

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE UN RESERVORIO
CIRCULAR ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO Y EL MÉTODO
DINÁMICO DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

ASESOR: Mag. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez

BACHILLER: Francisco Alejandro Martos Salas

Cajamarca, Perú

-2013-

DEDICADO A:

·Mi Salvador Jesucristo, que siempre me ha acompañado en los buenos y malos momentos ayudándome en cada una de las decisiones de mi vida, a mi mamá por su entrega y apoyo durante todos los años de mi vida, a mi papá por el apoyo que me ha brindado, a toda mi familia por su amor y paciencia, además a todos aquellos amigos que fueron completamente sinceros y me apoyaron incondicionalmente acortando cualquier tipo de distancia que nos separa.

Francisco Alejandro

AGRADECIMIENTO:

Al Ing. Hermes Roberto Mosqueira, asesor de la Tesis, quien dedicó parte de su valioso tiempo para guiarme y ver concluido el proyecto y a su hijo el Ing. Miguel Mosqueira por brindarme el conocimiento necesario para concluir la Tesis.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería, por haberme impartido su conocimiento y las bases necesarias para mi formación profesional.

A todas las personas que de una o de otra manera colaboraron en el desarrollo de la presente Tesis.

Francisco Alejandro

INDICE DE CONTENIDOS

TÍTULO	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Bases Teóricas	6
1.3. Definición de Términos	21
CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	22
2.1. Planteamiento del Problema	22
2.1.1. Selección del Problema	22
2.1.2. Formulación del Problema	23
2.1.3. Justificación de la Investigación	23
2.1.4. Limitaciones y restricciones de la Investigación	24
2.2. Objetivos de la Investigación	25
2.2.1. Objetivo General	25
2.2.2. Objetivos Específicos	25
2.3. Hipótesis	26

2.4. Variables	26
2.5. Tipos de Investigación y de Análisis	26
2.5.1. Tipo de Investigación	26
2.5.2. Tipo de Análisis	27
2.6. Diseño Metodológico	27
2.6.1. El Universo de la Investigación	27
2.6.2. Técnicas para obtener los datos	28
A) Variable Método Estático	34
B) Variable Método Dinámico	38
2.6.3. Población de informantes	52
2.6.4. Forma de tratamiento de los datos	59
2.6.5. Forma de análisis de las informaciones	62
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
3.1. Resultado de la Investigación	63
3.1.1. Esfuerzos Determinados por el Método Estático	63
3.1.2. Esfuerzos Determinados por el Método Dinámico	66
3.2. Análisis de la Información	69
3.2.1. Análisis de los Esfuerzos Promedio	69
3.2.2. Análisis de los Esfuerzos Máximos	74
3.3. Contrastación de la Hipótesis	75

3.4. Interpretación de la Información	75
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
4.1. Conclusiones	77
4.2. Recomendaciones	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	83
ANEXO A: Plano del Reservoirio Circular Prototipo	83
ANEXO B: Cálculo de Esfuerzos por el Método Estático	85
ANEXO 02: Cálculo de Esfuerzos por el Método Dinámico	95

ÍNDICE DE TABLAS

Título	Página
Tabla 1. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular	9
Tabla 2. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo a Flexión	9
Tabla 3. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo	10
Tabla 4. Factores de Zona (Z)	17
Tabla 5. Factor de Importancia (Uso del tanque)	17
Tabla 6. Parámetros del suelo	17
Tabla 7. Factores de Modificación de Respuesta	18
Tabla 8. Cargas de Diseño	35
Tabla 9. Coeficientes Determinados para el Esfuerzo Anular	36
Tabla 10. Coeficientes Determinados para el Esfuerzo a Flexión	37
Tabla 11. Coeficiente Determinado para el Esfuerzo Cortante Máximo	37
Tabla 12. Parámetros para el Esfuerzo Cortante	38
Tabla 13. Masa impulsiva y masa convectiva	39
Tabla 14. Esfuerzo Anular Método Estático	53
Tabla 15. Esfuerzo a Flexión Método Estático	54
Tabla 16. Esfuerzo Cortante Método Estático	55
Tabla 17. Esfuerzo Anular Método Dinámico	56
Tabla 18. Esfuerzo a Flexión Método Dinámico	57
Tabla 19. Esfuerzo Cortante Método Dinámico	58
Tabla 20. Agrupación del Esfuerzo Anular	60
Tabla 21. Agrupación del Esfuerzo a Flexión	60
Tabla 22. Agrupación del Esfuerzo Cortante	61
Tabla 23. Agrupación de los Esfuerzos Máximos	61
Tabla 24. Comparación del Esfuerzo Anular Promedio	70

Tabla 25.	Comparación del Esfuerzo a Flexión Promedio	71
Tabla 26.	Comparación del Esfuerzo Cortante Promedio	73
Tabla 27.	Comparación de los Esfuerzos Máximos	75
Tabla A1.	Interpolación de la Tabla 1 para el Esfuerzo Anular	87
Tabla A2.	Interpolación de la Tabla 2 para el Esfuerzo a Flexión	88
Tabla A3.	Interpolación de la Tabla 3 para el Esfuerzo Cortante Máximo	88
Tabla A4.	Cálculo del Esfuerzo Anular PCA	89
Tabla A5.	Cálculo del Esfuerzo a Flexión PCA	90
Tabla A6.	Cálculo de las reacciones R_a y R_b	93
Tabla A7.	Cálculo del Esfuerzo Cortante PCA	93
Tabla A8.	Distribución de la Rigidez Convectiva	100
Tabla A9.	Cálculo para el Espectro de Pseudoaceleración	103
Tabla A10.	Cálculo del Esfuerzo Anular SAP2000	106
Tabla A11.	Cálculo del Esfuerzo a Flexión SAP2000	108
Tabla A12.	Cálculo del Esfuerzo Cortante SAP2000	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Página
Figura 1. Idealización de las masas en un Reservoirio Método Dinámico	3
Figura 2. Equilibrio Dinámico de Fuerzas Horizontales	3
Figura 3. Idealización de la Pared del Reservoirio en el ámbito local	5
Figura 4. Plano del Reservoirio Circular Prototipo	7
Figura 5. Presión del agua en la pared del Reservoirio	8
Figura 6. Empotramiento en la base y rotación angular en el extremo superior	8
Figura 7. Idealización de la pared del Reservoirio como viga horizontal	11
Figura 8. Modelo Dinámico en Reservoirios Circulares (ACI 350.3-01)	13
Figura 9. Ejemplo de Aceleraciones Espectrales o Pseudo-aceleración	19
Figura 10. Ejemplo del Esfuerzo Anular a Flexión - Método Estático	20
Figura 11. Ejemplo del Esfuerzo Anular a Flexión - Método Dinámico	20
Figura 12. Espectro de diseño para el Reservoirio Prototipo	40
Figura 13. Coordenadas en X	42
Figura 14. Coordenadas en Z	42
Figura 15. Propiedades del Concreto	43
Figura 16. Secciones <u>Shell</u>	44
Figura 17. Extrusión de elementos <u>Frame</u> a <u>Shell</u>	45
Figura 18. Modelamiento del Reservoirio Prototipo	46
Figura 19. Definición de Cargas	46
Figura 20. Definición de la Presión del Agua	47
Figura 21. Espectro de Aceleraciones importado en SAP2000	48
Figura 22. Rigidez de Resortes	49
Figura 23. Representación del Modelo Final	49

Figura 24.	Definición de Masas	50
Figura 25.	Diagrama del Esfuerzo Anular SAP2000	50
Figura 26.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión SAP2000	51
Figura 27.	Diagrama del Esfuerzo Cortante SAP2000	51
Figura 28.	Diagrama del Esfuerzo Anular-Método Estático	64
Figura 29.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Estático	65
Figura 30.	Diagrama del Esfuerzo Cortante-Método Estático	66
Figura 31.	Diagrama del Esfuerzo Anular-Método Dinámico	67
Figura 32.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Dinámico	68
Figura 33.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Dinámico	69
Figura 34.	Comparación del Esfuerzo Anular Promedio	70
Figura 35.	Comparación del Esfuerzo a Flexión Promedio	72
Figura 36.	Comparación del Esfuerzo Cortante Promedio	73
Figura A1.	Diagrama del Esfuerzo Anular M. Estático	90
Figura A2.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión M. Estático	91
Figura A3.	Pared del Reservorio Idealizada como viga	91
Figura A4.	Diagrama del Esfuerzo Cortante M. Estático	94
Figura A5.	Movimiento del agua en el Reservorio	96
Figura A6.	Espectro de Pseudoaceleración	105
Figura A7.	Esfuerzo Anular en SAP2000	106
Figura A8.	Diagrama del Esfuerzo Anular M. Dinámico	107
Figura A9.	Esfuerzo a Flexión en SAP2000	108
Figura A10.	Diagrama del Esfuerzo a Flexión M. Dinámico	109
Figura A11.	Esfuerzo Cortante en SAP2000	110
Figura A12.	Diagrama del Esfuerzo Cortante M. Dinámico	111

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue establecer las diferencias entre el Método Estático y el Método Dinámico de la Norma ACI 350.3-01. Tomamos como modelo prototipo a un Reservorio Circular de 15.60 m³ de capacidad, 2.80 m. de altura, diámetro interno de 3.00 m. y espesor de pared de 0.15 m. el cual fue analizado mediante el Método Estático de la Portland Cement Association (PCA) con coeficientes para encontrar los Esfuerzos; luego mediante el Método Dinámico se utilizó: el modelo de Housner para tanques circulares, la Norma ACI 350.3-01 y la Norma E.030, obteniendo los parámetros necesarios para modelar la estructura con el programa SAP2000 y determinar de igual forma que en el caso anterior al Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante en la pared del reservorio a las mismas alturas en que se encontraron en el Método Estático, para luego compararlos, obteniendo que el Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante Negativo fueron mayores al utilizar el Método Dinámico con respecto al Estático, pero de manera inversa en el caso del Cortante Positivo, concluyendo que existen claras diferencias importantes entre ambos Métodos, donde el Dinámico fue más exacto al tener en cuenta acciones mecánicas que no fueron consideradas en el Estático, como la fuerza sísmica, el chapoteo del agua, la fuerza de inercia y la vibración misma de la estructura, que de no ser consideradas en el diseño de los Reservorios Circulares producirán el colapso de la estructura durante un Sismo Importante.

Palabras Clave: Ingeniería Sísmica, Comportamiento Sísmico, Análisis Estático y Dinámico Reservorios Circulares

ABSTRACT

The objective of the research was set the differences between the Static and the Dynamic Method of ACI 350.3-01. With a Circular Tank prototype model that has a volume of 15.60 m³ of capacity, height 2.80 m., internal diameter 3.00 m. and 0.15 m. of wall thickness, it was analyzed by the Static Method of the Portland Cement Association (PCA) by coefficients to find the forces, then using the Housner Dynamic Model for Circular Tanks, ACI 350.3-01 and Standard E.030, obtaining the necessary parameters to the modeling of the structure with the program SAP2000, then we have obtained the Annular Force, Momentum and Shear in the wall of the reservoir at the same heights that defined in the Static Method. So, then compare, we checked the Annular Force, Negative Momentum and Negative Shear were greater when using the Dynamic Method than Static, but in inverse of the Positive Shear. We concluded that there are important differences between both methods, the Dynamic was more exact than the Static because considered mechanical actions that were not considered in the static, for example the seismic force, water vibration, the inertial force and the vibration of the structure, which if not be considered in the design of Circular Reservoirs would produce the collapse of the structure during Important Earthquake.

Keywords: Seismic Engineering, Seismic Performance, Static and Dynamic Analysis Circular Tanks.

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, cada vez existen nuevas normas y metodologías que son implementadas con la finalidad de lograr una mayor exactitud en el análisis y diseño de diferentes estructuras, esto con el objetivo de garantizar una mayor seguridad en las mismas utilizando las facilidades que hoy nos brinda la tecnología.

Nuestro país no posee una Norma o Reglamento que permita al profesional de Ingeniería Civil, diseñar estructuras de almacenamiento de agua que sean capaces de comportarse adecuadamente frente a un sismo importante, pese a que existen algunos intentos que se inclinan hacia las nuevas metodologías internacionales, aún no se tiene en claro la importancia de considerar acciones Dinámicas en el diseño de éstas estructuras.

Como vemos a nivel local, el desconocimiento sobre el Análisis Dinámico, conlleva a que los proyectistas utilicen casi siempre el Método Estático con la finalidad de poder concretar los proyectos de Saneamiento y Agua Potable para las diferentes comunidades y caseríos.

El inadecuado uso del Método Estático, sumado al desconocimiento respecto a las acciones dinámicas como el chapoteo y la vibración del agua, conllevan a que las estructuras de Reservoirio no tengan una adecuada seguridad frente a eventos sísmicos de gran importancia.

Como sabemos, el Método Estático considera el empuje del agua como la única fuerza que ejerce presión contra la pared del reservorio, la cual disminuye o incrementa conforme el nivel del agua descienda o incremente en su interior.

Sin embargo el Método Dinámico considera, además del peso propio y la carga estática actuante, el efecto de la vibración que posee la estructura y la vibración del agua que genera una fuerza de inercia impulsiva en la parte inferior y una oscilante en la parte superior que produce el chapoteo del agua conocida como fuerza convectiva.

Por lo tanto, el Método Dinámico considera mayores parámetros y acciones que el Estático, lo cual nos lleva a la interrogante de cuál es la diferencia en el cálculo de las acciones mecánicas entre ambos métodos.

Es por ello que la presente Investigación, toma un modelo prototipo de Reservorio Circular Apoyado para evaluar los Esfuerzos producidos a lo largo de su pared utilizando el Método Estático y el Dinámico.

El Método de Análisis Estático se efectúa mediante los coeficientes que nos ofrece la Portland Cement Association (PCA) considerando como idealización estructural que la base de la pared posee un empotramiento y que la parte superior de la misma tiene un apoyo fijo.

El Método Dinámico, usa la Norma ACI 350.3-01 para determinar los parámetros de acuerdo al tipo de Reservoirio en combinación de la Norma E-030 ya que el modelo prototipo pertenece a una zona ubicada en nuestra localidad, específicamente el Caserío de Colpa Huacaríz del Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca. El modelamiento estructural toma en cuenta los parámetros no considerados en el Método Estático, y es asistido por el programa SAP2000.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Existen estudios relacionados para el análisis y diseño de Reservorios Circulares tanto por el Método Dinámico como por el Método Estático:

En el año 1993 la Asociación de Cemento Portland (PCA) determinó coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular y el Esfuerzo a Flexión a lo largo de la pared de la estructura así como el Esfuerzo Cortante Máximo. Cabe destacar, que éste método continúa siendo utilizado hasta la fecha en el Análisis Estático de Reservorios Circulares a nivel nacional e internacional.

De acuerdo a las consideraciones de la PCA, el Esfuerzo Anular, el Esfuerzo a Flexión y el Esfuerzo Cortante pueden ser determinados mediante las siguientes expresiones:

$$T = \text{Coef} \times W1 \dots(1.1)$$

$$M = \text{Coef} \times W2 \dots(1.2)$$

$$V = \text{Coef} \times W3 \dots(1.3)$$

Donde:

T: Esfuerzo Anular

M: Esfuerzo a Flexión

V: Esfuerzo Cortante

Coef: Coeficiente respectivo al cálculo de cada esfuerzo

w: Peso específico del líquido (para nuestro caso será agua)

H: Altura del agua en el reservorio

W1, W2 Y W3: Carga de diseño hacia la pared del reservorio correspondiente al Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante, respectivamente:

$$W1=wu \times H \times D/2 \dots(1.4.1)$$

$$W2=wu \times H^3 \dots(1.4.2)$$

$$W3=wu \times H^2 \dots(1.4.3)$$

$$wu=\text{Coef. Sanitario} \times fc \times w \dots(1.5)$$

Coef. Sanitario = 1.65 (Ramírez 2012)

fc: Factor de amplificación de Carga = 1.70 (RNE E.060 2009)

El Método aún se encuentra vigente, aunque en el ámbito internacional observamos una clara tendencia hacia el Análisis Dinámico por su importancia en el cálculo de las acciones mecánicas, influenciadas por la vibración del agua causada por un Sismo Importante, la cual no es considerada en el Método Estático de la PCA.

En el año 1963 George W. Housner realizó un Sistema Mecánico Equivalente representando el movimiento del agua al interior de un reservorio mediante la división de la masa de la misma en dos, una que se mantiene rígida en la parte inferior (conocida como masa impulsiva) y la otra que oscila en la superficie (conocida como masa convectiva, la cual genera el chapoteo del agua).

Este modelo fue tomado por la Norma ACI 350.3-01, titulada Diseño Sísmico de Estanques de Concreto Armado, en cuyo capítulo 9 denominado Modelo Dinámico, establece como alcance la idealización dinámica para un Reservorio Circular, en el cual se observan las masas bien diferenciadas: masa impulsiva y masa convectiva, tal y como se aprecia en la Figura 1.

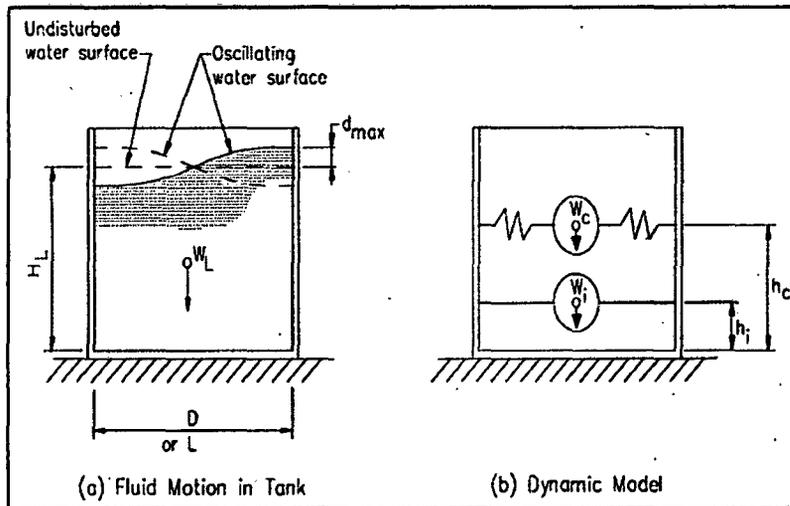


Figura 1. Idealización de las masas en un Reservoir Método Dinámico
(Fuente: Norma – ACI 350.3-01, Capítulo 9)

Ambas fuerzas generan un momento producto del equilibrio de fuerzas como vemos en la Figura 2.

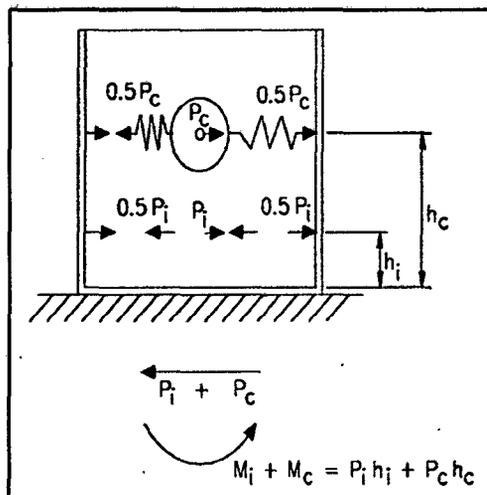


Figura 2. Equilibrio Dinámico de Fuerzas Horizontales
(Fuente: Norma – ACI 350.3-01, Capítulo 9)

“En 1996 un terremoto sacudió la ciudad de Nazca donde el tanque elevado de la ciudad, ubicado en Bisambra, sufrió daños a nivel de encuentro de viga columna, daños próximos en las longitudes plásticas de vigas y columnas, producido

básicamente por el chapoteo de las aguas en el tanque y por la mala calidad que posee el suelo de cimentación del tanque, habiéndose producido fisuras importantes en vigas en las que se podía observar el desconchamiento del concreto en la zona interior de la viga y posiblemente la fluencia del acero". (Mosqueira 1997)

En el ámbito Nacional observamos en diferentes bibliografías en donde se explica el Análisis Estático así como el Dinámico para Reservorios Circulares.

Gracias al internet podemos encontrar algunos ejemplos en cuanto al uso de los coeficientes PCA en el Análisis de Reservorios Circulares; tal es el caso de los siguientes estudios:

- Diseño de un Reservorio de Agua Potable, el cual posee un volumen de 1570 m³ donde la pared del reservorio que posee una altura de 5.00 m., es sometida ante el empuje lateral del agua; para el cálculo de los esfuerzos se observa el empleo de los coeficientes brindados por la PCA (Villagra 2012).
- Diseño Estático de Reservorios Circulares, en donde se analiza un reservorio con una altura de 8.00 m. sometido únicamente al empuje lateral del agua; en este estudio se aplica el método de los coeficientes PCA, multiplicándose a la carga de diseño por un factor sanitario con un valor igual a 1.65 (Ramírez 2012)
- El Proyecto Piloto para mejorar la gestión y la sostenibilidad distrital en agua y saneamiento, financiado por CARE-PROPILAS-COSUDE (2006), donde una consultoría diseñó cada uno de los elementos estructurales de la infraestructura de saneamiento, habiendo diseñado entre otros mediante el Método Estático tanques rectangulares desde 3.0 m³ y hasta 40 m³ y para circulares desde 3.00 m³ hasta 10 m³, los mismos que incluyen planos y detalles respectivos.

De igual modo, podemos observar algunos alcances sobre el Análisis Dinámico de Reservorios Circulares, como es el caso de los siguientes ejemplos:

- El análisis de un reservorio de 1000 m^3 donde la pared del tanque es sometida a fuerzas sísmicas calculadas mediante un Análisis Estático Sismorresistente, el cual es asistido por el programa SAP2000 donde observamos la corrección del peso de la estructura a fin de concretar el cálculo para el diseño sísmico. (Cordova 2010).
- Encontramos un Análisis Sísmico Dinámico de Reservorios Circulares, donde se indican las fórmulas para calcular la fuerza impulsiva y convectiva del fluido además se hace referencia a la metodología para calcular el Espectro de Aceleraciones de la Norma ACI 350.3-01 utilizando parámetros de la Norma de diseño Sismorresistente E.030 (Llaza 2011).

En el ámbito local, notamos una deficiencia en cuanto al Análisis de Reservorios Circulares, ya que el Diseño Estático presentado en la memoria de cálculo de muchos proyectos para Agua Potable, considera idealizar a la estructura como un elemento vertical con un empotramiento perfecto en la base y libre en el extremo tal como lo representa la Figura 3:

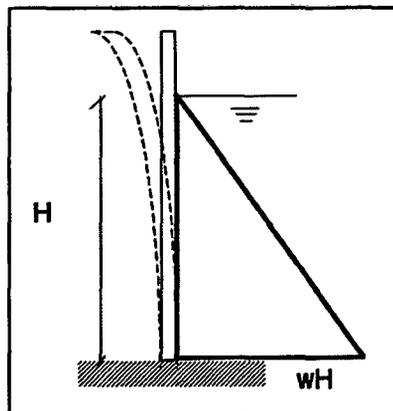


Figura 3. Idealización de la Pared del Reservorio en el ámbito local
(Fuente: Elaboración Propia)

Este Análisis lo encontramos en los siguientes proyectos:

- a) Instalación del Sistema de Agua Potable y Saneamiento Caserío Santa Clotilde, Distrito de la Encañada, Cajamarca – Cajamarca”, en la pared del reservorio actúan fuerzas debido al empuje lateral del agua, las cargas vivas y muertas debido actúan en el techo de la estructura; la idealización corresponde a la Figura 3.
- b) “Construcción del Sistema de agua potable y alcantarillado sanitario del sector PAMOC C.P.M. Huaraclla, Distrito de Jesús, Provincia de Cajamarca - Cajamarca” en cuyo reservorio de 33 m³, observamos el mismo tipo de idealización.
- c) El Proyecto Profesional “Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable del centro poblado Luñibamba”, ubicado en el Distrito de Jesús – Cajamarca, en cuyo Reservorio Circular de 5 m³, se observa el mismo Análisis Estático e idealización. (Bazán 2010).
- d) El Proyecto: “Mejoramiento y Ampliación del sistema de Agua Potable y Saneamiento en los sectores 1, 2, 3, 4 y Centro de las comunidades de Cabracancho e Iraca Grande, Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca” en cuyo Análisis Estático se ha considerado la Fuerza Cortante basal de la Norma E.030 del RNE, para los reservorios de diferentes volúmenes que abarcan el proyecto.

1.2. BASES TEÓRICAS

Métodos de Análisis en Reservorios

a) Método Estático:

Este método considera únicamente al empuje del agua como fuerza actuante en la pared del reservorio, la cual produce el Esfuerzo Anular, a Flexión y el Cortante a lo largo de la misma.

Para la siguiente investigación se utilizó el método de los Coeficientes de la PCA, ya que el modelo prototipo de reservorio que analizaremos, es del tipo circular apoyado cubierto por una losa plana en la parte superior tal y como se ve en la Figura 4 con las siguientes características:

Volumen:	15.60 m³
Borde libre (bl):	0.70 m
Altura del agua en el reservorio (H):	2.10 m
Diámetro interno (D):	3.00 m
Altura total del tanque (HT):	2.80 m
Espesor del muro (t):	0.15 m
Espesor de losa de techo (t1):	0.15 m
Volado en el techo (v1):	0.15 m
Volado en la base (v2):	0.15 m
Ancho de Cimiento (Ac):	0.60 m
Espesor de Cimiento (tc):	0.30 m
Espesor de losa de fondo (t2):	0.15 m

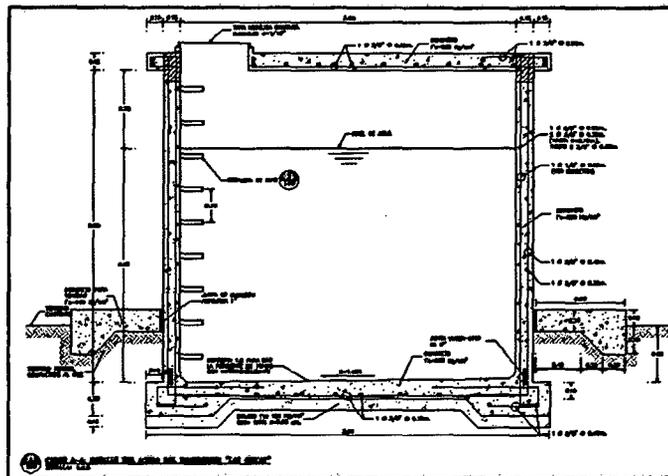


Figura 4 Plano del Reservorio Circular Prototipo

(Fuente: Plano R-01 Proyecto Instalación del Sistema de Agua Potable y Letrinización del Caserío Colpa Huacaríz, Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca. Ver Anexo A)

La PCA considera diferentes idealizaciones en cuanto al Análisis Estático de Reservorios Apoyados de Pared Circular, una de ellas es la más cercana al modelo que aplicaremos en la investigación la que considera el empuje del agua que actúa contra la pared del reservorio como se observa en las Figuras 5 y 6.

Esta idealización permite calcular los esfuerzos según la relación entre el cuadrado de la altura del agua y el producto del diámetro interno por el espesor de la pared (H^2/Dt).

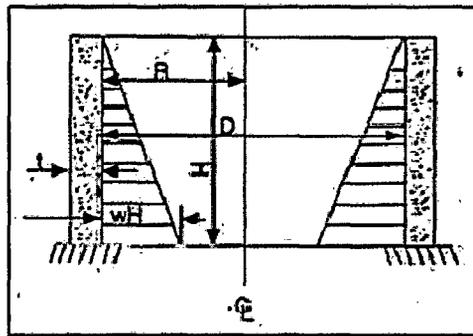


Figura 5 Presión del agua en la pared del Reservorio
(Fuente: PCA 1993)

Donde:

t : Espesor de la pared

H : Altura del Agua

D : Diámetro interno del tanque o reservorio.

w : Peso específico del líquido

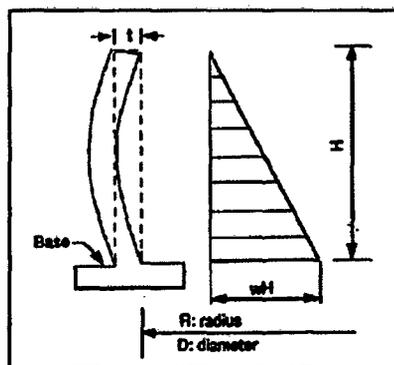


Figura 6 Empotramiento en la base y rotación angular en el extremo superior
(Fuente: PCA 1993)

Tabla 1. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular

Coefficients at point										
$\frac{H^2}{D_i}$	0.0H	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H
0.4	+0.149	+0.134	+0.120	+0.101	+0.082	+0.066	+0.049	+0.029	+0.014	+0.004
0.8	+0.283	+0.239	+0.215	+0.190	+0.160	+0.130	+0.096	+0.063	+0.034	+0.010
1.2	+0.283	+0.271	+0.254	+0.234	+0.209	+0.180	+0.142	+0.099	+0.054	+0.016
1.6	+0.265	+0.268	+0.268	+0.266	+0.250	+0.226	+0.185	+0.134	+0.075	+0.023
2.0	+0.234	+0.251	+0.273	+0.285	+0.285	+0.274	+0.232	+0.172	+0.104	+0.031
3.0	+0.134	+0.203	+0.267	+0.322	+0.357	+0.362	+0.330	+0.262	+0.157	+0.052
4.0	+0.067	+0.164	+0.258	+0.339	+0.403	+0.429	+0.409	+0.334	+0.210	+0.073
5.0	+0.025	+0.137	+0.246	+0.348	+0.428	+0.477	+0.469	+0.398	+0.259	+0.092
6.0	+0.018	+0.119	+0.234	+0.344	+0.441	+0.504	+0.514	+0.447	+0.301	+0.112
8.0	-0.011	+0.104	+0.218	+0.335	+0.443	+0.534	+0.575	+0.530	+0.381	+0.151
10.0	-0.011	+0.098	+0.208	+0.323	+0.437	+0.542	+0.608	+0.589	+0.440	+0.179
12.0	-0.005	+0.087	+0.202	+0.312	+0.429	+0.543	+0.628	+0.633	+0.494	+0.211
14.0	-0.002	+0.098	+0.200	+0.306	+0.420	+0.539	+0.639	+0.666	+0.541	+0.241
16.0	0.000	+0.089	+0.199	+0.304	+0.412	+0.531	+0.641	+0.687	+0.582	+0.265

(Fuente: PCA 1993 Tabla A-1)

Tabla 2. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo a Flexión

Coefficients at point										
$\frac{H^2}{D_i}$	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H	1.0H
0.4	+0.0005	+0.0014	+0.0021	+0.0007	-0.0042	-0.0150	-0.0302	-0.0529	-0.0816	-0.1205
0.8	+0.0011	+0.0037	+0.0063	+0.0080	+0.0070	+0.0023	-0.0068	-0.0224	-0.0465	-0.0795
1.2	+0.0012	+0.0042	+0.0077	+0.0103	+0.0112	+0.0090	+0.0022	-0.0108	-0.0311	-0.0602
1.6	+0.0011	+0.0041	+0.0075	+0.0107	+0.0121	+0.0111	+0.0058	-0.0051	-0.0232	-0.0505
2.0	+0.0010	+0.0035	+0.0068	+0.0099	+0.0120	+0.0115	+0.0075	-0.0021	-0.0185	-0.0436
3.0	+0.0006	+0.0024	+0.0047	+0.0071	+0.0090	+0.0097	+0.0077	+0.0012	-0.0119	-0.0333
4.0	+0.0003	+0.0015	+0.0028	+0.0047	+0.0066	+0.0077	+0.0089	+0.0023	-0.0080	-0.0268
5.0	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0029	+0.0048	+0.0059	+0.0059	+0.0028	-0.0058	-0.0222
6.0	+0.0001	+0.0003	+0.0008	+0.0019	+0.0032	+0.0046	+0.0051	+0.0029	-0.0041	-0.0187
8.0	.0000	+0.0001	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0028	+0.0038	+0.0029	-0.0022	-0.0146
10.0	.0000	.0000	+0.0001	+0.0004	+0.0007	+0.0019	+0.0029	+0.0028	-0.0012	-0.0122
12.0	.0000	-0.0000	+0.0001	+0.0002	+0.0003	+0.0013	+0.0023	+0.0026	-0.0005	-0.0104
14.0	.0000	.0000	.0000	.0000	+0.0001	+0.0008	+0.0019	+0.0023	-0.0001	-0.0090
16.0	.0000	.0000	-0.0001	-0.0002	-0.0001	+0.0004	+0.0013	+0.0019	+0.0001	-0.0079

(Fuente: PCA 1993 Tabla A-2)

Adicionalmente la PCA nos ofrece una tabla para la determinación del coeficiente para el cálculo del Esfuerzo Cortante, de acuerdo al tipo de carga en el reservorio:

Tabla 3. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo

$\frac{H^2}{Dl}$	Triangular load, fixed base	Rectangular load, fixed base	Triangular or rectangular load, hinged base	Moment at edge
0.4	+0.436	+0.755	+0.245	-1.58
0.8	+0.374	+0.552	+0.234	-1.75
1.2	+0.339	+0.460	+0.220	-2.00
1.6	+0.317	+0.407	+0.204	-2.26
2.0	+0.299	+0.370	+0.189	-2.57
3.0	+0.262	+0.310	+0.158	-3.18
4.0	+0.236	+0.271	+0.137	-3.68
5.0	+0.213	+0.243	+0.121	-4.10
6.0	+0.197	+0.222	+0.110	-4.49
8.0	+0.174	+0.193	+0.096	-5.18
10.0	+0.158	+0.172	+0.087	-5.81
12.0	+0.145	+0.158	+0.079	-6.38
14.0	+0.135	+0.147	+0.073	-6.88
16.0	+0.127	+0.137	+0.068	-7.36
20.0	+0.114	+0.122	+0.062	-8.20
24.0	+0.102	+0.111	+0.055	-8.94
32.0	+0.089	+0.096	+0.048	-10.36
40.0	+0.080	+0.086	+0.043	-10.62
48.0	+0.072	+0.079	+0.039	-12.76
56.0	+0.067	+0.074	+0.036	-13.76

(Fuente: PCA 1993 Tabla A-12)

Para la presente investigación, hemos idealizado la pared como un elemento empotrado en la base y con un apoyo fijo que permite la rotación angular en el extremo superior, ya que el reservorio se encuentra enterrado a una profundidad de más de 0.50m. y la pared forma un elemento monolítico con la losa de fondo y cimentación, además en el extremo superior está cubierto por una losa completamente horizontal arriostrada por una viga.

Para el cálculo del Cortante Máximo se usó de la primera columna de la Tabla 3, debido a que tenemos una carga triangular y una base fija.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en su Norma E.060 determina las combinaciones de carga para el cálculo de la resistencia requerida:

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV \dots(1.6)$$

(RNE E.060 2009)

La carga del agua no es permanente en la pared, ya que la altura de la misma variará de acuerdo a la operación que tenga el reservorio durante su vida útil, por ello el coeficiente de amplificación de carga debe ser considerado como 1.7, el correspondiente a cargas vivas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones.

Para el Cálculo del Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante, se emplearon las ecuaciones 1.1, 1.2 y 1.3, respectivamente las cuales fueron complementadas con las ecuaciones 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3 y 1.5.

El cálculo del Esfuerzo Cortante determinado por el método de los coeficientes PCA únicamente nos determina un valor máximo, por ello utilizaremos una expresión que nos determine el valor del mismo a lo largo de la pared del Reservorio Circular idealizando a la pared como se muestra en la Figura 7.

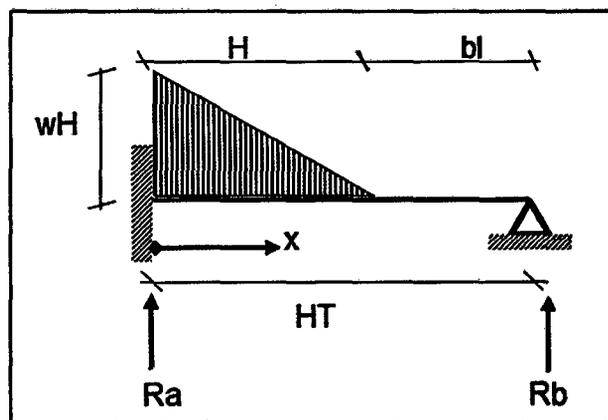


Figura 7 Idealización de la pared del Reservorio como viga horizontal

(Fuente: Elaboración Propia)

En base a esta idealización, el Esfuerzo Cortante se calcula en dos tramos: el primer tramo corresponde a la carga triangular ($0 \leq x \leq H$) y el segundo para el borde libre ($H \leq x \leq HT$).

$$V = Ra - wuHX + \frac{wuH^2}{2H}; 0 \leq X \leq H \dots (1.7)$$

$$V = -Rb; H \leq X \leq HT \dots (1.8)$$

(Fuente: Elaboración Propia)

Donde:

V: Esfuerzo Cortante

wu: Peso específico del agua afectado por el factor de carga y el coeficiente sanitario.

H: Altura del agua

HT: Altura total de la pared del reservorio.

X: Distancia con respecto a la base

Ra: Reacción en la base

Rb: Reacción en el extremo

$$Ra = \frac{qH}{40} \left[20 - \frac{H^2}{HT^2} \left(5 - \frac{H}{HT} \right) \right] \dots (1.9)$$

$$Rb = \frac{qH^3}{40HT^2} \left(5 - \frac{H}{HT} \right) \dots (2.0)$$

$$q = wuH \dots (2.1)$$

(Fuente: UPV 2012)

b) Método Dinámico:

Este método utiliza el Sistema Mecánico Equivalente de Housner (1963) que se muestra en la Figura 8, donde se aprecia la existencia de la masa impulsiva (mi) y la masa convectiva (mc), las cuales representan el movimiento del agua producto de la Aceleración Espectral del Sismo.

La Norma ACI 350.3-01, precisa ciertos parámetros los cuales son necesarios para el Análisis Dinámico en Reservorios Circulares, los cuales pueden determinarse mediante algunas expresiones.

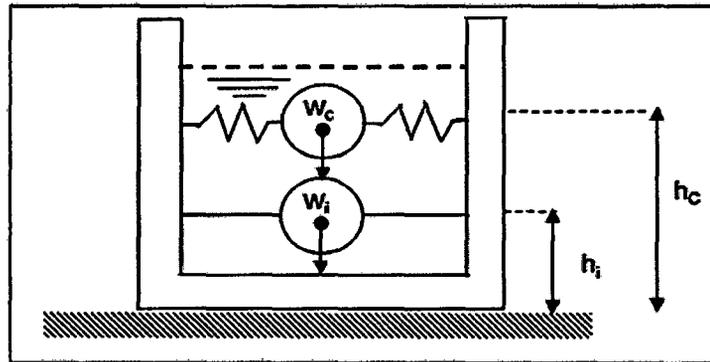


Figura 8. Modelo Dinámico en Reservorios Circulares (ACI 350.3-01)
(Fuente: Elaboración Propia)

Determinación de la masa impulsiva (m_i)

$$\frac{m_i}{m_A} = \frac{\tanh\left(0.866 \times \frac{D}{H}\right)}{0.866 \times \frac{D}{H}} \quad \dots(2.2)$$

Determinación de la masa convectiva (m_c)

$$\frac{m_c}{m_A} = 0.230 \times \left(\frac{D}{H}\right) \tanh\left(3.68 \frac{H}{D}\right) \quad \dots(2.3)$$

Determinación de la altura a la que se encuentra la masa impulsiva (h_i):

$$\frac{D}{H} < 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H} = 0.5 - 0.09375 \frac{D}{H} \quad \dots(2.4)$$

$$\boxed{\frac{D}{H} \geq 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H} = 0.375} \quad \dots(2.5)$$

Determinación de la altura a la que se encuentra la masa convectiva (h_c)

$$\boxed{\frac{h_c}{H} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68\frac{H}{D}\right) - 1}{3.68\frac{H}{D} \times \sinh\left(3.68\frac{H}{D}\right)}} \quad \dots(2.6)$$

Determinación de la rigidez del resorte que sujeta a la masa convectiva (K_c)

$$\boxed{K_c = 0.836 \frac{m_A g}{H} \tanh^2\left(3.68\frac{H}{D}\right)} \quad \text{(Ramírez 2011)} \quad \dots(2.7)$$

$$\boxed{K_c = \frac{45}{2} \times \frac{m_A}{H} \left(\frac{m_c H}{m_A D}\right)^2} \quad \text{(Llaza 2011)} \quad \dots(2.8)$$

Donde:

m_i : Masa impulsiva

m_A : Masa del agua

m_c : Masa convectiva

h_i : Altura de la Masa impulsiva a la base del tanque

h_c : Altura de la Masa convectiva a la base del tanque

H : Altura del Agua

D : Diámetro interno del Reservorio.

K_c : Rigidez del resorte de la masa convectiva

(Fuente: ACI 350.3-01 2001)

Estos parámetros son necesarios para el Análisis Dinámico, con ayuda del Software computacional para el cálculo de estructuras SAP2000, sin embargo, para poder

hacer dicho análisis, es necesario ingresar el Espectro de Aceleraciones que generan la Fuerza Sísmica.

La Norma Peruana E.030 indica los parámetros para el cálculo del Espectro de Aceleraciones para Edificaciones en función a la Zona, Tipo de Suelo, Uso de la Edificación y Tipo de la Edificación. La aceleración Espectral viene dada por la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g \quad \dots(2.9)$$

Donde:

Z: Factor de Zona

U: Factor de Uso

C: Factor de Amplificación Sísmica

S: Factor que depende del tipo de Suelo

R: Factor de Reducción

g: Aceleración de la gravedad (9.81m²/seg)

Sin embargo la Norma ACI 350.3-01 posee una propia metodología para el cálculo de la Aceleración Espectral de acuerdo a la importancia del Reservorio (o Tanque), y a los factores de modificación de respuesta (Rwi y Rwc).

Estos factores de respuesta son determinantes en la determinación de las Aceleraciones Espectrales, ya que debemos diferenciar cuál es el periodo correspondiente a la masa impulsiva y cuál a la masa convectiva.

Puesto que la masa impulsiva, está sujeta de forma rígida a las paredes del reservorio, puede decirse que se comporta como un cuerpo o sistema rígido inercial, y de acuerdo con la ley de Hooke, le corresponden desplazamientos pequeños (F=-Kx, Ley de Hooke 1678). Así mismo sabemos que el periodo de oscilación es

inversamente proporcional con la rigidez, por lo tanto los periodos menores están asociados a la masa impulsiva. (Llaza 2011)

Lo contrario ocurre con la masa convectiva, por lo que se puede decir que los periodos mayores están asociados a la masa convectiva. (Llaza 2011)

Es por ello que las Aceleraciones Espectrales causantes del movimiento sísmico de la masa impulsiva y convectiva, tienen una distribución dividida en dos partes para los periodos correspondientes a cada una de las masas.

El ACI 350.3-01 menciona que los primeros 2.4 segundos corresponden a la masa impulsiva y los siguientes a la masa convectiva.

Teniendo en cuenta esta consideración, a continuación se muestran los parámetros para el cálculo de la aceleración espectral, la cual se determina mediante las siguientes expresiones:

Aceleración Espectral correspondiente al periodo de oscilación de la masa impulsiva:

$$S_a = \frac{Z \times I \times S \times C(t_i)}{R_{wi}} \times g \quad \dots(3.0)$$

Aceleración Espectral correspondiente al periodo de oscilación de la masa convectiva:

$$S_a = \frac{Z \times I \times S \times C(t_c)}{R_{wc}} \times g \quad \dots(3.1)$$

Donde:

Z: Es el factor de Zona, el cual debe determinarse de acuerdo a la Norma Peruana de diseño Sismorresistente E.030:

Tabla 4. Factores de Zona (Z)

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
3	0.4
2	0.3
1	0.15

(Fuente: RNE E.030 2009)

El reservorio se encuentra en el Caserío de Colpa Huacaríz, Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca, por lo tanto le corresponde un factor de Zona 3.

I: Factor de Importancia (Uso del tanque)

Tabla 5. Factor de Importancia (Uso del tanque)

CATEGORÍA	I
Tanques que contienen materiales peligrosos	1.5
Tanques que son proyectados para seguir funcionando después de un sismo	1.25
Tanques que son parte de un sistema de abastecimiento importante	1.25
Todos los otros tanques	1

(Fuente: ACI 350.3-01 Capítulo 4 2001)

Parámetros del suelo: (S) y (Tp)

Tabla 6. Parámetros del suelo

TIPO	Tp (seg.)	S
Roca o suelos muy rígidos	0.4	1
Suelos Intermedios	0.6	1.2
Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S3

(Fuente: RNE E.030 2009)

Factores de Modificación de Respuesta R_{wi} y R_{wc} :

Tabla 7. Factores de Modificación de Respuesta

Tipo de Tanque	R_{wi}	R_{wi}	R_{wc}
	Superficial	Enterrado	
Tanques anclados o base flexible	4.5	4.25	1
Tanques de base fija o articulada	2.75	4	1
Tanques sin anclar, encerrados o abiertos	2	2.75	1
Tanques elevados	3	0	1

(Fuente: ACI 350.3-01 Capítulo 4 2001)

C : Factor de Amplificación Sísmica; el cual es adaptado a las consideraciones de la Norma Peruana E.030:

$$C(t) = 2.5 \left(\frac{T_p}{t} \right) \rightarrow C(t) \leq 2.5 \quad \dots(3.2)$$

t : Es el periodo en segundos, diferenciándose el periodo correspondiente a la masa impulsiva del de la masa convectiva.

Con las consideraciones mencionadas, el diagrama de las Aceleraciones Espectrales tiene una configuración similar a la que se muestra en la Figura 9.

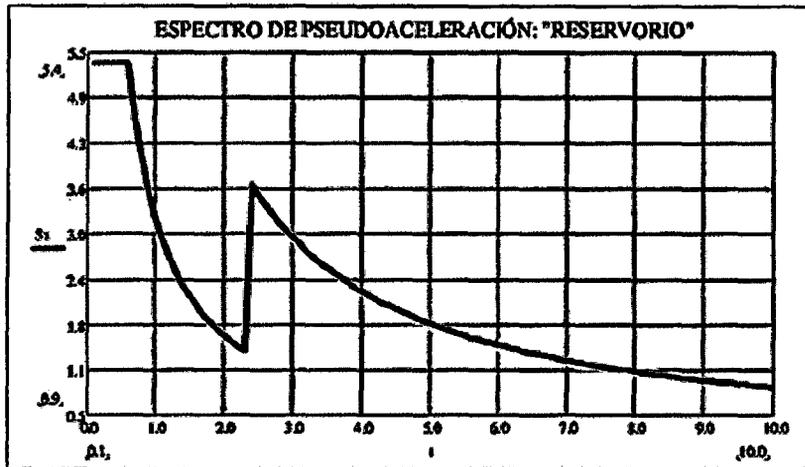


Figura 9. Ejemplo de Aceleraciones Espectrales o Pseudo-aceleración
(Fuente: Llasa 2011)

Habiendo obtenido los resultados de los Esfuerzos: Anular, a Flexión y Cortante los métodos Estático y Dinámico fueron analizados comparando tanto los valores promedio, máximos así como la determinación porcentual entre los resultados de ambos.

Ya que en el Método de Análisis Estático se utiliza la amplificación de cargas de la Norma E.060, en el Dinámico usamos la misma metodología que nos ofrece la Norma considerando la fuerza sísmica:

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS \dots(3.3)$$

$$U = 0.9 CM \pm CS \dots(3.4)$$

(RNE E.060 2009)

Al hacer la comparación entre ambos se observa la diferencia entre ambos métodos, como se puede ver en las Figuras 10 y 11.

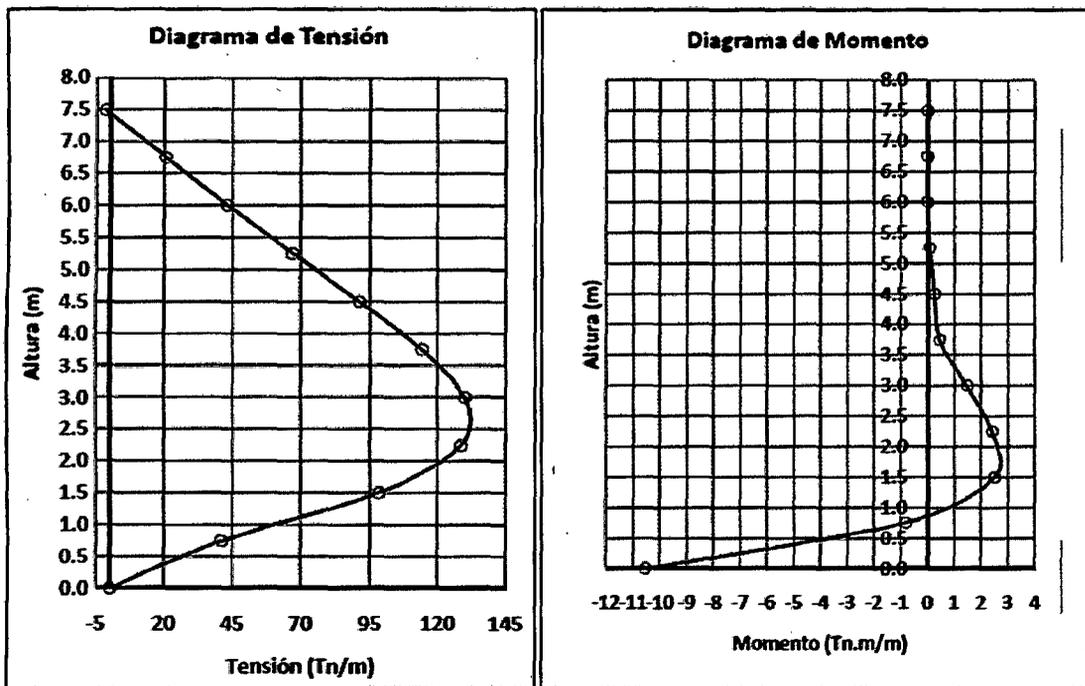


Figura 10. Ejemplo del Esfuerzo Anular a Flexión - Método Estático
(Fuente: Ramírez 2011)

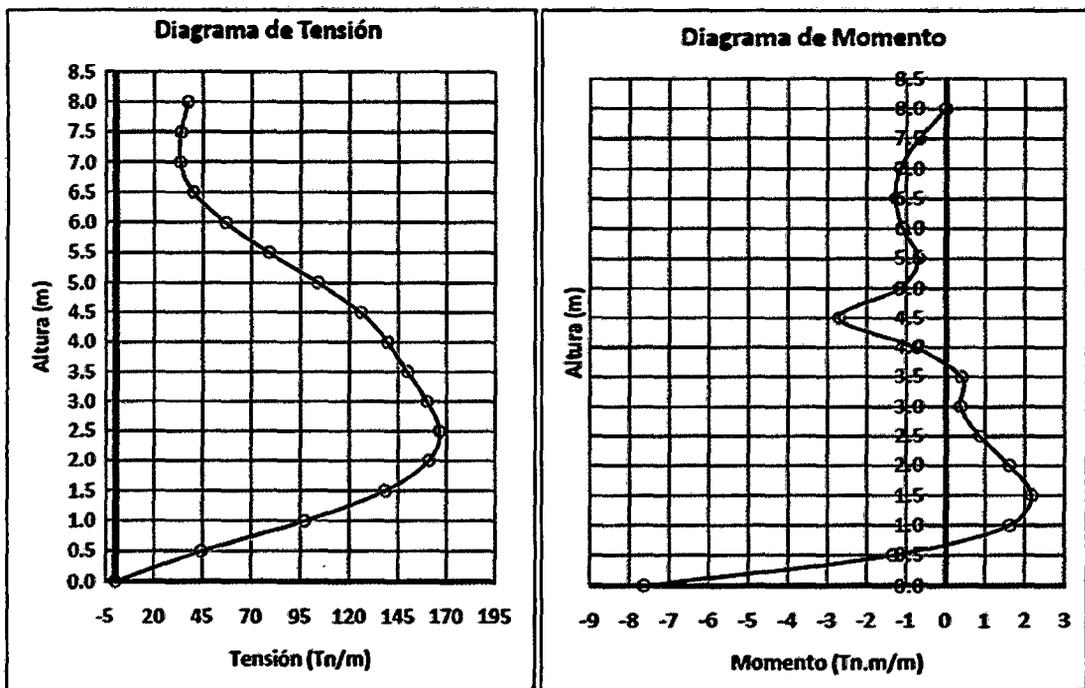


Figura 11. Ejemplo del Esfuerzo Anular a Flexión - Método Dinámico
(Fuente: Ramírez 2011)

1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Reservorio (o Tanque): Estructura de almacenamiento de agua, la cual garantiza el funcionamiento del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente. (Agüero 2003).

Su función consiste en suministrar agua para consumo humano a las redes de distribución, con las presiones de servicio adecuadas y en cantidad necesaria que permita compensar las variaciones de la demanda (RNE OS.030 2009).

Acciones Mecánicas: Son los esfuerzos internos producidos a lo largo de la estructura del reservorio, los cuales son Anular, Flexión y Cortante:

a) **Esfuerzo Anular:** Es el esfuerzo de tensión producido de manera circunferencial a causa de las cargas que actúan sobre la pared del reservorio.

b) **Esfuerzo a Flexión:** Viene a ser el esfuerzo generado por la suma algebraica de los momentos respecto a la sección en la que actúan las sollicitaciones de carga respectivas.

c) **Esfuerzo a Cortante:** Es aquel resultante de la suma de las componentes en la dirección perpendicular a la sección que se está estudiando, en este caso la pared del reservorio. (Castillo 2007)

Carga Muerta: Corresponde al peso de componentes permanentes o con una variación pequeña en su magnitud con respecto al tiempo. (RNE E.020 2009)

Carga Viva: Corresponde al peso de componentes móviles o que varían a lo largo del tiempo. (RNE E.020 2009)

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1. Selección del Problema

Los terremotos causan una gran preocupación a nivel mundial, sin bien es cierto hasta la fecha no es posible predecirlos por lo que actualmente muchos de los estudios van dirigidos hacia la seguridad y protección estructural a fin de poder disminuir la vulnerabilidad ante un Sismo Importante.

Esta preocupación es la base fundamental para el desarrollo de nuevas metodologías y reglamentos a fin de garantizar la seguridad en las estructuras, sobre todo en aquellas consideradas como esenciales, como es el caso de los Reservorios Circulares, sobre todo en aquellos lugares donde existe la posibilidad de ocurrencia de un Sismo de gran magnitud.

En la Norma Peruana RNE E.030 correspondiente al Diseño Sismorresistente, en su Anexo N° 01 de Zonificación Sísmica, clasifica al Departamento de Cajamarca, dentro de la Zona 3, considerando que el riesgo de un posible evento sísmico de gran magnitud existe, el cual afectará a las estructuras en cuyo diseño no se haya considerado el análisis ante sollicitaciones sísmicas.

Los últimos terremotos en el Perú: Nazca y Pisco, nos mostraron fallas importantes en los Reservorios Circulares diseñados por el Método Estático; sin embargo en aquellos que utilizaron el Diseño Dinámico tuvieron un mejor comportamiento, razón

que motiva a un análisis comparativo de las acciones mecánicas con fines de reducir riesgos potenciales en este tipo estructuras esenciales.

En la actualidad podemos apreciar una carencia en cuanto a una normativa peruana que nos permita a los profesionales en Ingeniería Civil, analizar y diseñar estructuras de almacenamiento de agua con un adecuado criterio dinámico, como es el caso un Reservoirio Circular (clasificado como una estructura esencial - RNE E.030 2009).

Esta carencia es aún más relevante en nuestro medio local, ya que en diferentes proyectos observamos que los reservorios son diseñados mediante una aproximación al Método Estático, sin considerar fuerzas importantes en las acciones mecánicas, como lo es el chapoteo del agua, con lo cual no se está garantizando la seguridad frente a la ocurrencia de un sismo.

2.1.2. Formulación del Problema

Las acciones generadas por el Método Estático no consideran efectos importantes en el comportamiento sísmico de los Reservorios Circulares, es por ello que el Método Dinámico tiene una mayor aproximación al modelo real.

Entonces nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es la diferencia del Método Dinámico en el cálculo de las acciones mecánicas respecto al Estático en reservorios sometidos a sismos?

2.1.3. Justificación de la Investigación

La investigación nos permitió encontrar la diferencia entre las acciones mecánicas de los dos métodos con la finalidad de reducir el riesgo ante acciones no consideradas importantes como la fuerza producida por la masa impulsiva y el chapoteo del agua (conocida como la fuerza producida por la masa convectiva).

En cuanto al aspecto social, nos encontramos ante la necesidad de abastecer con Agua Potable a las diferentes comunidades y caseríos de nuestra Región. Para el profesional de Ingeniería Civil es de conocimiento que en la mayoría de los casos el Reservoirio es la estructura principal del sistema de agua potable, por ello tras resolver éstas interrogantes que nos hemos planteado, como proyectistas podemos comenzar a tener un mejor criterio sobre la seguridad de una estructura tan importante como ésta frente a un evento sísmico.

Al garantizar la seguridad estructural de los Reservoirios Circulares, aseguramos su funcionalidad tras un evento sísmico, logrando que el Reservoirio cumpla su función principal la cual es suministrar agua para consumo humano.

La solución de esta carencia, permitirá al profesional en Ingeniería Civil, cuyo campo de aplicación está direccionado al análisis, diseño y ejecución de sistemas de agua potable tener un adecuado criterio de selección entre ambos métodos que nos ofrece la Ingeniería.

Además la presente investigación, permite la posibilidad de desarrollar un mayor interés académico a los estudiantes de Ingeniería Civil, que estén interesados en tener un mayor alcance sobre el Análisis Sismorresistente en este tipo de estructuras, utilizando herramientas computacionales como el programa SAP2000.

2.1.4. Limitaciones y restricciones de la Investigación

La limitación de la presente investigación fue que para la evaluación usamos como modelo el prototipo de un Reservoirio Circular Apoyado, el cual ha sido proyectado en el Caserío de Colpa Huacaríz, del Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca, cuyas características geométricas son definidas; posee un volumen efectivo de 15.60 m³, tendrá una altura total interna de 2.80 m, un diámetro interno de 3.00 m. y el agua alcanzará la altura de 2.10 m.

La solución de la problemática fue determinada mediante un Análisis Estático convencional (en el cual únicamente intervendrá el empuje del agua en los esfuerzos de la estructura usando el Método de los Coeficientes de la PCA) el cual fue comparado con el Análisis Dinámico mediante el Espectro de Aceleraciones de la Norma RNE E.030, donde se idealizó la estructura de acuerdo a las recomendaciones de la Norma ACI 350.3-01 para luego ser modelada en el programa SAP2000.

La restricción fundamental fue que los resultados fueron obtenidos únicamente para el prototipo por lo que otras investigaciones deberán tomar otros modelos con diferentes dimensiones, con la finalidad de poder generalizar los resultados.

2.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Objetivo General

- Evaluar las diferencias entre los Esfuerzos de un Reservorio Circular, mediante el Método Estático convencional y el Dinámico.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los Esfuerzos generados en el reservorio por el empuje del agua, Método Estático.
- Determinar, los Esfuerzos generados en el reservorio por efectos de la vibración del agua y las aceleraciones espectrales de la Norma E.030, Método Dinámico.
- Establecer las diferencias entre las acciones mecánicas del Método Estático y el Dinámico.

2.3. HIPÓTESIS

Los esfuerzos ocasionados en el reservorio prototipo mediante el Método Dinámico son mayores con respecto a los esfuerzos del Método Estático.

2.4. VARIABLES

UNIDAD DE ANÁLISIS: Reservorio Circular Apoyado con un volumen efectivo de 15.60 m³, altura total interna de 2.80 m, un diámetro interno de 3.00 m. y con una altura total del líquido de 2.10 m.

VARIABLES

La investigación presentó una variable dicotómica, ya que la variable independiente tiene dos Métodos (Estático y Dinámico). Esta variable independiente a la cual llamaremos X, hizo variar al Esfuerzo Anular, el Esfuerzo a Flexión y el Esfuerzo Cortante.

$$X \begin{bmatrix} \text{MÉTODO ESTÁTICO} \\ \text{MÉTODO DINÁMICO} \end{bmatrix} \rightarrow Y \begin{bmatrix} \text{ESFUERZO ANULAR (T)} \\ \text{ESFUERZO A FLEXIÓN (M)} \\ \text{ESFUERZO CORTANTE (V)} \end{bmatrix}$$

2.5. TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y DE ANÁLISIS

2.5.1. Tipo de Investigación

La Investigación tuvo un carácter Explicativo Comparativo, porque a través de resultados de carácter cuantitativo hemos podido evaluar ambos métodos mediante (Estático y Dinámico), obteniendo los resultados que fueron interpretados y luego analizados, teniendo en cuenta el problema el cual es materia de investigación.

2.5.2. Tipo de Análisis

El tipo de Análisis de la Investigación fue del tipo Cuantitativo, ya que los resultados obtenidos mediante el Método Estático y Dinámico permiten cuantificar las variables, las cuales fueron determinadas gracias a herramientas computacionales como lo son las Hojas de Cálculo en Excel y el Software para estructuras SAP2000 Advanced 14.0.0 Structural Analysis Program (Computers and Structures, Inc.), resultados que fueron evaluados a fin de obtener las respectivas conclusiones.

2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

2.6.1. El Universo de la Investigación

La Investigación fue enfocada hacia los reservorios de la Región Cajamarca cuya función principal es almacenar agua la cual es suministrada hacia las redes de distribución para el consumo humano.

El tipo específico de reservorios que se encuentran dentro del alcance de la Investigación, es aquel que posee una pared circular, cuya base se encuentra apoyada en el suelo y que están hechos de Concreto Armado. Por lo tanto la presente Investigación no estuvo referida a Reservorios Rectangulares, Elevados, o hechos de cualquier otro material.

De todos los Reservorios Circulares Apoyados de Concreto Armado, se tomó un modelo prototipo correspondiente al Proyecto “Instalación del Sistema de Agua Potable y Letrinización del Caserío Colpa Huacaríz” el cual ha sido proyectado para ser ubicado en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Chota, Distrito de Chota en el Caserío Colpa Huacaríz.

Cabe destacar que el prototipo de reservorio ha sido proyectado a una altura de 2503.81 m.s.n.m. cuyo centro geométrico se encuentra en las siguientes coordenadas:

Este: 759960.44

Norte: 9277699.29, de acuerdo al Sistema de Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur.

2.6.2. Técnicas para obtener los datos

Las técnicas de recolección de datos, fueron desarrolladas en base a los dos Métodos de Análisis (Estático y Dinámico), los cuales fueron considerados como nuestras variables independientes.

Recordemos que el modelo prototipo de reservorio que analizamos posee las siguientes características:

➤ En cuanto a su geometría, tenemos:

Volumen:	15.60 m³
Borde libre (bl):	0.70 m
Altura del agua en el reservorio (H):	2.10 m
Diámetro interno (D):	3.00 m
Altura total del tanque (HT):	2.80 m
Espesor del muro (t):	0.15 m
Espesor de losa de techo (t1):	0.15 m
Volado en el techo (v1):	0.15 m
Volado en la base (v2):	0.15 m
Ancho de Cimiento (Ac):	0.60 m
Espesor de Cimiento (tc):	0.30 m
Espesor de losa de fondo (t2):	0.15 m

(Ver Anexo A)

➤ En cuanto a las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que intervienen en el modelo prototipo, tenemos:

Peso específico del agua (w):	1.00 Tn/m³
Peso específico del Concreto Armado (γ _c):	2.50 Tn/m³
Aceleración de la gravedad:	9.81 m/s²
Resistencia del concreto:	f_c= 280.00 Kg/cm²
Módulo de Elasticidad:	E= 250998.01 Kg/cm²
Módulo de Poisson:	0.20

El Método Estático y el Dinámico se comportan como variables independientes pertenecientes a una variable dicotómica la cual hace variar al Esfuerzo Anular, el Esfuerzo a Flexión y el Esfuerzo Cortante. Para poder lograr la operacionalización de las variables, haremos uso de la siguiente Matriz.

MATRIZ 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDADES	CRITERIOS DE MEDICIÓN	NATURALEZA Y ESCALA	TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN
MÉTODO ESTÁTICO	ESFUERZO ANULAR	Esfuerzo de tensión producido de manera circunferencial sobre la pared del reservorio.	Tn/m	Fuerza actuante: Presión Hidrostática del Agua; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m. - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.	Cuantitativa a Razón Continua	Análisis mediante Hojas de Cálculo en Excel

ESFUERZO A FLEXIÓN	Esfuerzo generado por la suma algebraica de los momentos.	Tn-m/m	Fuerza actuante: Presión Hidrostática del Agua; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m. - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.	Cuantitativa a Continua Razón	Análisis mediante Hojas de Cálculo en Excel
ESFUERZO CORTANTE	Esfuerzo resultante de la suma de las fuerzas perpendiculares a la pared del reservorio.	Tn/m	Fuerza actuante: Presión Hidrostática del Agua; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m.; uso de la Ec (1.7) - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.; uso de la Ec (1.8)	Cuantitativa a Continua Razón	Análisis mediante Hojas de Cálculo en Excel

MÉTODO DINÁMICO	ESFUERZO ANULAR	Esfuerzo de tensión producido de manera circunferencial sobre la pared del reservorio.	Tn/m	Fuerzas actuantes: Presión del Agua, Impulsiva, Convectiva y Sismo; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m. - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.	Cuantitativa a Continua Razón	Obtención de parámetros mediante Excel y Modelamiento en el Software SAP2000
	ESFUERZO A FLEXIÓN	Esfuerzo generado por la suma algebraica de los momentos.	Tn-m/m	Fuerzas actuantes: Presión del Agua, Impulsiva, Convectiva y Sismo; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m. - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.	Cuantitativa a Continua Razón	Obtención de parámetros mediante Excel y Modelamiento en el Software SAP2000

	<p>ESFUERZO CORTANTE</p>	<p>Esfuerzo resultante de la suma de las fuerzas perpendiculares a la pared del reservorio.</p>	<p>Tn/m</p>	<p>Fuerzas actuantes: Presión del Agua, Impulsiva, Convectiva y Sismo; datos: - 0.00 m. ≤ H ≤ 2.10 m. Cada 0.21m. - 2.10 m. ≤ H ≤ 2.80 m. Cada 0.175 m.</p>	<p>Cuantitativa a Continua Razón</p>	<p>Obtención de parámetros mediante Excel y Modelamiento en el Software SAP2000</p>
--	------------------------------	---	-------------	---	--	---

(Fuente: Elaboración Propia)

A continuación se describe la Metodología que se aplicó en la presente Investigación:

A) Variable Método Estático

La técnica que se empleó fue el cálculo mediante el Método de los Coeficientes PCA, para lo cual hemos utilizado a las Hojas de Cálculo en Excel como la herramienta fundamental para la recolección de los esfuerzos a lo largo de la pared, los cuales fueron los datos principales para el desarrollo de la Investigación.

Para el desarrollo del Método, se idealizó a la pared como un elemento empotrado en el extremo inferior, ya que la misma forma un elemento monolítico con la base y con la cimentación; así mismo se consideró un apoyo fijo en el extremo superior el cual permite la rotación angular debido a que el prototipo posee una losa horizontal con un volado de 0.15 m.

Tal y como vimos en el Capítulo 1, teniendo en cuenta la idealización de la pared y el Método de la PCA, se utilizaron las siguientes tablas para la determinación de las variables dependientes:

- Tabla 1: Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular.
- Tabla 2: Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo a Flexión.
- Tabla 3: Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo.

La carga del agua, es una carga triangular que inicia con un valor igual a “0” en el nivel donde se encuentra el agua y que aumenta hasta alcanzar su valor máximo en la base del Reservorio Circular. Es por ello que en el uso de la Tabla 3, solamente nos hemos enfocado en la primera columna, correspondiente a Triangular load fixed base (Carga triangular en base fija).

➤ **Determinación de propiedades básicas para el modelo del Método Estático**

El desarrollo del modelo del Método Estático (Ver Anexo B), presentó tres propiedades básicas, con las cuales se determinaron los diferentes valores de las variables dependientes (Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante), estas propiedades fueron las siguientes:

- Carga de diseño: Tenemos 3 cargas de diseño, correspondiente a cada uno de los Esfuerzos que se desean obtener, cuyos valores se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Cargas de Diseño

Carga de Diseño	Valor Obtenido
W1 =	8.85 Tn/m
W2 =	26.02 Tn/m
W3 =	12.39 Tn/m

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: El Esfuerzo Anular se determinó con una Carga de Diseño de $W1=8.85$ Tn/m, el Esfuerzo a Flexión se determinó con una Carga de Diseño $W2=26.02$ Tn/m y finalmente el Esfuerzo Cortante se determinó con una Carga de Diseño de $W3=12.39$ Tn/m.

- Relación Altura, Diámetro y Espesor (H^2/DT): Esta es otra propiedad fue fundamental para el método estático ya que nos permitirá establecer los coeficientes que debemos emplear en la determinación de los Esfuerzos. Entonces el valor de esta relación fue el siguiente:

$$H^2/DT = 9.80$$

Interpretación: Al dividir el cuadrado de la altura del agua en el reservorio entre el producto del diámetro interno y el espesor de la pared, obtuvimos un resultado de

9.80, factor que determinó los coeficientes para el cálculo de cada uno de los esfuerzos que estamos evaluando.

- Coeficientes para la determinación del Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante: Éstos varían respecto a la altura del agua (H) iniciando desde la parte superior a la que se considera como el punto 0.0H y termina en la parte inferior en el punto 1.0H, en la base del Reservorio Circular.

Los Coeficientes obtenidos se observan en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Coeficientes Determinados para el Esfuerzo Anular

H^2/Dt	9.80
0.0 H	-0.0110
0.1 H	0.0990
0.2 H	0.2090
0.3 H	0.3240
0.4 H	0.4380
0.5 H	0.5410
0.6 H	0.6050
0.7 H	0.5830
0.8 H	0.4340
0.9 H	0.1760
1.0 H	0.0000

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: Para una relación $H^2/DT=9.80$, se obtuvieron los coeficientes correspondientes al Esfuerzo Anular a lo largo de la pared del reservorio donde ésta es afectada por la carga triangular del agua iniciando en sentido inverso en el punto 0.0H donde el agua llega a alcanzar su máximo nivel y finalizando en el punto 1.0H donde se encuentra la base del reservorio.

Tabla 10. Coeficientes Determinados para el Esfuerzo a Flexión

H^2/Dt	9.8
0.0 H	0.0000
0.1 H	0.0000
0.2 H	0.0000
0.3 H	0.0001
0.4 H	0.0004
0.5 H	0.0008
0.6 H	0.0020
0.7 H	0.0030
0.8 H	0.0028
0.9 H	-0.0013
1.0 H	-0.0124

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: Para una relación $H^2/DT=9.80$, se obtuvieron los coeficientes correspondientes al Esfuerzo a Flexión a lo largo de la pared del reservorio donde ésta es afectada por la carga triangular del agua iniciando en sentido inverso en el punto 0.0H donde el agua llega a alcanzar su máximo nivel y finalizando en el punto 1.0H donde se encuentra la base del reservorio.

Tabla 11. Coeficiente Determinado para el Esfuerzo Cortante Máximo

H^2/Dt	Coeficiente
9.8	0.1600

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: Para una relación de $H^2/DT=9.80$, se obtuvo el coeficiente correspondiente al Esfuerzo Cortante Máximo.

El Método de los Coeficientes de la PCA no determina el Esfuerzo Cortante a lo largo de la pared del reservorio, es por ello que su variación se determinó mediante las

ecuaciones 1.7 y 1.8 del Capítulo 1, donde se determinaron algunos parámetros para el modelo, los cuales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros para el Esfuerzo Cortante

Parámetro	Valor obtenido
q=	5.90 Tn/m ²
Ra=	5.45 Tn/m
Rb=	0.74 Tn/m

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: Se obtuvo la carga de diseño multiplicando el peso específico del agua factorizado (1.7 por Carga Viva y 1.65 por Coeficiente Sanitario) por la altura del agua obteniendo un valor igual a $q=5.90$ Tn/m². También se determinó la reacción en el punto de empotramiento en la base obteniendo un valor igual a $Ra=5.45$ Tn/m así como la reacción en el punto correspondiente al apoyo fijo obteniendo un valor igual a $Rb=0.74$ Tn/m.

B) Variable Método Dinámico

A diferencia del Método Estático, esta variable requirió ser evaluada en dos momentos, el primero fue la obtención de los parámetros para el Análisis Dinámico y el segundo fue el modelamiento mediante el uso del programa Computers and Structures SAP2000, siendo utilizada la versión 14.

Es importante resaltar que a fin de poder evaluar los resultados, se dividió la pared del reservorio en el mismo número de elementos tanto para el Método Estático como para el Dinámico.

➤ **Determinación de propiedades básicas para el modelo del Método Dinámico**

El Método Dinámico se basa en el Sistema Mecánico Equivalente realizado por Housner conjuntamente con las normas del ACI, y para ello fue necesario determinar cuatro parámetros o propiedades básicas (Ver Anexo C), los cuales fueron los siguientes:

- Determinación de las masas: Las fuerzas dinámicas producidas en el reservorio están directamente relacionadas con la masa del agua, la cual tras ser afectada por un efecto de vibración a causa de fuerzas sísmicas se divide en dos, la masa convectiva y la masa impulsiva, cuyos valores los podemos apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13 Masa impulsiva y masa convectiva

Tipo de Masa	Masa (Tn.Seg ² /m)	% Participación	Altura (m)
mi	1.03	68%	0.79
mc	0.49	32%	1.40

(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: La masa impulsiva, que obtuvo un valor de 1.03 Tn.Seg²/m, representa un 68% de la masa total del agua dentro del reservorio una vez que inicia el periodo de vibración, dicha masa es aquella que permanece rígida en la parte inferior del reservorio y que se encuentra a una altura de 0.79 m. respecto a la base; mientras que la masa convectiva, que obtuvo un valor de 0.49 Tn.Seg²/m, representa el 32% restante de la masa del agua la cual oscila en la parte superior produciendo un efecto de oleaje conocido como el “chapoteo del agua” y que se encuentra a una altura de 1.40 m. de la base.

- Determinación la rigidez del resorte de la masa convectiva: El sistema equivalente de Housner idealiza a la masa impulsiva y la convectiva sujetas mediante

resortes hacia la pared del reservorio, donde los resortes correspondientes a la masa impulsiva son infinitamente rígidos, sin embargo el resorte que sostiene a la masa convectiva posee un valor el cual ha sido determinado para el Análisis Dinámico:

$$K_c = 5.76 \text{ Tn/m}$$

$$K_{ci} = 0.36 \text{ Tn/m}$$

Interpretación: Para el modelamiento en el programa SAP2000 se deben ingresar los resortes de manera radial en torno a la masa convectiva, por lo tanto la rigidez K_c , la que obtuvo un valor de 5.76 Tn/m, fue dividida en 32 partes con ángulos entre sí de 11.25° obteniendo que la rigidez de cada resorte para la masa convectiva obtiene un valor unitario correspondiente a $K_{ci} = 0.36 \text{ Tn/m}$.

- Determinación del espectro de diseño: El efecto de la vibración del agua se produce a causa de una fuerza sísmica que tiene diferentes aceleraciones respecto a un periodo de tiempo determinado, para ello se determinaron las Aceleraciones Espectrales, como se observa en la Figura 12.

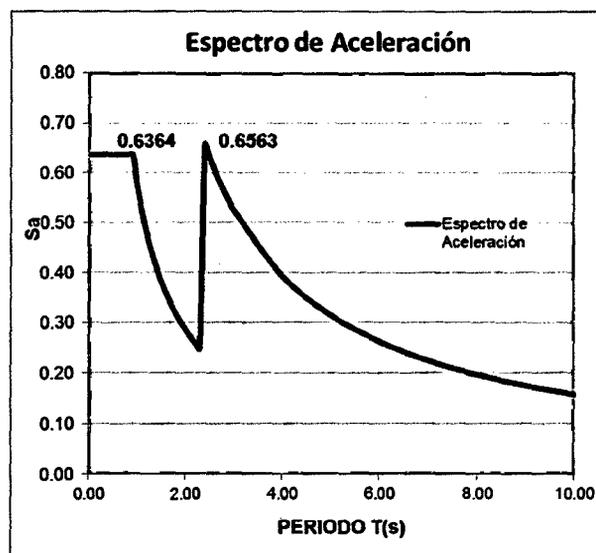


Figura 12. Espectro de diseño para el Reservorio Prototipo
(Fuente: Elaboración Propia)

Interpretación: Se observaron tres partes importantes en el espectro de aceleraciones: la primera parte representa a una aceleración constante de 0.6364 veces la gravedad correspondiente al factor constante de amplificación sísmica; en la segunda parte, a partir del primer segundo de vibración, se observa la inercia producida por la masa impulsiva para finalmente pasar al periodo de oscilación de la masa convectiva (tercera parte) donde se produce el oleaje o el chapoteo del agua a partir de los 2.40 segundos, alcanzando un valor máximo de la aceleración igual a 0.6563 veces la gravedad.

- **Metrado de cargas:** El metrado de cargas debido al peso propio, acabados y sobrecarga, no fue considerado en el Método Estático ya que las mismas no influyen en la pared del reservorio, sin embargo para el Método Dinámico, son fundamentales porque la fuerza sísmica está relacionada directamente con el peso de la estructura.

En el modelamiento se consideraron cargas por acabados consideradas como un valor de 0.10 Tn/m^2 , el peso propio (el cual fue determinado como parte del modelamiento en el programa SAP2000) y una sobrecarga del techo de 0.10 Tn/m^2 .

➤ **Descripción del Modelamiento en el programa SAP2000**

Habiendo sido determinadas las propiedades básicas para el Método Dinámico, se procedió a realizar el Modelamiento en el programa SAP2000. Para esta Investigación se utilizó la Versión SAP2000 Advanced 14.0.0.

El objetivo del modelo consistió en idealizar el Reservorio Circular como un elemento estructural apoyado con un empotramiento en la base y cubierto por una losa horizontal en el techo.

El programa SAP2000 tiene la opción de modelar estructuras de diferente geometría gracias a los elementos Shell los cuales pueden ser generados a partir de elementos

lineales llamados Frame mediante el comando Extrude; para la presente investigación no se utilizaron elementos Membrane, debido a que la losa del techo es plana y no es una cúpula circular.

Lo primero que se realizó fue definir la grilla (Grid) con respecto a un sistema de coordenadas en los planos X,Z.

En el plano X se definieron las dimensiones en planta correspondientes al reservorio y al volado del techo teniendo como coordenadas las que se muestran en la Figura 13.

	Grid ID	Ordinate
1	X1	0.
2	X2	1.575
3	X3	1.725

Figura 13. Coordenadas en X
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

En el plano Z se definieron las alturas en las que se dividió al reservorio a fin de obtener los resultados en los mismos puntos en los que fueron obtenidos por el Método Estático, tal y como se ve en la Figura 14.

Z1	0.
Z2	0.21
Z3	0.42
Z4	0.63
Z5	0.84
Z6	1.05
Z7	1.26
Z8	1.47
Z9	1.68
Z10	1.89
Z11	2.1
Z12	2.28
Z13	2.45
Z14	2.63
Z15	2.8

Figura 14. Coordenadas en Z
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Definidas las coordenadas, ingresamos las alturas a las que se encontraron la masa impulsiva y convectiva; luego se procedió a definir el material correspondiente a la resistencia y peso específico del concreto del modelo prototipo como se ve en la Figura 15.

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	<input type="text" value="239"/>	Tonf, m, C
Mass per Unit Volume	<input type="text" value="0.2549"/>	
Isotropic Property Data		
Modulus of Elasticity, E	<input type="text" value="2509980.1"/>	
Poisson's Ratio, U	<input type="text" value="0.2"/>	
Coefficient of Thermal Expansion, A	<input type="text" value="9.900E-06"/>	
Shear Modulus, G	<input type="text" value="1045825"/>	
Other Properties for Concrete Materials		
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	<input type="text" value="2800"/>	

Figura 15. Propiedades del Concreto
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Luego se definieron las secciones que tendrán los elementos Shell como Area Sections, donde fueron separados los elementos correspondientes a la losa y los elementos correspondientes a la pared del reservorio, teniendo en cuenta que el espesor de la losa y de la pared fueron de 0.15m ingresando éste parámetro como se muestra en la Figura 16.

Section Name PARED Section Notes Modify/Show... Display Color <input type="checkbox"/>	Section Name TECHO Section Notes Modify/Show... Display Color <input type="checkbox"/>
Type <input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear Modify/Show Layer Definition...	Type <input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear Modify/Show Layer Definition...
Material Material Name + CONC280 Material Angle 0.	Material Material Name + CONC280 Material Angle 0.
Thickness Membrane 0.15 Bending 0.15	Thickness Membrane 0.15 Bending 0.15

Figura 16. Secciones Shell
 (Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Procedimos a dibujar la pared y la losa del reservorio mediante los elementos Frame en cada uno de los nudos que se encuentran en el plano Z.

Una vez dibujados los elementos Frame fueron editados de tal manera que fueron extruidos en forma radial con la finalidad de crear áreas, esta extrusión fue realizada en torno al eje Z con un ángulo de 11.25° y un número de 32, de tal manera que se obtendrán 32 elementos Shell cada 11.25° hasta completar el ángulo circunferencial de 360° , los cuales fueron ingresados como se observa en la Figura 17.

Al elemento Frame que fue dibujado en el eje de la pared, le correspondió la sección de área llamada "PARED", mientras que al elemento Frame dibujado en el eje de la losa, le correspondió la sección de área denominada: "TECHO"

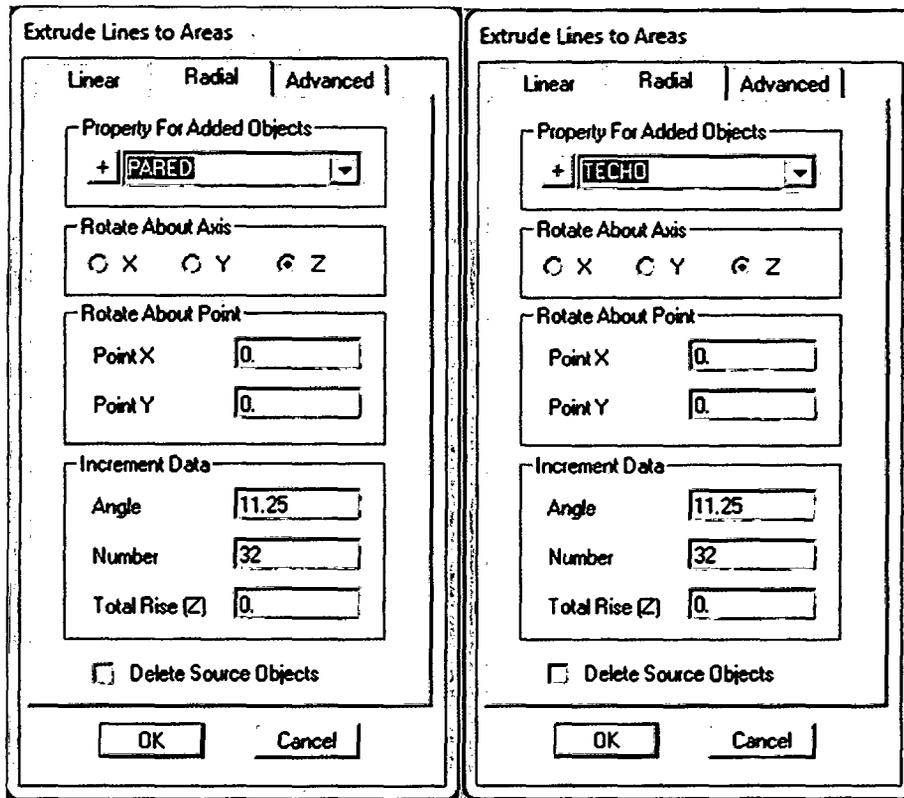


Figura 17. Extrusión de elementos Frame a Shell
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Restringimos la base en los grados de libertad, asignándole a cada elemento un apoyo empotrado, para luego haber obtenido el modelo en el programa Sap2000 como observamos en la Figura 18.

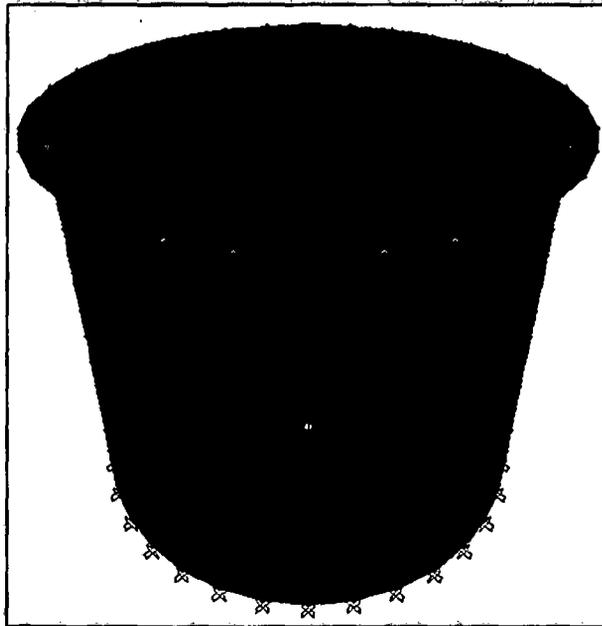


Figura 18. Modelamiento del Reservorio Prototipo
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Se procedió a definir las cargas (Load Patterns) como se observa en la Figura 19, donde se ingresó la carga muerta (DEAD), carga viva (VIVA), la presión del agua (EH) y el sismo en la dirección X. En el caso de la carga muerta se ingresó el factor 1, a fin de que el SAP2000 pueda computar el peso propio de la estructura.

Define Load Patterns			
Load Patterns			
Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
VIVA	LIVE	0	
EH	WATER PR	0	
SSXX	QUAKE	0	User Coefficient

Figura 19. Definición de Cargas
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

El sismo se definió solamente en la dirección X, debido a que la geometría del reservorio es completamente simétrica, por lo que no es necesario definir otro sismo en la dirección Y, por lo tanto enfocaremos el modelo al plano referente a X,Z.

Para la fuerza sísmica, se definió una carga lateral mediante un coeficiente **Base Shear Coefficient, C** **0.6563**, el cual representa al valor máximo del espectro de aceleraciones como vimos en la Figura 12.

Definidas las cargas, se procedió a asignarlas de acuerdo al tipo correspondiente, de esta manera se asignaron la carga muerta y la carga viva como cargas uniformes aplicadas al elemento Shell, la Presión del Agua fue ingresada como una carga triangular mediante el uso del comando Joint Pattern para luego ser asignada como una carga aplicada a un área mediante el comando Surface Pressure habiendo multiplicado el factor 1.65 como coeficiente sanitario como se observa en la Figura 20.

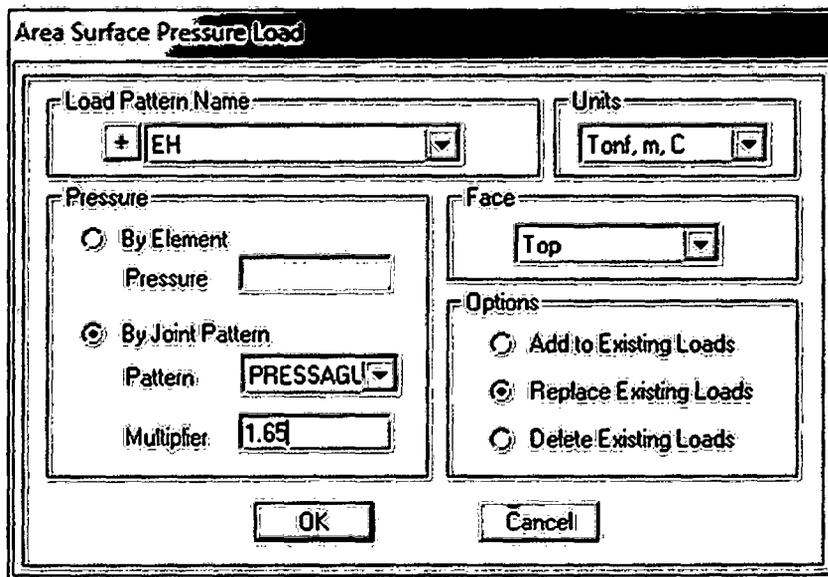


Figura 20. Definición de la Presión del Agua
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Habiendo sido asignadas las cargas, procedimos a definir, en Load Cases, la función del espectro de diseño, importando de la Hoja de Cálculo en Excel al programa SAP2000 como se observa en la Figura 21. Hemos utilizado un amortiguamiento igual al 5% por tratarse de una estructura de concreto armado.

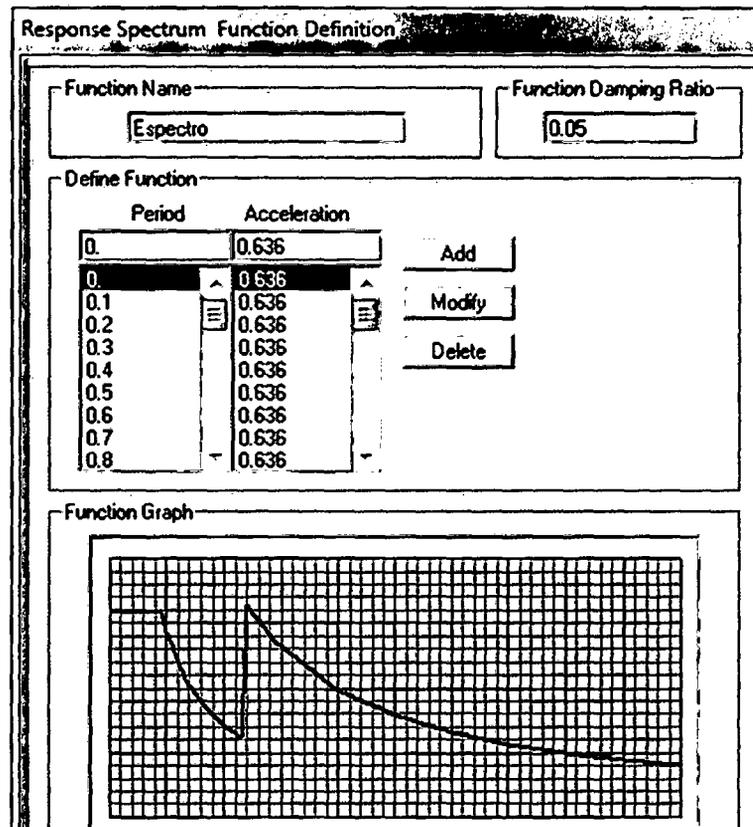


Figura 21. Espectro de Aceleraciones importado en SAP2000
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Luego se definieron las combinaciones de carga (Load Combinations) de acuerdo a las ecuaciones 3.3 y 3.4, obteniendo como la combinación final la envolvente de ellas.

Posteriormente se procedió a ingresar la masa impulsiva y convectiva con sus alturas respectivas mediante el comando Draw 2 Joint Link, el cual representa a la idealización de los resortes que les corresponden a dichas masas. Con la finalidad

de que el resorte posea las propiedades que hemos determinado, ingresamos la rigidez de los mismos, donde definimos la propiedad más relevante, la cual es la rigidez convectiva calculada para cada uno de ellos como se muestra en la Figura 22.

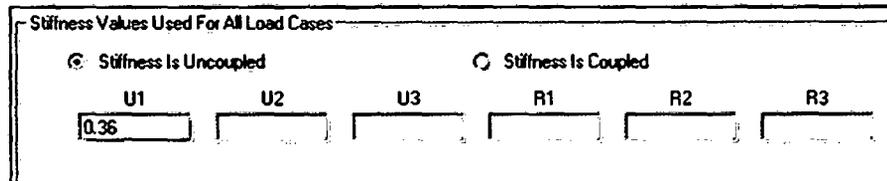


Figura 22. Rigidez de Resortes
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Cabe destacar que con la finalidad de poder cumplir con las ecuaciones dinámicas de la Norma ACI 350.3-01 las masas se ingresan de forma paralela al eje en el que se evaluará el sismo, para nuestro caso hemos considerado al eje X. Teniendo ambas masas sujetas a los resortes obtenemos el modelo como se ve en la Figura 23.

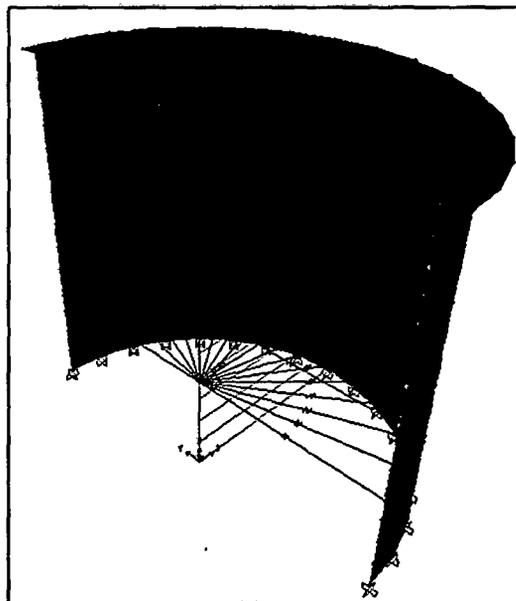


Figura 23. Representación del Modelo Final
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Ya que la fuerza sísmica está ligada directamente al peso de la estructura definimos el parámetro Mass Source, donde se determinaron los elementos, masas adicionales y cargas que intervendrán en el análisis dinámico como se muestra en la Figura 24.

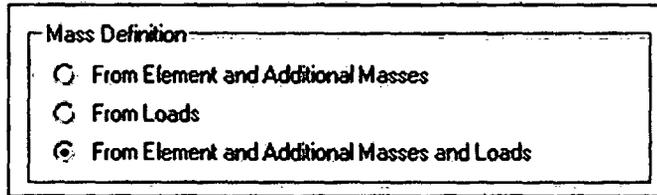


Figura 24. Definición de Masas
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

Finalmente se ejecutó el programa, donde podemos obtener los esfuerzos en los elementos Shell, donde elegimos F11 para obtener el Esfuerzo Anular (Figura 25), M22 para el Esfuerzo a Flexión (Figura 26) y V23 para el Esfuerzo Cortante (Figura 27).

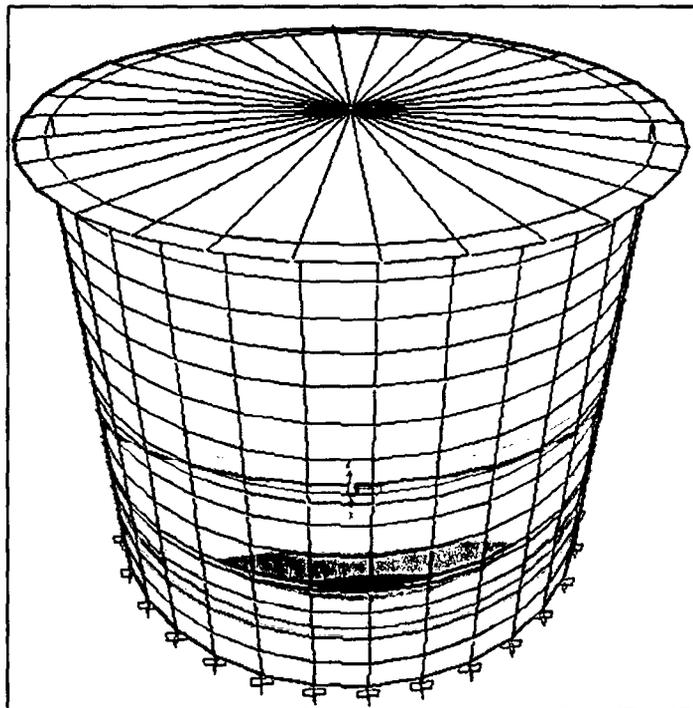


Figura 25. Diagrama del Esfuerzo Anular SAP2000
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

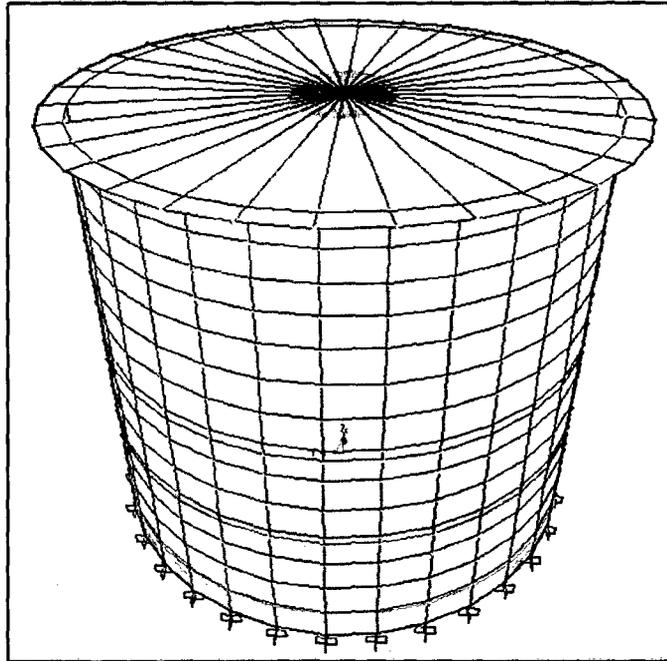


Figura 26. Diagrama del Esfuerzo a Flexión SAP2000.
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

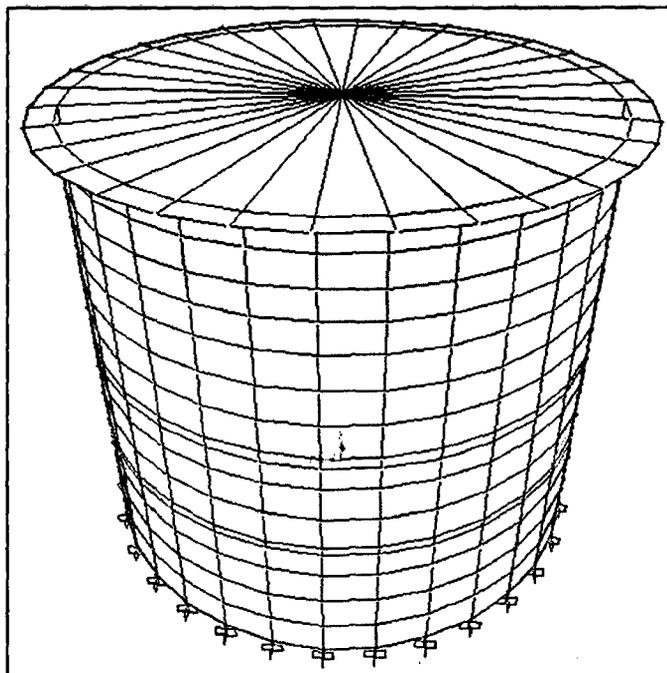


Figura 27. Diagrama del Esfuerzo Cortante SAP2000.
(Fuente: Elaboración Propia en SAP2000)

2.6.3. Parámetros Resultantes

Los parámetros resultantes obtenidos en la investigación, fueron los esfuerzos a lo largo de la pared del reservorio, tanto por el Método Estático, así como por el Método Dinámico.

Estos resultados fueron procesados a la misma altura de la pared en cada uno de los Métodos, así fue posible hacer un análisis de los mismos, al compararlos y evaluarlos.

Tal y como se ha indicado en la Matriz de Operacionalización de Variables, la pared del reservorio fue dividida en 14 partes, habiendo iniciado desde la altura $H=0.00$ para luego incrementar el nivel cada 0.21 m. hasta la altura $H=2.10$ a partir de la cual incrementamos cada 0.175m. hasta la altura de 2.80m. ya que el primer tramo fue el correspondiente al nivel máximo que alcanza el agua y el siguiente le corresponde al borde libre.

No se descartaron valores de la población de informantes, ya que en cada uno de los Métodos se ha calculado los esfuerzos de manera exacta ya sea mediante el Método de la PCA, así como en el Análisis Dinámico en el Software SAP2000.

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante el Método Estático y el Dinámico:

2.6.3.1. Por el Método Estático

Habiendo obtenido los coeficientes del Método de la PCA, se obtuvieron los siguientes esfuerzos respecto a la altura de la pared del Reservorio Circular prototipo.

En la Tabla 14, se observa el Esfuerzo Anular a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 14. Esfuerzo Anular Método Estático

Nivel	Altura (m)	T (Tn/m)
	2.80	0.00
BORDE	2.63	0.00
LIBRE	2.45	0.00
	2.28	0.00
	2.10	-0.10
	1.89	0.88
	1.68	1.85
	1.47	2.87
	1.26	3.88
NIVEL DEL AGUA	1.05	4.79
	0.84	5.35
	0.63	5.16
	0.42	3.84
	0.21	1.56
	0.00	0.00

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: El Esfuerzo Anular (T) mostró una variación clara a lo largo de la pared dando como resultado un Valor Máximo de 5.35 Tn/m a una altura de 0.84m. sobre el nivel de la base del reservorio.

En la Tabla 15, se observa el Esfuerzo a Flexión a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 15. Esfuerzo a Flexión Método Estático

Nivel	Altura (m)	M (Tn-m/m)
	2.80	0.00
BORDE	2.63	0.00
LIBRE	2.45	0.00
	2.28	0.00
	2.10	0.00
	1.89	0.00
	1.68	0.00
	1.47	0.00
	1.26	0.01
NIVEL DEL AGUA	1.05	0.02
	0.84	0.05
	0.63	0.08
	0.42	0.07
	0.21	-0.03
	0.00	-0.32

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: El Esfuerzo a Flexión (M) mostró valores iniciales igual a "0" en los niveles superiores, se observó además que el valor máximo se encuentra en la base

dando como resultado un Esfuerzo de -0.32 Tn-m/m , mientras que el Valor Máximo Positivo igual a 0.08 Tn-m/m , se encuentra a una altura de 0.63 m .

En la Tabla 16, se observa el Esfuerzo Cortante a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 16. Esfuerzo Cortante Método Estático

Nivel	Altura (m)	V (Tn/m)
	2.80	-0.74
BORDE	2.63	-0.74
LIBRE	2.45	-0.74
	2.28	-0.74
	2.10	-0.75
	1.89	-0.68
	1.68	-0.50
	1.47	-0.19
	1.26	0.25
NIVEL DEL AGUA	1.05	0.80
	0.84	1.48
	0.63	2.29
	0.42	3.22
	0.21	4.27
	0.00	5.45

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: La distribución del Esfuerzo Cortante muestra primero un Valor Máximo de 5.45 Tn/m en la base del reservorio, mientras que en la parte superior, se obtuvo un Valor igual a -0.75 Tn/m . Cabe resaltar que el Esfuerzo Cortante obtenido por el Método de los Coeficientes de la PCA obtuvo un valor de 1.98 Tn/m .

2.6.3.2. Por el Método Dinámico

Habiendo realizado el modelamiento en el programa SAP2000 y teniendo en cuenta las consideraciones de la Norma ACI 350.3-01 se obtuvieron los Esfuerzos a lo largo de la pared del Reservorio Circular Prototipo.

La Tabla 17, muestra el Esfuerzo Anular a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 17. Esfuerzo Anular Método Dinámico

Nivel	Altura (m)	T (Tn/m)
BORDE	2.80	0.96
	2.63	2.09
LIBRE	2.45	1.86
	2.28	1.54
NIVEL DEL AGUA	2.10	1.45
	1.89	1.92
	1.68	3.07
	1.47	4.70
	1.26	6.11
	1.05	7.37
	0.84	7.99
	0.63	6.37
	0.42	2.98
	0.21	2.39
0.00	1.07	

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: En este caso ya podemos observar una clara diferencia con el Método Estático, ya que en la parte superior, el Esfuerzo Anular (T) adopta un valor igual a 0.96 Tn/m, esto debido a la inercia que se genera en los primeros segundos de vibración de la estructura. El Esfuerzo Anular Máximo es de 7.99 Tn/m, a la altura de 0.84 m.

La Tabla 18, muestra el Esfuerzo a Flexión a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 18. Esfuerzo a Flexión Método Dinámico

Nivel	Altura (m)	M (Tn-m/m)
	2.80	0.00
BORDE	2.63	0.07
LIBRE	2.45	0.04
	2.28	0.02
	2.10	-0.04
	1.89	-0.04
	1.68	-0.03
	1.47	-0.04
	1.26	0.02
NIVEL DEL AGUA	1.05	0.05
	0.84	-0.15
	0.63	0.13
	0.42	-0.03
	0.21	-0.16
	0.00	-0.56

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: A diferencia del Método Estático, notamos que existe una completa distorsión del Esfuerzo a Flexión (M) a lo largo de la pared, la cual es producida por el efecto del movimiento del agua por efectos Dinámicos conocido como el chapoteo del agua. En este caso, el Esfuerzo a Flexión Máximo Positivo es de 0.13 Tn-m/m a una altura de 0.63m. y el Máximo Negativo es de -0.56 Tn-m/m en la base.

La Tabla 19, muestra el Esfuerzo Cortante a lo largo de la pared del Reservorio Circular.

Tabla 19. Esfuerzo Cortante Método Dinámico

Nivel	Altura (m)	V (Tn/m)
	2.80	-0.15
BORDE	2.63	-0.48
LIBRE	2.45	-0.39
	2.28	-0.34
	2.10	-0.23
	1.89	-0.18
	1.68	-0.18
	1.47	-1.06
	1.26	0.45
NIVEL DEL AGUA	1.05	0.37
	0.84	2.74
	0.63	0.50
	0.42	-0.71
	0.21	-1.41
	0.00	-1.91

(Fuente: Elaboración Propia)

Comentario: La distribución del Esfuerzo Cortante (V) también se muestra de forma variada, con cambios del Cortante Positivo al Negativo, el cual al igual que el Esfuerzo a Flexión es producido por el chapoteo del agua. En este caso tenemos que el valor del Esfuerzo Cortante Máximo Positivo es de 2.74 Tn/m, mientras el Cortante Máximo Negativo es de -1.91 Tn/m.

2.6.4. Forma de tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos abarcó dos puntos principalmente: el primero consistió en evaluar los Esfuerzos Promedio y el segundo fue evaluar los Esfuerzos Máximos, poniendo énfasis en los segundos, ya que son éstos los que son determinantes para el diseño de Reservorios Circulares.

El tratamiento de los datos no sigue una "Tendencia Normal", ya que los Esfuerzos son completamente variables a lo largo de la pared sin que alguno de ellos dependa necesariamente del otro, por lo que cada tipo de Esfuerzo: Anular, a Flexión y Cortante, tuvo un propio tratamiento específico.

Es por ello que para el tratamiento de los Esfuerzos Promedio, se agruparon los datos de acuerdo a su comportamiento, sea positivo o negativo, con lo que se logró realizar un análisis coherente.

2.6.4.1. Tratamiento para los Esfuerzos Promedio

➤ Esfuerzo Anular

En el caso del Esfuerzo Anular, los datos fueron agrupados en tres grupos de acuerdo a la altura de la pared del reservorio, el primero correspondió al borde libre, para luego dividir la altura correspondiente al Nivel del Agua en dos grupos, como se observa en la Tabla

Tabla 20. Agrupación del Esfuerzo Anular

Agrupación	Altura
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.
GRUPO 2	Desde 1.05 m. Hasta 2.10 m.
GRUPO 3	Desde 0.00 m. Hasta 0.84 m.

(Fuente: Elaboración Propia)

Se realizó esta agrupación sabiendo que la distribución del Esfuerzo Anular corresponde a valores que, en la gran mayoría, poseen valores positivos, algo que no sucedió en el caso del Esfuerzo a Flexión y el Cortante

➤ **Esfuerzo a Flexión**

El Esfuerzo a Flexión tuvo un tratamiento especial, ya que posee una gran variación a lo largo de la pared, sobre todo en el Método Dinámico, por ello se optó por agrupar los esfuerzos considerando los cambios de dirección que poseen los Momentos a fin de poder obtener resultados relevantes en la comparación de los Esfuerzos Promedio.

Tabla 21. Agrupación del Esfuerzo a Flexión

Agrupación	Altura
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.
GRUPO 2	Desde 1.47 m. Hasta 2.10 m.
GRUPO 3	Desde 0.84 m. Hasta 1.26 m.
GRUPO 4	Desde 0.00 m. Hasta 0.63 m.

(Fuente: Elaboración Propia)

➤ **Esfuerzo Cortante**

Al igual que el Esfuerzo a Flexión, el Cortante también tuvo un tratamiento especial, debido a su variación a lo largo de la pared, la cual resaltó mucho más en el Método

Dinámico, por ello se optó por agrupar los datos con el mismo criterio con el que se agrupó al Esfuerzo a Flexión como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22. Agrupación del Esfuerzo Cortante

Agrupación	Altura
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.
GRUPO 2	Desde 1.47 m. Hasta 2.10 m.
GRUPO 3	Desde 0.84 m. Hasta 1.26 m.
GRUPO 4	Desde 0.00 m. Hasta 0.63 m.

(Fuente: Elaboración Propia)

2.6.4.2. Tratamiento para los Esfuerzos Máximos

A diferencia de los Esfuerzos Promedio, los Esfuerzos Máximos tuvieron un tratamiento más simple y directo, ya que únicamente se agruparon los valores Máximos Positivos y los Negativos en un cuadro para luego ser analizados como se observa en la Tabla 23.

Sin embargo estos datos fueron los más relevantes de toda la investigación, ya que mostraron el caso más crítico del Análisis del Reservorio Prototipo mediante ambos Métodos.

Tabla 23. Agrupación de los Esfuerzos Máximos

Tipo de Esfuerzo
Esfuerzo Anular
Esfuerzo a Flexión Positivo
Esfuerzo a Flexión Negativo
Esfuerzo Cortante Positivo
Esfuerzo Cortante Negativo

(Fuente: Elaboración Propia)

2.6.5. Forma de análisis de las informaciones

Finalmente, los datos fueron analizados de acuerdo a su respectivo tratamiento, en el caso de los Esfuerzos Promedio, se obtuvieron los mismos conforme a la agrupación del Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante; mientras que los Esfuerzos Máximos se analizaron de acuerdo a la variación porcentual que tuvieron los datos del Método Dinámico con Respecto al Método Estático, donde se indicó su incremento o su defecto en cada caso.

CAPÍTULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Esfuerzos Determinados por el Método Estático

Los Esfuerzos obtenidos por el Método Estático (Ver Anexo B), fueron determinados mediante los Coeficientes de la PCA, en donde se puede observar la distribución del Esfuerzo Anular, Esfuerzo a Flexión y Esfuerzo Cortante.

➤ El Esfuerzo Anular inició con un valor igual a 0.00 Tn/m en la base donde se encuentra el empotramiento, aumentando su valor hasta alcanzar un Máximo de 5.35 Tn/m cuando la altura de la pared es de 0.84 m para luego haber decrecido hasta ser -0.10 Tn/m a la altura 2.10 donde se encuentra el nivel máximo que alcanza el agua.

A partir de la altura igual a 2.10 m. los valores tendieron a ser iguales a cero, debido a que el agua deja de tener su efecto de presión en la pared, esto lo podemos observar en la Figura 28.

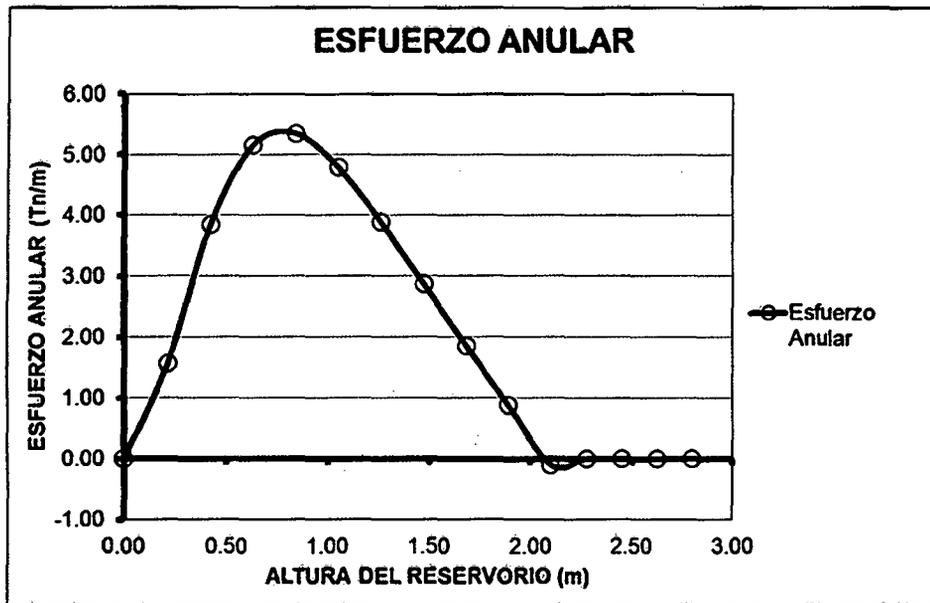


Figura 28. Diagrama del Esfuerzo Anular-Método Estático
(Fuente: Elaboración Propia)

➤ La Figura 29 muestra que el Esfuerzo a Flexión presentó el valor Máximo en la base correspondiente a un valor de -0.32 Tn-m/m ya que el agua intenta ejercer un momento de volteo con respecto a la base empotrada.

El Esfuerzo a Flexión adquiere valores positivos los cuales poseen un valor Máximo igual a 0.08 Tn-m/m

Luego los Esfuerzos a Flexión decrecieron hasta que llegaron a ser iguales a 0.00 Tn-m/m ya que el empuje horizontal del agua posee menores valores conforme nos acercamos a su superficie.

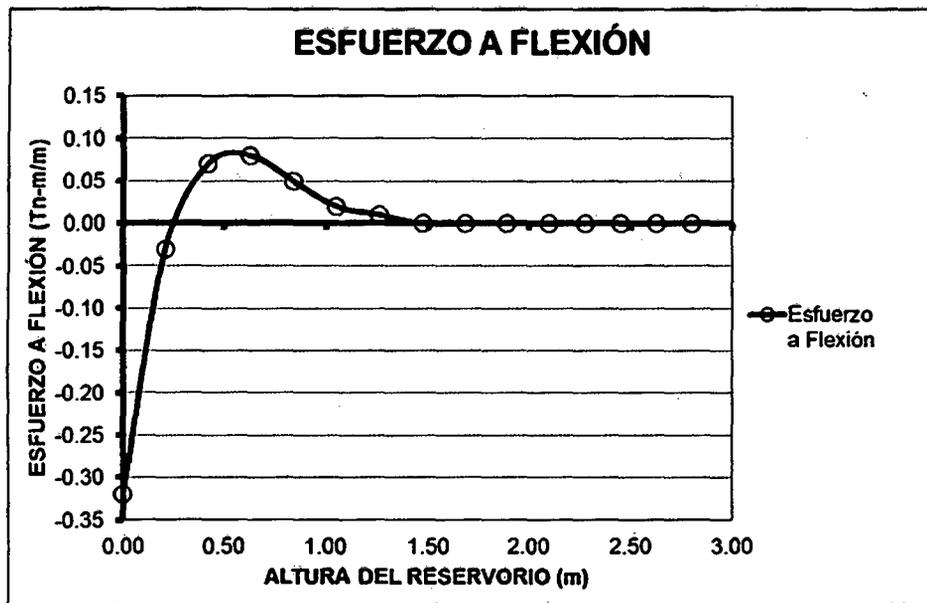


Figura 29. Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Estático
(Fuente: Elaboración Propia)

➤ Hemos encontrado los Cortantes Máximos cuando la altura es igual a 0.00 m. y en el nivel 2.80 m. con valores iguales a 5.45 Tn/m y -0.74 Tn/m respectivamente.

La Figura 30 que nos muestra la distribución del Esfuerzo Cortante no muestra el resultado obtenido mediante el Método de los Coeficientes de la PCA (donde el Esfuerzo Cortante Máximo fue de 1.98 Tn/m) ya que se empleó la idealización que comentamos en el Capítulo 1.

La distribución inicial del Esfuerzo Cortante correspondió a una curva, para luego pasar a ser una línea recta con un valor constante igual a -0.74 Tn/m debido a que la presión del agua (la cual es una carga triangular) llega a ser cero en la altura 2.10, donde además se observó el valor máximo del Esfuerzo Cortante Negativo, correspondiente a -0.75 Tn/m.

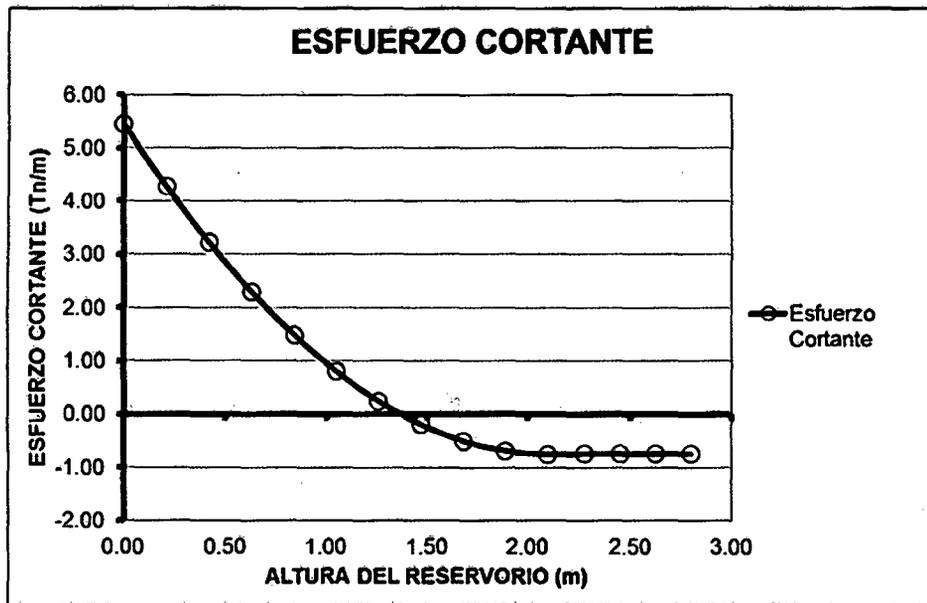


Figura 30. Diagrama del Esfuerzo Cortante-Método Estático
(Fuente: Elaboración Propia)

3.1.2. Esfuerzos Determinados por el Método Dinámico

Los Esfuerzos obtenidos por el Método Dinámico (Ver Anexo C), fueron generados de acuerdo a la Norma ACI 350.3-01 adaptado a la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030.

➤ En el Método Dinámico hemos observamos que la distribución del Esfuerzo Anular no llegó a ser cero a lo largo de la pared, ya que el sismo idealizado por medio del Espectro de Aceleraciones genera una fuerza de Inercia que intenta oponerse al movimiento para luego producirse el chapoteo del agua pasando del estado impulsivo al convectivo.

La Figura 31 muestra un Esfuerzo Anular Máximo de 7.99 Tn/m el cual se produjo a la altura de 0.84 m., recordemos que la altura a la que se encontró la masa impulsiva fue de 0.79 m. por ello el Esfuerzo Anular Máximo se da a este nivel, producto de la inercia que genera esta masa durante el movimiento sísmico.

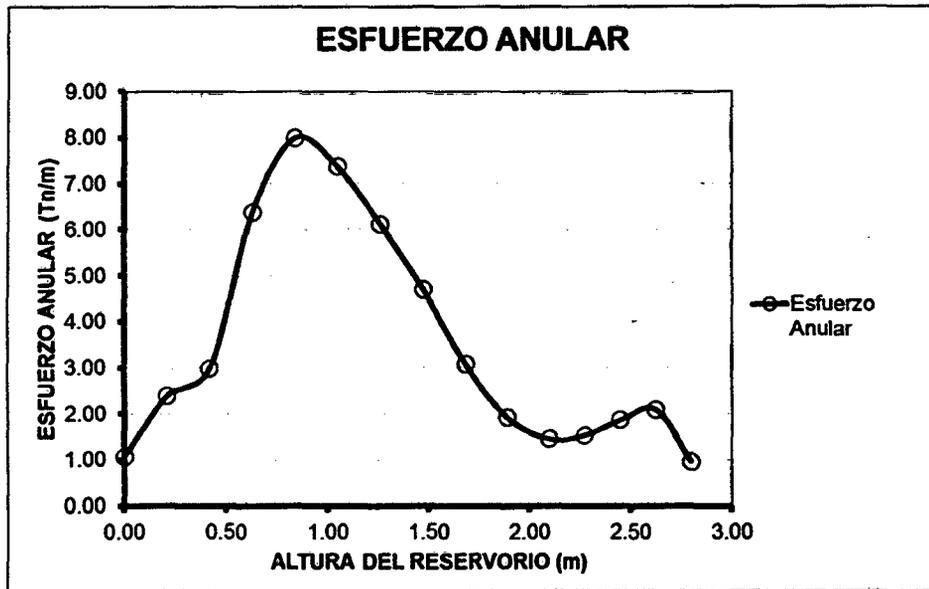


Figura 31. Diagrama del Esfuerzo Anular-Método Dinámico
(Fuente: Elaboración Propia)

➤ En el Dinámico el Esfuerzo a Flexión obtuvo diferentes valores con bastante variación a lo largo de la pared del reservorio; la que representa el movimiento del agua de manera vibratoria a través de los resortes que sujetan a la masa impulsiva y convectiva.

La presencia de diferentes valores pico que posee el Esfuerzo a Flexión no se evidencian en el Método Estático, es así que los valores Máximos que adoptan los momentos, corresponden a 0.13 Tn-m/m ubicado a una altura de 0.63 m. y a -0.56 tn-m/m el cual es producido en la base, como nos muestra la Figura 32.

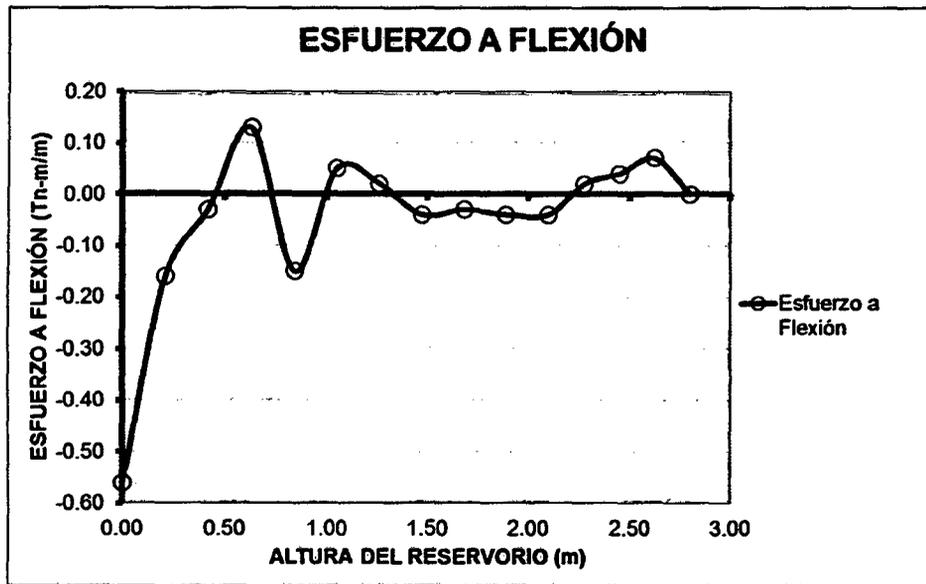


Figura 32. Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Dinámico
(Fuente: Elaboración Propia)

➤ La Figura 33 muestra que el Esfuerzo Cortante tuvo una distribución bastante variada, se observa que en los apoyos (en la base y en la parte superior) existen valores negativos y positivos que representan la oposición al movimiento sísmico que produce el oleaje del agua.

En este caso, hemos encontrado que el Cortante Máximo Positivo fue igual a 2.74 Tn/m el cual se produce a la altura de 0.84 m (aproximadamente a 1/3 de la altura total de la pared), destacándose que es el mismo punto donde se produjo el Máximo Esfuerzo Anular, ya que es el punto más cercano a la ubicación de la masa impulsiva que genera la fuerza de inercia.

Por otra parte el Esfuerzo Máximo Negativo se produjo en la base con un valor igual a -1.91 Tn/m.

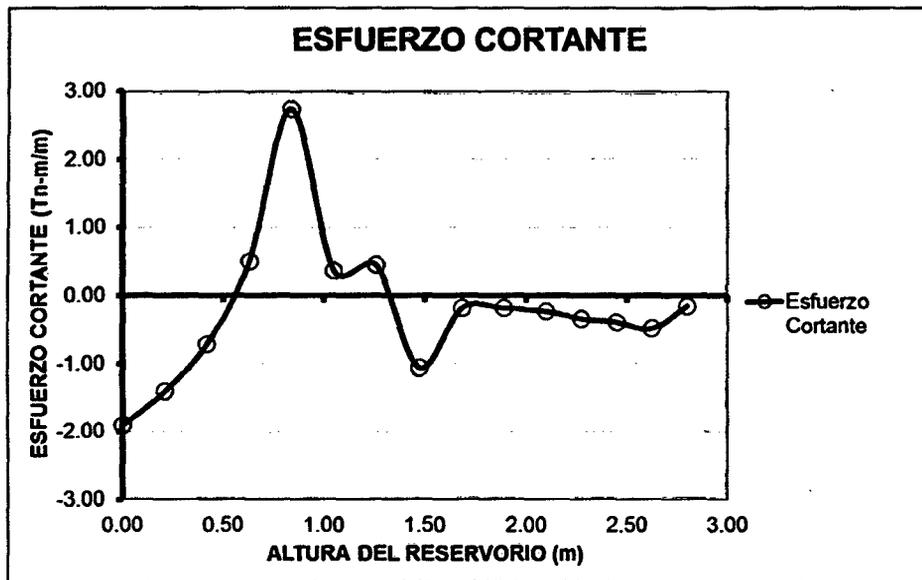


Figura 33. Diagrama del Esfuerzo a Flexión-Método Dinámico
(Fuente: Elaboración Propia)

3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.2.1. Análisis de los Esfuerzos Promedio

Luego de haber dado el tratamiento se procedió a analizar los Esfuerzos Promedios, donde se establecieron las diferencias respecto a los mismos de la siguiente manera de acuerdo a las agrupaciones definidas en las Tablas 20, 21 y 22.

➤ La Tabla 24 y la Figura 34 muestran que el Esfuerzo Anular tiene un incremento significativo, siendo el mayor entre las alturas de 1.05 m. y 2.10 m., donde la variación es de 1.74 Tn/m.

Mientras el promedio del Esfuerzo Anular, comprendido entre el nivel 2.28 m. y 2.80 m., fue 0.00 Tn/m en el Método Estático, en el Dinámico tuvimos un incremento de 1.61 Tn/m, ya que el oleaje produce una fuerza de inercia la que genera un incremento en el empuje del agua por el impacto de la misma contra la pared

transmitiéndose hasta el nivel del techo y no solamente en el nivel del agua como nos mostró el Método Estático.

Tabla 24. Comparación del Esfuerzo Anular Promedio

Agrupación	Altura	Estático	Dinámico	Observación
		T Prom. (Tn/m)	T Prom. (Tn/m)	
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.	0.00	1.61	Incrementa
GRUPO 2	Desde 1.05 m. Hasta 2.10 m.	2.36	4.10	Incrementa
GRUPO 3	Desde 0.00 m. Hasta 0.84 m.	3.18	4.16	Incrementa

(Fuente: Elaboración Propia)

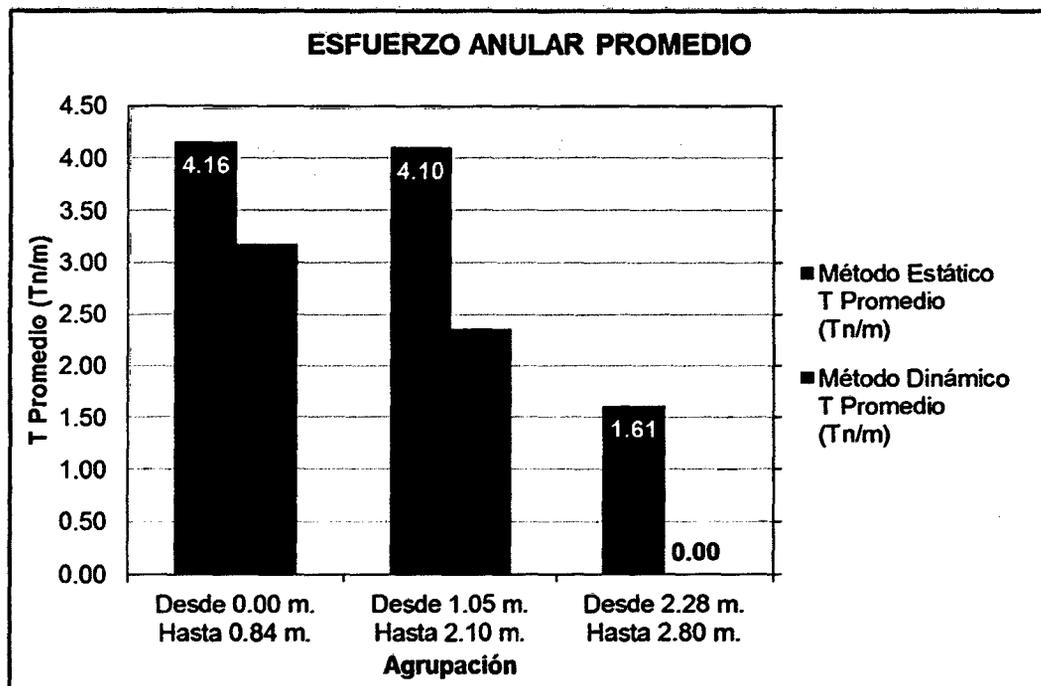


Figura 34. Comparación del Esfuerzo Anular Promedio

(Fuente: Elaboración Propia)

➤ La Tabla 25 y la Figura 35 muestran que el Esfuerzo a Flexión determinado mediante el Método Dinámico no posee valores igual a 0.00 Tn-m/m ya que de todas maneras existe un Momento producto de la vibración del agua y de la estructura a causa de la fuerza sísmica, reflejada en la oscilación de los resortes que sostienen a la masa impulsiva y convectiva.

Entre los niveles 0.84 m. y 1.26 m. notamos que el Esfuerzo a Flexión Promedio posee el mismo valor, únicamente ha cambiado del régimen positivo al negativo por lo que no podría decirse que existe un incremento significativo, sin embargo cuando se diseñan los reservorios si es algo relevante para el cálculo del acero ya que nos determinará si la distribución del refuerzo vertical es interna o externa.

En la base del reservorio, donde se producen los Esfuerzos Máximos a Flexión, hemos encontrado la mayor variación de los Esfuerzos Promedio correspondiente a 0.11 Tn-m/m ya que las fuerzas resultantes se traducen en el Esfuerzo de Volteo que se produce en los niveles inferiores del Reservorio Circular.

Tabla 25. Comparación del Esfuerzo a Flexión Promedio

Agrupación	Altura	Estático	Dinámico	Observación
		M Promedio (Tn-m/m)	M Promedio (Tn-m/m)	
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.	0.00	0.03	Incrementa
GRUPO 2	Desde 1.47 m. Hasta 2.10 m.	0.00	-0.04	Incrementa
GRUPO 3	Desde 0.84 m. Hasta 1.26 m.	0.03	-0.03	Se mantiene
GRUPO 4	Desde 0.00 m. Hasta 0.63 m.	-0.05	-0.16	Incrementa

(Fuente: Elaboración Propia)

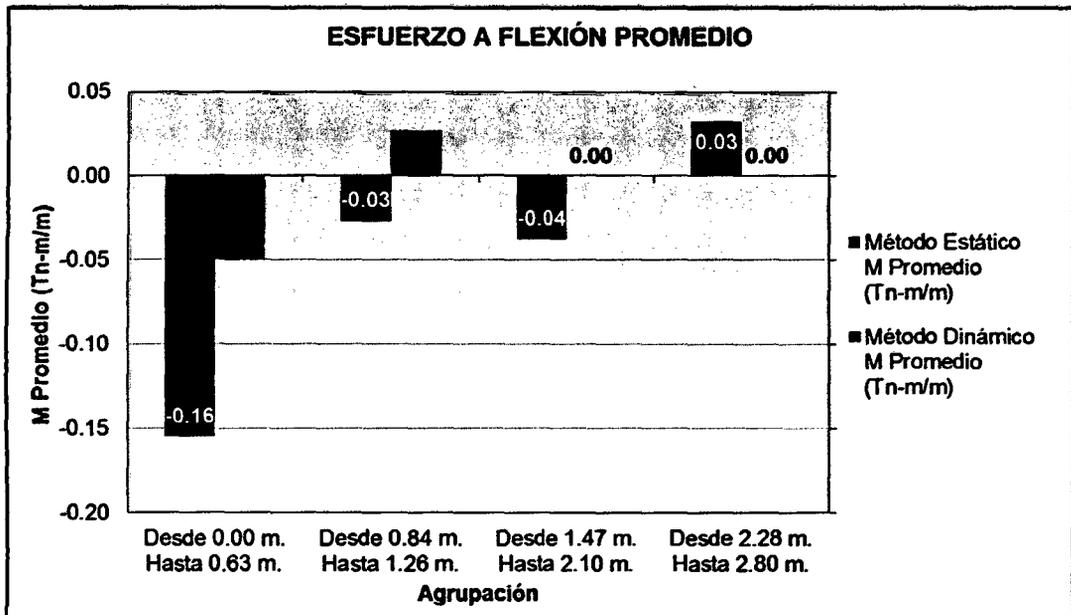


Figura 35. Comparación del Esfuerzo a Flexión Promedio
(Fuente: Elaboración Propia)

➤ La Tabla 26 y la Figura 36 muestran que en el Esfuerzo Cortante, notamos el promedio de los esfuerzos mediante el Método Estático, es mayor al del Dinámico en 3 de los 4 grupos, hay que mencionar que por el Método de la PCA el Cortante Máximo fue de 1.98 Tn/m.

Destaquemos que el Método de los Coeficientes PCA, considera el cálculo de los Esfuerzos como elementos de Cáscara, por ello el Esfuerzo Cortante es menor que la idealización tomada como una viga empotrada en la base y con un apoyo fijo en el extremo, considerándose el segundo como un criterio más conservador.

Se pudo presenciar que mientras en el Método Estático los Esfuerzos Promedios son mayores en sus apoyos, en el Método Dinámico, éstos son mayores en la altura a la que se encuentra la masa impulsiva, ya que como se mencionó esta masa produce una fuerza de inercia la cual también genera un incremento en este esfuerzo perpendicular a la pared.

Tabla 26. Comparación del Esfuerzo Cortante Promedio

Agrupación	Altura	Método	Método	Observación	
		Estático	Dinámico		
		V Promedio	V Promedio		
		(Tn/m)	(Tn/m)		
GRUPO 1	Desde 2.28 m. Hasta 2.80 m.	-0.74	-0.34	Decrece	
GRUPO 2	Desde 1.47 m. Hasta 2.10 m.	-0.53	-0.41	Decrece	
GRUPO 3	Desde 0.84 m. Hasta 1.26 m.	0.84	1.19	Incrementa	
GRUPO 4	Desde 0.00 m. Hasta 0.63 m.	3.81	-0.88	Decrece	

(Fuente: Elaboración Propia)

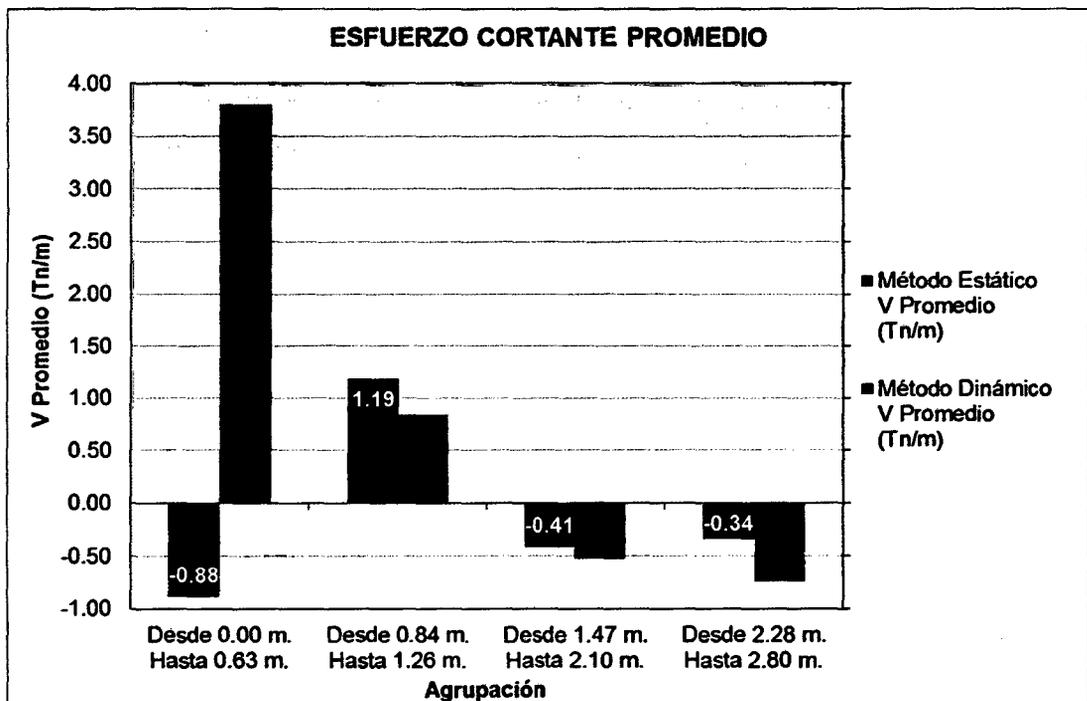


Figura 36. Comparación del Esfuerzo Cortante Promedio

(Fuente: Elaboración Propia)

3.2.2. Análisis de los Esfuerzos Máximos

Se evaluaron los Esfuerzos Máximos de acuerdo a la Agrupación de la Tabla 23, obteniendo la Tabla 27.

Tabla 27. Comparación de los Esfuerzos Máximos

Tipo de Esfuerzo	Método Estático	Método Dinámico	Variación	Observación
			en Porcentaje (%)	
Esfuerzo Anular (Tn/m)	5.35	7.99	49.35%	Incrementa
Esfuerzo a Flexión Positivo (Tn-m/m)	0.08	0.13	62.50%	Incrementa
Esfuerzo a Flexión Negativo (Tn-m/m)	0.32	0.56	75.00%	Incrementa
Esfuerzo Cortante Positivo (Tn/m)	5.45	2.74	-49.72%	Decrece
Esfuerzo Cortante Negativo (Tn/m)	0.75	1.91	156.02%	Incrementa

(Fuente: Elaboración Propia)

Los Esfuerzos Máximos son los más importantes ya que los Reservorios Circulares se diseñan y se verifican en base a éstos; podemos observar que en general los resultados obtenidos por el Método Dinámico son mayores a los del Método Estático.

La Variación Porcentual de la Tabla 27 ha sido determinada en base al incremento de los Esfuerzos del Método Estático, donde vemos que el Esfuerzo Anular Máximo de 5.35 Tn/m en el Método Estático se ve incrementado en 49.35% cuando es determinado mediante el Método Dinámico alcanzando un valor igual a 7.99 Tn/m.

Únicamente el Esfuerzo Cortante Máximo Positivo podemos ver que el resultado determinado por el Método Estático, decrece un 49.72% cuando se aplica el Método Dinámico, sin embargo mencionemos que cuando hemos utilizado el Método de los Coeficientes de la PCA, éste arrojó un Cortante Máximo igual a 1.98 Tn/m menor que el Cortante Máximo del Método Dinámico igual 2.74 Tn/m. En cualquiera de los casos, siempre utilizamos el caso más crítico.

Por lo tanto se comprueba que en general los Esfuerzos Máximos obtenidos por el Método Dinámico son mayores que los del Estático, con excepción al Cortante Máximo Positivo.

3.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Luego de evaluados los resultados, podemos aceptar que la hipótesis queda contrastada en lo referente a los Esfuerzos Anular, a Flexión y Cortante Negativo de manera creciente, y de forma decreciente respecto al Cortante Positivo, debido a la influencia que tienen la fuerza impulsiva y convectiva en el Método Dinámico.

3.4. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los resultados a nivel general de los Esfuerzos Máximos, nos muestran la necesidad de implementar el Método Dinámico en las estructuras de Reservoirio ya que toman en cuenta la acción dinámica de entrada y salida, que producen los sismos reales en las estructuras sensibles.

La información obtenida mediante las dos metodologías interpretan la incidencia de exactitud del Método Dinámico respecto al Estático, acciones mecánicas que al no ser consideradas en estructuras reales podrían producir el colapso durante un terremoto importante.

Para lograr buscar la eficiencia en los resultados se procedió a calcular los esfuerzos a diferentes alturas, pero se comparó con mayor énfasis en los máximos que son los que se utilizan durante el diseño de este tipo de estructuras.

El Esfuerzo Anular se interpreta como una fuerza que trata de abrir al reservorio rompiendo en la zona más vulnerable, habiendo sido mayor en 49.35% en el Método Dinámico.

El Esfuerzo a Flexión se interpreta como el Momento Máximo de las fuerzas internas producto de la fuerza impulsiva y convectiva, que hacen colapsar al reservorio a Flexión, habiendo sido mayor en 62.50% en el régimen positivo y 75% en el negativo usando el Método Dinámico.

El Esfuerzo Cortante se interpreta como la fuerza de corte que tiende a cortar a la estructura en las proximidades de su base, denominada en la dinámica estructural como el cortante Basal, notemos que fue menor el Cortante Positivo en un 49.72%, pero mayor en el Negativo en un 156.02% en el Método Dinámico.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- 1) Se ha comprobado que al emplear el Método Dinámico en el cálculo de los Esfuerzos, obtuvimos resultados mayores con respecto al Estático en el Esfuerzo Anular con un 2.64 Tn/m de diferencia; en el de Flexión Positivo con un 0.05 Tn-m/m, en el de Flexión Negativo con 0.24 Tn-m/m y en el Cortante Negativo en 1.16 Tn/m mientras que en el caso del Cortante Positivo fue mayor utilizando el Método Estático con 2.71 Tn/m de diferencia.
- 2) El Método Dinámico refleja una mayor exactitud al tener en cuenta acciones mecánicas que no son consideradas en el Estático, las cuales producirán el colapso de la estructura durante un Sismo Importante.
- 3) Los Esfuerzos calculados mediante el Método Dinámico, son mucho más variados en cuanto al régimen Positivo y Negativo debido a las fuerzas de inercia que se generan durante un sismo. En el Esfuerzo a Flexión Promedio los valores varían entre 0.03, -0.04, -0.03 y -0.16 Tn-m/m en el Dinámico mientras que en el Método Estático tienen una variación de 0.00, 0.00, 0.03 y -0.05 Tn-m/m.
- 4) El Esfuerzo Cortante Positivo de 5.45 Tn/m es mayor en el Método Estático tras usar una idealización conservadora, sin embargo esto cambiará en la medida que se tengan modelos de Reservorios Circulares con diferentes dimensiones en cuanto al Diámetro, Espesor y Altura.

- 5) El Esfuerzo Anular Máximo en el Método Dinámico es mayor en 49.35% con respecto al Estático.

- 6) El Esfuerzo a Flexión Máximo es mayor en el Método Dinámico en un 62.50% en el régimen positivo y 75.00% en el régimen negativo con respecto al Estático.

- 7) El Esfuerzo Cortante Máximo es menor en el régimen positivo cuando empleamos el Método Dinámico con respecto al Estático en 49.72%, sin embargo, en el caso del régimen negativo este Esfuerzo es mayor cuando empleamos el Método Dinámico en un 156.02%.

- 8) Al considerar el movimiento del agua producto de la vibración que genera el sismo actuante, el Método Dinámico ofrece una aproximación mucho más real con respecto al Estático en cuanto al cálculo de los Esfuerzos Anular, a Flexión y Cortante, a lo largo de la pared de un Reservorio Circular.

4.2. RECOMENDACIONES

- 1) Cada vez que se realice una comparación de Esfuerzos en las paredes de los reservorios, mediante dos metodologías de análisis que no dependen una de otra, se recomienda que la misma sea realizada a las mismas alturas con la finalidad de reconocer sus diferencias y poder evaluar los resultados.
- 2) Cuando el Reservorio Circular se analiza por el Método Dinámico es muy importante la aproximación a la exactitud de las acciones mecánicas, por ello se recomienda que el modelo sea realizado incluyendo la tapa o techo de la estructura además de la cimentación, ya que la fuerza sísmica está directamente relacionada con el peso propio de la misma.
- 3) Se recomienda evaluar los Esfuerzos Máximos considerando el régimen Positivo y Negativo, ya que en el Esfuerzo Anular y a Flexión nos determinarán si la posición del acero es interna o externa con respecto a la pared y en el Cortante, determinará el caso más crítico.
- 4) Se recomienda ampliar la investigación a modelos de Reservorios Circulares con diferentes dimensiones y alturas para poder generalizar los resultados y plasmarlos en una normativa con la finalidad de garantizar una mayor seguridad en estas estructuras tan importantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) American Concrete Institute. 2001. Seismic Design of liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01). Consultado 03 ene. 2013. Disponible en <http://ebookbrowse.com/gdoc.php?id=125862452&url=727d2a1fe0915560d7b0c9eaf79098bd>
- 2) Agüero-Pittman Roger. 2003. Agua Potable para Poblaciones Rurales: sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Asociación Servicios Educativos Rurales (SER). Lince, Lima, PE. 165 p.
- 3) Bazán-Centurión Herman M. 2010. Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable del centro poblado Luñibamba. Proyecto profesional. Ing. Civil. Universidad Nacional de Cajamarca. 359 Pág.
- 4) CARE-PROPILAS-COSUDE. 2006. Proyecto piloto para mejorar la gestión y la sostenibilidad distrital en agua y saneamiento. Cajamarca.
- 5) Castillo Paolo. 2007. Cargas Internas Desarrolladas en Miembros Estructurales. Universidad de Aconcagua. Consultado 14 ene. 2013. Disponible en http://www.slideshare.net/ptah_enki/fuerzas-normal-cortante-y-momento-flexionante

- 6) Cordova-Rojas Carlos A. 2010. Diseño Sísmico de Reservorio de 1000 m3. Consultado 02 ene. 2013. Disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=vfDjN3dJbN8>
- 7) Llasa-Funes Oscar. 2011. Análisis Sísmico de Reservorios. Consultado 18 dic. 2012. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/56228789/analisis-sismico-de-reservorios-llasa>
- 8) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2009. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima. Consultado 02 ene. 2013. Disponible en <http://www.vivienda.gob.pe/RNE.html>
- 9) Mosqueira-Ramírez Hermes R. y Mosqueira-Ramírez Jorge E. 1997. Vulnerabilidad de las Edificaciones durante el Sismo de Nazca.
- 10) Municipalidad Provincial de Chota. 2012. Proyecto: "Instalación del Sistema de Agua Potable y Letrinización del Caserío Colpa Huacaríz, Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca"
- 11) Municipalidad Provincial de Chota. 2012. Proyecto: "Mejoramiento y Ampliación del sistema de Agua Potable y Saneamiento en los sectores 1, 2, 3, 4 y Centro de las comunidades de Cabracancha e Iraca Grande, Distrito de Chota, Provincia de Chota – Cajamarca"
- 12) Personales.upv.es. 2010. Viga Apoyada: Distintas Hipótesis de Carga. Consultado 10 ene. 2013. Disponible en <http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/FormularioVigas.pdf>
- 13) Portland Cement Association (PCA). 1993. Circular Concrete Tanks Without Prestressing. Consultado 26 dic. 2012. Disponible en http://www.4shared.com/office/oXoNjrXq/Circular_Concrete_Tanks_Withou.html

- 14) Ramírez-García Alberto T. 2011. Análisis Estático de Reservorios Circulares. Consultado 04 ene. 2013. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/53138063/DISENO-DE-RESERVORIOS-CIRCULARES-D20-H8-CU2-DINAMICO>

- 15) Ramírez-García Alberto T. 2011. Análisis Sísmico de Reservorios Circulares. Consultado 07 ene. 2013. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/53138063/DISENO-DE-RESERVORIOS-CIRCULARES-D20-H8-CU2-DINAMICO>

- 16) Villagra-Peñaloza Daniel. 2011. Diseño de un Reservorio de Agua Potable. Consultado 04 ene. 2013. Disponible en <http://www-ingenio.blogspot.com/2011/09/reservorio-de-concreto.html>

ANEXOS

ANEXO A PLANO DEL RESERVORIO CIRCULAR PROTOTIPO

ANEXO B CÁLCULO DE ESFUERZOS POR EL MÉTODO ESTÁTICO

I. CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO

Adoptamos las medidas de los planos del proyecto: **"INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y LETRINIZACIÓN DEL CASERÍO COLPA HUCARÍZ, DISTRITO DE CHOTA, PROVINCIA DE CHOTA – CAJAMARCA. Noviembre 2012"**

Borde libre (bl):	0.70 m	
Altura del agua (H):	2.10 m	
Díámetro interno (D):	3.00 m	
Altura total del tanque (HT):	2.80 m	
Espesor del muro (t):	0.15 m	
Espesor de losa de techo (t1):	0.15 m	
Volado en el techo (v1):	0.15 m	
Volado en la base (v2):	0.15 m	
Ancho de Cimiento (Ac):	0.60 m	
Espesor de Cimiento (tc):	0.30 m	
Espesor de losa de fondo (t2):	0.15 m	
Flecha:	0.00 m	(Se consideró una cobertura completamente plana)
	1.00	
Peso específico del agua (w):	Tn/m ³	
Peso específico del concreto (γ _c):	2.50 Tn/m ³	(De acuerdo a la norma E.020)

Aceleración de la gravedad:	9.81 m/s²
	Volumen: 15.60 m³
Resistencia del concreto:	f'c= 280.00 Kg/cm²
Módulo de Elasticidad:	E= 250998.01 Kg/cm²
Módulo de Poisson:	0.20

II. CÁLCULO DE LAS CARGAS DE DISEÑO HACIA LA PARED DEL RESERVORIO

Utilizamos las ecuaciones 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3 y 1.5 para el cálculo de dicha carga:

$$W1 = w_u \times H \times D/2 \dots(1.4.1)$$

$$W2 = w_u \times H^3 \dots(1.4.2)$$

$$W3 = w_u \times H^2 \dots(1.4.3)$$

$$w_u = \text{Coef. Sanitario} \times f_c \times w \dots(1.5)$$

Donde:

W: Carga de diseño hacia la pared del reservorio:

w: Peso específico del líquido

H: Altura del agua en el reservorio

D: Diámetro interno del reservorio

f_c: Factor de amplificación de Carga = 1.70 (RNE 2009)

Coef. Sanitario = 1.65 (Ramírez 2012)

Reemplazando los datos en la ecuación (1.5), tenemos:

$$w_u = 1.65 \times 1.70 \times 1 = 2.81 \text{ Tn/m}^3$$

Calculamos las cargas de diseño de acuerdo a las ecuaciones (1.4.1, 1.4.2, 1.4.3):

$$W1 = 2.81 \times 2.1 \times 3/2 = 8.85 \text{ Tn/m}$$

$$W2 = 2.81 \times (2.1)^3 = 26.02 \text{ Tn/m}$$

$$W3 = 2.81 \times (2.1)^2 = 12.39 \text{ Tn/m}$$

III. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES PARA EL MÉTODO DE LA PCA

Trabajaremos con la Figura 6, idealizando la pared como un elemento empotrado en la base y con un apoyo fijo que permite la rotación angular en el extremo superior, ya que el reservorio se encuentra enterrado a una profundidad de más de 0.50m. y la pared forma un elemento monolítico con la losa de fondo y cimentación, además en el extremo superior está cubierto por una losa completamente horizontal arriostrada por una viga.

Para poder determinar los coeficientes es necesario calcular el parámetro principal que nos permitirá calcular los coeficientes

a) Cálculo de la relación Altura del Agua (H), Diámetro interno del reservorio (D) y espesor de la pared (t)

$$H^2/Dt = 9.80$$

b) Ingresamos a la Tabla 1, 2 y 3 para determinar los coeficientes respecto al Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante respectivamente, mediante interpolación:

Tabla A1. Interpolación de la Tabla 1 para el Esfuerzo Anular

H^2/Dt	8	9.8	10
0.0 H	-0.0110	-0.0110	-0.0110
0.1 H	0.1040	0.0990	0.0980
0.2 H	0.2180	0.2090	0.2080
0.3 H	0.3350	0.3240	0.3230
0.4 H	0.4430	0.4380	0.4370
0.5 H	0.5340	0.5410	0.5420
0.6 H	0.5750	0.6050	0.6080
0.7 H	0.5300	0.5830	0.5890
0.8 H	0.3810	0.4340	0.4400

0.9 H	0.1510	0.1760	0.1790
1.0 H	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla A2. Interpolación de la Tabla 2 para el Esfuerzo a Flexión

H^2/Dt	8	9.8	10
0.0 H	0.0000	0.0000	0.0000
0.1 H	0.0000	0.0000	0.0000
0.2 H	0.0001	0.0000	0.0000
0.3 H	0.0002	0.0001	0.0001
0.4 H	0.0008	0.0004	0.0004
0.5 H	0.0016	0.0008	0.0007
0.6 H	0.0028	0.0020	0.0019
0.7 H	0.0038	0.0030	0.0029
0.8 H	0.0029	0.0028	0.0028
0.9 H	-0.0022	-0.0013	-0.0012
1.0 H	-0.0146	-0.0124	-0.0122

Tabla A3. Interpolación de la Tabla 3 para el Esfuerzo Cortante Máximo

H^2/Dt	Coefficiente
8	0.1740
9.8	0.1600
10	0.1580

IV. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ANULAR A LO LARGO DE LA PARED

Determinamos el Esfuerzo Anular a lo largo de la pared mediante la ecuación (1.1), teniendo en consideración que pasado el nivel del agua (en el borde libre), el Esfuerzo Anular toma por valor "0" (Ramírez 2011)

Tabla A4. Cálculo del Esfuerzo Anular PCA

Nivel	Altura (m)	Coef.	T=Coef x W1 (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.80	0.0000	0.00
	2.63	0.0000	0.00
	2.45	0.0000	0.00
	2.28	0.0000	0.00
NIVEL DEL AGUA	2.10	-0.0110	-0.10
	1.89	0.0990	0.88
	1.68	0.2090	1.85
	1.47	0.3240	2.87
	1.26	0.4380	3.88
	1.05	0.5410	4.79
	0.84	0.6050	5.35
	0.63	0.5830	5.16
	0.42	0.4340	3.84
	0.21	0.1760	1.56
	0.00	0.0000	0.00

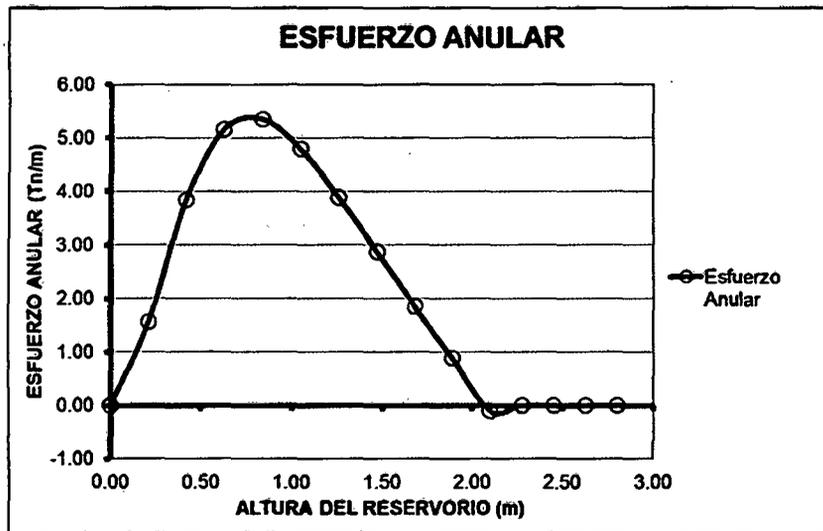


Figura A1. Diagrama del Esfuerzo Anular M. Estático
Esfuerzo Anular Máximo: 5.35 Tn/m

V. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A FLEXIÓN A LO LARGO DE LA PARED

Determinamos el Esfuerzo a Flexión a lo largo de la pared mediante la ecuación (1.2), teniendo en consideración que pasado el nivel del agua (en el borde libre), el Esfuerzo a Flexión toma por valor "0" (Ramírez 2011).

Tabla A5. Cálculo del Esfuerzo a Flexión PCA

Nivel	Altura (m)	Coef.	M=Coef x W2 (Tn-m/m)
BORDE LIBRE	2.80	0.0000	0.00
	2.63	0.0000	0.00
	2.45	0.0000	0.00
	2.28	0.0000	0.00
	2.10	0.0000	0.00
NIVEL DEL AGUA	1.89	0.0000	0.00
	1.68	0.0000	0.00
	1.47	0.0001	0.00

1.26	0.0004	0.01
1.05	0.0008	0.02
0.84	0.0020	0.05
0.63	0.0030	0.08
0.42	0.0028	0.07
0.21	-0.0013	-0.03
0.00	-0.0124	-0.32

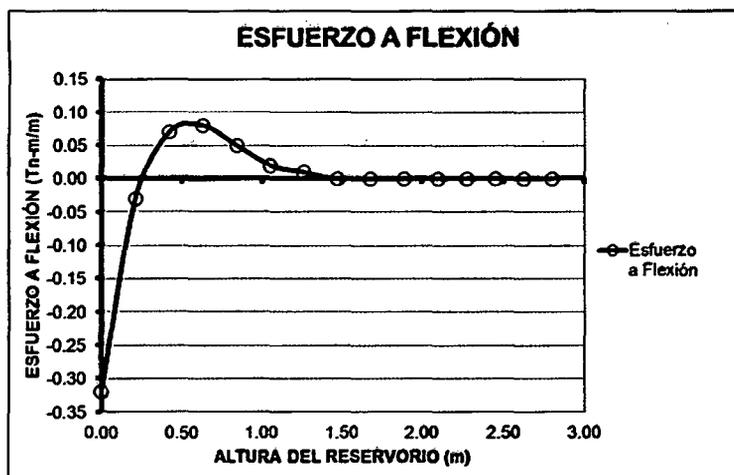


Figura A2. Diagrama del Esfuerzo a Flexión M. Estático

Esfuerzo a Flexión Máximo (+): 0.08 Tn-m/m

Esfuerzo a Flexión Negativo (-): -0.32 Tn-m/m

VI. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE A LO LARGO DE LA PARED

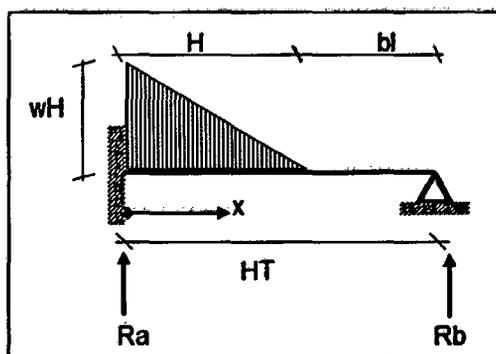


Figura A3. Pared del Reservorio Idealizada como viga

Determinamos el Esfuerzo Cortante a lo largo de la pared mediante las ecuaciones (1.7 y 1.8); el Esfuerzo Cortante Máximo será calculado considerando el valor máximo de los esfuerzos calculados y la ecuación 1.3.

$$V = Ra - wuHX + \frac{wuH^2}{2H}; 0 \leq X \leq H \dots (1.7)$$

$$V = -Rb; H \leq X \leq HT \dots (1.8)$$

Calculamos las reacciones Ra y Rb de la idealización considerada en la Figura 7, mediante las ecuaciones (1.9, 2.0 y 2.1)

$$Ra = \frac{qH}{40} \left[20 - \frac{H^2}{HT^2} \left(5 - \frac{H}{HT} \right) \right] \dots (1.9)$$

$$Rb = \frac{qH^3}{40HT^2} \left(5 - \frac{H}{HT} \right) \dots (2.0)$$

$$q = wuH \dots (2.1)$$

Donde:

V: Esfuerzo Cortante

wu: Peso específico del agua afectado por el factor de carga y el coeficiente sanitario.

H: Altura del agua

HT: Altura total de la pared del reservorio.

X: Distancia con respecto a la base

Ra: Reacción en la base

Rb: Reacción en el extremo

Reemplazando valores en las ecuaciones (1.9, 2.0 y 2.1), tenemos

Tabla A6. Cálculo de las reacciones Ra y Rb

Parámetro	Valor obtenido
q=	5.90 Tn/m ²
Ra=	5.45 Tn/m
Rb=	0.74 Tn/m

Calculamos los valores del Esfuerzo Cortante considerando que cuando $0 \leq X \leq 2.10$ usaremos la ecuación (1.7) y cuando $2.10 \leq X \leq 2.80$ usaremos la ecuación (1.8)

Tabla A7. Cálculo del Esfuerzo Cortante PCA

Nivel	Altura (m)	V (Tn/m)
BORDE LIBRE	2.80	-0.74
	2.63	-0.74
	2.45	-0.74
	2.28	-0.74
NIVEL DEL AGUA	2.10	-0.75
	1.89	-0.68
	1.68	-0.50
	1.47	-0.19
	1.26	0.25
	1.05	0.80
	0.84	1.48
	0.63	2.29
	0.42	3.22
	0.21	4.27
0.00	5.45	

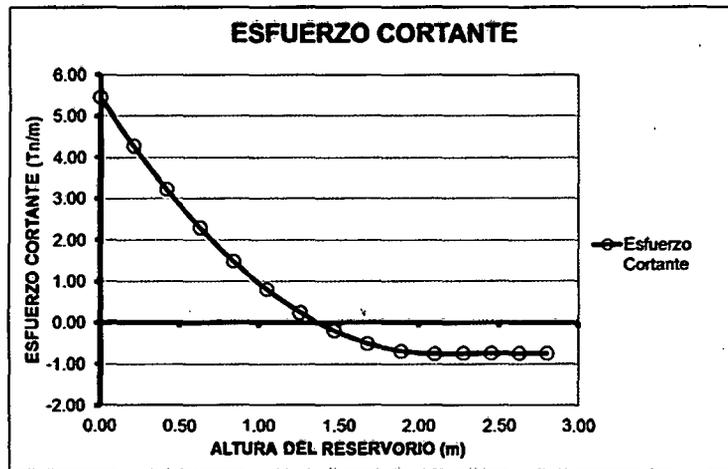


Figura A4. Diagrama del Esfuerzo Cortante M. Estático

Esfuerzo Cortante Máximo (+): 5.45 Tn/m

Esfuerzo Cortante Máximo (-): -0.75 Tn/m

Calculamos el Esfuerzo Cortante Máximo por el método de la PCA con la ecuación (1.3)

$$V = \text{Coef} \times W^3 \dots (1.3)$$

$$V = 1.98 \text{ Tn/m}$$

Por lo tanto los Esfuerzos Cortantes Máximos serán:

Esfuerzo Cortante Máximo (+): 5.45 Tn/m

Esfuerzo Cortante Máximo (-): -0.75 Tn/m

ANEXO C CÁLCULO DE ESFUERZOS POR EL MÉTODO DINÁMICO

I. CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO

Adoptamos las medidas de los planos del proyecto: **"INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y LETRINIZACIÓN DEL CASERÍO COLPA HUCARÍZ, DISTRITO DE CHOTA, PROVINCIA DE CHOTA – CAJAMARCA. Noviembre 2012"**

Borde libre (bl):	0.70 m	
Altura del agua (H):	2.10 m	
Diámetro interno (D):	3.00 m	
Altura total del tanque (HT):	2.80 m	
Espesor del muro (t):	0.15 m	
Espesor de losa de techo (t1):	0.15 m	
Volado en el techo (v1):	0.15 m	
Volado en la base (v2):	0.15 m	
Ancho de Cimiento (Ac):	0.60 m	
Espesor de Cimiento (tc):	0.30 m	
Espesor de losa de fondo (t2):	0.15 m	
Flecha:	0.00 m	(Se consideró una cobertura completamente plana)
	1.00	
Peso específico del agua (w):	Tn/m ³	
Peso específico del concreto (γ _c):	2.50	(De acuerdo a la norma E.020)
	Tn/m ³	

Aceleración de la gravedad:	9.81 m/s²
	Volumen: 15.60 m³
Resistencia del concreto:	f_c= 280.00 Kg/cm²
Módulo de Elasticidad:	E= 250998.01 Kg/cm²
Módulo de Poisson:	0.20

II. IDEALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE UN FLUIDO EN UN TANQUE

De acuerdo a la Norma ACI, en su capítulo 9 (Modelo dinámico), la cual se basa en el Sistema Mecánico Equivalente (S.M.E.) 1963 de George W. Housner, apreciamos dos masas.

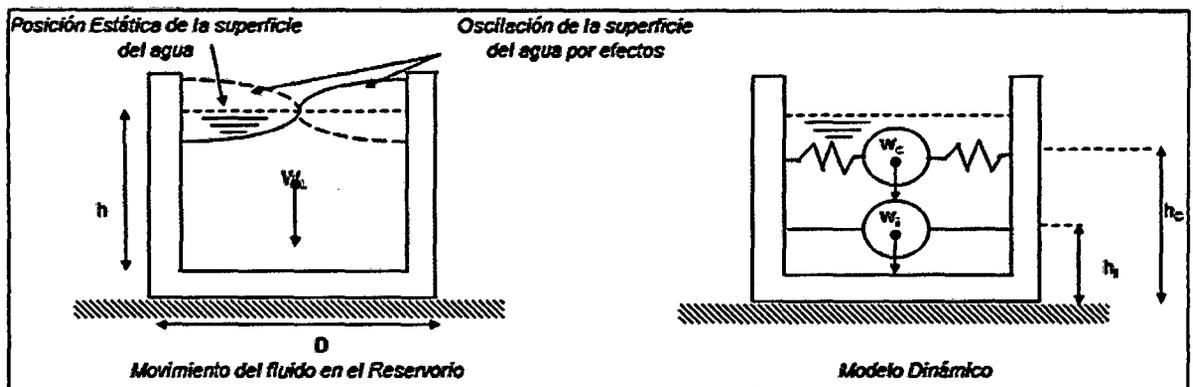


Figura A5. Movimiento del agua en el Reservorio

a) **Determinación de la masa de la estructura cuando el agua alcanza la altura estática máxima:**

Como es de conocido, la fuerza sísmica está directamente relacionada con el peso de la estructura, por ello nos planteamos a hacer el análisis cuando el agua alcanza su altura máxima (caso más crítico).

Cálculo del peso del agua del reservorio

$$W_a = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \times w$$

$$W_A = 14.84 \text{ Tn}$$

$$m_A = 1.51 \text{ Tn.Seg 2/m}$$

b) Cálculo de los parámetros para el modelo dinámico:

De acuerdo a la Norma ACI 350.3-01, en el capítulo 9 Modelo Dinámico, calculamos los parámetros para el diseño dinámico (recordando que la rigidez impulsiva es infinita) utilizando las ecuaciones 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8

Reemplazando los valores en las fórmulas, se tiene

1) Relación del Diámetro interno y la altura

$$D/H = 1.4286$$

Masa impulsiva (m_i) y masa convectiva m_c :

2) Determinación de las masas impulsiva y convectiva

$$\frac{m_i}{m_A} = \frac{\tanh\left(0.866 \times \frac{D}{H}\right)}{0.866 \times \frac{D}{H}} \dots (2.2)$$

$$\frac{m_c}{m_A} = 0.230 \times \left(\frac{D}{H}\right) \tanh\left(3.68 \frac{H}{D}\right) \dots (2.3)$$

		<u>Factor de participación</u>	
$m_i =$	1.03 Tn.Seg 2/m	$f_i =$	0.68
$m_c =$	0.49 Tn.Seg 2/m	$f_c =$	0.32
		Total =	1.00

Donde:

m_i : Masa impulsiva

m_A : Masa del agua

m_c : Masa convectiva

H: Altura del Agua

D: Diámetro interno del agua

Por lo tanto el: 68.00% Participa en el modo impulsivo
 32.00% Participa en el modo convectivo
 0.00% Es menor que la masa del líquido

3) Determinación de las alturas a las que se encuentran los resortes de las masas impulsiva y convectiva

$$\frac{D}{H} < 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H} = 0.5 - 0.09375 \frac{D}{H} \dots (2.4)$$

$$\frac{D}{H} \geq 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H} = 0.375 \dots (2.5)$$

$$\frac{h_c}{H} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{H}{D}\right) - 1}{3.68 \frac{H}{D} \times \sinh\left(3.68 \frac{H}{D}\right)} \dots (2.6)$$

Donde:

hi: Altura de la Masa impulsiva a la base del tanque

hc: Altura de la Masa convectiva a la base del tanque

Para hi, tenemos que $D/H = 1.4286$ Por lo tanto usaremos la ecuación 2.6 para el cálculo de hi

$$h_i = 0.79 \text{ m}$$

$$h_c = 1.40 \text{ m}$$

4) Determinación de la Rigidez del resorte de la masa convectiva (K_c)

$$K_c = 0.836 \frac{m_A g}{H} \tanh^2 \left(3.68 \frac{H}{D} \right) \text{ (Ramírez 2011) ... (2.7)}$$

$$K_c = \frac{45}{2} \times \frac{m_A}{H} \left(\frac{m_c H}{m_A D} \right)^2 \text{ (Llaza 2011) ... (2.8)}$$

$$K_c = 5.76 \text{ Tn/m} \quad (\text{Según Ramírez})$$

$$K_c = 0.83 \text{ Tn/m} \quad (\text{Según Llaza})$$

Debido a que la Rigidez es directamente proporcional a la fuerza (Ley de Hooke), elegimos el mayor de los resultados:

$$K_c = 5.76 \text{ Tn/m}$$

Para el modelamiento en el programa SAP2000 dividiremos a la estructura en cierto número partes de forma radial, (en cuya idealización el resorte sujeta una masa concentrada en el Centro de Gravedad), debemos descomponer la rigidez del resorte convectivo (K_c) entre el mismo número partes.

Número de partes

a dividir: **32**

Incremento del
 ángulo α : 11.25 °

$$K_{Ci} = \frac{K_C}{\sum \cos^2(\alpha)}; (Ramírez 2011)$$

Donde:

K_{Ci} = Rigidez convectiva de cada resorte.

K_C = Rigidez convectiva total

α = Ángulo acumulado

Tabla A8. Distribución de la Rigidez Conectiva

Cálculo de la rigidez K_{Ci}	
Ángulo (°)	$\cos^2(°)$
0.000	1.000
11.250	0.962
22.500	0.854
33.750	0.691
45.000	0.500
56.250	0.309
67.500	0.146
78.750	0.038
90.000	0.000
101.250	0.038
112.500	0.146
123.750	0.309
135.000	0.500
146.250	0.691
157.500	0.854
168.750	0.962

180.000	1.000
191.250	0.962
202.500	0.854
213.750	0.691
225.000	0.500
236.250	0.309
247.500	0.146
258.750	0.038
270.000	0.000
281.250	0.038
292.500	0.146
303.750	0.309
315.000	0.500
326.250	0.691
337.500	0.854
348.750	0.962
Suma Total:	16

Por lo tanto tenemos que:

$$K_{CI} = 0.36 \text{ Tn/m}$$

c) Cálculo del espectro de diseño para el reservorio circular

De acuerdo a la Norma ACI 350.3-01 y a las recomendaciones formuladas por parte de Llasa, los periodos menores están asociados a la masa impulsiva, mientras que los periodos mayores están asociados a la masa convectiva. Es por ello que en el Espectro de Pseudoaceleraciones intervendrán dos periodos: los primeros segundos corresponden a la masa impulsiva, mientras que los siguientes corresponderan a la vibración de la masa convectiva.

Por consiguiente, el cálculo de la aceleración espectral estará dada mediante las

ecuaciones 3.0, 3.1 y 3.2

ACELERACIÓN ESPECTRAL:

$$S_a = \frac{Z \times I \times S \times C(t_i)}{R_{wi}} \times g \dots (3.0)$$
$$S_a = \frac{Z \times I \times S \times C(t_c)}{R_{wc}} \times g \dots (3.1)$$

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

$$C(t) = 2.5 \left(\frac{T_p}{t} \right) \rightarrow C(t) \leq 2.5 \dots (3.2)$$

FACTOR DE ZONA (Z)

De la Tabla 4, tenemos:

$$\text{Zona: } 3$$
$$Z = 0.4$$

FACTOR DE IMPORTANCIA - Uso del Tanque (I)

Descripción del tanque:	Tanques que son parte de un sistema de abastecimiento importante
-------------------------	--

De la Tabla 5, tenemos:

$$I = 1.25$$

PARÁMETROS DEL SUELO (S) Y (Tp)

Tipo de suelo: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

De la Tabla 6, tenemos:

$$S = 1.4$$
$$T_p = 0.9$$

FACTORES DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA (Rwi) Y (Rwc)

Tipo de apoyo en el suelo: Enterrado
Tipo de tanque: Tanques sin anclar, encerrados o abiertos

De la Tabla 7, tenemos:

Rwi= 2.75 Para $t < 2.4$
Rwc= 1 Para $t \geq 2.4$

Obtenemos el gráfico de Espectro de Pseudoaceleración para el reservorio, sin considerar la gravedad, ya que ésta será ingresada como factor en el programa SAP2000:

Tabla A9. Cálculo para el Espectro de Pseudoaceleración

T(s)	C	ZISC/Rw
0.00	2.50	0.6364
0.10	2.50	0.6364
0.20	2.50	0.6364
0.30	2.50	0.6364
0.40	2.50	0.6364
0.50	2.50	0.6364
0.60	2.50	0.6364
0.70	2.50	0.6364
0.80	2.50	0.6364
0.90	2.50	0.6364
1.00	2.25	0.5727
1.10	2.05	0.5207
1.20	1.88	0.4773
1.30	1.73	0.4406
1.40	1.61	0.4091

1.50	1.50	0.3818
1.60	1.41	0.3580
1.70	1.32	0.3369
1.80	1.25	0.3182
1.90	1.18	0.3014
2.00	1.13	0.2864
2.10	1.07	0.2727
2.20	1.02	0.2603
2.30	0.98	0.2490
2.40	0.94	0.2387
2.50	0.90	0.2293
2.60	0.87	0.2208
2.70	0.83	0.2131
2.80	0.80	0.2061
2.90	0.78	0.2000
3.00	0.75	0.1945
4.00	0.56	0.1500
5.00	0.45	0.1150
6.00	0.38	0.0900
7.00	0.32	0.0750
8.00	0.28	0.0650
9.00	0.25	0.0575
10.00	0.23	0.0525

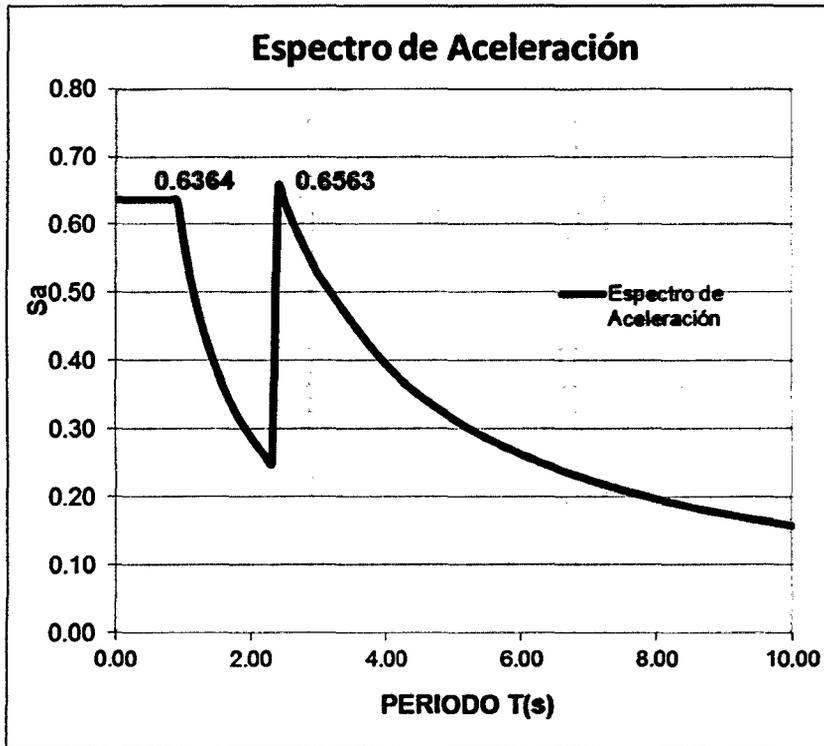


Figura A6. Espectro de Pseudoaceleración

El Máximo valor de la Aceleración espectral es: 0.6563

III. OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DINÁMICO EN EL PROGRAMA SAP2000

a) Determinación del Esfuerzo Anular

Determinamos el Esfuerzo Anular mediante el programa SAP2000:

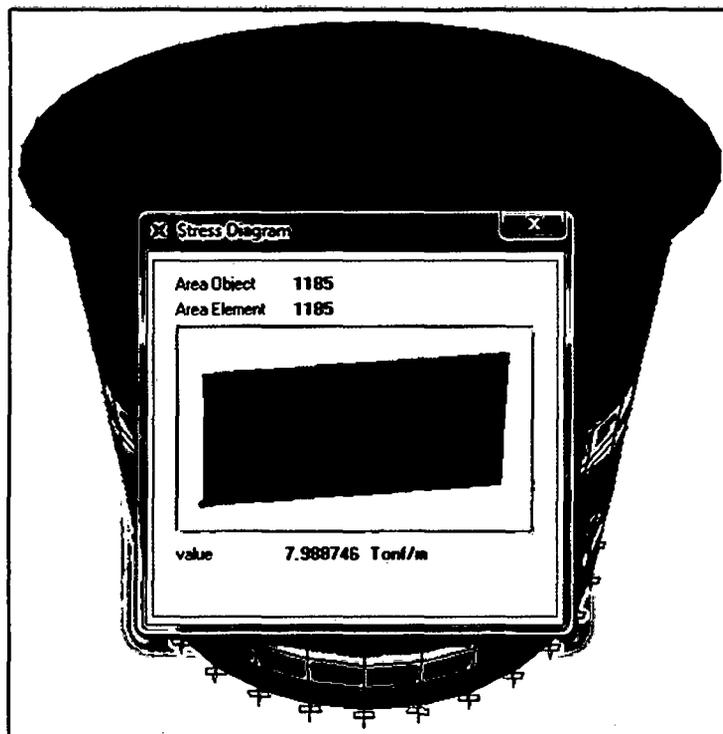


Figura A7. Esfuerzo Anular en SAP2000

Tabla A10. Cálculo del Esfuerzo Anular SAP2000

Nivel	Altura (m)	Esfuerzo Anular T (Tn/m)
	2.80	0.96
BORDE	2.63	2.09
LIBRE	2.45	1.86
	2.28	1.54

	2.10	1.45
	1.89	1.92
	1.68	3.07
	1.47	4.70
	1.26	6.11
NIVEL DEL	1.05	7.37
AGUA	0.84	7.99
	0.63	6.37
	0.42	2.98
	0.21	2.39
	0.00	1.07

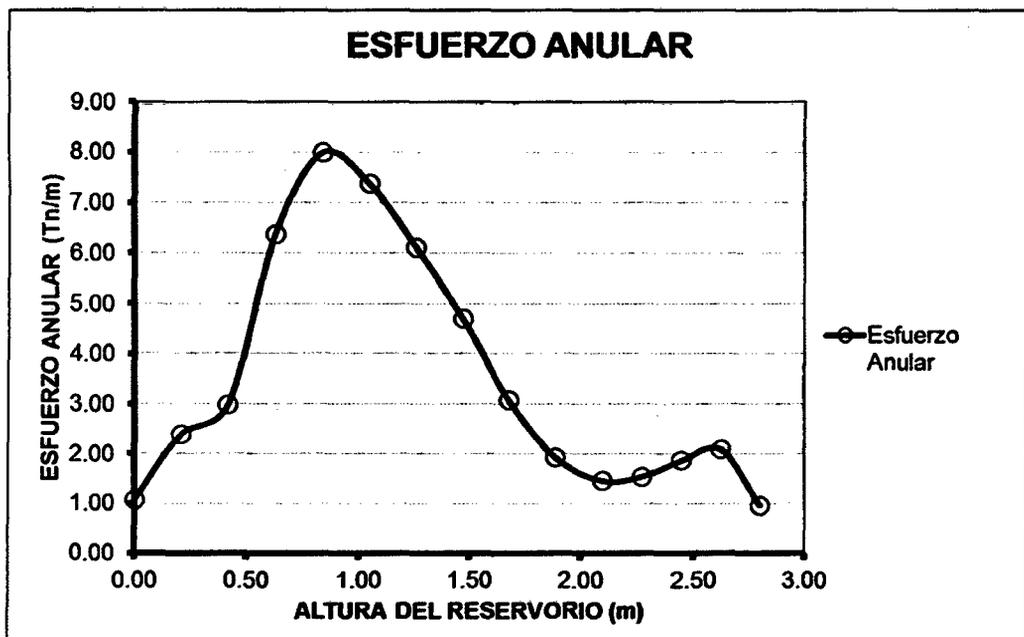


Figura A8. Diagrama del Esfuerzo Anular M. Dinámico

Esfuerzo Anular Máximo: 7.99 Tn/m

Determinamos el Esfuerzo a Flexión mediante el programa SAP2000:

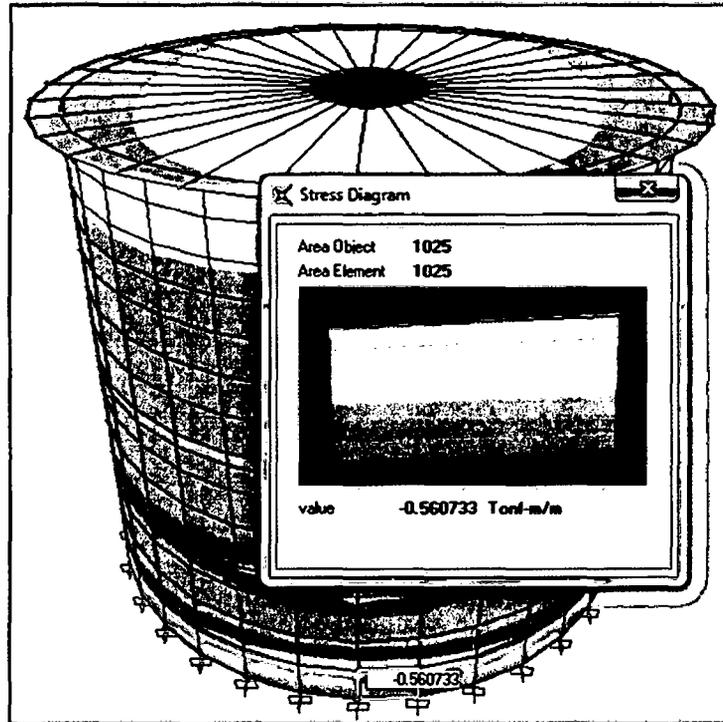


Figura A9. Esfuerzo a Flexión en SAP2000

Tabla A11. Cálculo del Esfuerzo a Flexión SAP2000

Nivel	Altura (m)	Esfuerzo a Flexión M (Tn-m/m)
	2.80	0.00
BORDE	2.63	0.07
LIBRE	2.45	0.04
	2.28	0.02
	2.10	-0.04
	1.89	-0.04
NIVEL DEL	1.68	-0.03
AGUA	1.47	-0.04
	1.26	0.02
	1.05	0.05

0.84	-0.15
0.63	0.13
0.42	-0.03
0.21	-0.16
0.00	-0.56

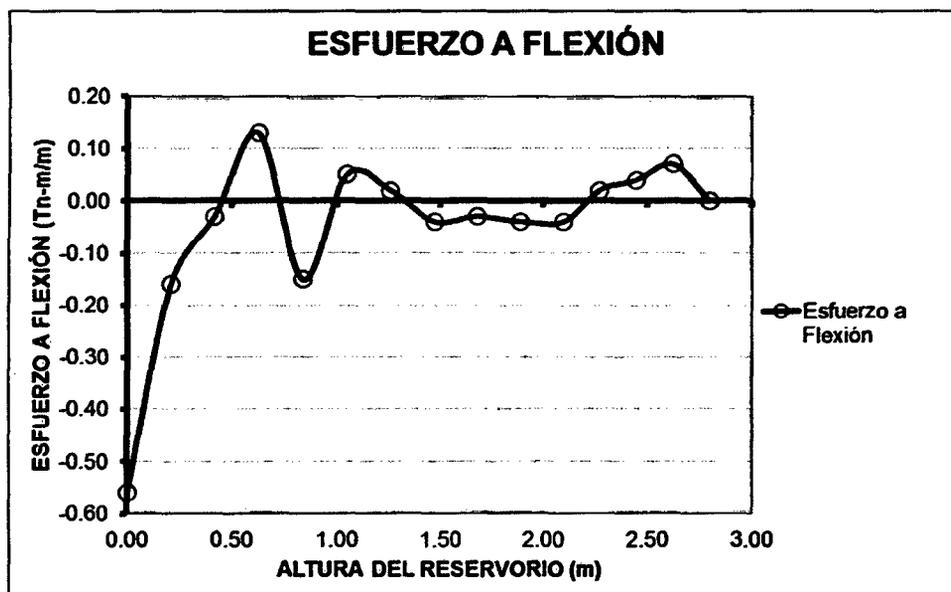


Figura A10. Diagrama del Esfuerzo a Flexión M. Dinámico

Esfuerzo a Flexión Máximo (+): 0.13 Tn-m/m

Esfuerzo a Flexión Negativo (-): -0.56 Tn-m/m

c) Determinación del Esfuerzo Cortante

Determinamos el Esfuerzo Cortante mediante el programa SAP2000:

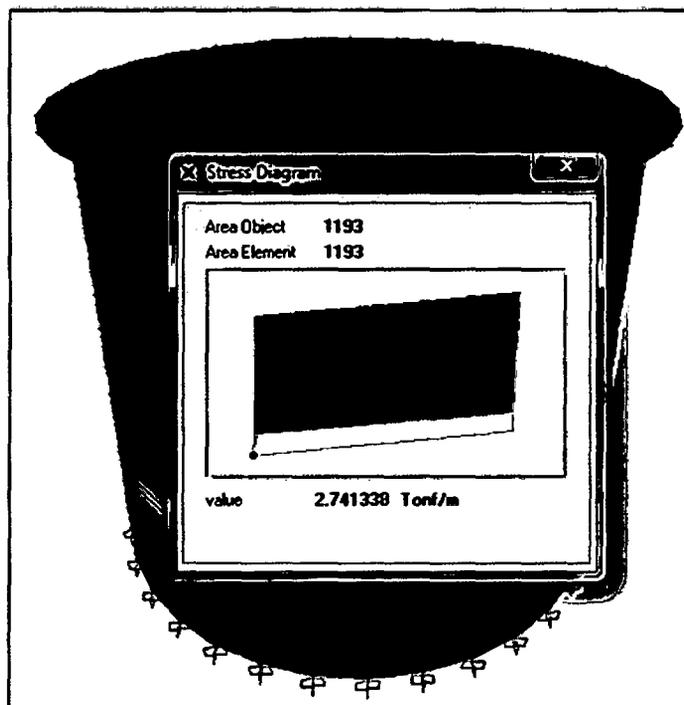


Figura A11. Esfuerzo Cortante en SAP2000

Tabla A12. Cálculo del Esfuerzo Cortante SAP2000

Nivel	Altura (m)	Esfuerzo Cortante V (Tn/m)
	2.80	-0.15
BORDE	2.63	-0.48
LIBRE	2.45	-0.39
	2.28	-0.34
	2.10	-0.23
NIVEL DEL AGUA	1.89	-0.18
	1.68	-0.18

1.47	-1.06
1.26	0.45
1.05	0.37
0.84	2.74
0.63	0.50
0.42	-0.71
0.21	-1.41
0.00	-1.91

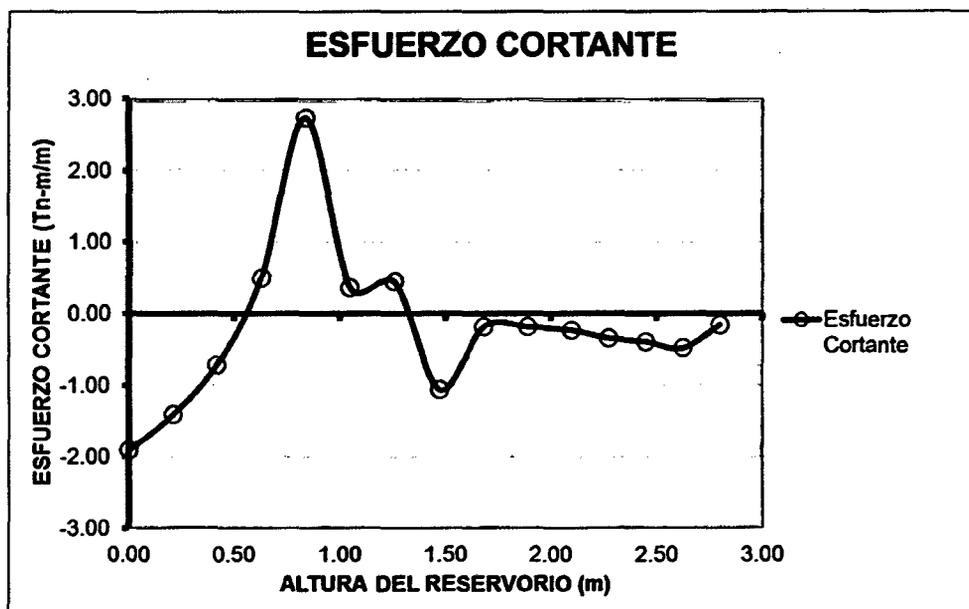


Figura A12. Diagrama del Esfuerzo Cortante M. Dinámico

Esfuerzo Cortante (+): 2.74 Tn-m/m

Esfuerzo Cortante (-): -1.91 Tn-m/m