = Periodo fundamental de la componente convectiva, seg.

ω_c = Frecuencia circular del modo convectivo de vibracion, rad/s

D = Diametro interno del Reservorio (m)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

Paso 5. Se calcula la rigidez del Resorte para secciones circulares, mediante la siguiente ecuación:

$$w_c = \sqrt{\frac{3.68g \cdot \tanh\left(\frac{3.68H_L}{D}\right)}{D}}$$
$$K_C = w_c \frac{W_C}{g}$$

w_c = frecuencia circular de oscilacion del primer modo convectivo (rad/seg)

W_C = Peso de la masa convectiva (Tnf)

D = Diametro

g = gravedad (m/s)

Paso 6: Procedemos a la recopilación de los datos calculados en los pasos anteriores:

DESCRIPCION	RESULTADOS
Masa Total del Líquido Almacenado (WF)	
D/HL	
Wi / WF	
Wc / WF	
Peso Equivalente de la Componente Impulsiva Wi	
Peso Equivalente de la Componente Convectiva Wc	
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (hi)	
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (hc)	
Aceleración debido a la gravedad (g)	
λ	
Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (wc)	
Periodo natural del primer modo convectivo (Tc)	
Rigidez del Resorte	

Paso 7: Se definen los Parámetros Sísmicos. Para obtener los parámetros sísmicos utilizaremos la norma E.030 aprobado con Decreto supremo 003-2016-vivienda, en



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

ella se encuentra los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación, tipo suelo y uso, para lo cual se tomaran los siguientes valores.

TABLA N° 01	
FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Suelo				
Zona	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_2	0.80	1.00	1.60	2.00

	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_p(S)$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L(S)$	3.00	2.5	2.0	1.60

Factor de amplificación sísmica (C)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

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

$$T \geq T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p T_L}{T} \right)$$

CATEGORIA	DESCRIPCION	FACTOR U
A2	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo.	1.5

Paso 8: Se define el factor de respuesta sísmica. Para el análisis de sísmico vamos a tener dos factores de respuesta, uno para la componente impulsiva y otra para la componente convectiva, por tanto vamos a tener dos espectros de respuesta los cuales escalaremos de acuerdo a las recomendaciones de ACI 350.3-06 para tener el espectro de respuesta a utilizar.

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

Paso 8: Se establece el espectro de respuesta sísmica. Para la determinación del espectro de respuesta sísmica se utilizarán los parámetros sísmicos Z, U, S, C y R de



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

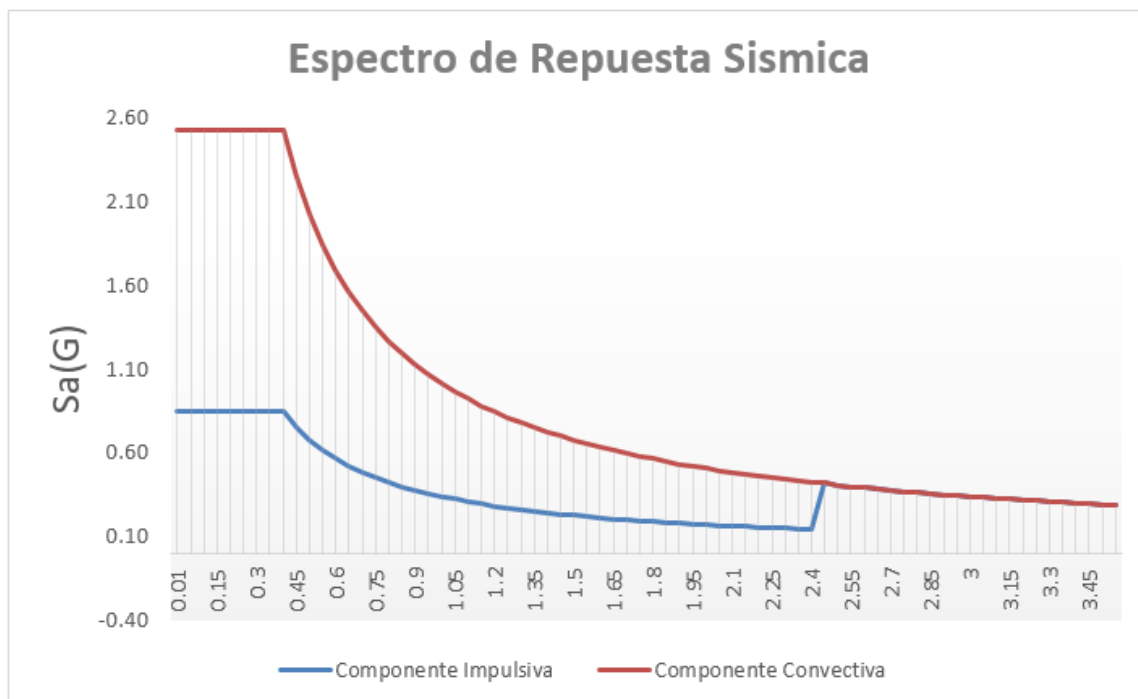
“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

acuerdo a la normativa peruana, para cada una de las direcciones horizontales se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Los espectros de respuesta deben ser escalados por un factor de reducción, que según ACI 350.3-06 se utiliza para las dos componentes, una impulsiva y uno para el periodo convectivo, también se debe considerar que la razón de amortiguamiento crítico para la zona del periodo convectivo es de 0.5%, por lo cual el espectro debe multiplicarse por un factor de $\beta=1.5$ de acuerdo a lo indicado en ACI 350.3-06, posteriormente con lo indicado, el espectro fue dividido en dos zonas, una que corresponde a la zona de periodo convectivo y la otra para la componente Impulsiva, según la recomendación de ACI 350.3-06 el periodo donde se produce la división de las zonas es a 2.4 seg, esto se debe a que a periodos mayores a 2.4 seg existe un comportamiento Hidrodinámico y con ella la participación de la masa convectiva.





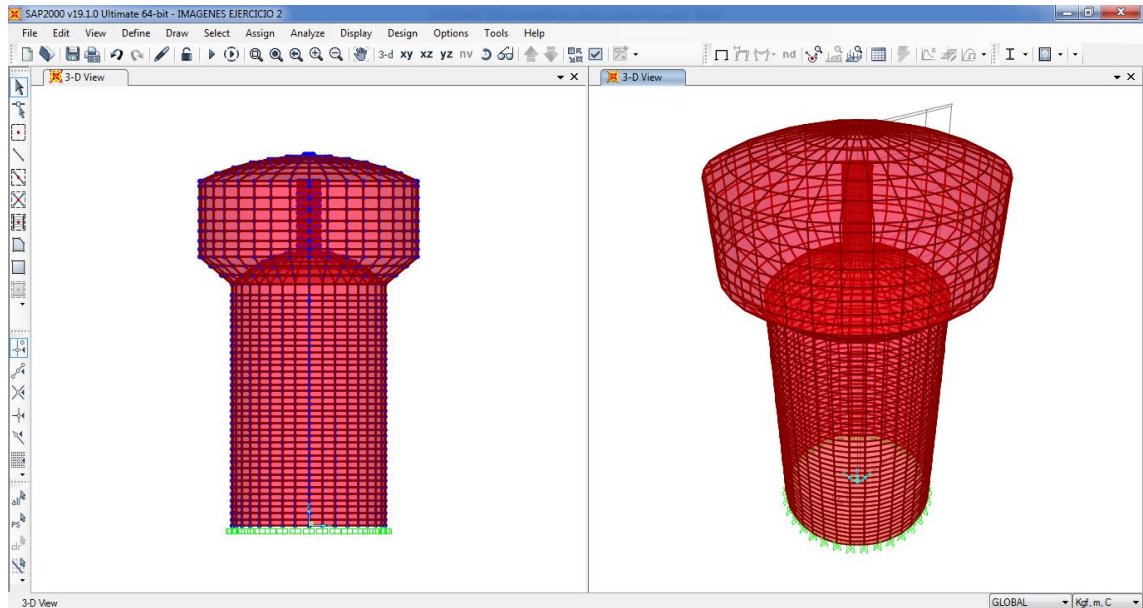
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

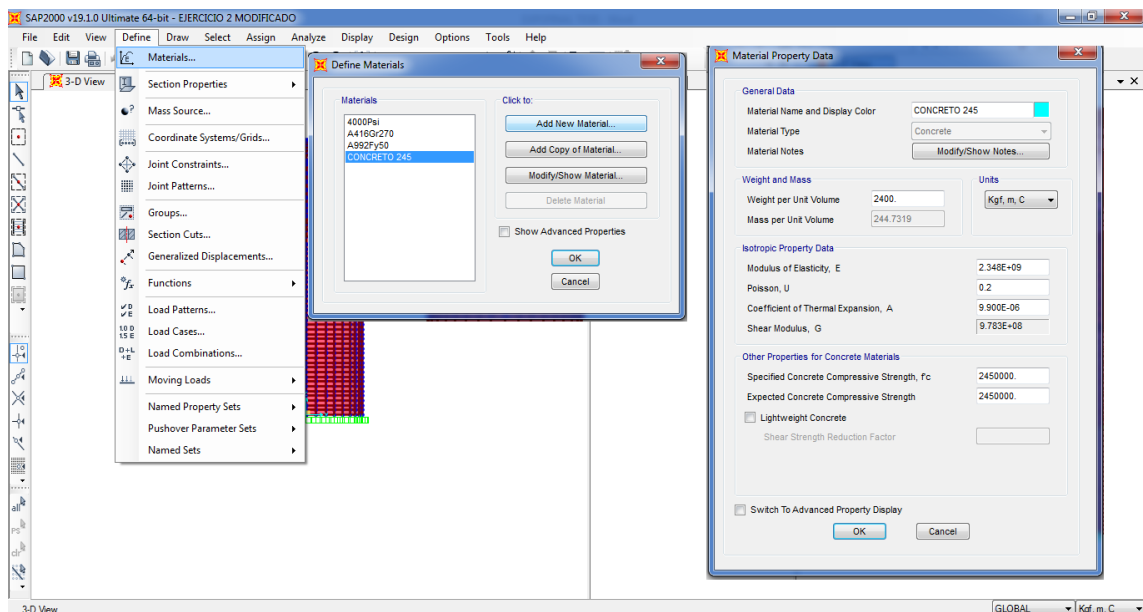
ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

PROCEDIMIENTOS PARA EL ANALISIS DINAMICO EN SAP 2000

Paso 9. Procedemos a dibujar los shell del fuste y la cuba en el programa SAP 2000 de acuerdo a las dimensiones.



Paso 10. Se procede a definir las propiedades mecánicas de los materiales para ello se ingresa a la opción Define/Materials para definir las propiedades del concreto y el Acero.



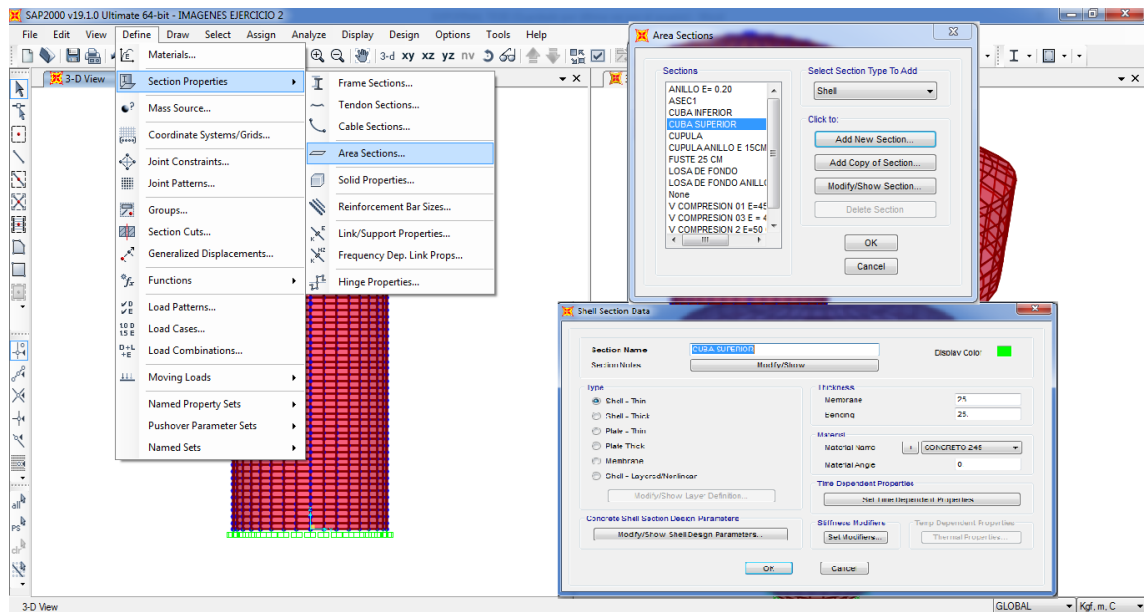


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

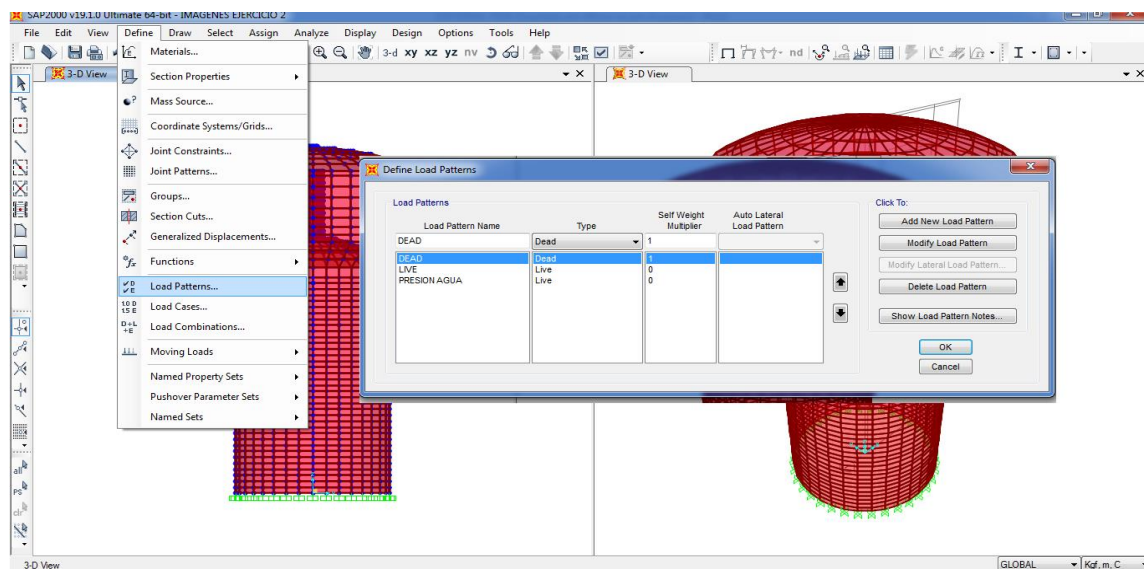
“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

Paso 11. Se define las secciones de los muros y elementos estructurales para ello se ingresa a Define/Section Properties/frame sections o área Sections.



Paso 12. Se definen los patrones de cargas, para ello ingresaremos a define/Load Patterns



Paso 13. Para asignar el peso impulsivo se crea un punto a la altura calculada para el peso impulsivo, se asignara como un diafragma, para ello se ingresara Define/Joint

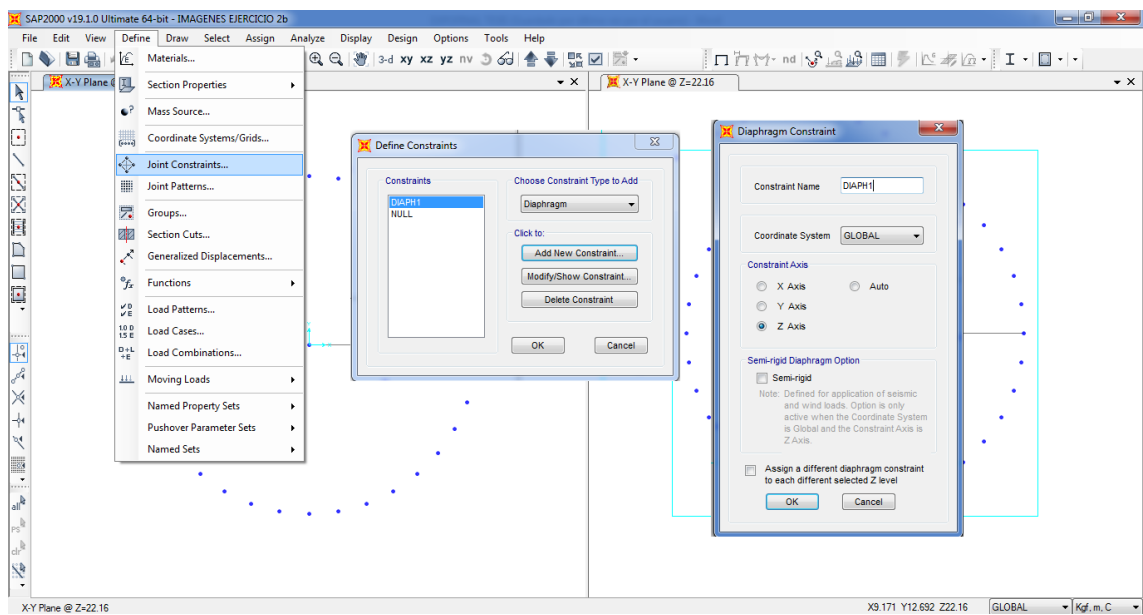
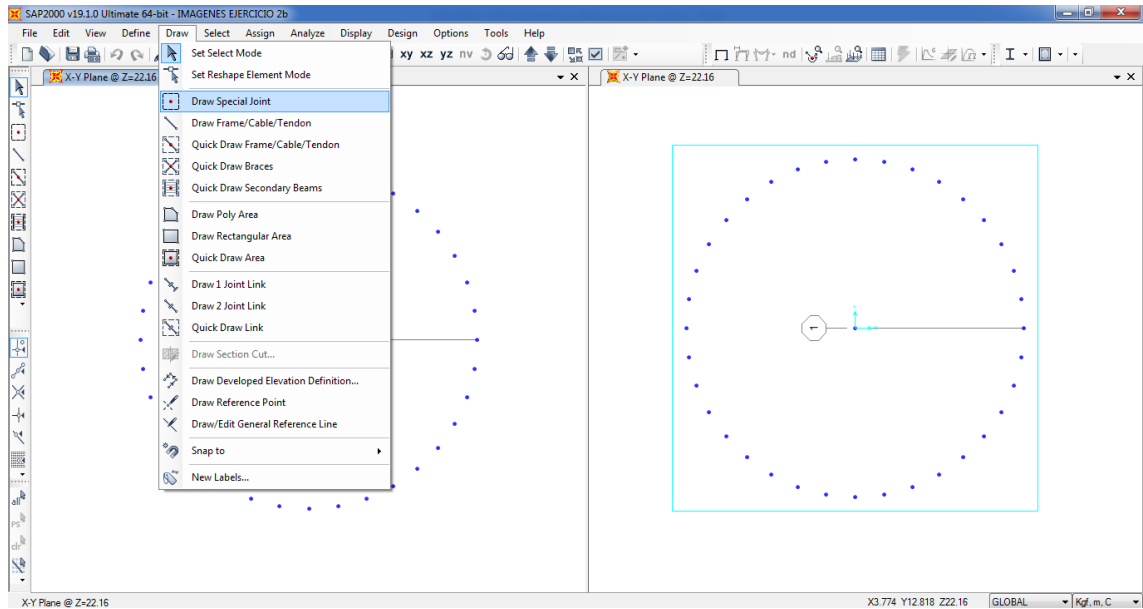


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

contrains, luego se selecciona los puntos en la altura h_i Assing/Joint/Constraints, para asignar el peso se ingresa a Assing/Masses.

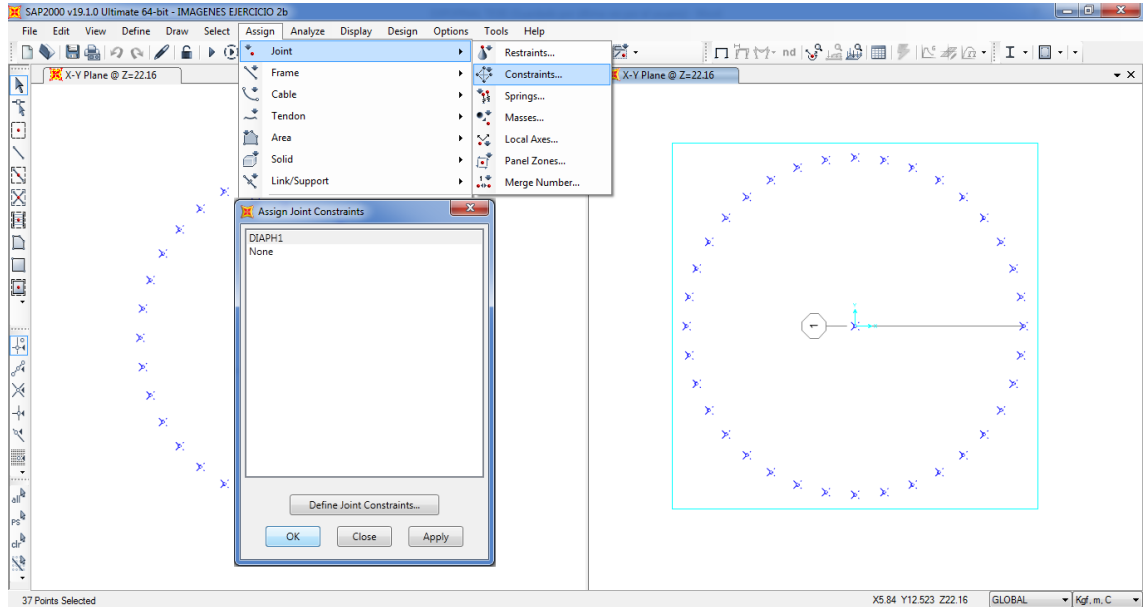




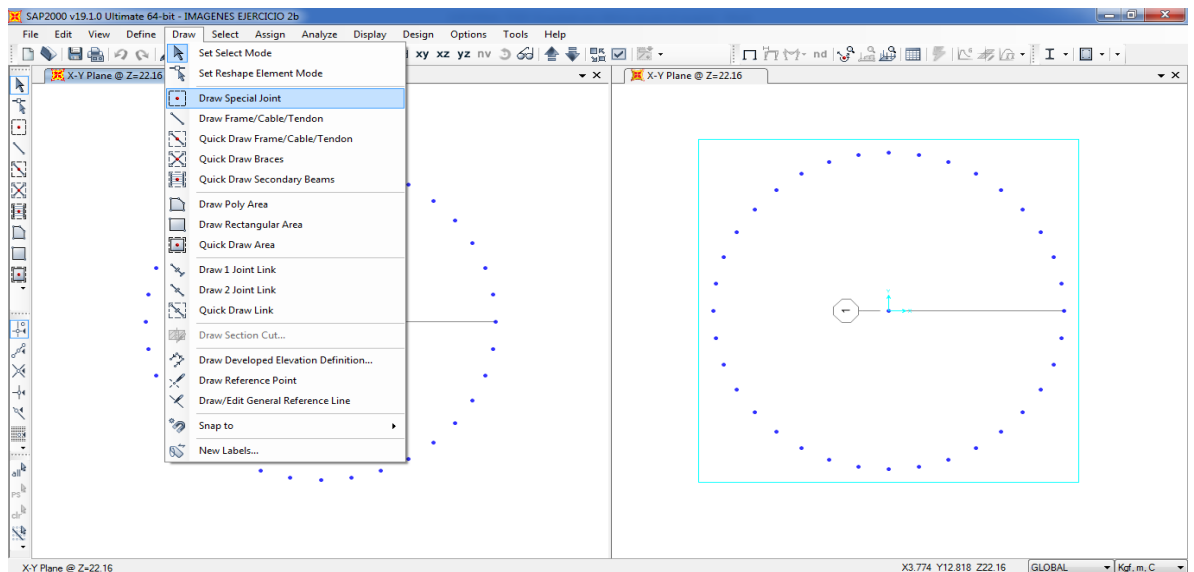
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Paso 14. Para asignar la el peso convectivo se crea un punto a la altura calculada para el peso convectivo para ello se va a Draw/Draw special joint, luego se crea el resorte, para ello se ingresara a Define/Section Properties/ link/support properties, donde se asignara la rigidez calculada, luego dibujaremos los resortes para lo cual ingresaremos a Draw/Draw 2 Joint Link, para asignar el peso se ingresa a Assing/Masses.

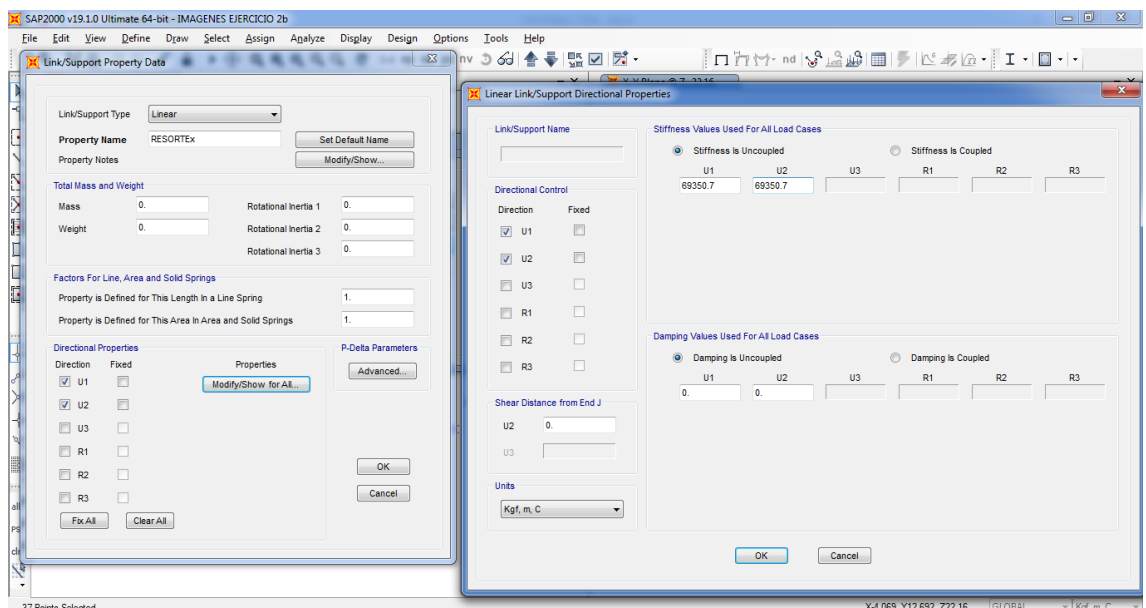
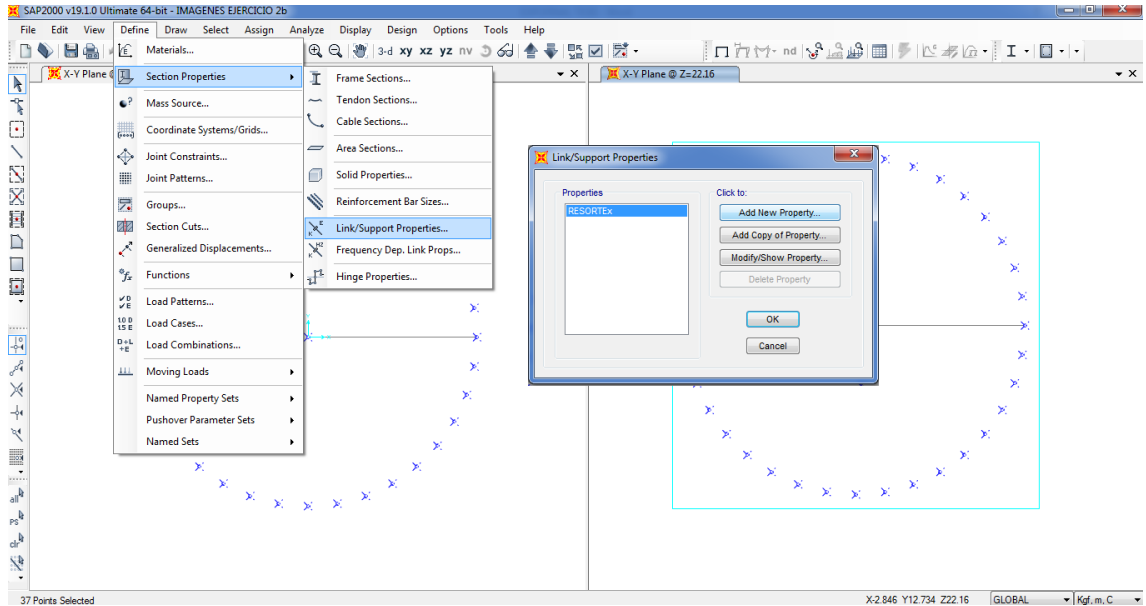




UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

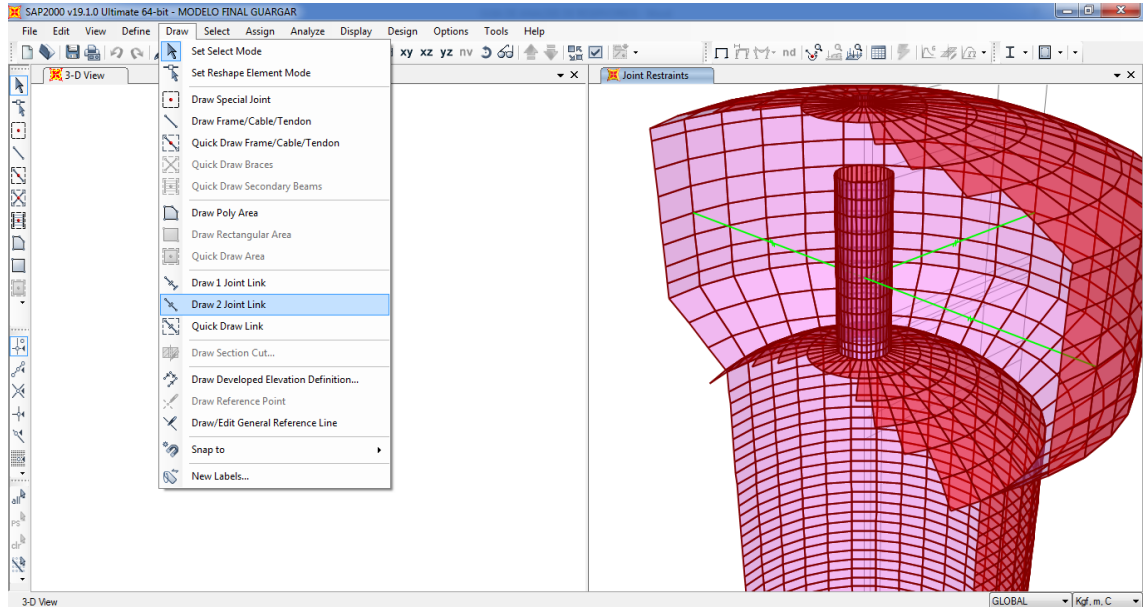




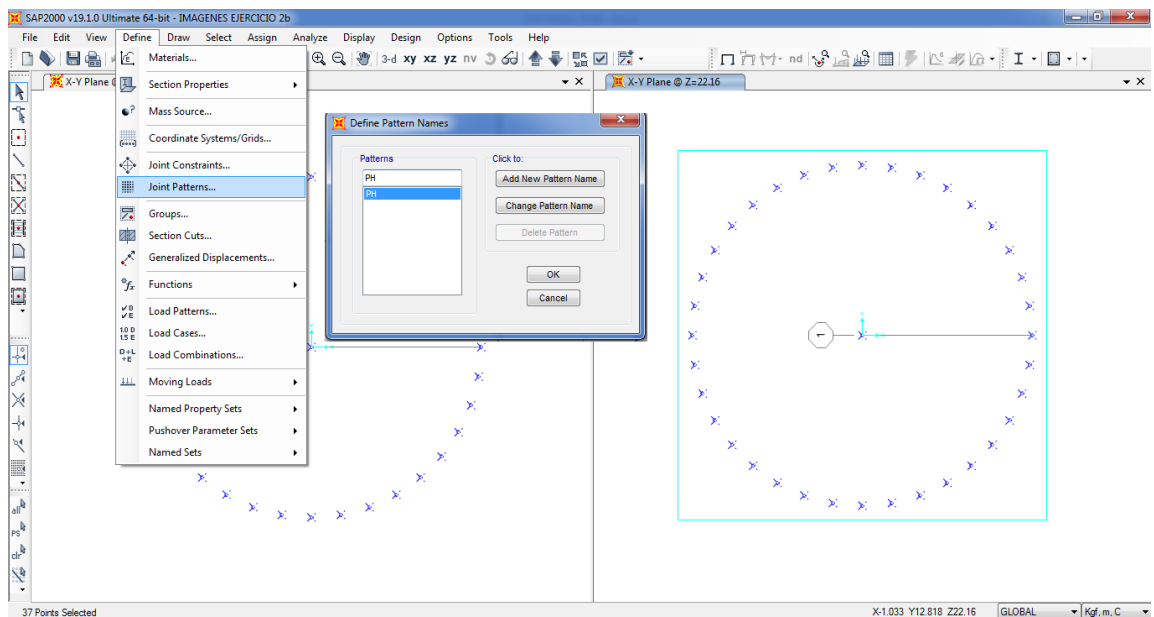
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Paso 15. La presión Hidrostática se asigna de acuerdo a los factores calculados, para ello se ingresara primero a Define/Joint Patterns y se define el patrón de carga para la presión del agua, luego seleccionamos los muros y asignamos la presión hidrostática, para ello se ingresara a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.

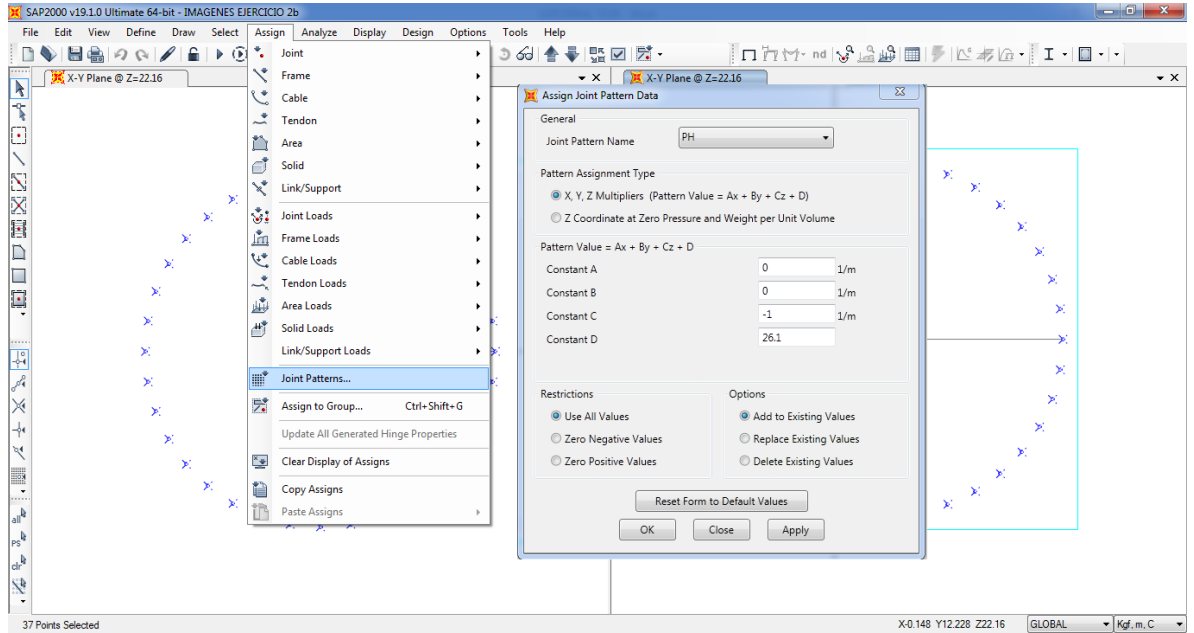




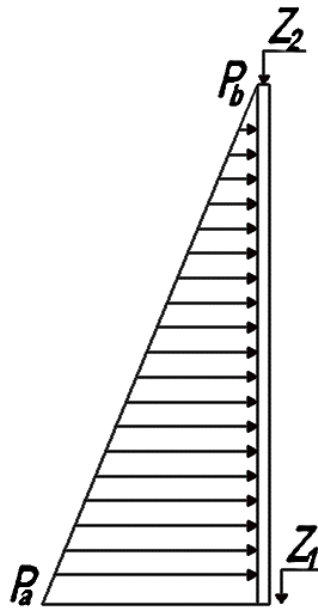
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Para el cálculo de los valores de C y D utilizamos las siguientes condiciones:



$$C(Z_1) + D = P_a$$

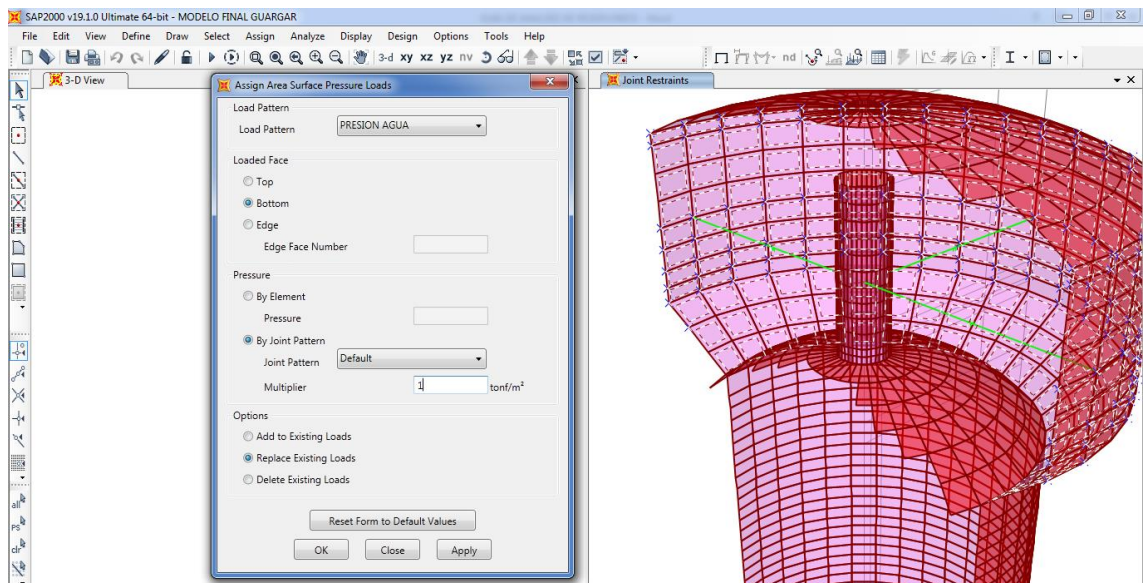
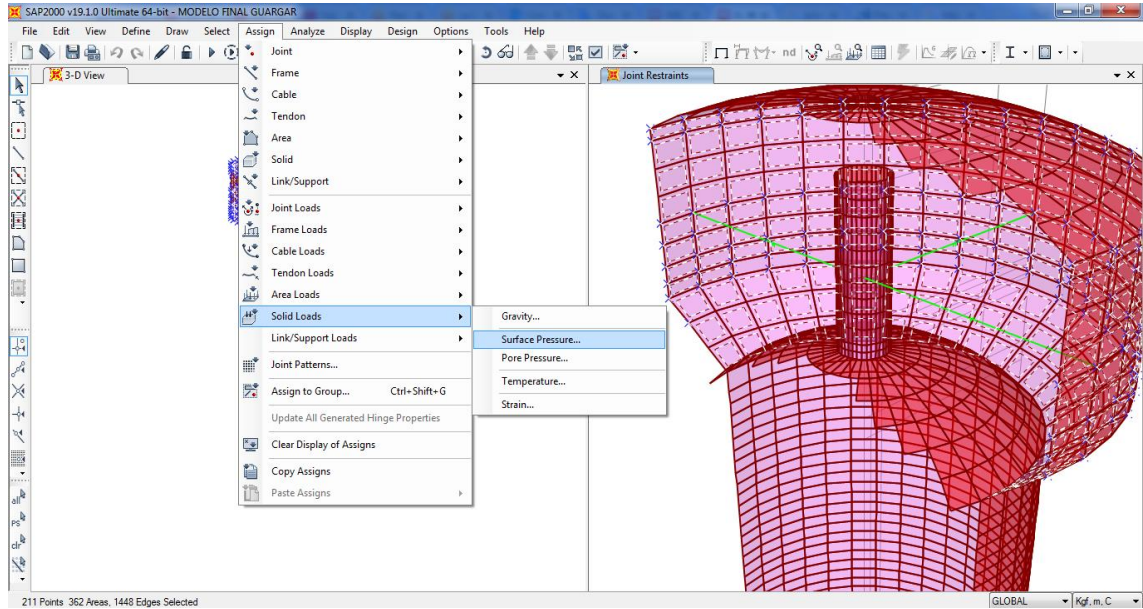
$$C(Z_2) + D = P_b$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

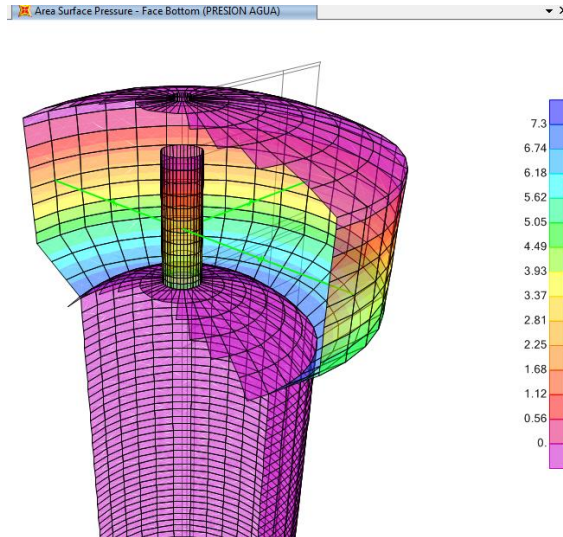




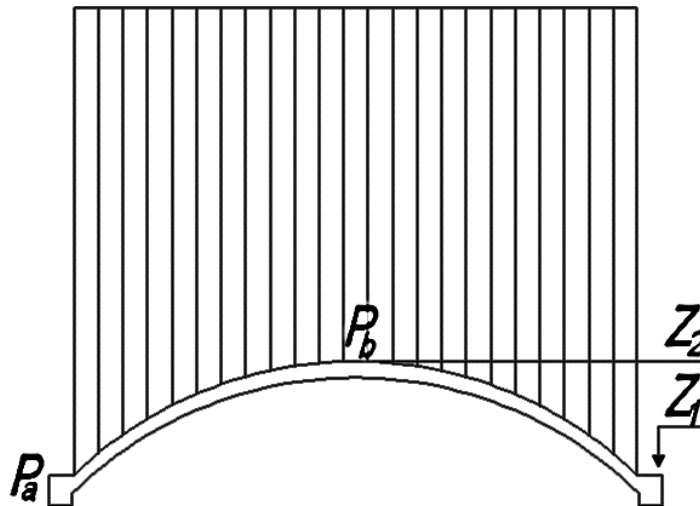
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Para asignar la presión Hidrostática en la loza esférica de fondo, los valores de C y D se calcula de acuerdo a las siguientes condiciones:



$$C(Z_1) + D = P_a$$

$$C(Z_2) + D = P_b$$

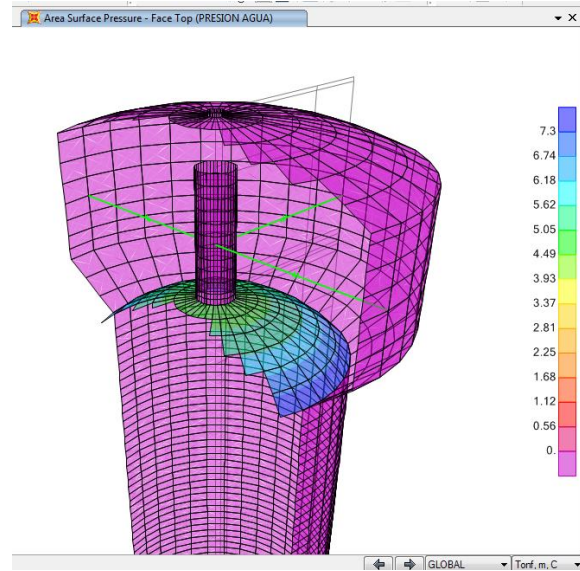
Y procedemos a asignar los siguientes valores y realizamos los pasos anteriores



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Paso 16. Se procede a asignar el espectro de respuesta para lo cual ingresamos a Define/Response Spectrum.

Period	Acceleration
0.01	8.691
0.05	8.691
0.1	8.691
0.4	8.691
0.45	8.691
0.5	8.691
0.55	8.691
0.6	8.691
0.65	8.0225
0.7	7.4495

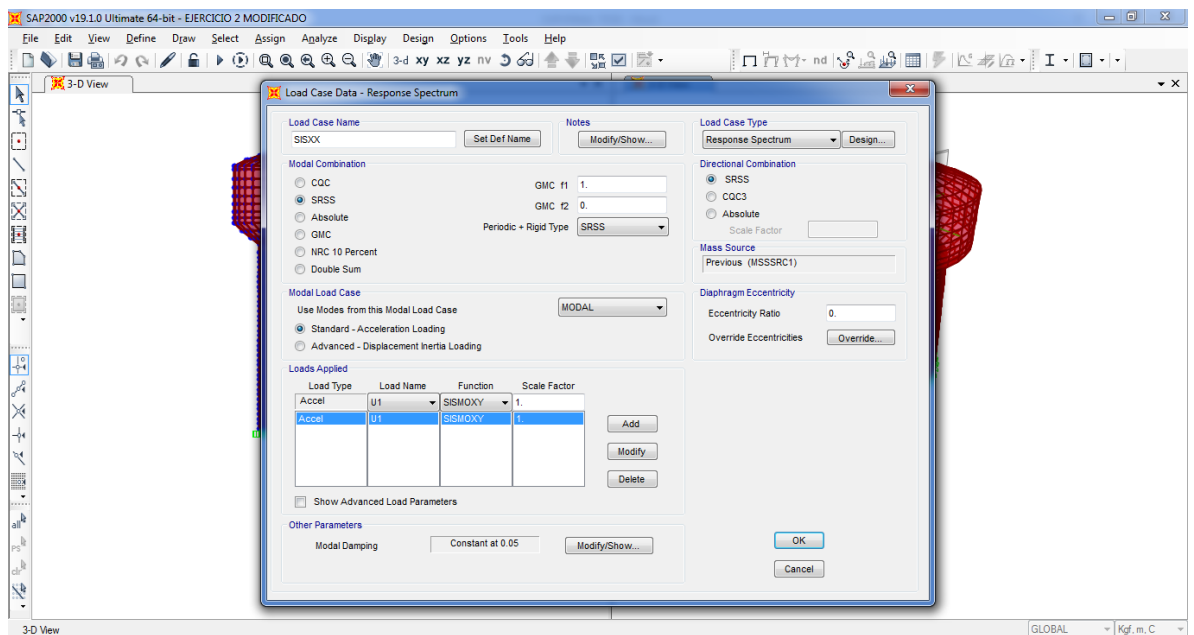
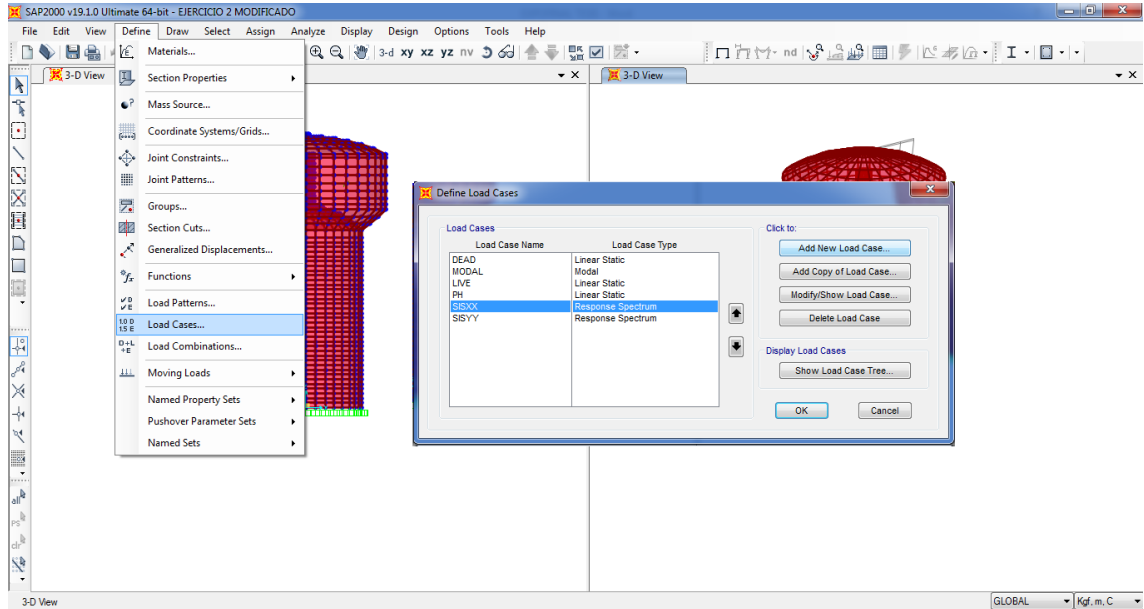
Paso 17. Se procede a definir el caso de carga del sismo X e Y, ingresamos a Define/Load Cases and luego Add New Load Case



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO



Paso 18. Se definen las combinaciones de cargas para ello ingresamos a Define/ Load Combinations.

Los estados de carga considerados han sido los siguientes:

D = carga muerta (peso propio)



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

L = carga viva sobreimpuesta sobre la cúpula de 50 kgf/m²

En la base se consideró una sobrecarga de 500 kgf/m² para el diseño de la cimentación.

F = carga hidrostática proveniente del agua aplicada sobre las paredes del depósito

E = carga sísmica proveniente del espectro de diseño elástico de la norma NTE.E030

Las combinaciones de carga para fines de diseño son las siguientes:

$$\text{Comb. 1} = 1.4D + 1.4F \quad \dots (1)$$

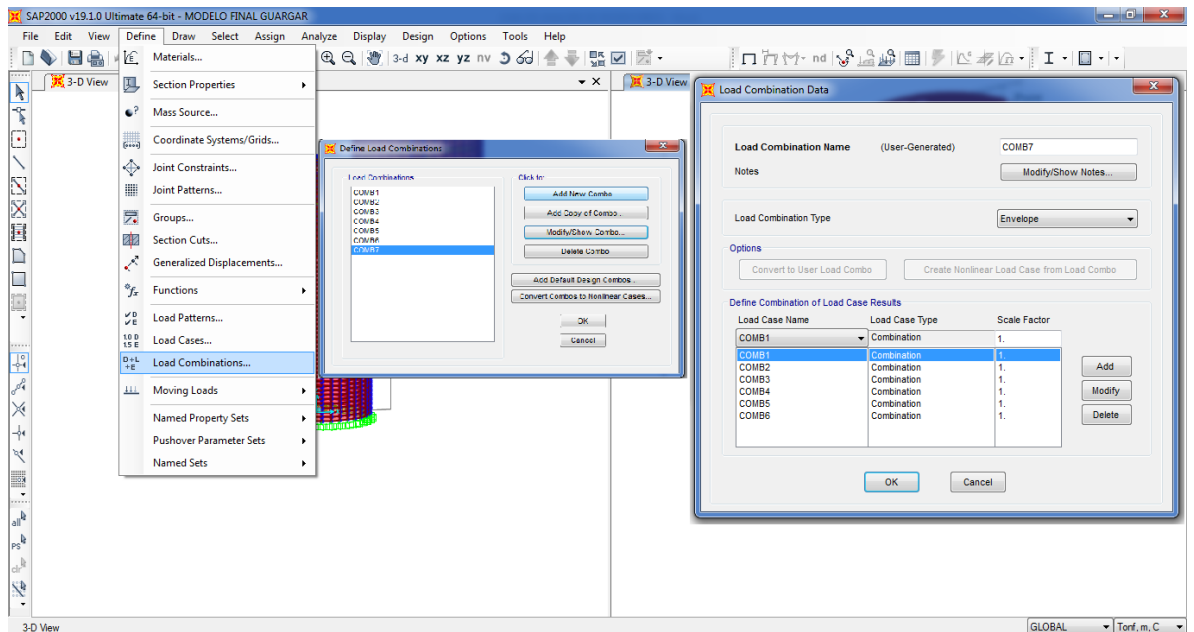
$$\text{Comb. 2} = 1.4D + 1.4F \quad \dots (2)$$

$$\text{Comb. 3} = 1.2D + 1.2F + 1.6L \quad \dots (3)$$

$$\text{Comb. 4} = 0.9D + 1.2F \quad \dots (4)$$

$$\text{Comb. 5} = 1.2D + 1.2F + L \pm E \quad \dots (5)$$

Por ultimo haremos una envolvente de las combinaciones de cargas



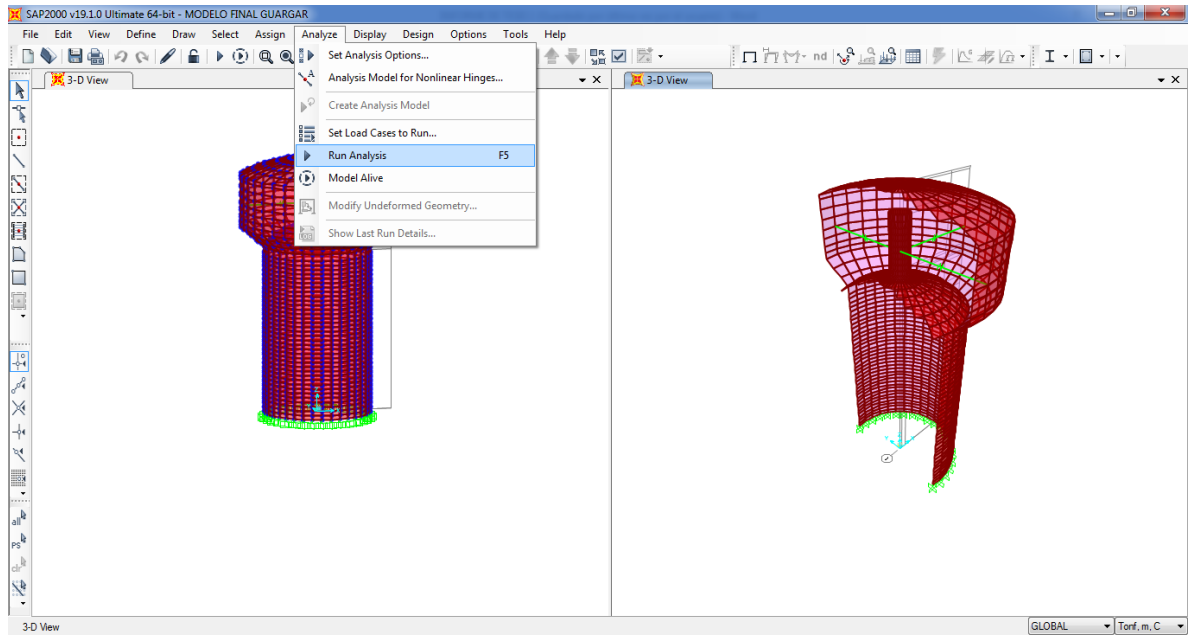


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO CIRCULAR ELEVADO

Paso 19. Después de haber realizado todos los pasos “correremos” el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis





UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Paso 1. Se define la geometría del reservorio rectangular y propiedades mecánicas de los materiales

PROPIEDADES GEOMETRIAS Y MECANICAS DE LOS MATERIALES

$L =$	13.50 m	Dirección Y-Y
$B =$	26.00 m	Dirección X-X
$H_L =$	4.00 m	
$L/H_L =$	3.38	Dirección Y-Y
$L/H_L =$	6.50	Dirección X-X
$t_{muro} =$	0.65 m	
$g =$	9.81 m/s ²	
$f'_c =$	245.00 kg/cm ²	
$E =$	234787.14 kg/cm ²	
$\gamma_{concreto} =$	2.40 ton/m ³	
$\gamma_{H_2O} =$	1.00 ton/m ³	
$V. del Reservorio =$	1404.00 m ³	

Se ha asumido para el cálculo un borde libre de 1.70 m.

$$B.L. = 0.70 \text{ m}$$
$$h_{muro} = 4.70 \text{ m}$$

Paso 2. Cálculo de la Masa Efectiva del Líquido Almacenado, Componente Impulsivo (w_i) y Componente Convectivo (w_c), según ACI 350.3-06.

Dirección X-X

Masa equivalente impulsiva

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

$$W_i = 249.42 \text{ ton}$$

Masa equivalente convectiva

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

$$w_c = 1086.96 \text{ ton}$$

Dirección Y-Y



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Masa equivalente impulsiva

$$\frac{w_i}{w_{agua}} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

$$w_i = 477.60 \text{ ton}$$

Masa equivalente convectiva

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

$$W_c = 917.60 \text{ ton} \quad 18.72657249$$

Paso 3. Cálculo de las alturas al centro de gravedad de la ubicación de las componentes impulsivas y convectivas, según ACI 350.3-06.

Dirección x-x

Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (h_i)

Condiciones

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{L}{H_L} \right)$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

$$\text{por tanto } L/H_L = 6.50$$

$$h_i = 1.50 \text{ m}$$

Calculo de la rigidez de resorte equivalente para la masa convectiva

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

$$h_c = 2.04 \text{ m}$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Direccion Y-Y

Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (h_i)

Condiciones

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{L}{H_L} \right)$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

por tanto $L/H_L = 3.38$

$$h_i = 1.50 \text{ m}$$

Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (h_c)

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

$$h_c = 2.13 \text{ m}$$

Paso 4. Cálculo de la frecuencia de vibración de la componente convectiva (w_c), según ACI 350.3-01.

Direccion X-X-

$$w_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \times g \times \tanh \left(3.16 \times \frac{H_L}{L} \right)}$$

$$\lambda = 3.7398$$

Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (w_c)

$$w_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$w_c = 0.733 \text{ Hz}$$



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Periodo natural del primer modo convectivo (T_c)

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

$$T_c = 8.5669 \text{ seg}$$

Direccion Y-Y

$$w_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \times g \times \tanh\left(3.16 \times \frac{H_L}{L}\right)}$$

$$\lambda = 4.7685$$

Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (w_c)

$$w_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$w_c = 1.298 \text{ Hz}$$

Periodo natural del primer modo convectivo (T_c)

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

$$T_c = 4.8413 \text{ seg}$$

Paso 5. Calculo de la rigidez de resorte equivalente para la masa convectiva

Direccion X-X

$$K_c = \frac{5 W_L}{6 H_L} \tanh^2\left(\sqrt{10} \frac{H_L}{L}\right)$$

$$K_c = 59.610277$$

Direccion Y-Y

$$K_c = 157.51209$$

Paso 7. Se realiza el Resumen de Datos Calculados



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Descripcion	Resultados
Masa Total del Líquido Almacenado (WF)	1,404.00
D/HL Direccion x-x	6.50
D/HL Direccion y-y	3.38
Peso Equivalente de la Componente Impulsiva W_i Direccion x-x	249.42
Peso Equivalente de la Componente Convectiva W_c Direccion x-x	1,086.96
Peso Equivalente de la Componente Impulsiva W_i Direccion y-y	477.60
Peso Equivalente de la Componente Convectiva W_c Direccion y-y	917.60
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (h_i) Direccion x-x	1.50
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (h_c) Direccion x-x	2.04
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Impulsiva (h_i) Direccion y-y	1.50
Altura al centro de Gravedad de la Comp. Convectiva (h_c) Direccion y-y	2.13
Aceleración debido a la gravedad (g)	9.81
λ - Direccion x-x	3.74
Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (w_c) - Direccion x-x	0.73
Periodo natural del primer modo convectivo (T_c) - Direccion x-x	8.57
λ - Direccion y-y	4.77
Frec. circular de vibración del primer modo convectivo (w_c) Direccion y-y	1.30
Periodo natural del primer modo convectivo (T_c) Direccion y-y	4.84
Rigidez del Resorte en x-x	59.61
Rigidez del Resorte en y-y	157.51

Paso 8. Se definen los Parámetros Sísmicos. Para obtener los parámetros sísmicos utilizaremos la norma E.030 aprobado con Decreto supremo 003-2016-vivienda, en ella se encuentra los factores que sirven para determinar el espectro de respuesta de acuerdo a la zonificación, tipo suelo y uso, para lo cual se tomaran los siguientes valores.

⊕

TABLA N° 01 FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

□

Suelo				
Zona	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_2	0.80	1.00	1.60	2.00



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_P(S)$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L(S)$	3.00	2.5	2.0	1.60

Paso 9. Se define el factor de respuesta sísmica. Para el análisis de sísmico vamos a tener dos factores de respuesta, uno para la componente impulsiva y otra para la componente convectiva, por tanto vamos a tener dos espectros de respuesta los cuales escalaremos de acuerdo a las recomendaciones de ACI 350.3-06 para tener el espectro de respuesta a utilizar.

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

Paso 8: Se establece el espectro de respuesta sísmica. Para la determinación del espectro de respuesta sísmica se utilizarán los parámetros sísmicos Z, U, S, C y R de acuerdo a la normativa peruana, para cada una de las direcciones horizontales se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Los espectros de respuesta deben ser escalados por un factor de reducción, que según ACI 350.3-06 se utiliza para las dos componentes, una impulsiva y uno para el periodo convectivo, también se debe considerar que la razón de amortiguamiento crítico para la zona del periodo convectivo es de 0.5%, por lo cual el espectro debe multiplicarse por un factor de $\beta=1.5$ de acuerdo a lo indicado en ACI 350.3-06, posteriormente con lo indicado, el espectro fue dividido en dos zonas, una que corresponde a la zona de periodo convectivo y la otra para la componente Impulsiva, según la recomendación de ACI 350.3 -06 el periodo donde se produce la división de las zonas es a 2.4 seg. esto se debe a que a periodos mayores a 2.4 seg existe un comportamiento Hidrodinámico v



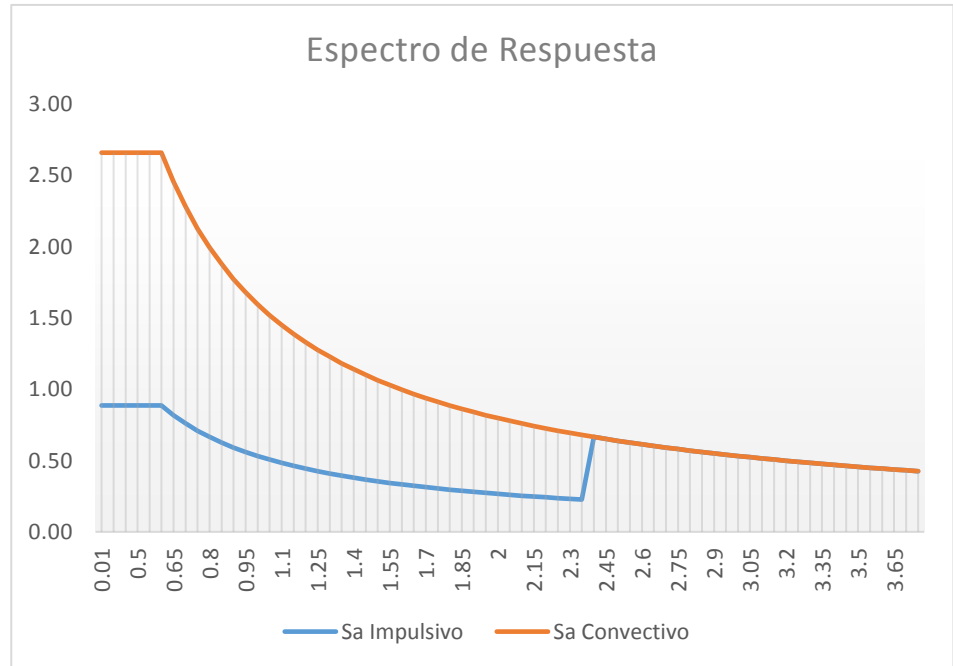
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

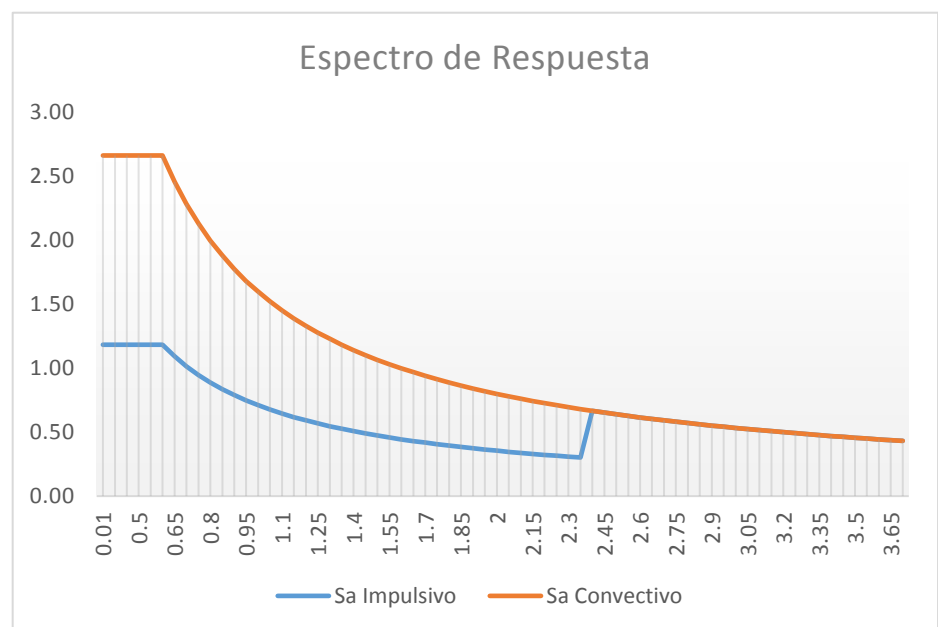
En caso de tanques Enterrados

PARAMETROS SISMICOS	
Z =	0.45
U =	1.5
S =	1.05
T_p =	0.6
R_i =	2
R_c =	0.67



En caso de tanques Apoyados

PARAMETROS SISMICOS	
Z =	0.45
U =	1.5
S =	1.05
T_p =	0.6
R_i =	1.5
R_c =	0.67





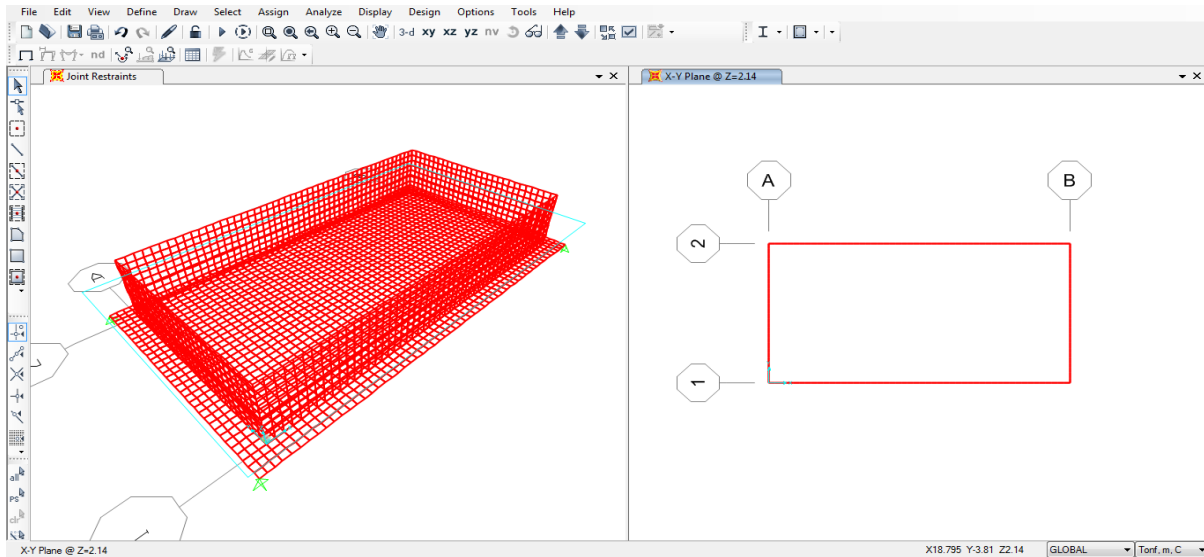
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

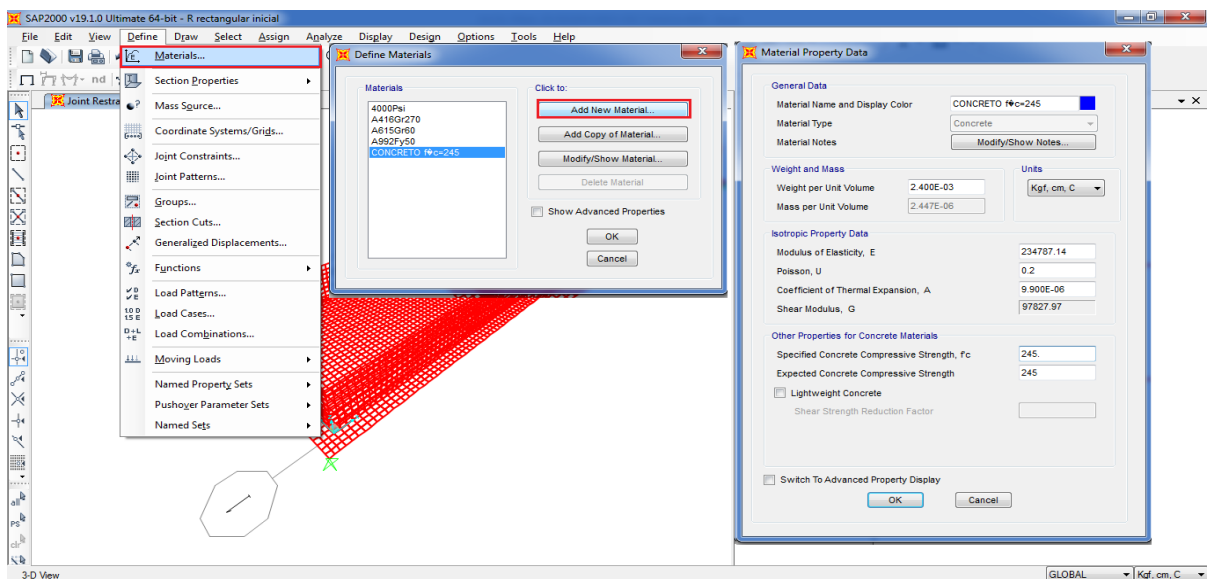
ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Procedimientos para el análisis Dinámico en el programa Sap 2000

Paso 10. Procedemos a dibujar el Reservorio Rectangular de acuerdo a la geometría del reservorio



Paso 11. Se definen las propiedades mecánicas de los materiales para ello se ingresa a la opción Define/Materials



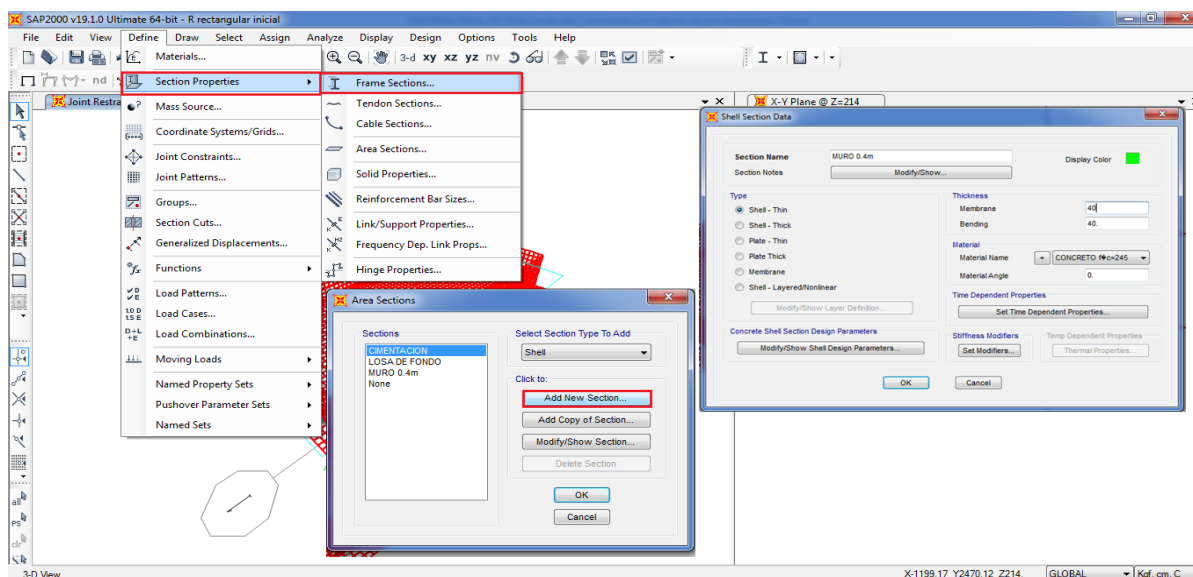


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

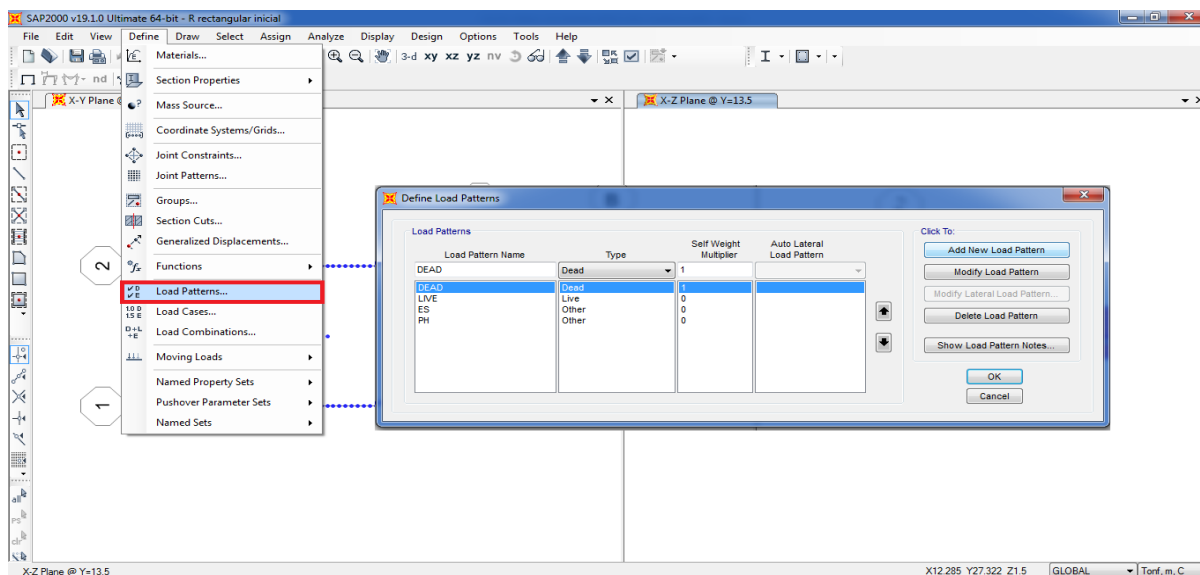
ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Paso 12. Se define las secciones de los muros y elementos estructurales para ello se ingresa a Define/Section Properties/frame sections o área Sections.



Paso 13. Se definen los patrones de cargas, para ello ingresaremos a define/Load Patterns, cargas que consideramos en el modelo va a ser :

- * Carga Muerta (DEAD)
- * Carga Viva (LIVE)
- * Presion Hidrostatica (PH)
- * Empuje del suelo (ES)



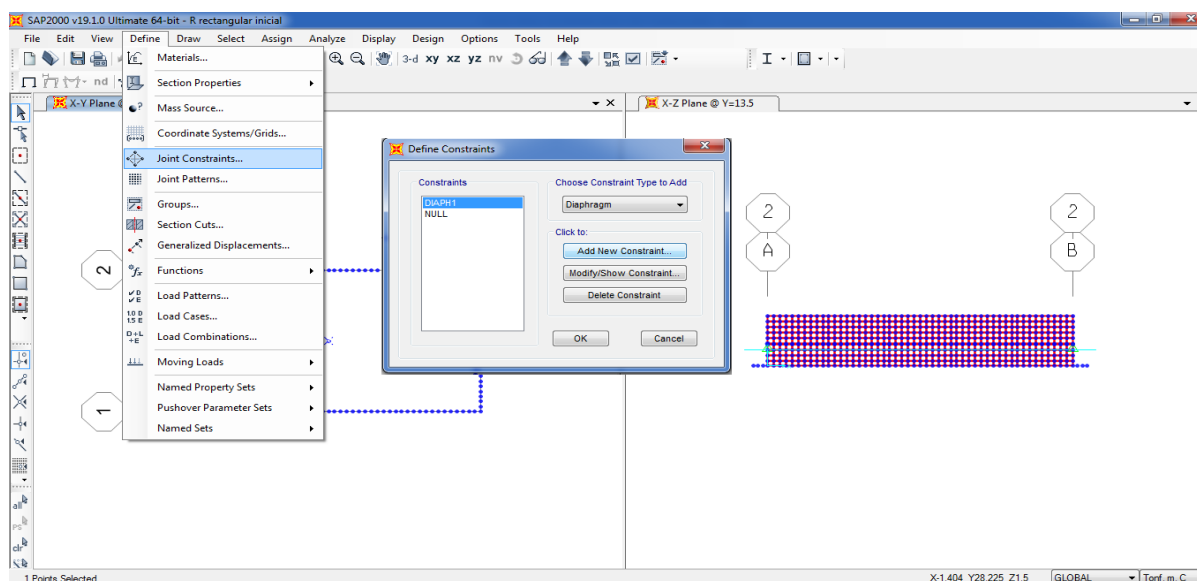
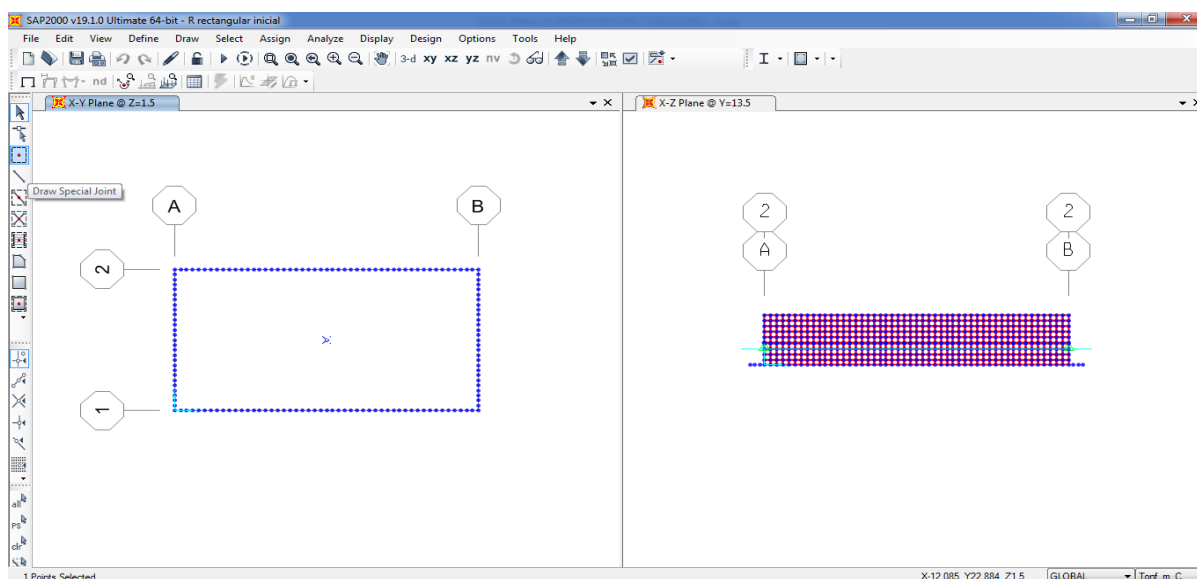


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Paso 14. Para asignar el peso impulsivo se crea un punto a la altura calculada para el peso impulsivo, se asignara como un diafragma, para ello se ingresara Define/Joint constraints, luego se selecciona los puntos en la altura hi Assing/Joint/Constraints, para asignar el peso se ingresa a Assing/Masses

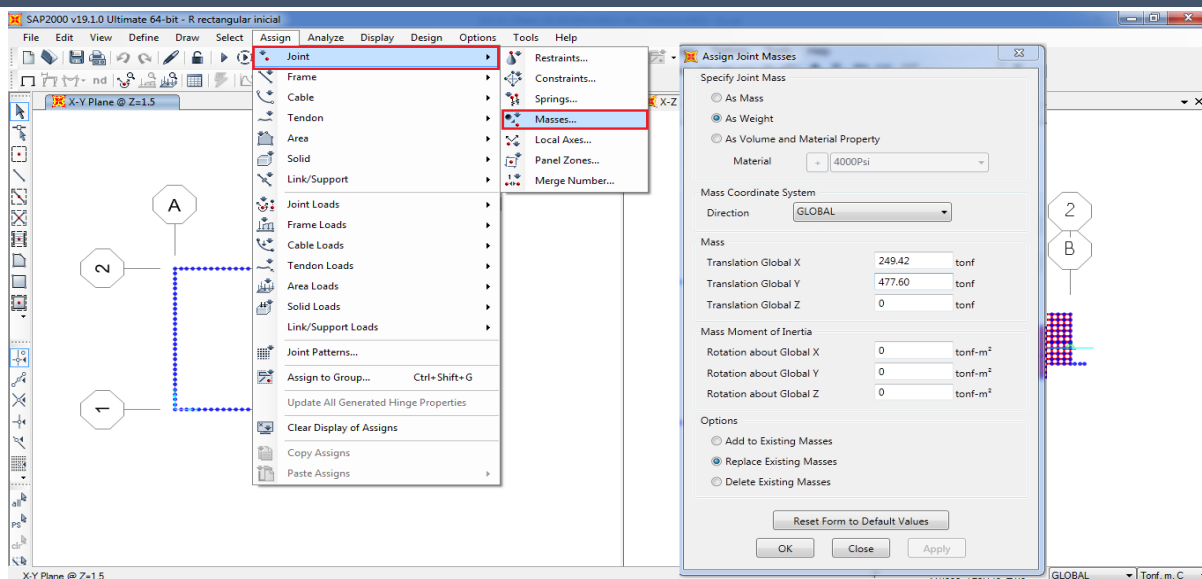




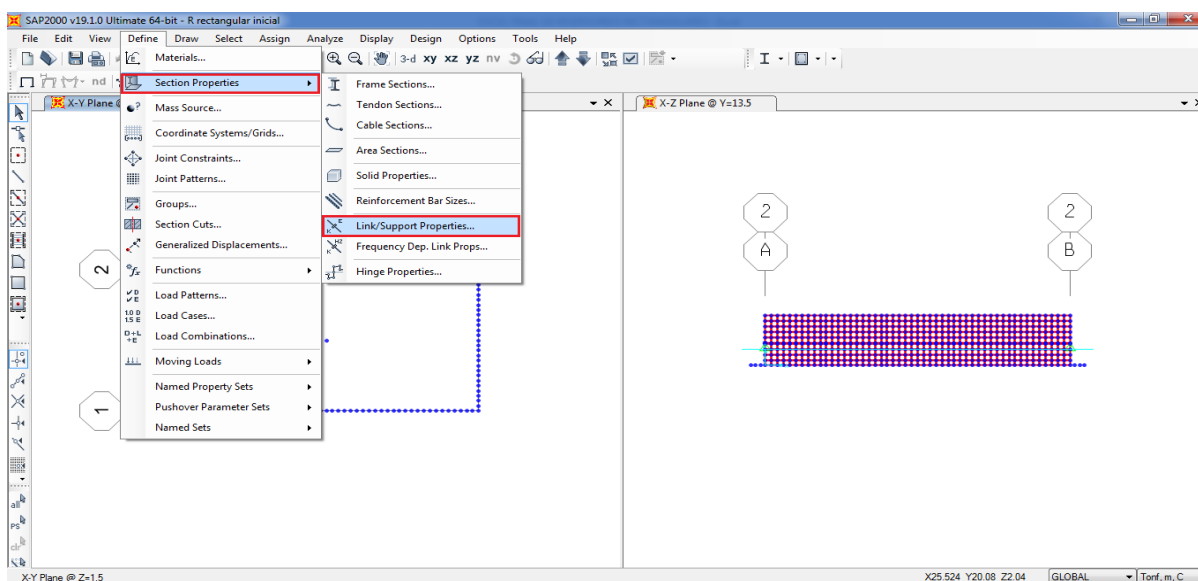
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR



Paso 15. Para asignar la el peso convectivo se crearan varios puntos a la altura del peso convectivo para la Direccion X-X y Y-Y para ello se va a Draw/Draw special joint, luego se crea el resorte, para ello se ingresara a Define/Section Properties/ link/support properties, donde se asignara la rigidez calculada para la direccion X-X y Y-Y, luego dibujaremos los resortes para lo cual ingresaremos a Draw/Draw 2 Joint Link, para asignar el peso se ingresa a Assing/Masses.

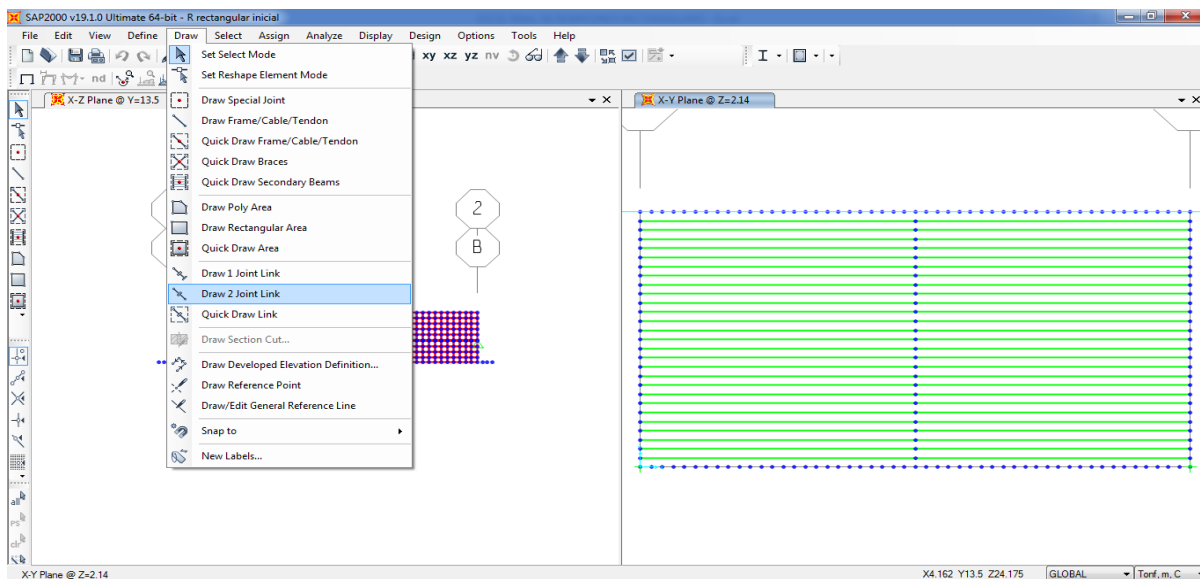
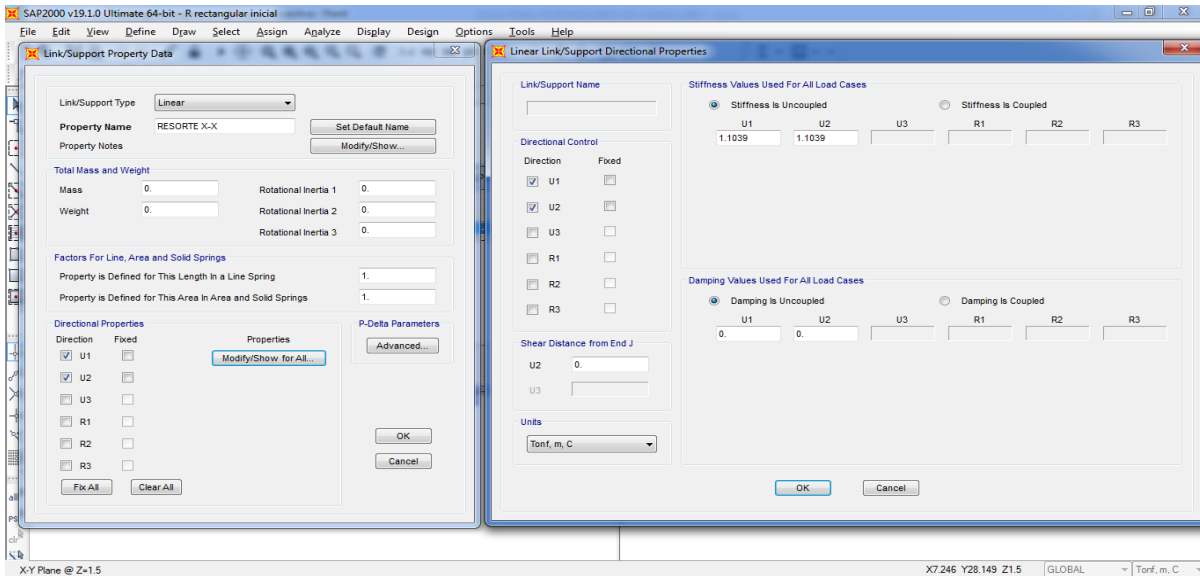




UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

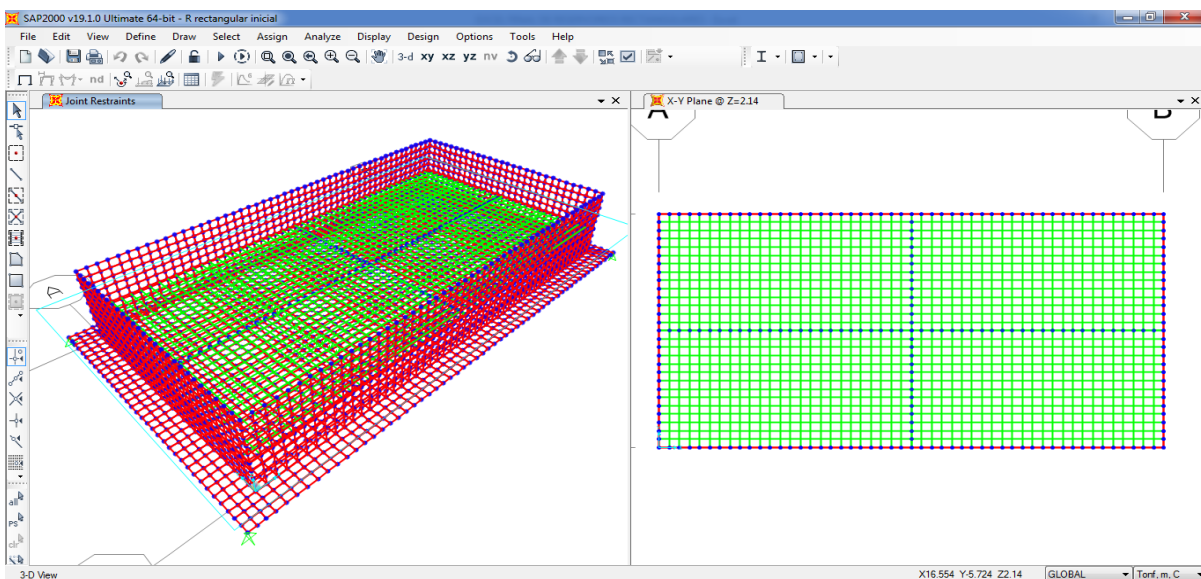
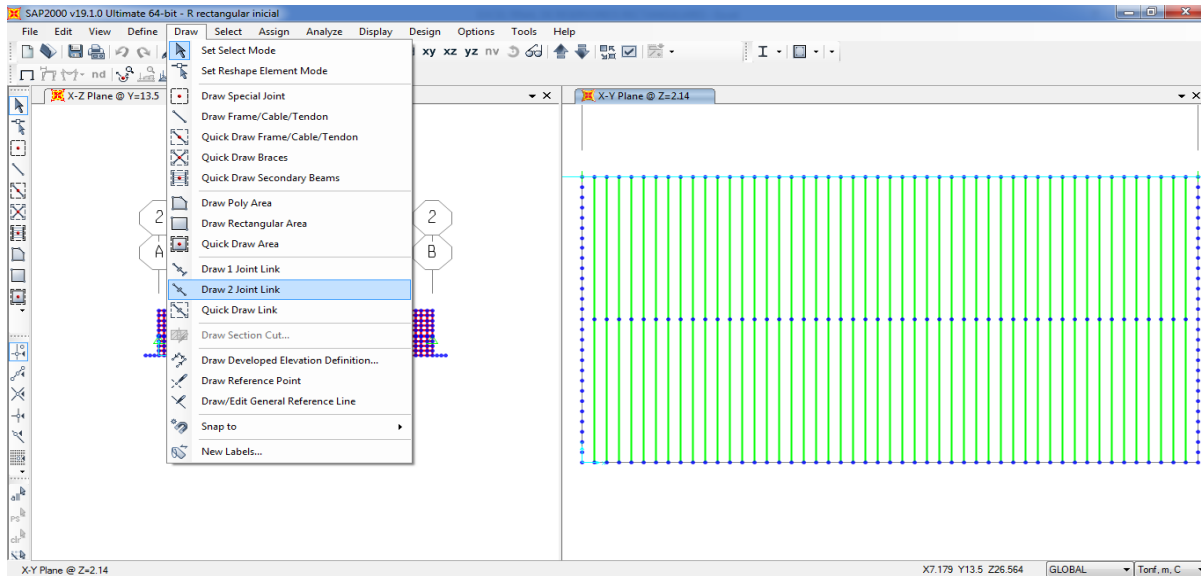




UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR



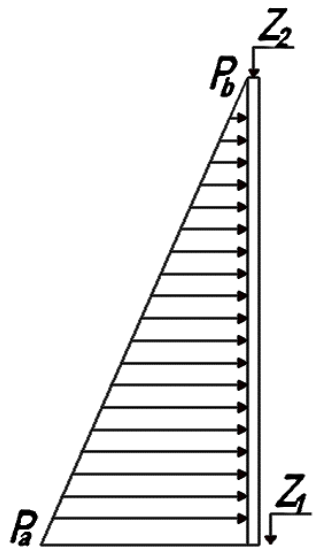


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Paso 16. La presión Hidrostática se asigna de acuerdo a los factores calculados, para ello se ingresara primero a Define/Join Patterns y se define el patrón de carga para la presión del agua, luego seleccionamos los muros y asignamos la presión hidrostática, para ello se ingresara a Assing/Join Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure.



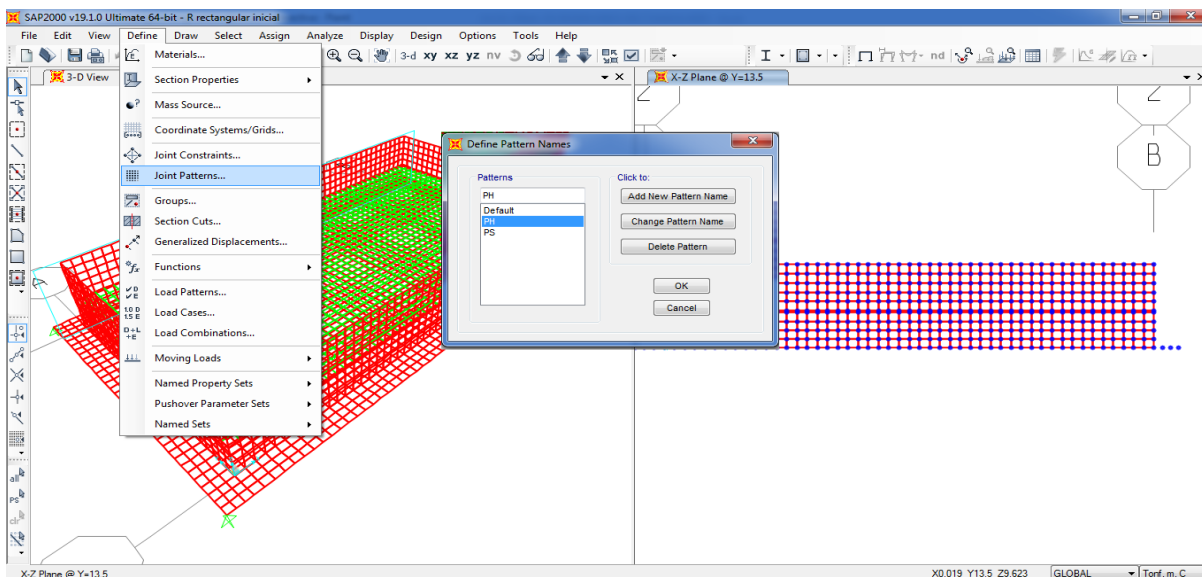
$$C(Z_1) + D = P_a$$

$$C(Z_2) + D = P_b$$

Por tanto :

$$C = -1$$

$$D = 4$$

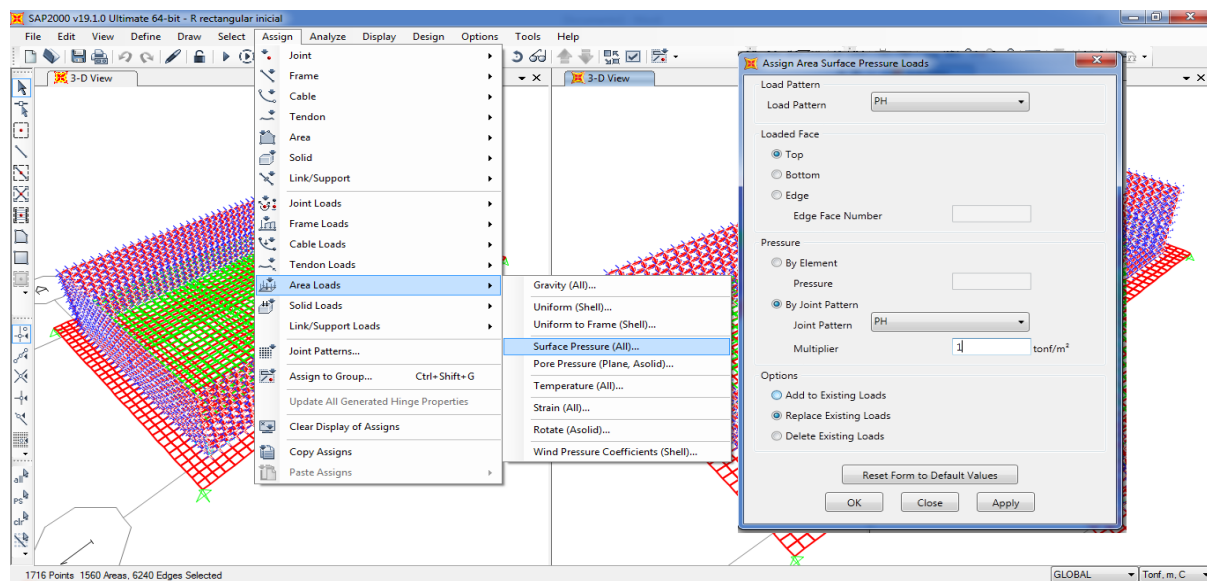
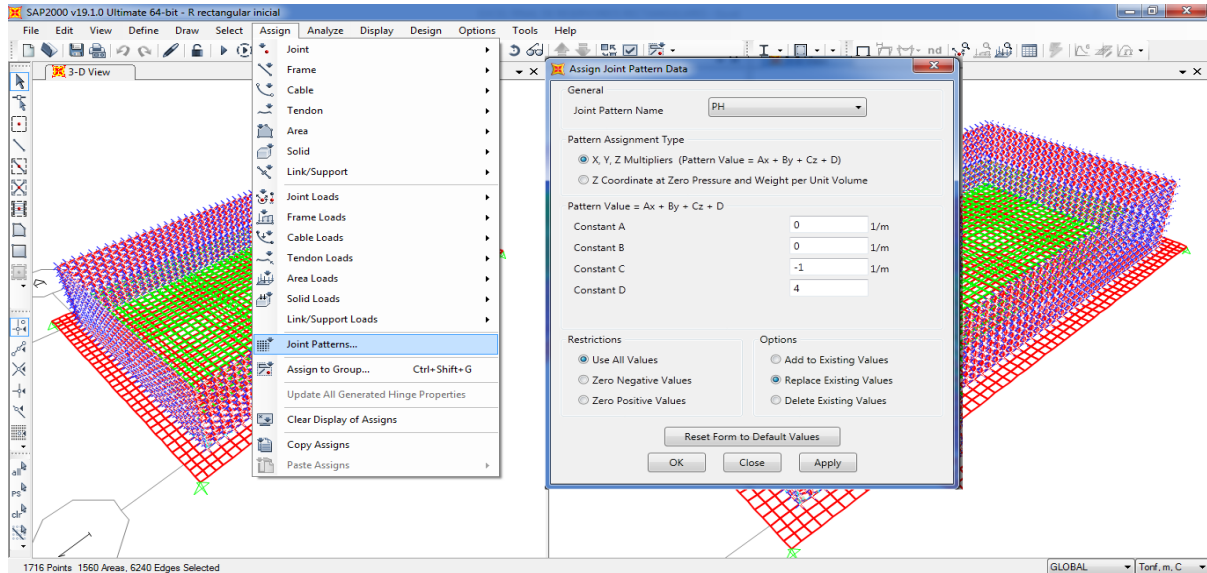




UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

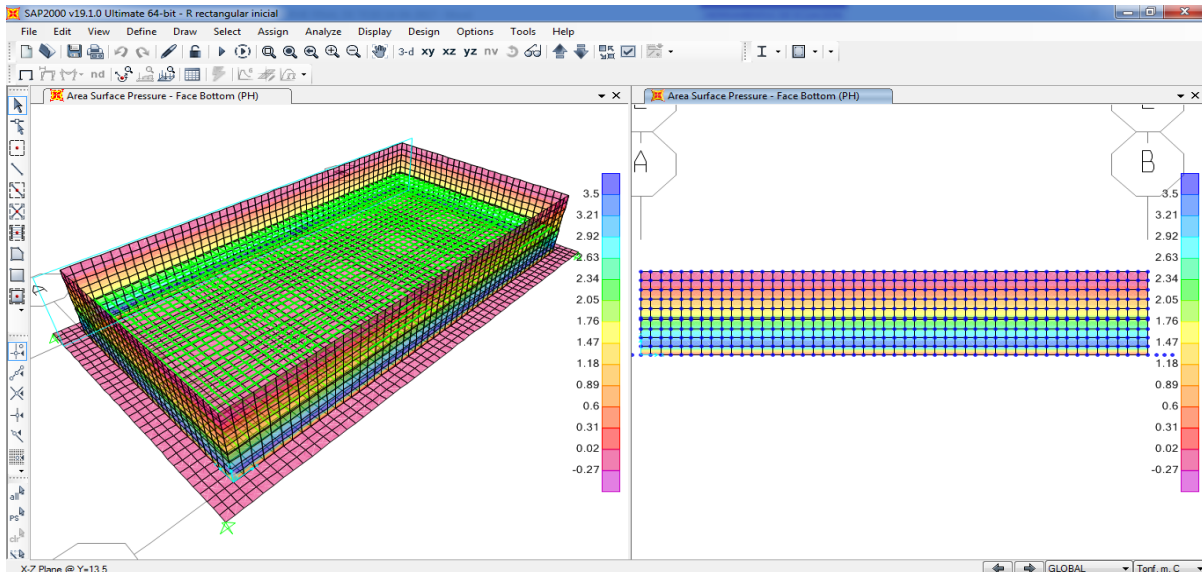




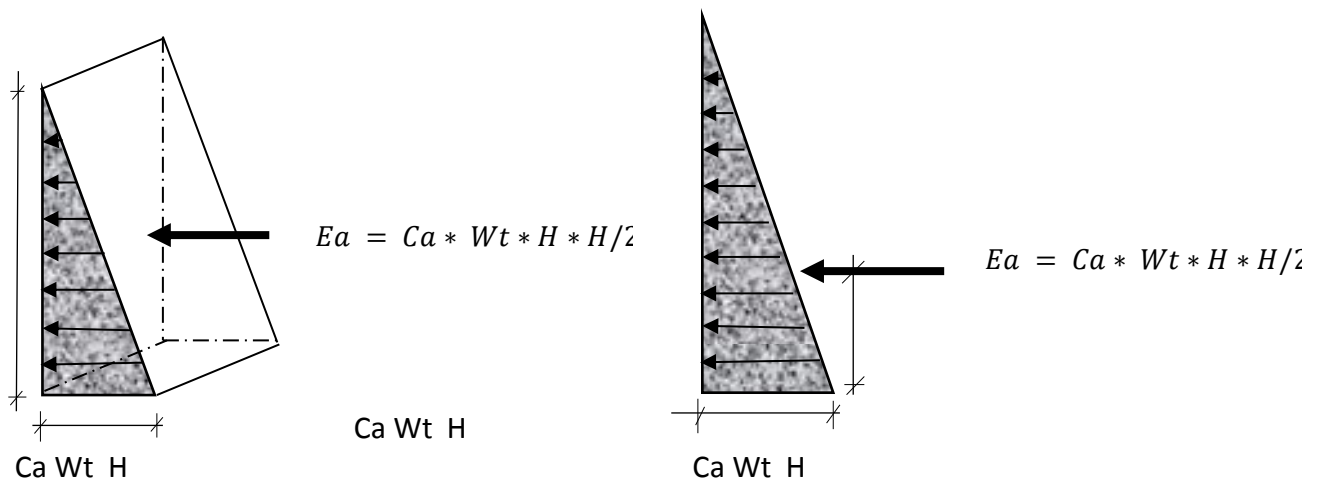
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR



Paso 17. para asignar el empuje de suelo hay tener como dato el angulo de friccion y la altura del muro. Para ello se ingresara primero a Define/Joint Patterns y se define el patrón de carga para el empuje del suelo, luego seleccionamos los muros y asignamos el empuje de suelo, para ello se ingresara a Assing/Joint Patterns, luego para que la presión se distribuya al área de los muros ingresamos a Assing/Area Loads/Surface pressure y en el factor de escala asignamos el coeficiente de empuje activo del terreno



Coeficiente del empuje activo del terreno:

$$C_a = (1 - \text{sen } \theta) / (1 + \text{sen } \theta)$$

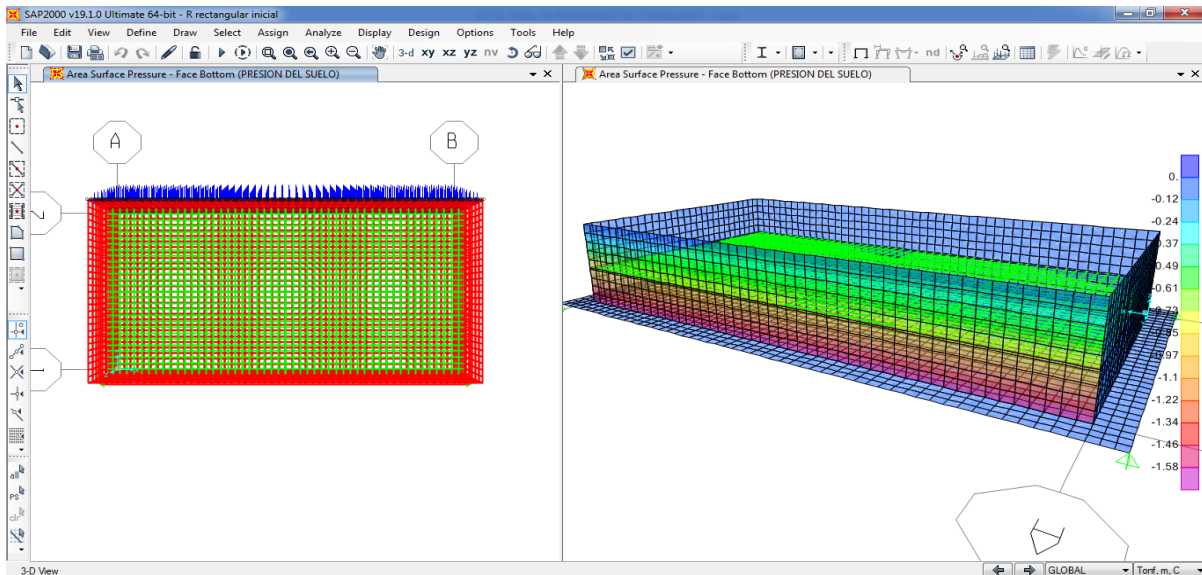
$$C_a = 0.33$$



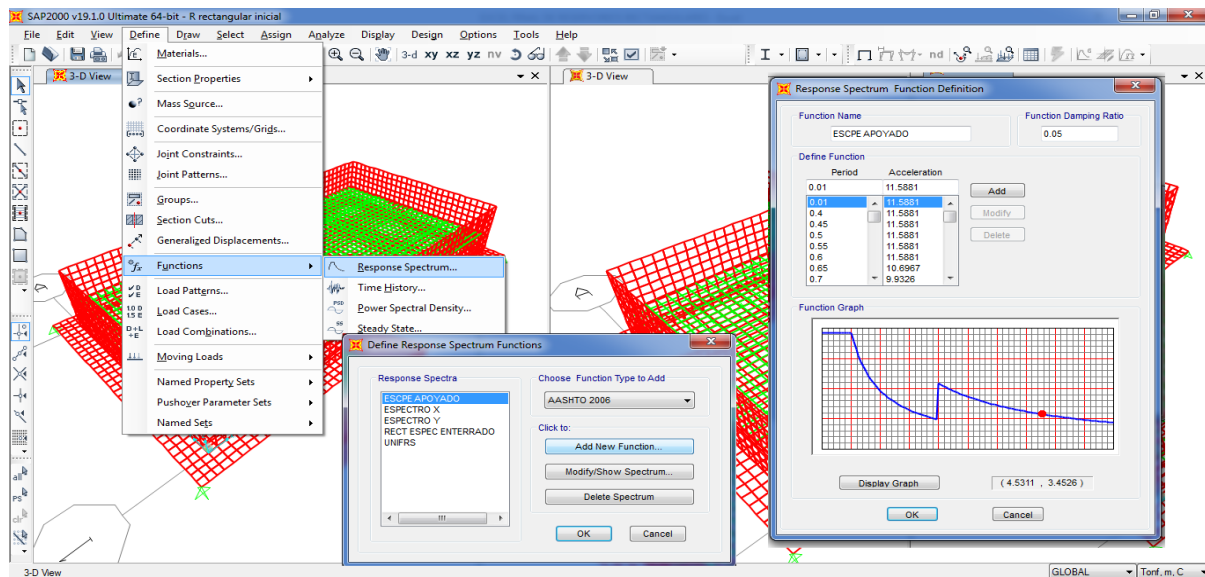
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR



Paso 18. Se procede a asignar el espectro de respuesta para lo cual ingresamos a Define/Response Spectrum.

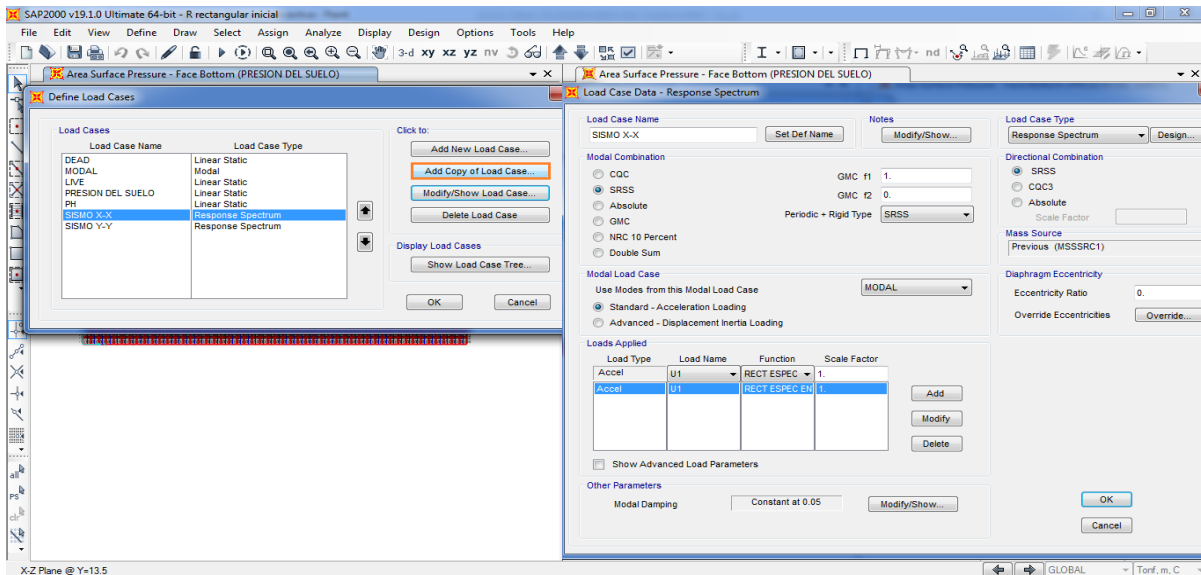
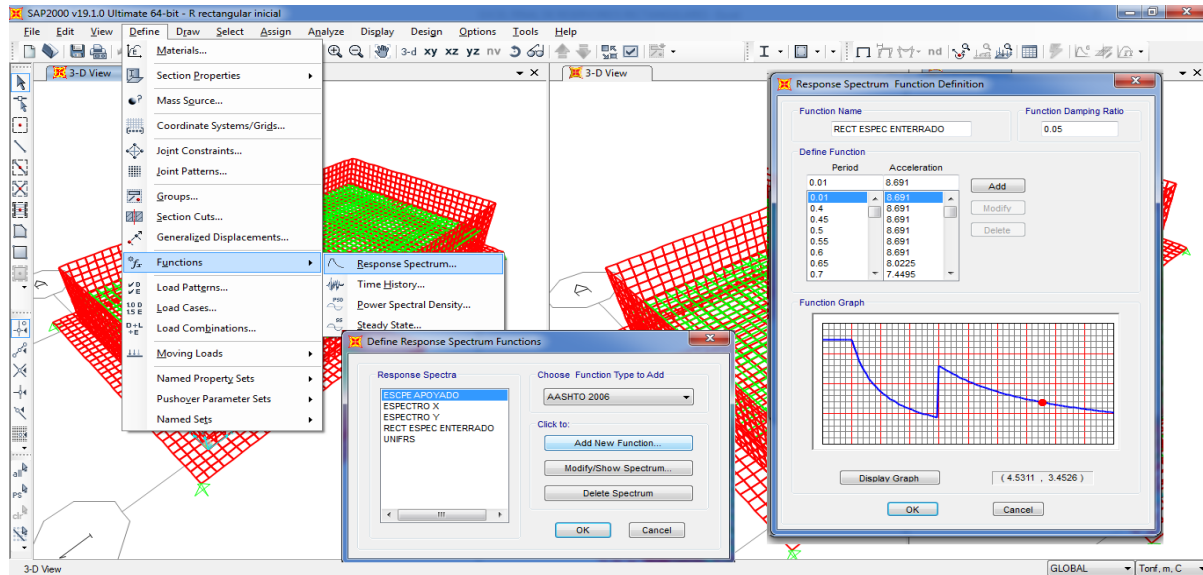




UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR





UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Paso 19. Se definen las combinaciones de cargas para ello ingresamos a Define/ Load Combinations. Los estados de carga considerados han sido los siguientes:

D = carga muerta (peso propio)

L = carga viva sobrepuesta sobre la cúpula de 50 kgf/m²

F = carga hidrostática proveniente del agua aplicada sobre las paredes del depósito

E = carga sísmica proveniente del espectro de diseño elástico de la norma NTE.E030

Las combinaciones de carga para fines de diseño son las siguientes:

$$\text{Comb. 1} = 1.4D + 1.4F \dots (1)$$

$$\text{Comb. 2} = 1.4D + 1.4F \dots (2)$$

$$\text{Comb. 3} = 1.2D + 1.2F + 1.6L \dots (3)$$

$$\text{Comb. 4} = 0.9D + 1.2F \dots (4)$$

$$\text{Comb. 5} = 1.2D + 1.2F + L \pm E \dots (5)$$

Por último haremos una envolvente de las combinaciones de cargas

Paso 20. Después de haber realizado todos los pasos “correremos” el modelo para ello vamos a Analyze/Run Analysis.

Paso 21. Realizamos un resumen de los Datos Obtenidos

Periodos de la componente convectiva, impulsiva y de la estructura

ITEM	Perido	frecuencia
	Seg	rad/seg
1	8.568346	0.1167086
2	4.843793	0.2064498
3	0.103834	9.6307281
4	0.086317	11.585139
5	0.084385	11.8505
6	0.078158	12.794602
7	0.077963	12.82656
8	0.07431	13.457107



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

“FORMULACION DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA MEJORAR LA RESPUESTA SISMICA EN
RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA”

ANALISIS SISMICO - RESERVORIO RECTANGULAR

Embolvente de Cortantes y Momentos Volcantes

Descripción	P	V2	V3	T	M2	M3
	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
MURO1 Max	-43.21	-	-	-	-	113.44
MURO1 Min	-67.22	-131.63	-	-	-	-
MURO2 Max	67.22	-	-	-	-	113.44
MURO2 Min	43.21	-131.63	-	-	-	-
MURO3 Max	129.46	-	253.51	-	-	-
MURO3 Min	83.22	-	-	-	-218.47	-
MURO4 Max	129.46	-	138.38	-	218.47	-
MURO4 Min	83.22	-	-253.51	-	-103.53	-