



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



---

ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE  
RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE  
CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA  
ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA  
E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

---

Presentado por:

Jorge Antonio Cusihuallpa Mamani

Para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Mitsy Elena Gudiel Cárdenas

CUSCO – PERÚ

2016



## DEDICATORIA

*En primer lugar a Dios, por permitirme llegar hasta este punto, brindándome salud y fuerza de voluntad por culminar con esta responsabilidad, trascendental en mi vida profesional.*

*A mis padres, Yolanda y Jorge, a mi hermana Laura, por sus consejos, apoyo constante, valores brindados y paciencia, que me permite ser una persona de bien.*



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar quiero agradecer a mi asesora, Ingeniero Mitsy Elena Gudiel Cárdenas, que me orientó con gran paciencia en las reuniones para la elaboración de esta tesis. Quiero agradecer también a los ingenieros Víctor Chacón y Heiner Soto por su motivación, colaboración en la metodología y mejora de esta investigación.*

*Quiero agradecer también al Ingeniero Porfirio Ccorimanya, por el apoyo brindado en la facilitación de los planos y demás documentos que hicieron posible la presente investigación.*

*Por último quiero agradecer a la Universidad Andina del Cusco y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por sus enseñanzas impartidas en las aulas, quienes contribuyeron en mi formación académica.*



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo efectuar el análisis de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio Zona Sur Este ubicada en la Ciudad del Cusco, estructura circular de concreto armado de tipo apoyado, según la Norma ACI 350.3-01 y consideraciones de la Norma Peruana E.030 (Sismorresistente).

Se tomó en consideración las características hidrodinámicas del líquido contenido en la estructura ocasionadas por la presencia de un sismo, al tener éste un comportamiento de oleaje en la superficie libre del fluido.

Para llevar a cabo la investigación se tomó como base el modelo propuesto por G. W. Housner aplicándolo mediante la Norma ACI 350.3-01 para el análisis sísmico, y para la modelación del mismo se usó el software SAP2000, del cual se obtuvieron los archivos de respuesta que después fueron analizados.

Se obtuvo que las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio son mayores en general siguiendo las consideraciones de la norma ACI 350.3-01 respecto de las de la Norma E.030 Sismorresistente

Palabras clave:

Contenedores de líquido, Análisis hidrodinámico, Análisis sísmico, Oleaje, Modelo de Housner.



**ABSTRACT**

This investigation aims to realize the analyses of the structural response parameters of “Reservorio Zona Sur Este” located at Cusco City, circular reinforced concrete structure with simple support in the base, according to ACI 350.3 – 01 and considerations of Peruvian Standard E.030 (Sismorresistente).

The hydrodynamic characteristics of contained liquid caused by the presence of a seism was considered, because the sloshing behavior of the fluid.

In order to accomplish the investigation, it took the model proposed by G.W. Housner, applying it by the ACI 350.3-01 for the seismic analysis, and for the modelation the software SAP2000 was used, then the response files obtained of this were analyzed.

It was obtained that the structural response parameters magnitudes of the reservoir are biggest in general according to the considerations of the standard ACI 350.3-01 than the Standard E.030 Sismorresistente.

Kew words:

Liquid containers, Hydrodynamic Analyses, Seismic Analysis, Sloshing, Housner model.



## INTRODUCCIÓN

Los contenedores de líquidos o reservorios son de gran importancia al desempeñar un rol significativo en los sistemas de abastecimiento de agua, garantizando un adecuado y eficiente funcionamiento del sistema. Estos deben suministrar suficiente agua para sus consumidores y no deben colapsar bajo ninguna circunstancia como en un sismo.

Se debe tomar en consideración los resultados potencialmente desastrosos asociados a las fallas de los tanques de almacenamiento de agua porque además de presentar una pérdida económica considerable, puede presentarse otras situaciones si el abastecimiento del agua es interrumpido, como la presencia de fuego no controlado a raíz de un terremoto que originaría más daño que el mismo sismo en sí.

Como sabemos, nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica, y por ende todo tipo de estructuras siempre deben estar diseñadas y analizadas tomando en cuenta las condiciones sismorresistentes.

Lo que se estudió con la presente investigación motivo de tesis, es conocer cuáles son las diferencias en las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural de una estructura contenedora de líquidos, cuando éste se encuentre sometido a sollicitaciones sísmicas, utilizando dos metodologías de análisis dinámico, el primero con los lineamientos de la norma americana ACI 350.3-01 y el segundo con consideraciones de la E.030.

Con el análisis dinámico, se tomará en consideración el agua contenida por el reservorio, es decir, la excitación o el comportamiento en forma de oleaje frente a la presencia de un sismo.

Con este estudio se espera aportar conocimiento del comportamiento de este tipo de estructuras, ampliando las recomendaciones que encontramos en nuestra Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente).



Para poder llevar a cabo el análisis de este tipo de estructuras, se basó en el modelo propuesto por G. W. Housner; el cual considera para la estructura dos tipos de cargas reactivas, una impulsiva y otra convectiva.

La estructura de estudio es el Reservorio Zona Sur Este en la Ciudad del Cusco, ubicado en el distrito de San Sebastián, de 1830 m<sup>3</sup> de capacidad, con un diámetro interior de 20.90 m, espesor de muro de 30 cm y con una altura máxima de agua de 5.33 m.

El modelamiento de la estructura se llevó a cabo con el software de ingeniería de análisis estructural SAP2000, del cual se obtuvieron los resultados que posteriormente fueron analizados.

El desarrollo de la presente tesis está conformada por los siguientes capítulos:

#### Capítulo I: Planteamiento del Problema

Donde se identificó y describió el problema, las justificaciones (técnica, social, por viabilidad y por relevancia), los objetivos, las hipótesis, las variables, los alcances y las limitaciones de la presente investigación.

#### Capítulo II: Marco Teórico

Donde se presentan los antecedentes de la presente tesis que son investigaciones relacionadas con el tema de estudio y también los aspectos teóricos pertinentes, que permite proporcionar toda la base conceptual sobre el tema investigado incluyendo los métodos, procedimientos, etc.

#### Capítulo III: Metodología

Indica la metodología de la investigación, en el cual se señala el tipo, el nivel y método de la investigación. También se indica el diseño de la investigación, la población y la muestra, los instrumentos metodológicos o de recolección de datos e instrumentos de ingeniería, los procedimientos de recolección, análisis de datos y el flujograma de los trabajos de ingeniería.



#### Capítulo IV: Resultados

Se desarrolló el análisis e interpretación de los resultados, mediante el cual se obtiene las respuestas a los objetivos planteados. En éste se presenta tablas, figuras, cálculos y análisis de datos.

#### Capítulo V: Discusión

Indica el contraste de los resultados con el marco teórico, comentarios de la demostración de las hipótesis, las conclusiones, recomendaciones producto de la investigación, los apéndices y los anexos que amplían aún más la información del tema de estudio.



**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA.....i

AGRADECIMIENTOS ..... ii

RESUMEN..... iii

ABSTRACT .....iv

INTRODUCCIÓN.....v

ÍNDICE GENERAL ..... viii

RELACIÓN DE TABLAS ..... xviii

RELACIÓN DE FIGURAS ..... xxii

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 1

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 3

1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL ..... 3

1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS..... 3

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA..... 4

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA..... 4

1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL ..... 4

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD ..... 4

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA..... 5

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... 5

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 6

1.4.1. OBJETIVO GENERAL..... 6

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 6

1.5. HIPÓTESIS..... 7

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL ..... 7

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS..... 7



1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES ..... 7

1.6.1. VARIABLES DEPENDIENTES..... 7

1.6.2. INDICADORES DE VARIABLES DEPENDIENTES ..... 8

1.6.3. VARIABLES INDEPENDIENTES ..... 8

1.6.4. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES ..... 9

1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 10

1.7. ASPECTOS ÉTICOS..... 11

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 12

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 12

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL ..... 12

2.1.1.1. ANTECEDENTE 1 ..... 12

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL..... 12

2.1.2.1. ANTECEDENTE 1 ..... 12

2.1.2.2. ANTECEDENTE 2 ..... 13

2.2. BASES TEÓRICAS ..... 13

2.2.1 MARCO CONCEPTUAL..... 13

2.2.1.1 RESERVORIOS O TANQUES DE ALMACENAMIENTO ..... 13

2.2.1.1.1 TIPOS DE RESERVORIOS..... 14

2.2.2 OBJETIVOS DEL DISEÑO SÍSMICO..... 17

2.2.2.1 ASPECTOS PRINCIPALES DE DISEÑO SÍSMICO ..... 18

2.2.3 FENÓMENO DE SLOSHING O ANÁLISIS DE OLEAJE..... 18

2.2.4 MOVIMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
20

2.2.5 ZONAS SÍSMICAS EN EL MUNDO ..... 21

2.2.6 ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA EN EL PERÚ ..... 22

2.2.7 ALCANCES DE LA NORMA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE ..... 23

2.2.7.1 PELIGRO SÍSMICO ..... 23



2.2.7.1.1 ZONIFICACIÓN ..... 23

2.2.7.1.2 PERFILES DE SUELO ..... 25

2.2.7.1.3 PARÁMETROS DE SITIO ..... 27

2.2.7.1.4 FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA..... 28

2.2.7.2 REQUISITOS GENERALES ..... 28

2.2.7.2.1 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE USO..... 28

2.2.7.2.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES..... 30

2.2.7.2.3 DESPLAZAMIENTOS LATERALES ..... 31

2.2.7.2.3.1 DESPLAZAMIENTOS LATERALES PERMISIBLES ..... 31

2.2.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA..... 32

2.2.8.1 TIPOS DE DISEÑO DE UN RESERVORIO..... 32

2.2.8.2 ANÁLISIS ESTÁTICO ..... 32

2.2.8.2.1 RESERVORIO DE CONCRETO ARMADO DE SECCIÓN CUADRADA  
32

2.2.8.2.2 RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO DE SECCIÓN CIRCULAR  
33

2.2.8.3 ANÁLISIS SÍSMICO ..... 35

2.2.8.3.1 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO..... 35

2.2.8.3.1.1 MÉTODO IBC 2000 ..... 35

2.2.8.3.1.2 MÉTODO UBC '97..... 36

2.2.8.3.1.3 MÉTODOS ALTERNATIVOS ..... 37

2.2.8.3.1.5 MÉTODO ACI 350.3..... 38

2.2.8.3.2 ANÁLISIS DINÁMICO..... 53

2.2.8.3.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE DINÁMICA ESTRUCTURAL ..... 53

2.2.8.3.2.1.1 DINÁMICA..... 53

2.2.8.3.2.1.2 FRECUENCIA Y PERIODO ..... 54

2.2.8.3.2.1.3 TIPOS DE EXCITACIÓN DINÁMICA ..... 55

2.2.8.3.2.2 MÉTODO DE HOUSNER ..... 57



2.2.8.3.2.2.1 MODELO MECÁNICO PARA TANQUES..... 57

2.2.8.3.2.2.2 MODOS DE VIBRACIÓN DEL LÍQUIDO EN EL TANQUE ..... 57

2.2.8.3.2.2.3 MODELO MATEMÁTICO TANQUES CIRCULARES..... 58

CAPITULO III: METODOLOGÍA ..... 60

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 60

3.1.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN..... 60

3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN..... 60

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... 60

3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO ..... 60

3.2.1.1 TIPO DE DISEÑO METODOLÓGICO..... 61

3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA ..... 61

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 63

3.3.1 POBLACIÓN ..... 63

3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN ..... 63

3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN..... 64

3.3.2 MUESTRA..... 64

3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ..... 64

3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA..... 65

3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO ..... 65

3.3.2.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA..... 65

3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN ..... 66

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... 66

3.4.1 INSTRUMENTOS..... 66

3.4.1.1 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 66

3.4.1.1.1 FORMATOS DE OBTENCIÓN DE DATOS ..... 66

3.4.1.1.1.1 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA E.030 ..... 67





3.4.1.1.1.2 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA IMPULSIVA ..... 68

3.4.1.1.1.3 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA ..... 69

3.4.1.1.2 FORMATO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS..... 70

3.4.1.1.2.1 FUERZAS AXIALES MÁXIMAS ..... 70

3.4.1.1.2.2 FUERZAS CORTANTES MÁXIMAS ..... 71

3.4.1.1.2.3 MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS ..... 72

3.4.1.1.2.4 DESPLAZAMIENTOS LATERALES MÁXIMOS ..... 73

3.4.1.1.2.5 PERIODOS DE VIBRACIÓN ..... 74

3.4.1.1.3 HOJAS DE CÁLCULO DE INGRESO DE DATOS ..... 75

3.4.1.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA..... 77

3.4.2 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 78

3.4.2.1 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA NORMA E.030 78

3.4.2.2 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA IMPULSIVA ..... 79

3.4.2.3 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA ..... 80

3.4.2.4 HOJAS DE CÁLCULO DATOS INGRESADOS ..... 81

3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS ..... 83

3.5.1 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS NORMATIVOS ..... 83

3.5.1.1 FACTOR DE ZONA..... 83

3.5.1.2 COEFICIENTE DE SUELO ..... 84

3.5.1.3 FACTOR DE USO..... 86

3.5.1.4 FACTOR DE REDUCCIÓN Y SISTEMA ESTRUCTURAL ..... 87

3.5.1.5 PERIODO DE VIBRACIÓN ..... 89

3.5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS NORMATIVOS ..... 90



3.5.2.1 IDENTIFICACIÓN FACTOR DE ZONA..... 90

3.5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE COEFICIENTE DE SUELO ..... 91

3.5.2.3 IDENTIFICACIÓN DE FACTOR DE USO ..... 92

3.5.2.4 IDENTIFICACIÓN DE FACTOR DE REDUCCIÓN ..... 92

3.5.3 MODELAMIENTO ESTRUCTURAL ..... 93

3.5.3.1 DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES..... 93

3.5.3.2 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES..... 95

3.5.3.3 ASIGNACIÓN DE CARGAS..... 99

3.5.3.3.1 ASIGNACIÓN DE CARGA ESTÁTICA DE AGUA ..... 99

3.5.3.3.2 ASIGNACIÓN DE CARGA VIVA..... 101

3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS ..... 101

3.6.1 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO ..... 102

3.6.2 ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL ..... 110

3.6.2.1 ESPECTROS DE DISEÑO ..... 110

3.6.2.1.1 ESPECTROS DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01..... 110

3.6.2.1.1.1 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE LA MASA IMPULSIVA COMO UNA FUNCIÓN ..... 113

3.6.2.1.1.2 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE LA MASA CONVECTIVA COMO UNA FUNCIÓN ..... 116

3.6.2.1.1.3 COMBINACIONES DE CARGA ..... 117

3.6.2.1.1.4 DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA ..... 118

3.6.2.1.2 ESPECTROS DE DISEÑO SEGÚN LA E.030..... 122

3.6.2.1.2.1 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA PARA LA NORMA E.030 COMO UNA FUNCIÓN ..... 124

3.6.2.1.2.2 COMBINACIONES DE CARGA ..... 125

3.6.2.1.2.3 DEFINICIÓN DE COMBINACIÓN DE CARGA..... 126

3.6.2.1.3 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA ..... 128



3.6.2.1.3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LAS MASAS REACTIVAS SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 128

3.6.2.1.3.2 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA ENTRE LA NORMA ACI 350.3-01 Y NORMA PERUANA E.030..... 130

3.6.2.2 PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL AL ANÁLISIS DINÁMICO..... 132

3.6.2.2.1 FUERZAS AXIALES ..... 133

3.6.2.2.1.1 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 133

3.6.2.2.1.2 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA ACI SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 135

3.6.2.2.1.3 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 136

3.6.2.2.1.4 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030 ..... 138

3.6.2.2.1.5 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA ..... 139

3.6.2.2.1.6 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 140

3.6.2.2.1.7 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 VS ACI 350.3  
141

3.6.2.2.2 FUERZAS CORTANTES ..... 142

3.6.2.2.2.1 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA ACI 350.3..... 142

3.6.2.2.2.2 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN NORMA ACI 350.3..... 144

3.6.2.2.2.3 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA E.030 ..... 145



3.6.2.2.2.4 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA CON NORMA E.030..... 147

3.6.2.2.2.5 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3..... 148

3.6.2.2.2.6 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 149

3.6.2.2.2.7 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 VS E.030 150

3.6.2.2.3 MOMENTOS FLECTORES ..... 151

3.6.2.2.3.1 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 151

3.6.2.2.3.2 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 153

3.6.2.2.3.3 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 154

3.6.2.2.3.4 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 156

3.6.2.2.3.5 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 157

3.6.2.2.3.6 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS CON DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 .... 158

3.6.2.2.3.7 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA E.030 VS ACI 350.3 159

3.6.2.2.4 DESPLAZAMIENTOS..... 160

3.6.2.2.4.1 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3..... 160

3.6.2.2.4.2 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 ..... 161



3.6.2.2.4.3 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 ..... 162

3.6.2.2.4.4 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030..... 163

3.6.2.2.4.5 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 ..... 164

3.6.2.2.4.6 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 ..... 165

3.6.2.2.4.7 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 VS ACI 350.3 ..... 166

3.6.2.2.5 PERIODOS DE VIBRACIÓN ..... 168

3.6.2.2.5.1 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA IMPULSIVA ACI 350.3 ..... 168

3.6.2.2.5.2 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA CONVECTIVA ACI 350.3..... 168

3.6.2.2.5.3 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA IMPULSIVA E.030..... 169

3.6.2.2.5.4 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA CONVECTIVA E.030 ..... 169

3.6.2.2.5.5 COMPARACIÓN DE PERIODOS DE VIBRACIÓN AMBAS MASAS DE ACI 350.3 Y E.030..... 170

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 171

4.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS ..... 171

4.1.1. COMPARACIÓN FUERZAS EN LOS EJES X LOCALES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030 171

4.1.2. COMPARACIÓN FUERZAS CORTANTES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030..... 173

4.1.3. COMPARACIÓN MOMENTOS FLECTORES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030 ..... 175

4.1.4. COMPARACIÓN DESPLAZAMIENTOS PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030..... 177

4.1.5. COMPARACIÓN PERIODOS DE VIBRACIÓN PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030 ..... 179



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	181
GLOSARIO.....	187
CONCLUSIONES.....	190
RECOMENDACIONES .....	193
REFERENCIAS .....	195
ANEXOS.....	197



**RELACIÓN DE TABLAS**

Tabla 1: Factores de Zona..... 24

Tabla 2: Factor de Suelo ..... 27

Tabla 3: Periodos "Tp" y "TL" ..... 27

Tabla 4: Categoría de las Edificaciones ..... 28

Tabla 5: Sistemas Estructurales ..... 30

Tabla 6: Límites para desplazamiento lateral de entrepiso ..... 31

Tabla 7: Coeficientes del PCA..... 34

Tabla 8: Factor Sísmico de Zona (Z) ..... 43

Tabla 9: Coeficiente de perfil de suelo (S)..... 45

Tabla 10: Factor de Importancia (I) ..... 46

Tabla 11: Factor de modificación de respuesta (Rw) ..... 46

Tabla 12: Comparación de la zonificación sísmica..... 83

Tabla 13: Comparación de los factores de Suelo ..... 85

Tabla 14: Comparación de los factores de Uso..... 86

Tabla 15: Comparación de los factores de Reducción ..... 88

Tabla 16: Parámetros Identificados para la Norma E.030 ..... 93

Tabla 17: Parámetros Identificados para la Norma ACI 350.3-01 ..... 93

Tabla 18: Parámetros identificados para la Norma ACI 350.3 - 01..... 111

Tabla 19: Valores de Aceleración Espectral Masa Impulsiva ACI 350.3-01 ..... 111

Tabla 20: Valores de Aceleración Espectral Masa Convectiva ACI 350.3-01..... 115

Tabla 21: Parámetros identificados para la Norma e.030..... 122

Tabla 22: Valores de Aceleración Espectral Norma E. 030..... 122

Tabla 23: Comparación de valores de Aceleración Espectral según la Norma ACI 350.3-01 ..... 128



Tabla 24: Comparación de los valores de Aceleración Espectral de la Norma ACI 350.3-01 y Norma E. 030..... 131

Tabla 25: Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 133

Tabla 26: Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ... 135

Tabla 27: Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 137

Tabla 28: Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma E.030 ..... 138

Tabla 29: Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3-01 ..... 139

Tabla 30: Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 ..... 140

Tabla 31: Comparación de Fuerzas Axiales E.030 y ACI 350.3 Ambas masas ..... 141

Tabla 32: Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3..... 143

Tabla 33: Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma ACI 350.3-01 ..... 144

Tabla 34: Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030 ..... 146

Tabla 35: Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030..... 147

Tabla 36: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 148

Tabla 37: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma E.030 ..... 149

Tabla 38: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030..... 150

Tabla 39: Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 152

Tabla 40: Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ... 153

Tabla 41: Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 155

Tabla 42: Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030 ..... 156

Tabla 43: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma ACI 350.3 ..... 157





Tabla 44: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030..... 158

Tabla 45: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030 ..... 159

Tabla 46: Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3..... 160

Tabla 47: Desplazamientos Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ..... 161

Tabla 48: Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 162

Tabla 49: Desplazamientos Masa Convectiva E.030 ..... 163

Tabla 50: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3..... 164

Tabla 51: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma E.030 ..... 165

Tabla 52: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030..... 166

Tabla 53: Valores de Periodo de Vibración Masa Impulsiva ACI 350.3 y porcentajes de participación de Masas ..... 168

Tabla 54: Valores de Periodo de Vibración Masa Convectiva ACI 350.3 y porcentajes de participación de Masas ..... 168

Tabla 55: Valores de Periodo de Vibración Masa Impulsiva E.030 y porcentajes de participación de Masas ..... 169

Tabla 56: Valores de Periodo de Vibración Masa Convectiva E.030 y porcentajes de participación de Masas ..... 169

Tabla 57: Comparación Valores de Periodo de Vibración Ambas Masas ACI 350.3 y E.030 ..... 170

Tabla 58: Comparación de Fuerzas Axiales para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 171

Tabla 59: Comparación de Fuerzas Cortantes para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 173



Tabla 60: Comparación de Momentos Flectores para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 175

Tabla 61: Comparación de Desplazamientos Máximos para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 177

Tabla 62: Comparación de Periodos de Vibración para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 179



**RELACIÓN DE FIGURAS**

Figura 1: Tipos de Reservorio ..... 14

Figura 2: Tipos de Reservorio ..... 15

Figura 3: Tanque rectangular de concreto..... 16

Figura 4: Tanque con la superficie del agua oscilando..... 19

Figura 5: Tanque con la superficie del agua oscilando..... 19

Figura 6: Tanque con la superficie del agua oscilando..... 20

Figura 7: Principales sísmicas en el mundo ..... 22

Figura 8: Zonas Sísmicas ..... 23

Figura 9: Mapa de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años ..... 25

Figura 10: Factor Sísmico de Zona (Z) ..... 44

Figura 11: Equilibrio dinámico de fuerzas horizontales ..... 48

Figura 12: Movimiento del fluido del tanque ..... 50

Figura 13: Modelo dinámico ..... 51

Figura 14: Masas impulsiva y convectiva ..... 51

Figura 15: Alturas al C.G. de las masas impulsiva y convectiva..... 52

Figura 16: Alturas al C.G.de las masas impulsiva y convectiva..... 52

Figura 17: Factor  $C_w$  ..... 53

Figura 18: Tipos de excitación Dinámica..... 56

Figura 19: Modelo Mecánico para Tanques ..... 57

Figura 20: Modos de vibración del líquido ..... 58

Figura 21: Flujograma de Procesos..... 61

Figura 22: Ubicación del Reservorio..... 64

Figura 23: Mapa zonas sísmicas del mundo ..... 84

Figura 24: Modelación Reservorio ..... 87

Figura 25: Mapa de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años ..... 91



Figura 26: Propiedades de material E.030 ..... 94

Figura 27: Propiedades de material ACI..... 95

Figura 28: Definición de sección del muro del reservorio ..... 96

Figura 29: Definición de sección de la cúpula del reservorio..... 96

Figura 30: Definición de sección de la viga collar del reservorio ..... 96

Figura 31: Modelamiento tridimensional del reservorio ..... 97

Figura 32: Corte del modelo del reservorio..... 98

Figura 33: Asignación de presión de agua - contornos ..... 99

Figura 34: Asignación de presión de agua – Valores ..... 100

Figura 35: Patrón de puntos ..... 100

Figura 36: Asignación de carga viva de techo..... 101

Figura 37: Cálculo de masa convectiva y masa impulsiva..... 103

Figura 38: Cálculo de la altura de la masa convectiva y masa impulsiva ..... 105

Figura 39: Cálculo del factor  $C_w$ ..... 106

Figura 40: Espectro de respuesta Masa impulsiva ACI 350.3-01 ..... 113

Figura 41: Ventana de asignación de espectro de respuesta impulsivo ..... 114

Figura 42: Espectro de respuesta Masa convectiva ACI 350.3-01 ..... 116

Figura 43: Ventana de asignación de espectro de respuesta convectivo ..... 117

Figura 44: Definición Combinación 1 ..... 119

Figura 45: Definición Combinación 2 ..... 119

Figura 46: Definición Combinación 3..... 120

Figura 47: Definición Combinación 4..... 120

Figura 48: Definición Combinación 5..... 121

Figura 49: Definición Combinación 6..... 121

Figura 50: Espectro de respuesta E. 030 ..... 124

Figura 51: Ventana de asignación de espectro de respuesta Norma E.030..... 125



Figura 52: Definición Combinación 1 ..... 126

Figura 53: Definición Combinación 2..... 127

Figura 54: Definición Combinación 3..... 127

Figura 55: Definición Combinación 4..... 128

Figura 56: Comparación de Espectros de Respuesta según la Norma ACI 350.3-01 ..... 130

Figura 57: Comparación de los Espectros de Respuesta según la Norma ACI 350.3-01 Y E.030..... 132

Figura 58: Contornos de Fuerzas Axiales de la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3  $t_n(1/m)$  ..... 133

Figura 59: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 134

Figura 60: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma ACI 350.3  $T_n(1/m)$  ..... 135

Figura 61: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ..... 136

Figura 62: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030  $T_n(1/m)$ ..... 136

Figura 63: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 137

Figura 64: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma E.030,  $T_n(1/m)$ ..... 138

Figura 65: Gráfico de Fuerzas Axiales Masa Convectiva según la norma E.030 ... 139

Figura 66: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 140

Figura 67: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 ..... 141

Figura 68: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 y ACI 350.3 ..... 142



Figura 69: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3 ..... 142

Figura 70: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3 143

Figura 71: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva ACI 350.3-01 ..... 144

Figura 72: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma ACI 350.3 ..... 145

Figura 73: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030 .. 145

Figura 74: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030..... 146

Figura 75: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030 147

Figura 76: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030 ... 148

Figura 77: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 149

Figura 78: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma E.030..... 150

Figura 79: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 y ACI 350.3 ..... 151

Figura 80: Contornos de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 151

Figura 81: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 152

Figura 82: Contornos de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3..... 153

Figura 83: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ..... 154

Figura 84: Contornos de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 154

Figura 85: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030 ..... 155



Figura 86: Contornos de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030 ..... 156

Figura 87: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030 ..... 157

Figura 88: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma ACI 350.3 ..... 158

Figura 89: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma E.030 ..... 159

Figura 90: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030 ..... 160

Figura 91: Gráfica de Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 161

Figura 92: Gráfica de Desplazamientos Masa Convectiva según la norma ACI 350.3 ..... 162

Figura 93: Gráfica de Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma E.030.... 163

Figura 94: Gráfica de Desplazamientos Masa Convectiva según la norma E.030 . 164

Figura 95: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3 ..... 165

Figura 96: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma E.030..... 166

Figura 97: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3y E.030 ..... 167

Figura 98: Comparación de Fuerzas en los ejes x locales para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 172

Figura 99: Comparación de Fuerzas Cortantes para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 174

Figura 100: Comparación de Momentos Flectores para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 176



Figura 101: Comparación de Desplazamientos Máximos para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 ..... 178



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los contenedores de líquidos o reservorios son de gran importancia al desempeñar un rol significativo en los sistemas de abastecimiento de agua, garantizando un adecuado y eficiente funcionamiento del sistema. Estos deben suministrar suficiente agua para sus consumidores y no deben colapsar bajo ninguna circunstancia como en un sismo.

Se debe tomar en consideración los resultados potencialmente desastrosos asociados a las fallas de los tanques de almacenamiento de agua porque además de presentar una pérdida económica considerable, puede presentarse otras situaciones si el abastecimiento de agua es interrumpido, como la presencia de fuego no controlado a raíz de un terremoto que originaría más daño que el mismo sismo en sí.

Conforme el número y tamaño de los contenedores de líquidos se fueron incrementando en el tiempo, su forma de vibrar bajo cargas sísmicas se convirtió en un tema de mucho interés. Desde inicios de 1900, se hicieron diferentes investigaciones para entender el problema del oleaje del agua en varios tipos de estructuras, de todas éstas, la propuesta por Housner, publicada en la década de 1960 en el "Atomic Energy Commission's" (ahora NRC), ha sido ampliamente adoptada para el diseño de estructuras contenedoras de fluidos.

Como sabemos, nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica, y por ende todo tipo de estructuras siempre deben estar diseñadas y analizadas tomando en cuenta las condiciones sismorresistentes.

#### 1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Por la ubicación geográfica, algunos países se encuentran más expuestos que otros a la acción de fenómenos naturales como el sismo, que puede originar una situación de desastre; situación que afecta principalmente a los países latinoamericanos,



principalmente de Centro y Sudamérica. Se conoce que la franja de sismicidad más importante se encuentra en la periferia del Océano Pacífico, conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico donde nuestro país se encuentra ubicado.

La subducción de la placa de Nazca bajo el Continente Sudamericano y los reajustes que se producen en la corteza terrestre son la razón principal por la sismicidad existente que afecta a nuestro país, y por ende, a las estructuras en él, lo cual puede ocasionarles daños severos además de pérdidas económicas considerables. Tomando en consideración estos temas, es importante ver que en el diseño de las estructuras se realice el análisis y diseño sismorresistente apropiados

En nuestra región tenemos gran cantidad de estructuras hidráulicas como los contenedores de líquidos o reservorios, construidos especialmente aprovechando la topografía que poseemos en nuestra zona, los cuales los utilizamos para diferentes actividades como por ejemplo para abastecimiento de agua potable, irrigaciones, entre otros.

Según nuestra norma peruana Sismorresistente (E. 030), los reservorios se encuentran dentro de la categoría de edificaciones esenciales, es decir su función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo, es así, que estas estructuras también deben tener un análisis y diseño sismorresistente adecuado.

Al encontrarse expuestos los reservorios a la actividad sísmica, el líquido contenido dentro de ellos, en este caso el agua, también lo estará, ocasionando en la estructura esfuerzos adicionales tomado en cuenta que el líquido se convertirá de una carga con condición estática a una carga dinámica, la cual puede ser mucho mayor y generar fallas en la estructura.

Esta condición dinámica del agua no es tomada en cuenta muchas veces para el análisis y diseño de este tipo de estructuras al considerar solo la presión hidrostática; y es así que nos podemos plantear las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los efectos causados por un sismo sobre el reservorio?



- ¿Qué fuerzas laterales dinámicas adicionales se generan en las paredes del reservorio?
- ¿Cómo varía la carga del agua de su condición estática con respecto de su condición dinámica?

## 1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo es el procedimiento a realizar según la normativa ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente para determinar la magnitud de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este?

### 1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- **Problema Específico 1.** ¿Cuáles son los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este?
- **Problema Específico 2.** ¿Cómo son las magnitudes de los parámetros sísmicos según las consideraciones de la norma ACI 350.3-01 y la norma peruana E.030 Sismorresistente?
- **Problema Específico 3.** ¿De qué coeficientes depende la magnitud de los factores de amplificación de espectro según la norma ACI 350.3-01?
- **Problema Específico 4.** ¿Para qué norma se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural?
- **Problema Específico 5.** ¿Para qué norma se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este?



## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Esta investigación se desarrolló dentro del estado del arte de la ingeniería civil, en la especialidad de estructuras, específicamente en la línea de dinámica estructural e ingeniería sismorresistente, donde se consolida temas de análisis de contenedores de líquidos (reservorios), para que de esta forma se pueda entender de mejor manera el comportamiento de este tipo de estructuras, es decir, conocer como es la respuesta estructural cuando éstos se encuentran sometidas a aceleraciones horizontales como es el caso de los sismos, y poder contrastar las normas para las condiciones regionales, comenzando así un camino de investigación para un mejor estudio de estas estructuras.

### 1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Esta investigación sirve en primer lugar a los estudiantes de la Universidad Andina del Cusco, que en la medida que consulten el presente documento podrán encontrar la metodología y proceso para el análisis de la estructura, con la aplicación de normas vigentes.

En la medida que los resultados de la presente investigación se socialicen los beneficiados podrán ser los profesionales ingenieros civiles que diseñan este tipo de estructuras hidráulicas, considerando el movimiento de oleaje del líquido dentro de éste, para que al momento de realizar el diseño y análisis de estos contenedores de líquidos, éstos se hagan con mayor precisión y de la mejor manera posible para que tengan una mayor vida útil al servicio de la sociedad y sus respectivas actividades.

### 1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

Para la presente investigación se contó con los planos de la estructura para poder realizar el modelamiento del Reservorio Zona Sur Este.

Las normas utilizadas dentro de la investigación fueron las normas peruanas E.020 Cargas, E. 030 Sismorresistente, E.060 Concreto Armado, ACI 350.3-01 (Seismic

Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary) y ACI 350-01 (Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary).

La modelación de la estructura se realizó mediante el uso de software SAP2000, en el cual se hizo una idealización de las respectivas condiciones para la simulación del comportamiento del reservorio.

#### 1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

La investigación es relevante porque permite conocer el procedimiento para efectuar el análisis del comportamiento de una estructura contenedora de líquidos frente a cargas dinámicas, para así obtener un análisis más detallado de un reservorio tomando en consideración además, la gran cantidad de estas estructuras que encontramos en nuestra zona. Es importante mencionar que a nivel nacional no contamos con una normativa para el análisis de este tipo de estructuras.

Además permite conocer normativas de otros países referidos específicamente al tema en estudio.

Es así, que nos ayuda a tener un análisis de contenedores de líquidos (reservorios) más elaborado, que tenga en consideración las fuerzas dinámicas del agua o masas reactivas frente a los efectos de un sismo, por ende reservorios más seguros.

#### 1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

- La estructura de estudio es el Reservorio circular Zona Sur Este de la Ciudad del Cusco, considerado dentro de la zonificación sísmica Zona 2 de la Norma Peruana E.030 Sismorresistente.
- El reservorio Zona Sur Este es del tipo apoyado en el suelo, con sistema estructural de muros estructurales con cubierta tipo cáscara.
- Estructura de categoría A, edificación esencial (E. 030 Sismorresistente).
- Estructura de concreto armado con  $f'c=245$  kg/cm<sup>2</sup>, de 9.20 m de alto y con un diámetro interno de 20.90 m con capacidad máxima de 1830 m<sup>3</sup> de agua



contenida; con espesor de muro de 30 cm, espesor de cúpula de 10 cm y espesor de viga collar de 50 cm. El Reservorio tiene un borde libre de 1.17 m.

- Los momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales se obtuvieron del análisis de los muros del Reservorio
- Módulo de Elasticidad del Concreto de 2347871 tn/m<sup>2</sup> para la norma peruana y 2363524 tn/m<sup>2</sup> para el código ACI, para un concreto con  $f'c = 245$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Peso específico de Concreto Armado de 2400 kg/m<sup>3</sup>.
- Peso específico del agua de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Organizar un procedimiento claro y replicable mediante la aplicación de la normativa ACI 350.3-01 y según las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente para determinar las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este.

##### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivo Especifico 1.** Identificar los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este.
- **Objetivo Especifico 2.** Determinar las magnitudes de los parámetros sísmicos según las consideraciones de la norma ACI 350.3-01 y la norma peruana E.030 Sismorresistente.
- **Objetivo Especifico 3.** Determinar la magnitud de los factores de amplificación de espectro de acuerdo a los periodos de vibración y el coeficiente de suelo.
- **Objetivo Especifico 4.** Determinar para qué norma se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural.
- **Objetivo Especifico 5.** Determinar para qué norma se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este.



## 1.5. HIPÓTESIS

### 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

El procedimiento a realizar mediante la aplicación de la normativa ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente es claro y replicable para determinar la magnitud de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este.

### 1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- **Hipótesis Específica 1.** Los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este son la geometría de la estructura y propiedades de los materiales.
- **Hipótesis Específica 2.** Las magnitudes de los parámetros sísmicos en ambas normas son semejantes, sin embargo existen variaciones significativas para el factor I y factor R.
- **Hipótesis Específica 3.** La magnitud de los factores de amplificación de espectro dependerá de la magnitud que toman los periodo de vibración y el coeficiente de suelo.
- **Hipótesis Específica 4.** Para la norma ACI 350.3 se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural en virtud de los parámetros que determinan sus espectros de diseño.
- **Hipótesis Específica 5.** Para la norma ACI 350.3 se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este.

## 1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

### 1.6.1. VARIABLES PENDIENTES

Y1: Parámetros de Respuesta Estructural:



Conjunto de fuerzas internas, esfuerzos y desplazamientos que se generan dentro de la estructura contenedora de líquido bajo la acción de cargas de servicio.

#### 1.6.2. INDICADORES DE VARIABLES DEPENDIENTES

- Presión hidrostática del líquido. Tn
- Fuerza impulsiva. Tn
- Fuerza convectiva. Tn
- Fuerzas axiales. Tn
- Desplazamientos laterales. mm

#### 1.6.3. VARIABLES INDEPENDIENTES

X1: Procedimiento de análisis según la norma ACI 350.3-01:

Conjunto de pasos para el análisis dinámico y obtención de los parámetros sísmicos adquirido de las consideraciones expuestas en la normativa norteamericana ACI 350.3-01

X2: Procedimiento con consideraciones de la norma E.030 Diseño Sismorresistente:

Conjunto de pasos según la normativa ACI 350.3-01 para la obtención de los parámetros sísmicos con consideraciones expuestas en la normativa peruana NTP E.030 Diseño Sismorresistente.

##### 1.6.3.1. SUB VARIABLES O DIMENSIONES

Espectro de Diseño: El espectro de diseño o respuesta es aquel que muestra la aceleración máxima absoluta de la vibración de la estructura y tiene unidades de aceleración.





Parámetros sísmicos: Vienen a ser factores que utilizamos para el cálculo de las fuerzas laterales dinámicas en el modelo planteado de la estructura contenedora de líquido o para el cálculo del espectro de diseño tales como:

Factor de importancia: Es el factor utilizado basándonos en la jerarquía o uso de la estructura contenedora de líquido.

Factor de zona sísmica: Es el factor utilizado según la ubicación de la estructura contenedora de líquidos.

Factor de amplificación espectral: Es el factor de seguridad utilizado para aumentar el espectro periodo dependiente para las masas reactivas en el cálculo de las fuerzas laterales.

Coefficiente de perfil de suelo: Es el factor utilizado según el tipo de suelo sobre el que se encuentra la estructura.

Factor de modificación de respuesta: Es el coeficiente numérico que representa el efecto combinado de la ductilidad de la estructura

#### 1.6.4. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES

- Factor de zona.  $m/s^2$
- Coeficiente perfil de suelo
- Factor de reducción sísmica
- Factor de Importancia
- Altura del reservorio, m
- Diámetro del reservorio, m
- $f'c$ .  $kg/cm^2$
- $f'y$ .  $kg/cm^2$



1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tipo de variable	Nombre de Variable	Definición de variable	Nivel de la variable	Indicador	Unidad	Herramientas metodológicas o instrumentos
Variable Dependientes	Y1: Parámetros de Respuesta Estructural	Conjunto de fuerzas internas, esfuerzos y desplazamientos que se generan dentro de la estructura contenedora de líquido bajo la acción de cargas de servicio	Fuerzas internas Esfuerzos internos Deformación Propiedades Dinámicas	Presión hidrostática del líquido. Fuerza impulsiva. Fuerza convectiva. Esfuerzos internos. Desplazamientos laterales	Kg Kg Kg Kg/m2 m	Hojas de cálculo. Software. Planos de la estructura. Norma E. 030 Norma ACI 350.3-0.1 y 350.3R-01
Variables Independientes	X1: Procedimiento de análisis según la norma ACI 350.3-01  X2: Procedimiento con consideraciones de la norma E.030 Diseño Sismorresistente	Conjunto de pasos para el análisis dinámico y obtención de los parámetros sísmicos adquirido de las consideraciones expuestas en la normativa norteamericana ACI 350.3-01  Conjunto de pasos según la normativa ACI 350.3-01 para la obtención de los parámetros sísmicos con consideraciones expuestas en la normativa peruana NTP E.030 Diseño Sismorresistente.	Parámetros referidos a los coeficientes sísmicos  Parámetros espectrales (Espectro de diseño)	Factores de zona Coeficiente perfil de suelo Factor de reducción sísmica Factor de Importancia	g (m/s <sup>2</sup> ) Adimensional Adimensional Adimensional	



### 1.7. ASPECTOS ÉTICOS

La investigación permite ampliar los conocimientos de ingeniería sismorresistente para el análisis sísmico de estructuras contenedoras de líquidos, para que éstas sean diseñadas de manera adecuada para poder evitar algún tipo de deterioro perjudicial cuando haya un evento sísmico, tomando en consideración que los reservorios son estructuras esenciales según nuestra normativa peruana, primordialmente por la función que cumplen que es el abastecimiento de agua para diferentes finalidades, principalmente de agua potable para diferentes poblaciones.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

##### 2.1.1.1. ANTECEDENTE 1

El año 2014, Wilder Anthony Quezada Vera y Ángela María Salinas Palacios realizaron la tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN RESERVORIO TIPO FUSTE DE 300 M<sup>3</sup> EN LA CIUDAD DE TRUJILLO” donde estudiaron el comportamiento Sísmico de un reservorio tipo fuste, para lo cual hicieron el Análisis Estático y Dinámico usando el Método de Housner aplicando el concepto de Masa Impulsiva y Convectiva. En ésta concluyeron que es necesario la implementación de una Norma para el análisis sísmico de Estructuras de Almacenamiento de Líquidos en la norma E.030 de diseño sismorresistente para no recurrir a Normas internacionales que no se ajustan a nuestra realidad.

#### 2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

##### 2.1.2.1. ANTECEDENTE 1

El año 2007, Gustavo F. Vidal Parra realizó el proyecto de tesis bajo el título de “DISEÑO SÍSMICO DE UN ESTANQUE DE HORMIGÓN ARMADO. COMPARACIÓN DEL CÓDIGO NORTEAMERICANO Y LAS RECOMENDACIONES NEOZELANDESAS” donde estudió el comportamiento dinámico de tanques de hormigón armado, con forma cilíndrica, dispuestos verticalmente y apoyados en el suelo para almacenamiento de líquidos.

En ésta concluyó que en cuanto a introducción en el tema, claridad en su desarrollo y facilidad para hacer un análisis de este tipo de estructuras (contenedores de líquidos), el código ACI 350.3-01 es superior, siendo una herramienta clara y eficaz en su contenido, diferenciando entre los distintos tipos de configuraciones de estanques de hormigón y presentando una metodología la cual permite fácilmente llegar a los resultados y datos necesarios.



De este antecedente se pudo obtener las relaciones de Housner (1963) para el análisis dinámico de una estructura circular contenedora de líquidos.

#### 2.1.2.2. ANTECEDENTE 2

El año 2004, Eduardo Antonio Martínez Galindo y Leonardo Fabián Sánchez Arregui realizaron la Investigación bajo el título de “ANÁLISIS SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS DE AGUA SOBRE DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN REFORZADO EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA” donde concluyeron que el software SAP2000 puede generar modelos que ayudan a simplificar las características del modelo equivalente propuesto por G.W. HOUSNER, tales como la rigidez de los resortes, la masa impulsiva y la masa convectiva, ésta última encargada de producir los efectos hidrodinámicos.

### 2.2. BASES TEÓRICAS

#### 2.2.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 2.2.1.1 RESERVORIOS O TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Según Salva (s.f.), los tanques son estructuras especiales construidas con el propósito de almacenar algún material o sustancia. Principalmente son utilizados para almacenar agua u otros líquidos tales como combustibles, químicos, además de almacenar vapor, etc.

También pueden ser utilizados para almacenar desperdicios, tanto sólidos como líquidos, como pueden formar parte de operaciones de manufactura como almacenamiento de granos, asentamiento, cristalización, y a veces son utilizados como reactores.

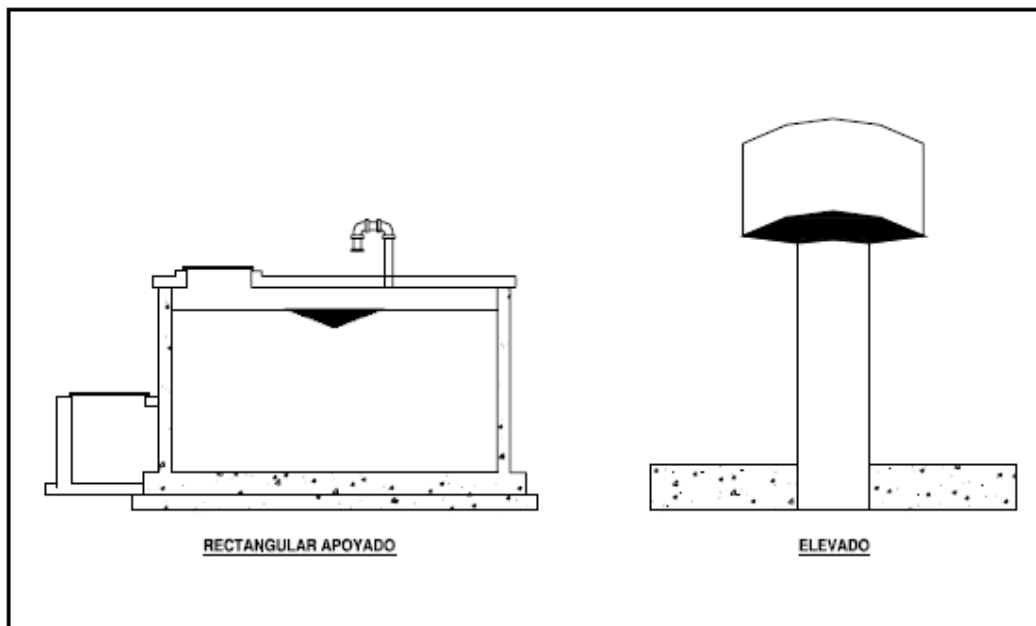
Los tanques, especialmente los de agua potable, son estructuras muy importantes dentro de la sociedad y el diseño correcto de los mismos es indispensable ya que la pérdida de líquido debido a la falla de un tanque ocasionaría un descontrol público debido a la falta de agua potable para el consumo humano y además esto podría traer problemas de orden sanitario.

### 2.2.1.1.1 TIPOS DE RESERVORIOS

Según CEPIS (2004), los reservorios de almacenamiento pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados, que pueden tomar la forma esférica, cilíndrica, y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc; los apoyados, que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, también de forma rectangular y circular, son construidos por debajo de la superficie del suelo (cisternas).

Para capacidades medianas y pequeñas, como es el caso de los proyectos de abastecimiento de agua potable en poblaciones rurales, resulta tradicional y económica la construcción de un reservorio apoyado de forma cuadrada o circular.

Figura 1: Tipos de Reservorio



Fuente: CEPIS 2004

Según Sálva (s.f.), existen varios criterios para clasificar los tanques. Una de las formas más básicas de clasificar los tanques es considerando la forma del mismo. Algunas de las formas más comunes son la rectangular, la cuadrada, y la cilíndrica.

El criterio principal que se utiliza para determinar la forma de un tanque es el uso que se le va a dar, ya que las propiedades del material almacenado juegan una parte importante en la selección del material en el que se construirá el tanque.

Otros criterios que se pueden utilizar para escoger la forma es el espacio que se tiene para construir el mismo, el material que se va a utilizar y el costo de la estructura, por mencionar algunos.

Figura 2: Tipos de Reservorio



Fuente: Salva Huertas (s.f.)

También los tanques se pueden clasificar considerando si están contruidos sobre el terreno o bajo el terreno. Los tanques contruidos sobre el terreno tienen casi toda su estructura expuesta. Estos regularmente se encuentran apoyados o sobre el terreno o sobre una fundación de concreto.

Existen otros tipos de clasificaciones para tanques como si son abiertos o cerrados. Dentro de los tanques cerrados existen otras clasificaciones dependiendo de la forma que tenga el techo. Esta forma se determina y escoge dependiendo mayormente del uso que se le va a dar y las dimensiones del tanque.

Algunos techos son más eficientes que otros, resistiendo las presiones generadas tanto por el líquido almacenado, como por el viento y otras cargas que actúan en la



estructura. Otra forma de clasificar tanques es basándose en el material que se utilizará para su construcción. La selección del material se realiza basándose en el costo del material, facilidad y rapidez de la construcción, resistencia a la corrosión, compatibilidad con el material que se va a almacenar y en algunos casos por la disponibilidad del material. Los materiales más comunes que se utilizan son: acero, concreto (hormigón reforzado) y aluminio. Cada uno de estos tanques tiene ciertas particularidades que los hacen idóneos para almacenar cierto tipo de líquido o material.

Figura 3: Tanque rectangular de concreto



Fuente: Salva Huertas (s.f.)

La normativa ACI 350.3-01 clasifica a los contenedores de líquidos en estructuras apoyadas en tierra y en estructuras sobre pedestales. Las estructuras de almacenamiento de líquido apoyadas en tierra son clasificadas de acuerdo a su sección en base a las siguientes características:

- Configuración general (rectangular o circular)
- Tipo de unión muro-base (empotrada, simple, o de base flexible)
- Método constructivo (hormigón armado o pre-tensado)

#### 1. Tanques rectangulares

Tipo 1.1 base empotrada

Tipo 1.2 base simplemente apoyada





## 2. Tanques circulares

### Tipo 2.1 base empotrada

- (1) hormigón armado
- (2) hormigón pre-tensado

### Tipo 2.2 base simplemente apoyada

- (1) hormigón armado
- (2) hormigón pre-tensado

### Tipo 2.3 base flexible (sólo hormigón pre-tensado)

- (1) anclados
- (2) no anclados, llenos
- (3) no anclados, vacíos

## 2.2.2 OBJETIVOS DEL DISEÑO SÍSMICO

Según Bazan & Meli (2004), el diseño de las estructuras para resistir un sismo difiere del que se realiza para el efecto de otras acciones. Las razones son diversas.

Lo peculiar del problema sísmico no estriba solo en la complejidad de la respuesta estructural a los efectos dinámicos de los sismos, sino sobre todo, se deriva de lo poco predecible que es el fenómeno y de las intensidades extraordinarias que puedan alcanzar sus efectos, asociado a que la probabilidad de que se presenten dichas intensidades en la vida esperada de las estructuras es muy pequeña.

Por lo anterior, mientras que el diseño para otras acciones se pretende que el comportamiento de la estructura permanezca dentro de su intervalo lineal y sin daño, aun para los máximos valores que pueden alcanzar las fuerzas actuantes, en el diseño sísmico se reconoce que no es económicamente viable diseñar las edificaciones en general, para que se mantengan dentro de su comportamiento lineal ante el sismo de diseño.

El problema se plantea en forma rigurosa como uno de optimización en que debe equilibrarse la inversión que es razonable hacer en la seguridad de la estructura con la probabilidad de daño que puede ocurrir.



La mayoría de los reglamentos modernos de diseño sísmico establecen como objetivos, por una parte, evitar el colapso, pero aceptar el daño, ante un sismo excepcionalmente severo que se pueda presentar en la vida de la estructura; y por otra, evitar daños de cualquier tipo ante sismos moderados que tengan una probabilidad significativa de presentarse el colapso.

#### 2.2.2.1 ASPECTOS PRINCIPALES DE DISEÑO SÍSMICO

Según Bazan & Meli (2004) los aspectos a tomar en cuenta son:

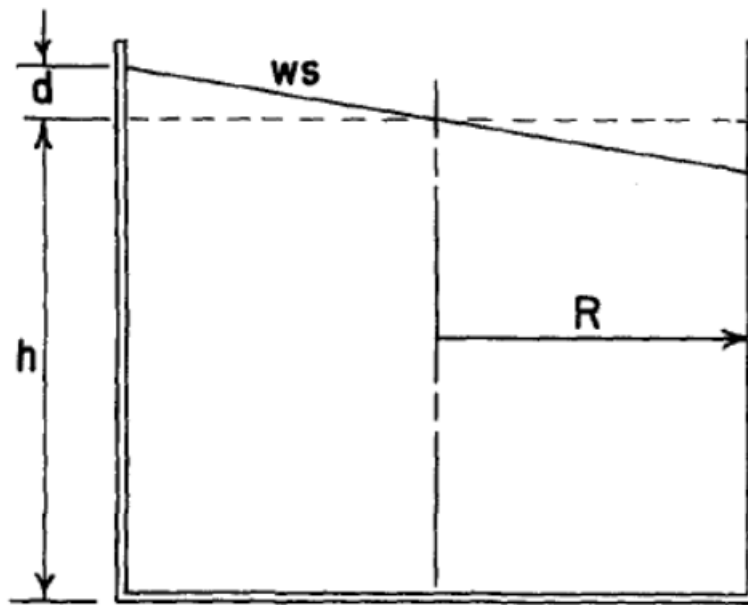
- La selección de un sistema estructural adecuado: El sistema estructural debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por el sismo sin que se generen efectos particularmente desfavorables, como concentraciones o amplificaciones dinámicas.
- El análisis sísmico: Los reglamentos definen las acciones sísmicas para las cuales debe calcularse la respuesta de la estructura y proporcionan métodos de análisis de distinto grado de refinamiento.
- El dimensionamiento de las secciones.
- Detallado de la estructura: Para que las estructuras tengan un comportamiento dúctil es necesario detallar sus elementos y conexiones para proporcionarles gran capacidad de deformación antes del colapso.

#### 2.2.3 FENÓMENO DE SLOSHING O ANÁLISIS DE OLEAJE

Según Housner (1963), un tanque de almacenamiento de agua o reservorio sobre el suelo tendrá su contenido (el agua) excitado durante un sismo generando el fenómeno de sloshing o el oleaje y a la vez la amplitud de este fenómeno obedecerá a la intensidad del movimiento del suelo.

Si el tanque con una superficie libre de agua es sometido a una aceleración del suelo horizontal  $\alpha$  las fuerzas ejercidas en el tanque por el agua son de dos tipos.

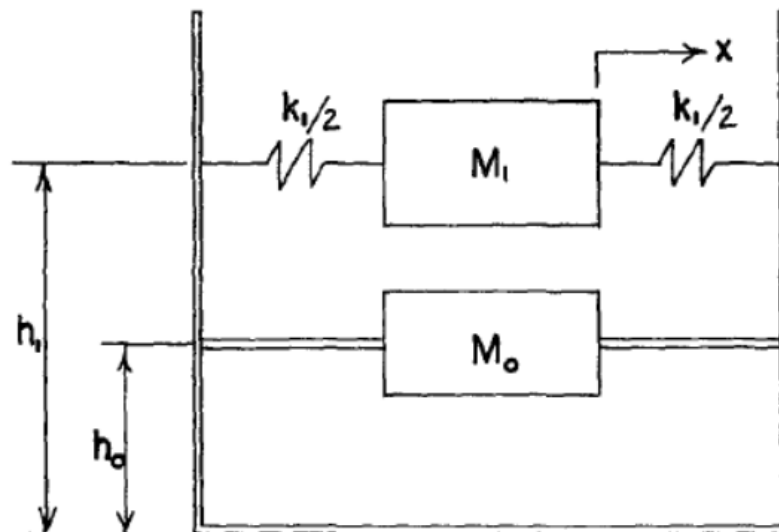
Figura 4: Tanque con la superficie del agua oscilando.



Fuente: Housner 1963

Primero, cuando las paredes del tanque aceleran de un lado para el otro, una cierta fracción del agua es forzada a participar en el movimiento, el cual ejerce una fuerza reactiva en el tanque, la misma que sería ejercida por la masa  $M_o$  que está adjunta rígidamente al tanque en la altura apropiada como se muestra en figura.

Figura 5: Tanque con la superficie del agua oscilando.



Fuente: Housner 1963

La masa  $M_0$  esta adjunta a una altura  $h_0$ , así la fuerza horizontal ejercida por esta es colinear con la fuerza resultante ejercida por el agua equivalente.

Segundo, el movimiento de las paredes del tanque aviva el agua en oscilaciones que a su vez ejercen una fuerza oscilante sobre el tanque.

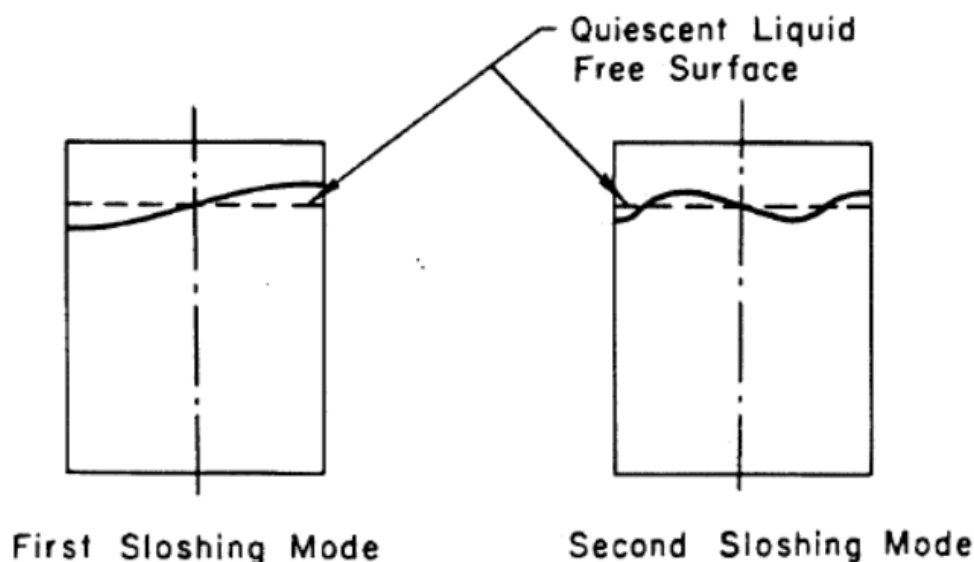
Esta fuerza oscilante es la misma que sería ejercida por la masa  $M_1$  que puede oscilar horizontalmente en contra de un resorte como se muestra en la figura anterior.

#### 2.2.4 MOVIMIENTO DE LOS LÍQUIDOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Según Haroun (1980), en consideración de los diferentes factores que afectan el movimiento del líquido, las siguientes suposiciones son hechas:

- El líquido es homogéneo, no viscoso e incompresible.
- El campo de flujo es no rotacional.
- No hay hoyos ni cavidades en el campo del flujo.
- Solo pequeñas oscilaciones son consideradas.

Figura 6: Tanque con la superficie del agua oscilando.



Fuente: Haroun (1980)



### 2.2.5 ZONAS SÍSMICAS EN EL MUNDO

Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (1999), desde el advenimiento de la sismología moderna, los focos de los sismos registrados en un mapa, durante un periodo de tiempo dado, se concentran siempre a lo largo de franjas relativamente angostas, indicando en dichas zonas una alta sismicidad.

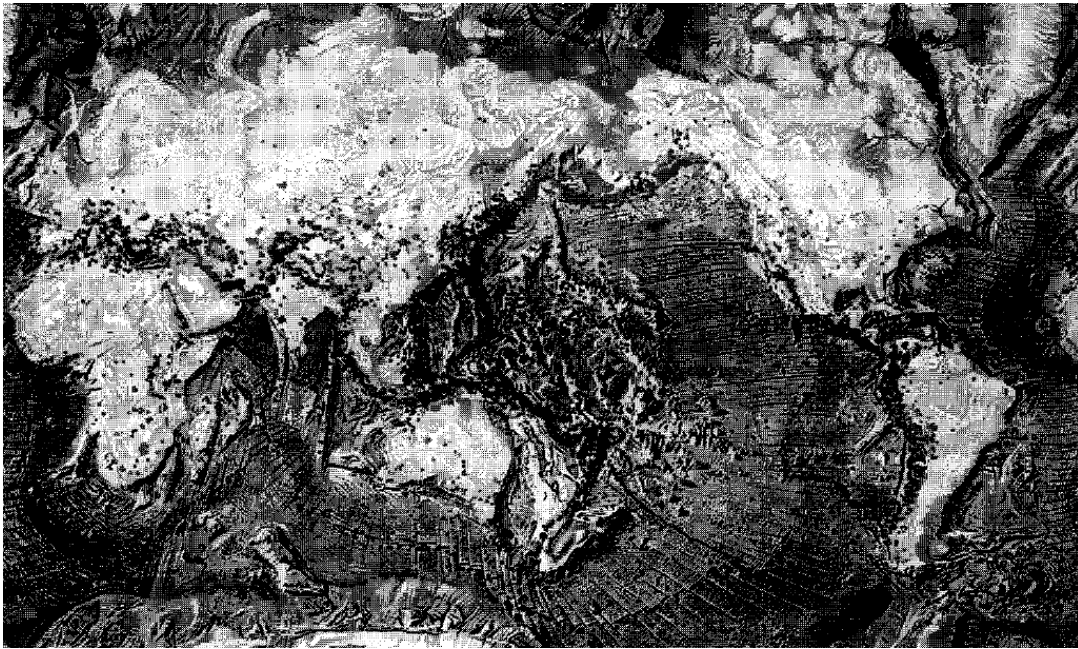
Estas franjas, a su vez, limitan o separan grandes regiones oceánicas y continentales con actividad sísmica escasa o nula.

La distribución de los focos sugiere la división de la superficie terrestre en una serie de placas, lo cual apoya la teoría de tectónica de placas.

Podemos observar que la franja de sismicidad más importante se encuentra en la periferia del Océano Pacífico. Esta abarca Patagonia y Chile en América del Sur, Centroamérica, México, Estados Unidos y Canadá; se extiende más allá de Alaska a través de las Islas Aleutianas, pasando por la Península de Kamtchatka, Japón, Filipinas y Nueva Zelanda en el sur. Esta zona sísmica está caracterizada además, por actividad volcánica intensa. Por esto es conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico o simplemente Cinturón Circunpacífico.

Es claro que la sismicidad a escala mundial se concentra en zonas bien definidas. En contraste, grandes regiones de la tierra están libres de actividad sísmica o casi nunca ocurren sismos en ellas. Tal es el caso de Brasil, norte y centro de Canadá, Noruega, Suecia, oeste de África y una gran porción de Australia; por lo tanto estas son consideradas zonas "asísmicas".

Figura 7: Principales sísmicas en el mundo



Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres

#### 2.2.6 ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA EN EL PERÚ

Según Castillo y Alva (1993), El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo.

Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas, por lo que no es necesario realizar investigaciones detalladas de la actividad sísmica del área donde se construirán estructuras comunes. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo-estático se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura.



Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental. Sin embargo, cuando se planifican estructuras importantes, deben evaluarse sus capacidades de resistir terremotos en base a estudios detallados de peligro sísmico. Tales estructuras incluyen: grandes presas, puentes con luces grandes, túneles y centrales nucleares. También se necesitan estudios detallados para la evaluación del peligro sísmico en una zona grande por urbanizar.

## 2.2.7 ALCANCES DE LA NORMA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

### 2.2.7.1 PELIGRO SÍSMICO

#### 2.2.7.1.1 ZONIFICACIÓN

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas sísmicas, como se muestra en la Figura N°8. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica.

Figura 8: Zonas Sísmicas



Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)

A cada zona se asigna un factor  $Z$  según se indica en la Tabla 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor  $Z$  se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 1: Factores de Zona

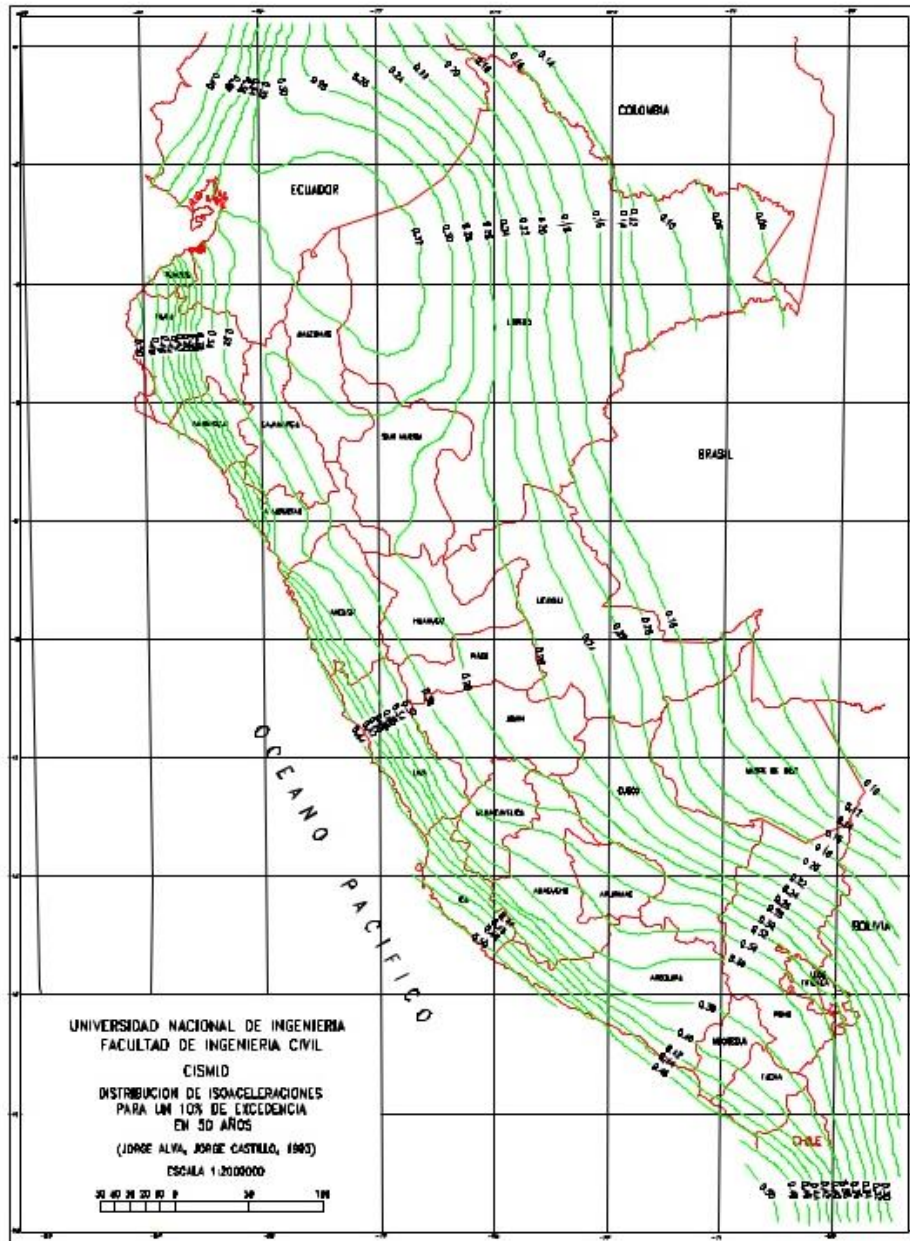
Factores de zona	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

**Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)**

Podemos usar también el mapa de distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años para mayor precisión como el que se muestra a continuación:



Figura 9: Mapa de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años



Fuente: CISMID – FIC - UNI

### 2.2.7.1.2 PERFILES DE SUELO

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

Perfil Tipo S<sub>0</sub>: Roca Dura:

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte  $\bar{v}_s$  mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del

proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de  $\bar{v}_s$ .

#### Perfil Tipo S<sub>1</sub>: Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{v}_s$ , entre 500 m/s y 1500 m/s.

#### Perfil Tipo S<sub>2</sub>: Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{v}_s$ , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre: Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$ , entre 15 y 50; y suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada  $\bar{s}_u$ , entre 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

#### d. Perfil Tipo S<sub>3</sub>: Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{v}_s$ , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre: Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$  menor que 15; y suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{s}_u$ , entre 25 kPa (0,25 kg/cm<sup>2</sup>) y 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

#### Perfil Tipo S<sub>4</sub>: Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S<sub>4</sub> cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

## 2.2.7.1.3 PARÁMETROS DE SITIO

Deberá considerarse el tipo de perfil de suelo que mejor describa las condiciones locales:

**Tabla 2: Factor de Suelo**

FACTOR DE SUELO (S)				
SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0.80	1.00	1.05	1.10
Z <sub>3</sub>	0.80	1.00	1.15	1.20
Z <sub>2</sub>	0.80	1.00	1.20	1.40
Z <sub>1</sub>	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)

**Tabla 3: Periodos "Tp" y "TL"**

PERIODOS "TP" Y "TL"				
	Perfil de Suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub> (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T <sub>L</sub> (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)

#### 2.2.7.1.4 FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}T < T_p & \quad C = 2.5 \\T_p < T < T_L & \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \\T > T_L & \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right); C \leq 2.5\end{aligned}$$

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

#### 2.2.7.2 REQUISITOS GENERALES

##### 2.2.7.2.1 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE USO

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N°4. El factor de uso o importancia (U), definido en esta tabla se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar  $U = 1$ .

**Tabla 4: Categoría de las Edificaciones**

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
<b>A</b> Edificaciones esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.	1.5

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</li> <li>- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</li> </ul> <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado</p>	
<b>B</b> Edificaciones importantes	<p>Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.</p> <p>También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.</p>	1.3
<b>C</b> Edificaciones Comunes	<p>Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.</p>	1.0
<b>D</b> Edificaciones Temporales	<p>Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.</p>	Ver nota 2

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

**Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)**



2.2.7.2.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES

SISTEMAS ESTRUCTURALES Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla 5.

Cuando en la dirección de análisis, la edificación presente más de un sistema estructural, se tomará el menor coeficiente R que corresponda:

**Tabla 5: Sistemas Estructurales**

<b>SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>	
<b>Sistema Estructural</b>	<b>Coeficiente de Reducción, R para estructuras regulares (*)</b>
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado	
Pórticos Dual	8
De muros estructurales	7
Muros de ductilidad limitada	6
	4

Albañilería Armada o Confinada	3.0
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)

(\*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

Para construcciones de tierra debe remitirse a la Norma E.080 “Adobe” del RNE. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos S3, ni se permite en suelos S4.

### 2.2.7.2.3 DESPLAZAMIENTOS LATERALES

#### 2.2.7.2.3.1 DESPLAZAMIENTOS LATERALES PERMISIBLES

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla 6.

Tabla 6: Límites para desplazamiento lateral de entrepiso

<b>LIMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO</b>	
<b>Material Predominante</b>	<b>(<math>\Delta_i/h_{ei}</math>)</b>
<b>Concreto Armado</b>	<b>0.007</b>
<b>Acero</b>	<b>0.010</b>
<b>Albañilería</b>	<b>0.005</b>
<b>Madera</b>	<b>0.010</b>
<b>Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada</b>	<b>0.005</b>

Fuente: Norma Peruana E. 030 (Sismorresistente)





## 2.2.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

### 2.2.8.1 TIPOS DE DISEÑO DE UN RESERVORIO

Según el Ministerio de Agricultura y ganadería de Costa Rica (2010), la construcción de un reservorio involucra básicamente dos tipos de diseños:

a) Estructural: se refiere al sistema de muro (pantalla) que se va a utilizar como presa y cuya función es detener el cauce natural en una zona tras la cual se forma una represa (el estanque o piscina para almacenar agua).

Este muro, dependiendo del tamaño de la represa, especialmente, su altura o profundidad del reservorio, podrá ser desde lo más elemental (un tabique en madera o un muro armado en tierra o piedra) hasta una gran pantalla en concreto reforzado como se utiliza en las grandes represas para generación de energía.

b) Hidráulico: determina las dimensiones requeridas para tuberías de conducción y manejo de los niveles de almacenamiento del agua.

### 2.2.8.2 ANÁLISIS ESTÁTICO

#### 2.2.8.2.1 RESERVORIO DE CONCRETO ARMADO DE SECCIÓN CUADRADA

Para el diseño estructural de reservorios de pequeñas y medianas capacidades se recomienda utilizar el método de Portland Cement Association, que determina momentos y fuerzas cortantes como resultado de experiencias sobre modelos de reservorios basados en la teoría de Plates and Shells de Timoshenko, donde se consideran las paredes empotradas entre sí.

De acuerdo a las condiciones de borde que se fijen existen tres condiciones de selección, que son:

- Tapa articulada y fondo articulado
- Tapa libre y fondo articulado
- Tapa libre y fondo empotrado





En los reservorios apoyados o superficiales, típicos para poblaciones rurales, se utilizan preferentemente la condición que considera la tapa libre y el fondo empotrado. Para este caso y cuando actúa sólo el empuje del agua, la presión en el borde es cero y la presión máxima (P), ocurre en la base.

$$P = \gamma_a \times h$$

El empuje del agua es:

$$v = \frac{\gamma_a h^2 b}{2}$$

Donde:

$\gamma_a$  = Peso específico del agua, kg/m<sup>3</sup>

h = Altura del agua, m

b = ancho de la pared, m

#### 2.2.8.2.2 RESERVORIOS DE CONCRETO ARMADO DE SECCIÓN CIRCULAR

Cálculo de la pared cilíndrica El cálculo se realiza utilizando los coeficientes de "Circular Concrete Tanks Without Prestressing" del Portland Cement Association (PCA) u otros métodos racionales.

Tensiones horizontales:

La tensión es obtenida mediante la siguiente fórmula, se entra a la tabla del PCA:

$$T = C W H R$$

El valor de "C" es un factor que se obtiene de la tabla I del PCA (tabla 7), mediante la siguiente relación:

$$\frac{H^2}{Dt}$$

Donde:

F = Factor de selección

H = Altura nivel del agua, m



D = Diámetro del reservorio, m

T = espesor de muro, m

C = Coeficiente

W = Peso del agua, Kg

R = Radio, m

Tabla 7: Coeficientes del PCA

$\frac{H^2}{Dt}$	Coeficientes en los puntos									
	0.0 H	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.5 H	0.6 H	0.7 H	0.8 H	0.9 H
0.4	0.149	0.134	0.120	0.101	0.082	0.066	0.049	0.029	0.014	0.004
0.8	0.263	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	0.256	0.339	0.403	0.429	0.409	0.334	0.210	0.073
5.0	0.025	0.137	0.245	0.346	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	0.097	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	0.099	0.199	0.304	0.412	0.531	0.641	0.687	0.582	0.265

Fuente: Portland Cement Association (1993)



### 2.2.8.3 ANÁLISIS SÍSMICO

#### 2.2.8.3.1 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

## MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE CONTENEDORES DE LÍQUIDOS

El PCA (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION) nos da métodos para el diseño de contenedores de líquidos de concreto para fuerzas sísmicas, los métodos son:

#### 2.2.8.3.1.1 MÉTODO IBC 2000

### GENERAL

El diseño de estructuras contenedoras de líquidos bajo la sección 1622 del Código de Construcción Internacional (IBC 2000) contiene consideraciones más elaboradas para tanques elevados y tanques sobre el suelo.

La sección 1622.2 del IBC 2000 indica que cuando se calculan las fuerzas sísmicas, los contenidos de operación normal deberían ser incluidos para los tanques. El peso sísmico  $W$  debe incluir también cargas de nieve y hielo cuando estas constituyan más del 25% de  $W$ .

### Cortante Basal

La sección 1622.2.5 estipula que la cortante basal mínima no debe ser menor que las obtenidas a partir de los requerimientos de 1617.4.1. El procedimiento para la obtención de la cortante basal es de la siguiente manera:

$$V = C_S W$$

$$C_S = \frac{S_{DS} I}{R} \leq \frac{S_{DS} I}{RT}$$

$$C_S \geq 0.14 S_{DS} I$$

$$C_S \geq \frac{0.8 S_1 I}{R}$$



Donde:

$I =$  Factor de importancia

$R =$  Coeficiente sísmico

$W =$  Peso sísmico efectivo de la estructura

$S_{DS} =$  Diseño de aceleración de respuesta espectral de periodo corto

$S_{D1} =$  Diseño de aceleración de respuesta espectral en el periodo de 1 segundo.

$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$

$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$

$S_{MS} =$  Aceleración de respuesta espectral sísmica máxima considerada de periodo corto

$S_{M1} =$  Aceleración de respuesta espectral sísmica máxima considerada en periodo de 1 segundo

$S_{MS} = F_a S_s$

$S_{M1} = F_c S_1$

$F_a, F_c =$  Coeficientes de sitio

$S_s, S_1 =$  Aceleración espectral de los mapas para un periodo corto y periodo de 1 segundo.

$T =$  Periodo Fundamental, s

## ESTRUCTURAS RÍGIDAS

Las estructuras contenedoras de líquidos que tienen un periodo fundamental,  $T$ , menor que 0.06s, incluyendo sus anclajes, serán diseñados para la fuerza lateral obtenida de la siguiente relación:

$$V = 0.3S_{DS}WI$$

Donde  $S_{DS}$ ,  $W$  y  $I$  fueron definidas previamente.

### 2.2.8.3.1.2 MÉTODO UBC '97

## ESTRUCTURAS RÍGIDAS



En el UBC, la sección 1634.4 asume que los tanques con el fondo apoyado son esencialmente rígidos. Consecuentemente, estas estructuras tienen que ser diseñadas para resistir las fuerzas sísmicas obtenidas usando el procedimiento dado en la Sección 1634.3 para estructuras rígidas. La sección 1634.3 también especifica que el todo el peso del tanque incluyendo su contenido debe ser usado en el análisis. El procedimiento es como sigue:

Diseño de la fuerza lateral sísmica  $F_p$ :

$$F_p = 0.7C_a I_p W_p$$

Donde:

$C_a$  = Coeficiente sísmico.

$I_p$  = Factor de Importancia

$W_p$  = Peso del tanque y del líquido contenido, lb

#### 2.2.8.3.1.3 MÉTODOS ALTERNATIVOS

La sección 1634.4 permite los siguientes dos métodos como una alternativa de la Sección 3.2.1:

1. Un análisis con espectro de respuesta que incluye consideraciones del movimiento anticipado actual del suelo en el sitio y los efectos inerciales del líquido contenido.
2. Un diseño en base al tipo particular de tanque por una norma nacional aprobada, previsto de las zonas sísmicas y categorías de ocupación de acuerdo con las provistas en la Sección 1629.4 y 162932, respectivamente.

#### 2.2.8.3.1.4 MÉTODO BOCA (NATIONAL BUILDING CODE) Y SBC (STANDARD BUILDING CODE)

Estas normas no nos dan provisiones específicas para el diseño de estructuras contenedoras de líquidos. Algunas secciones de estas normas nos indican que provisiones del ASCE 7 pueden ser usadas para el diseño de estas estructuras.

## 2.2.8.3.1.5 MÉTODO ACI 350.3.

Las provisiones de la ACI 350.3 pueden ser usadas como un diseño alternativo para satisfacer los criterios de análisis. Las provisiones de la ACI 350.3 son compatibles con el UBC 1994 que involucra las fuerzas de sismo del nivel de servicio.

## MODELO DINÁMICO

Para el cálculo de las masas equivalentes de líquidos acelerados

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

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

Donde:

$W_i$  = Masa impulsiva, lb (kN)

$W_c$  = Masa convectiva, lb (kN)

$W_L$  = Masa del líquido, lb (kN)

$D$  = Diámetro del tanque, ft (m)

$H_L$  = Altura del líquido contenido en el tanque, ft (m)

Para el cálculo de las alturas al centro de gravedad (Excluyendo la presión de la base, EBP)

Para tanques con:

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

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

Para tanques con:

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

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

Para todos los tanques:

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

Donde:

D = Diámetro interior, ft (m)

hi = Altura al centro de gravedad de la masa impulsiva, ft (m)

hc = Altura al centro de gravedad de la masa convectiva, ft (m)

hL = Altura del líquido contenido, ft (m)

Cálculo de las alturas al centro de gravedad (Incluyendo la presión de la base, IBP)

Para tanques con:

$$\frac{D}{H_L} < 0.75$$

$$\frac{h_i'}{H_L} = 0.45$$

Para tanques con:

$$\frac{D}{H_L} \geq 0.75$$

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

Para todos los tanques:

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

**Propiedades Dinámicas**

Cálculo de la frecuencia circular del modo impulsivo de vibración (sistema inglés):

$$\omega_i = C_l x \frac{12}{H_L} \sqrt{\frac{E_c}{\rho_c}}$$

Donde:

$\omega_i$  = Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración, rad/seg

$C_l$  = Coeficiente para determinar la frecuencia fundamental del sistema estanque-líquido

$H_L$  = Altura del líquido contenido en el tanque, ft

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, lb/in<sup>2</sup>

$\rho_c$  = Densidad de masa del concreto, lb-s<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup>

Y en el sistema internacional:

$$\omega_i = C_l x \frac{1}{H_L} \sqrt{\frac{10^3 E_c}{\rho_c}}$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, Mpa

$\rho_c$  = Densidad de masa del concreto, kN-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

$H_L$  = Altura del líquido contenido en el tanque, m

Coeficientes para determinar la frecuencia fundamental del sistema estanque-líquido:

$$C_l = C_w x 10 \sqrt{\frac{t_w}{12R}} \quad (\text{en Sist. Ingles})$$

$$C_l = C_w x \sqrt{\frac{t_w}{10R}} \quad (\text{en SI})$$

Donde:

$R$  = Radio del reservorio, ft (m)



$T_w$  = Espesor uniforme de la pared, in (mm)

$C_w$  se obtiene de la figura 17

Para el cálculo del periodo fundamental de oscilación del estanque (más la componente impulsiva del contenido) usamos la relación:

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

Donde:

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

$T_i$  = Periodo fundamental de oscilación del estanque, s

Cálculo de la frecuencia circular de oscilación del 1er modo convectivo de batimiento de agua:

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

Donde:

$\omega_c$  = Frecuencia circular de oscilación del 1er modo convectivo de batimiento de agua, rad/s

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

Para el cálculo del periodo natural del primer modo (convectivo) de batimiento de agua:

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

Donde:

$T_c$  = Periodo natural del primer modo (convectivo) de batimiento de agua, s



La determinación de los factores de amplificación espectral  $C_i$  y  $C_c$  usamos las relaciones:

Para  $C_i$ :

Para  $T_i \leq 0.31 \text{ s}$

$$C_i = \frac{2.75}{S}$$

Para  $T_i > 0.31 \text{ s}$

$$C_i = \frac{1.25}{T_i^{2/3}} \leq \frac{2.75}{S}$$

Para  $C_c$ :

Para  $T_c \geq 2.4 \text{ s}$

$$C_c = \frac{6.0}{T_c^2}$$

En la En la práctica,  $T_c$ , usualmente será mayor que 2.4 segundos. En los casos en que  $T_c < 2.4 \text{ s}$ , puede aproximarse usando la siguiente ecuación:

$$C_c = 1.5x \frac{1.25}{T_c^{2/3}} = \frac{1.875}{T_c^{2/3}} \leq \frac{2.75}{S}$$

$C_i$  o  $C_c$  puede ser tomado de una forma conservadora como  $2.75/S$ , para cualquier estanque.

Para la determinación de la masa efectiva en tanques circulares se usa la relación:

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

## PARÁMETROS PARA DETERMINAR LAS FUERZAS DINÁMICAS LATERALES:

**Factor Sísmico de Zona (Z)**

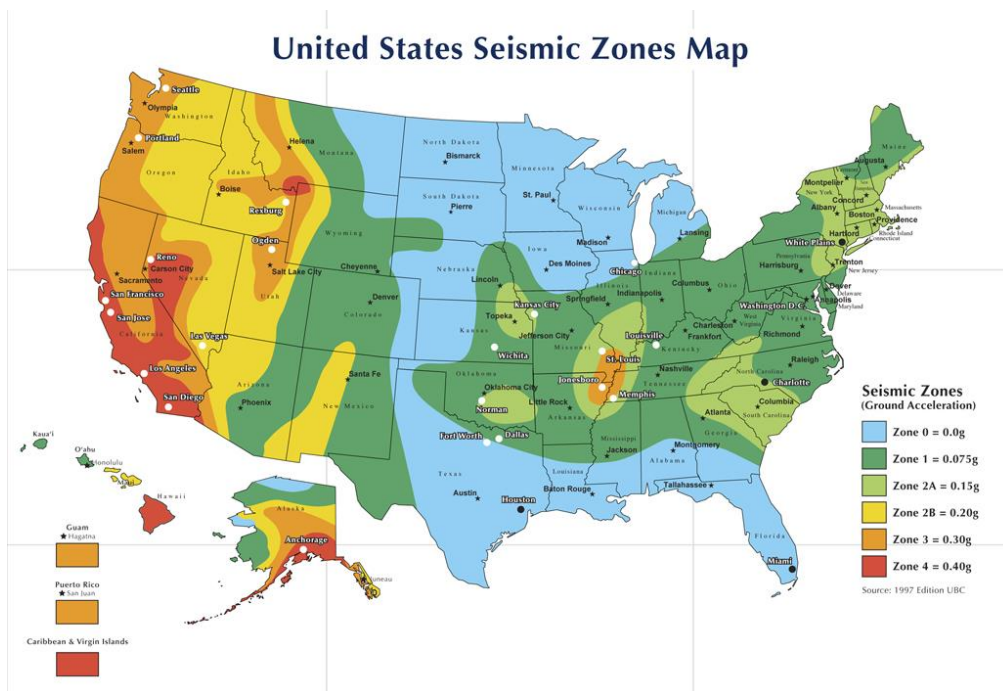
Factor Sísmico de Zona, el cual representa la aceleración máxima efectiva correspondiente al movimiento del suelo teniendo un 90% de probabilidad de no excederla en un periodo de 50 años:

**Tabla 8: Factor Sísmico de Zona (Z)**

Factor Sísmico de Zona (Z)	
Zona Sísmica	Factor Z
1	0.075
2A	0.15
2B	0.20
3	0.30
4	0.40

**Fuente: ACI 350.3-01**

Figura 10: Factor Sísmico de Zona (Z)



Fuente: [www.nishkian.com/what-happened-to-seismic-zones/](http://www.nishkian.com/what-happened-to-seismic-zones/)

### Coeficiente de perfil de suelo (S)

El coeficiente de perfil de suelo S, será establecido de datos geotécnicos correctamente verificados. En lugares donde no se sepan las características del suelo en suficiente detalle para determinar el perfil del suelo, el tipo C será usado.

El perfil tipo D del suelo no necesita ser asumido a menos que el profesional encargado determine que el perfil D puede estar presente en el sitio, o en la eventualidad que el perfil D se establezca con datos geotécnicos.

**Tabla 9: Coeficiente de perfil de suelo (S)**

COEFICIENTE DE PERFIL DE SUELO (S)		
TIPO	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL	COEFICIENTE
A	Perfil con: (a) material rocoso caracterizado por una velocidad de onda de corte mayor que 2500 pies/seg (762 m/s), o por otra forma conveniente de clasificación; o (b) medio-densa a densa o semi-rígido a rígido con profundidades menores a 200 pies ( 60960 mm)	1.0
B	Un perfil de suelo con predominancia de condiciones de suelo medio-densa a densa o semi-rígida a rígida, donde la profundidad del estrato excede 200 pies (60960 mm)	1.2
C	Un perfil de suelo con más de 20 pies (6096 mm) de arcilla blanda pero no más de 40 pies (12 192 mm) de arcilla blanda.	1.5
D	Perfil de suelo con más de 40 pies (12192 mm) de arcilla blanda caracterizado por una velocidad de onda de corte menor que 500 pies/seg (152.4 m/s)	2.0

Fuente: ACI 350.3-01

### Factor de Importancia (I)

Para tanques que contengan materiales peligrosos, el factor ingenieril puede necesitar  $I > 1.5$  para considerar un terremoto mayor al terremoto de diseño.

**Tabla 10: Factor de Importancia (I)**

Factor de Importancia (I)	
Uso del tanque	Factor I
Tanques que contienen material peligroso	1.5
Tanques cuyo contenido es usable para distintos propósitos después de un terremoto, o tanques que son parte de sistemas de salvataje	1.25
Otros	1.0

Fuente: ACI 350.3-01

**Factor de modificación de respuesta (Rw)****Tabla 11: Factor de modificación de respuesta (Rw)**

Factor de modificación de respuesta (Rw)			
Tipo de Estructura	Rwi superficial o en pendiente	Enterrado	Rwc
(a) Anclados	4.5	4.5++	1.0
(b) Empotrados o simple apoyo	2.75	4	1.0
(c) No anclados, llenos o vacíos	2.0	2.75	1.0
(d) Tanques elevados	0.4	-	1.0

\* El tanque enterrado se define como tanque en el cual el nivel piezométrico máximo con agua en descanso está a nivel de terreno o nivel subterráneo. Para tanques parcialmente enterrados, el valor de Rwi se puede obtener de interpolación lineal de los valores para tanques en superficie y tanques enterrados.



++ $R_{wi}=4.5$  es el máximo valor que puede adoptar  $R_{wi}$  para cualquier tipo de tanques de concreto.

\*\*Tanques no anclados, vacíos no deben ser construidos en zona sísmica 2B o mayor.

**Fuente: ACI 350.3-01**

### Fuerzas dinámicas laterales

Las fuerzas dinámicas laterales sobre la base serán determinadas como sigue:

$$P_w = ZSIC_i x \frac{\varepsilon W_w}{R_{wi}}$$

$$P'_w = ZSIC_i x \frac{\varepsilon W'_w}{R_{wi}}$$

$$P_r = ZSIC_i x \frac{\varepsilon W_r}{R_{wi}}$$

$$P_i = ZSIC_i x \frac{\varepsilon W_i}{R_{wi}}$$

$$P_c = ZSIC_c x \frac{\varepsilon W_c}{R_{wc}}$$

Donde:

$P_w$  = Fuerza de inercia lateral de la aceleración de muro, lb (kN)

$P'_w$  = Fuerza lateral de inercia de una aceleración de muro (tanques rectangulares) lb (kN)

$P_r$  = Fuerza de inercia lateral de aceleración de la cubierta, lb (kN)

$P_i$  = Fuerza total impulsiva, lb (kN)

$P_c$  = Fuerza total convectiva, lb (kN)

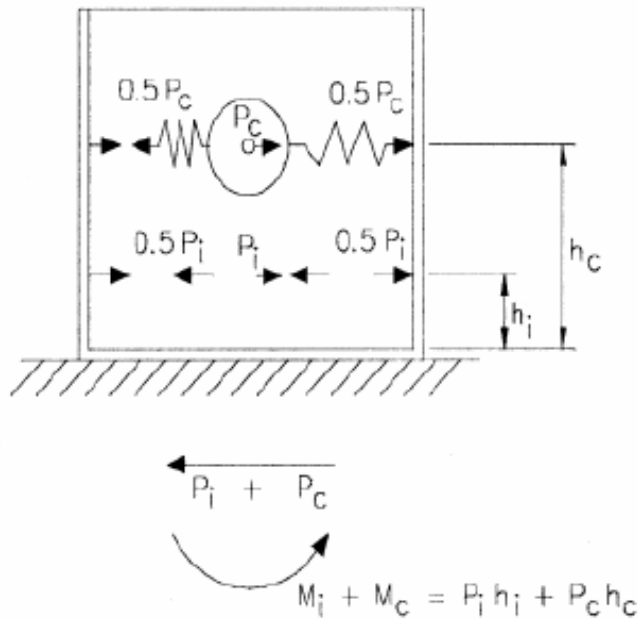
$Z$  = Factor Sísmico de Zona

$S$  = Coeficiente de Perfil de Suelo

$I$  = Factor de Importancia

- Rwi = Factor de modificación de respuesta
- Ci = Factor de amplificación de espectro período-dependiente para los movimientos horizontales de la componente impulsiva.
- Cc = Factor de amplificación de espectro período-dependiente para los movimientos horizontales de la componente convectiva.
- $\epsilon$  = Coeficiente de masa efectiva

**Figura 11: Equilibrio dinámico de fuerzas horizontales**



**Fuente: ACI 350.3-01**

**Corte basal total, ecuación general**

El corte basal debido a fuerzas sísmicas aplicado en el fondo del estanque será determinado por la siguiente ecuación:

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$$

**Fuerzas dinámicas laterales**

Los momentos debidos a fuerzas sísmicas en la base del estanque serán determinados por:



El momento de flexión en la sección transversal completa del estanque, apenas sobre la base de la pared del estanque (EBP):

$$M_w = P_w \times h_w$$

$$M_r = P_r \times h_r$$

$$M_i = P_i \times h_i$$

$$M_c = P_c \times h_c$$

$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$$

Donde:

M<sub>w</sub> = Momento de inercia lateral de la aceleración del muro, lb-ft (kN-m)

M<sub>r</sub> = Momento de inercia lateral de la aceleración de la cubierta, lb-ft (kN-m)

M<sub>i</sub> = Momento total impulsivo asociada a W<sub>i</sub>, lb-ft (kN-m)

M<sub>c</sub> = Momento total convectivo asociada a W<sub>c</sub>, lb-ft (kN-m)

M<sub>b</sub> = Momento flector de toda la sección transversal del tanque sobre la base del muro de éste, lb-ft (kN-m)

El momento volcante en la base del estanque, incluyendo el fondo del estanque y estructura soportante (IBP):

$$M_w = P_w \times h_w$$

$$M_r = P_r \times h_r$$

$$M'_i = P_i \times h'_i$$

$$M'_c = P_c \times h'_c$$

$$M_o = \sqrt{(M'_i + M_w + M_r)^2 + M'^2_c}$$

Donde:

M'<sub>i</sub> = Momento total impulsivo asociada a W<sub>i</sub>, lb-ft (kN-m)

M'<sub>c</sub> = Momento total convectivo asociada a W<sub>c</sub>, lb-ft (kN-m)

$M_o$  = Momento volcante en la base del estanque, incluyendo el fondo de este y la estructura soportante, lb-ft (kN-m)

### Desplazamiento vertical máximo

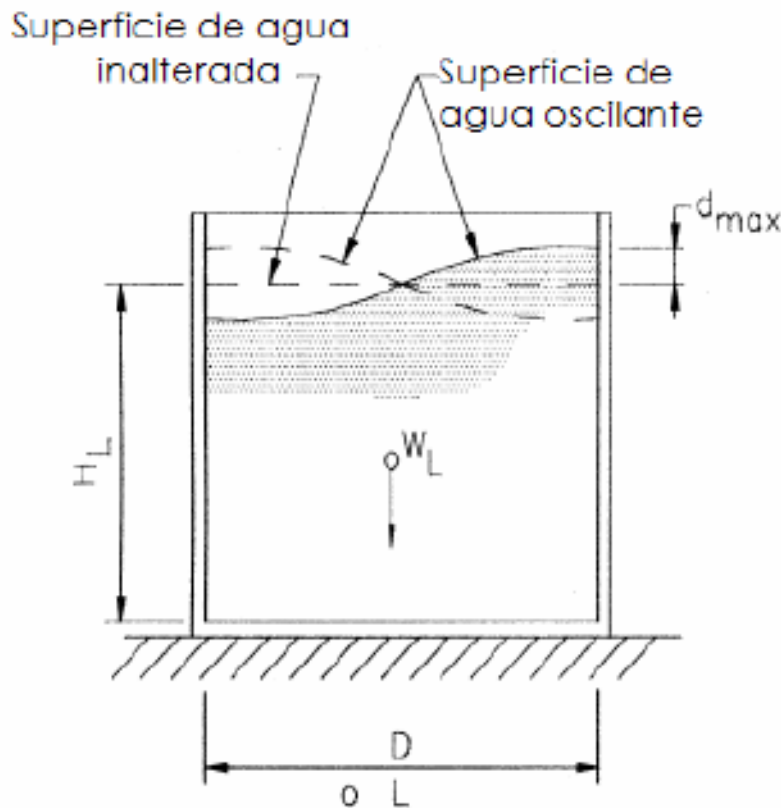
La aceleración horizontal sísmica hace que el fluido contenido comience a batirse (chapoteo), con desplazamiento vertical de la superficie de fluido. El desplazamiento vertical máximo  $d_{max}$ , puede ser calculado por las siguientes expresiones:

$$(a) \quad d_{max} = \left(\frac{L}{2}\right) (ZSI \times C_c) \text{ Rectangular}$$

$$(b) \quad d_{max} = \left(\frac{D}{2}\right) (ZSI \times C_c) \text{ Circular}$$

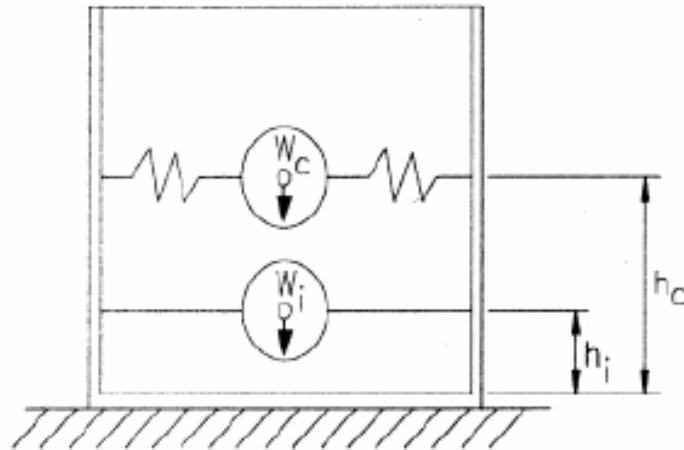
Donde  $C_c$  es el factor de amplificación espectral.

**Figura 12: Movimiento del fluido del tanque**



Fuente: ACI 350.3-01

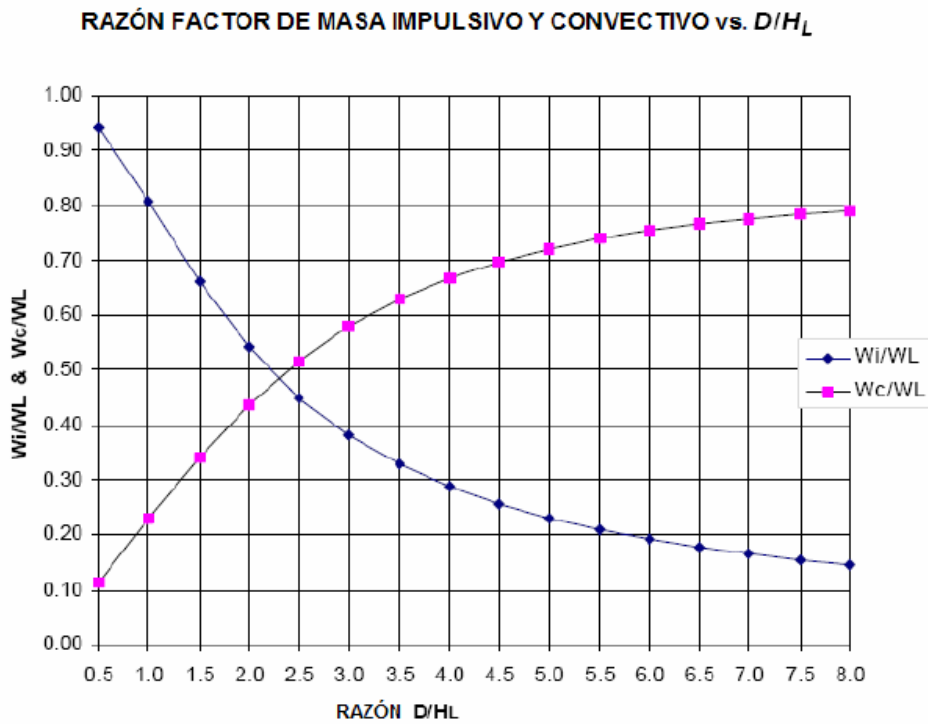
Figura 13: Modelo dinámico



Fuente: ACI 350.3-01

Para la determinación de las masas impulsiva y convectiva podemos usar el siguiente gráfico:

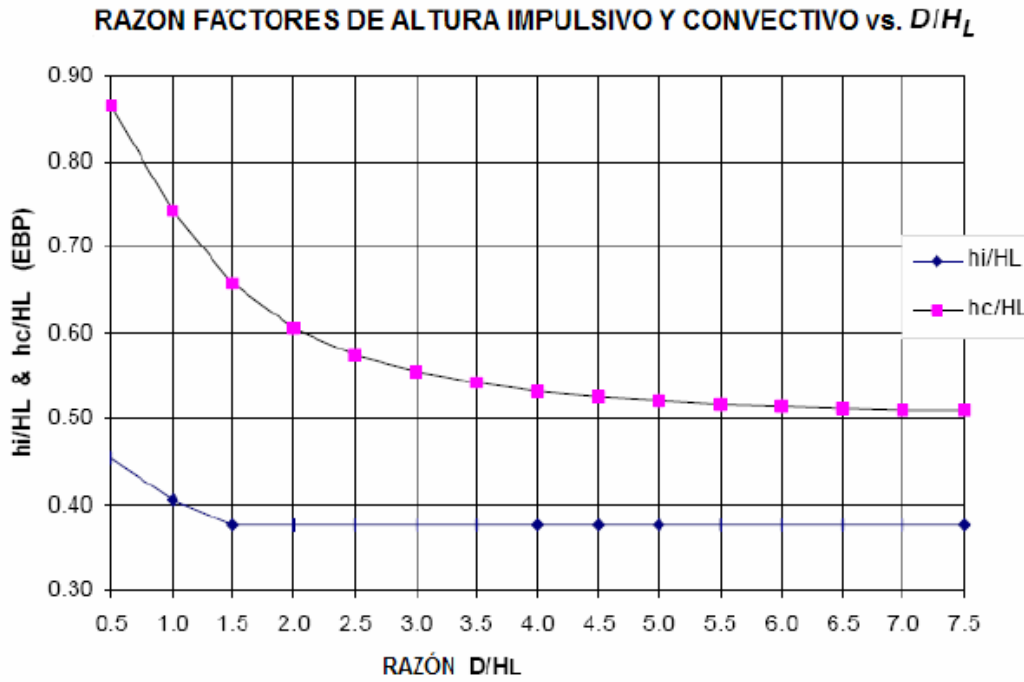
Figura 14: Masas impulsiva y convectiva



Fuente: ACI 350.3-01

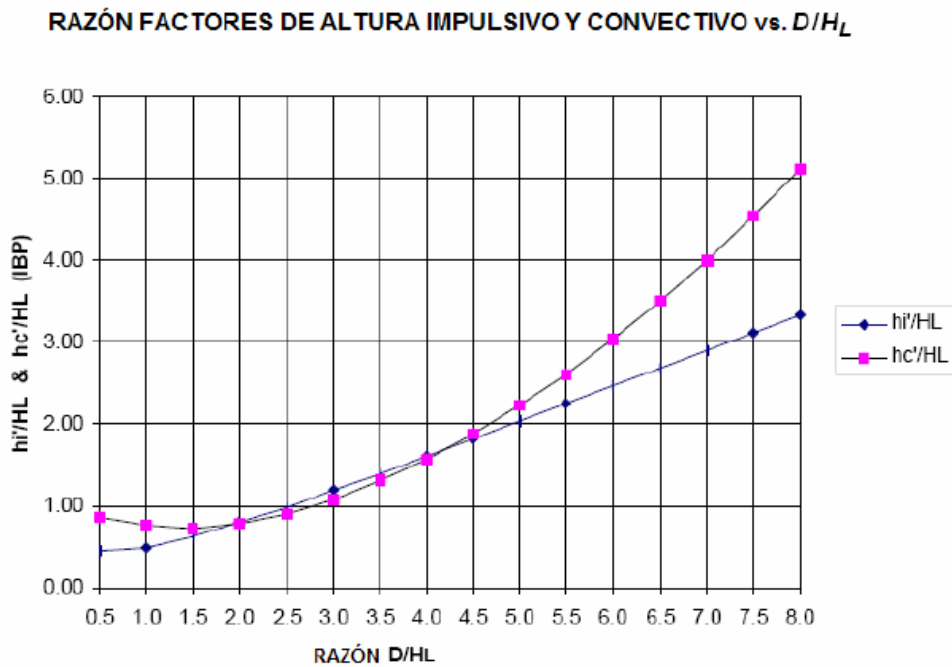
Para la determinación de las alturas al centro de gravedad de las masas impulsiva y convectiva podemos usar los siguientes gráficos:

Figura 15: Alturas al C.G. de las masas impulsiva y convectiva



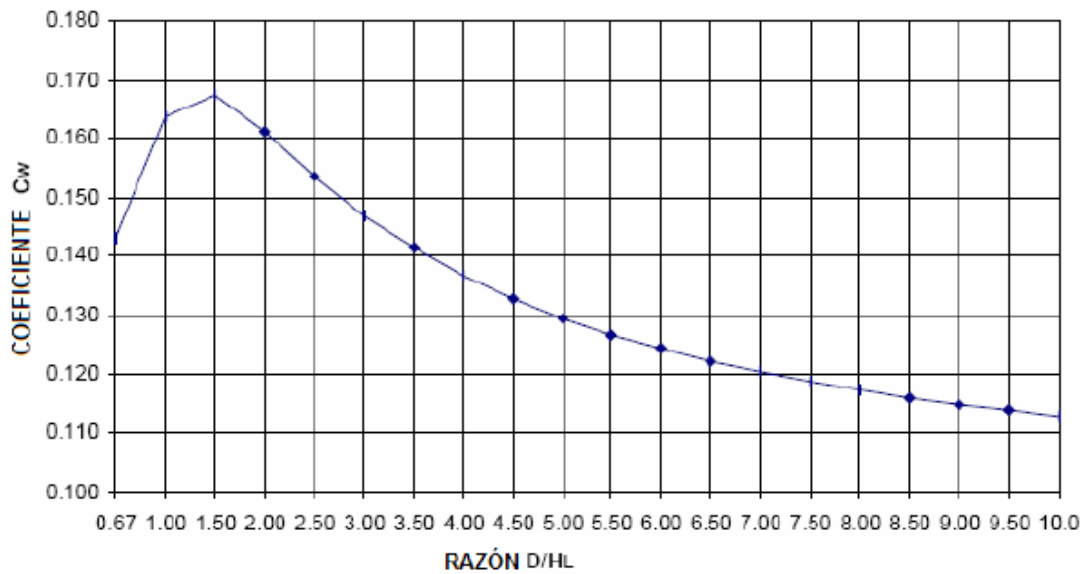
Fuente: ACI 350.3-01

Figura 16: Alturas al C.G. de las masas impulsiva y convectiva



Fuente: ACI 350.3-01

Para la determinación del factor  $C_w$  se usa el siguiente gráfico:

Figura 17: Factor  $C_w$ 

Fuente: ACI 350.3-01

O podemos usar la expresión:

$$C_w = 9.375 \times 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{H_L}{D}\right) - 0.1034 \left(\frac{H_L}{D}\right)^2 - 0.1253 \left(\frac{H_L}{D}\right)^3 + 0.1267 \left(\frac{H_L}{D}\right)^4 - 3.186 \times 10^{-2} \left(\frac{H_L}{D}\right)^5$$

## 2.2.8.3.2 ANÁLISIS DINÁMICO

### 2.2.8.3.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE DINÁMICA ESTRUCTURAL

#### 2.2.8.3.2.1.1 DINÁMICA

Según García (1998), la dinámica, dentro del contexto de la mecánica, es el estudio de los cuerpos, o conjuntos de partículas, en movimiento.

La dinámica se divide en dos campos: la cinemática, la cual estudia la geometría del movimiento, relacionando el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo, sin hacer referencia a las causas del movimiento; y la cinética, la cual estudia la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, la masa del cuerpo y su movimiento, permitiendo predecir los movimientos que causan las fuerzas, o determinar las fuerzas necesarias para producir un movimiento dado.

Cuando un cuerpo se desplaza de una posición de equilibrio estable, el cuerpo tiende a volver a esta posición al verse afectado por la acción de fuerzas que tienden a restablecer la situación de equilibrio; este puede ser el caso de las fuerzas gravitacionales en un péndulo, o de las fuerzas elásticas impuestas por un resorte en el caso de una masa apoyada en él.

En general en el instante que el cuerpo vuelve a su posición de equilibrio tiene alguna velocidad que lo lleva más allá de esa posición, presentándose una oscilación alrededor del punto de equilibrio.

Estas oscilaciones en el campo de la mecánica se denominan vibraciones mecánicas.

#### 2.2.8.3.2.1.2 FRECUENCIA Y PERIODO

Según Paz (1992), habitualmente el periodo se expresa en segundos por ciclo o simplemente en segundos, entendiéndose tácitamente que se trata de segundos por ciclo. El valor recíproco del periodo es la frecuencia natural,  $f$ .

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

La frecuencia natural  $f$  se expresa generalmente en hercios o ciclos por segundo (cps). Debido a que la cantidad  $\omega$  sólo difiere de la frecuencia natural  $f$  en el factor constante  $2\pi$ , también algunas veces se le denomina frecuencia natural.

Para distinguir entre estas dos expresiones de la frecuencia natural, se puede llamar a  $\omega$  frecuencia circular o angular. A menudo estas dos cantidades se distinguen por el contexto o por las unidades. La frecuencia natural  $f$  se expresa en cps, como se ha indicado, mientras que la frecuencia circular  $\omega$  se da en radianes por segundo (rad/seg).

Según Bazán y Meli (2004) la respuesta máxima de un sistema a un temblor varía principalmente con el periodo de vibración. Los reglamentos de construcción estipulan espectros de diseño cuyas ordenadas dependes del periodo de vibración.



La determinación del periodo de la estructura es resultado del análisis dinámico de la estructura.

Según Fratelli (2001) la respuesta dinámica de una estructura depende de dos factores fundamentales: Su periodo de vibración y la forma de desplazamiento supuesto; estos criterios son válidos tanto para los sistemas elementales de un grado de libertad, como para los de múltiples grados de libertad.

#### 2.2.8.3.2.1.3 TIPOS DE EXCITACIÓN DINÁMICA

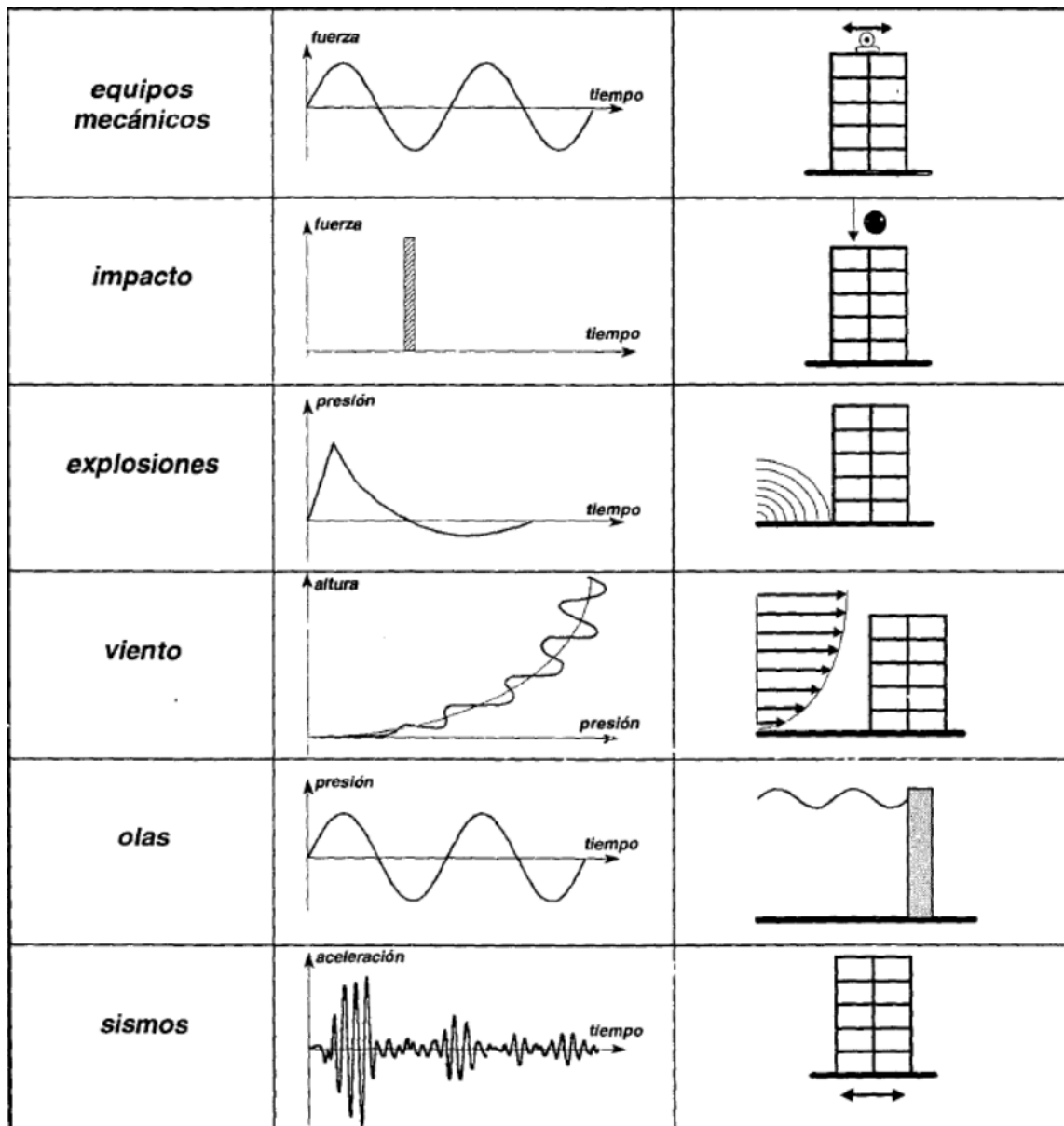
Según García (1998), toda estructura se ve afectada numerosas veces durante su vida por efectos dinámicos que van desde magnitudes despreciables, hasta efectos que pueden poner en peligro su estabilidad.

Dentro de los tipos de excitación dinámica que pueden afectar una estructura, o un elemento estructural, se cuenta entre otros:

- Causada por equipos mecánicos - Dentro de este grupo están los efectos causados por maquinarias y equipos que tengan componentes que roten o se desplacen periódicamente.
- Causada por impacto - El hecho de que una masa sufra una colisión con otra, induce una fuerza impulsiva aplicada sobre las dos masas, la cual induce vibraciones.
- Causada por explosiones - Una explosión produce ondas de presión en el aire, o movimientos del terreno. Ambos efectos afectan estructuras localizadas cerca del lugar de la explosión.
- Causada por el viento - La intensidad de las presiones que ejercen el viento sobre las estructuras varía en el tiempo. Esto induce efectos vibratorios sobre ellas.

- Causada por olas - En las estructuras hidráulicas las olas inducen efectos dinámicos correspondientes a las variaciones del empuje hidráulico sobre ellas.
- Causada por sismos - El efecto sobre las estructuras de los movimientos del terreno producidos por la ocurrencia de un sismo conduce a vibraciones importantes de la estructura.

**Figura 18: Tipos de excitación Dinámica**



Fuente: García (1998)



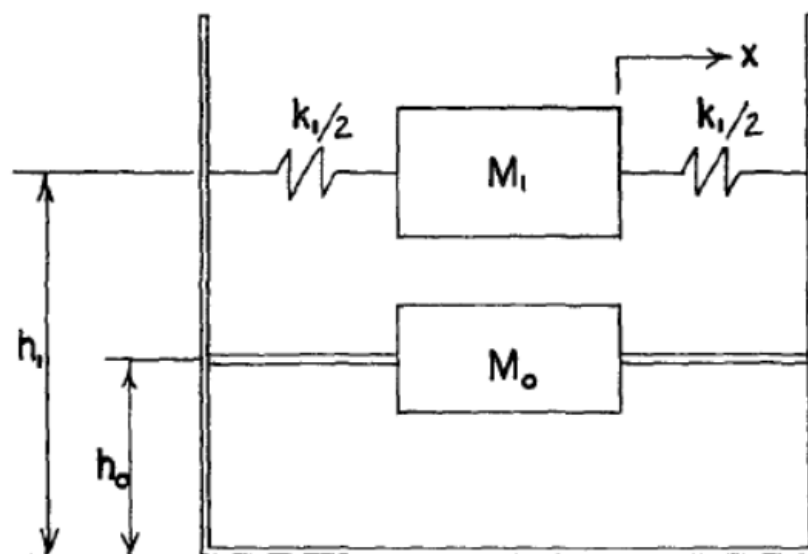
### 2.2.8.3.2.2 MÉTODO DE HOUSNER

#### 2.2.8.3.2.2.1 MODELO MECÁNICO PARA TANQUES.

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

Housner, en su modelo, representa el movimiento del agua contenida dentro del tanque de paredes rígidas por medio de un modelo en el cual se encuentra una parte total de la masa del agua fija al movimiento de las paredes del tanque y con el nombre de masa impulsiva; y la otra parte de la masa es modelada como masas móviles conectadas a la pared del tanque por medio de resortes y recibe el nombre de masa convectiva.

**Figura 19: Modelo Mecánico para Tanques**



**Fuente: Housner (1963)**

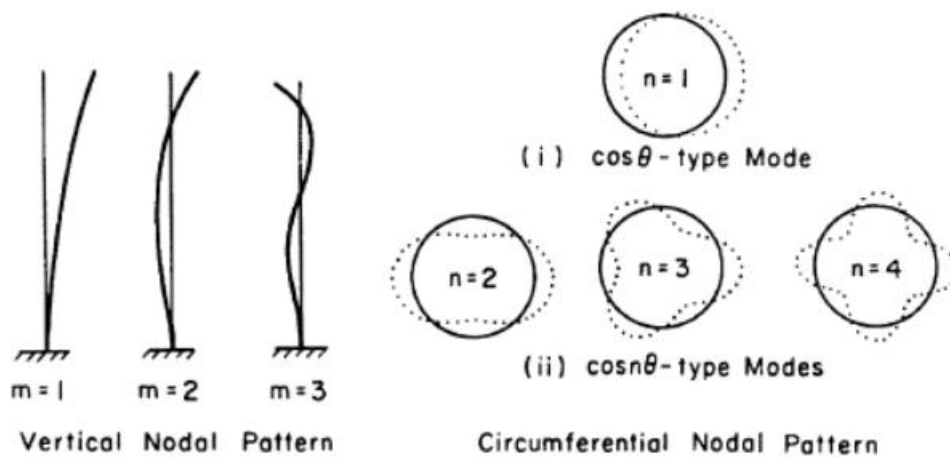
#### 2.2.8.3.2.2.2 MODOS DE VIBRACIÓN DEL LÍQUIDO EN EL TANQUE

Según Haroun (1980), Para un tanque cilíndrico, el modo natural a la vibración libre lateral puede ser clasificado como del modo tipo  $\cos\theta$  para la cual existe una onda coseno que tiende a ocasionar la deflexión en la dirección circunferencial, y un modo

tipo  $\cos n\theta$  para la cual la deflexión del cilindro relaciona a varias ondas de trayectoria circunferencial y vertical a lo largo del tanque.

Para un tanque alto ( $L > R$ ) el modo tipo  $\cos\theta$  puede ser representado como una viga tipo debido a que el tanque tiene un comportamiento asimilable a una viga en voladizo. Adicionalmente el modo vibracional del líquido en tanques cilíndricos de pared delgada tiene un nodo de frecuencia de oscilación baja.

**Figura 20: Modos de vibración del líquido**



**Fuente: Housner (1963)**

#### 2.2.8.3.2.2.3 MODELO MATEMÁTICO TANQUES CIRCULARES

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

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

Para los efectos impulsivos:

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

$$h_o = \frac{3}{8} h$$

Efectos convectivos:

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

$$h_1 = h \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \tanh\left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R}\right)} + \frac{1}{\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R} \sinh\left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R}\right)}\right)$$

$$\omega_1 = \frac{g}{R} \sqrt{\frac{27}{8}} \tanh\left(\sqrt{\frac{27}{8}} \frac{h}{R}\right)$$

$$k = M_1 \omega^2$$

Donde:

- R = Radio interior del estanque, m
- h = Altura del fluido almacenado, m
- g = Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>
- M = Masa total del líquido almacenado, tn
- M<sub>o</sub> = Masa impulsiva del líquido, tn
- h<sub>o</sub> = Altura a la cual se ubica la masa impulsiva, m
- M<sub>1</sub> = Masa convectiva del líquido, tn
- h<sub>1</sub> = Altura a la cual se ubica la masa convectiva, m
- k = Rigidez requerida para la oscilación de la masa convectiva, tn/m
- ω<sub>1</sub> = Frecuencia de oscilación de la masa convectiva, rad/s

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de Investigación es cuantitativa porque se mide las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio Zona Sur Este, para dos métodos de análisis.

Es decir, se mide las fuerzas, esfuerzos, deformaciones, periodos de vibración, entre otros parámetros obtenidos de los análisis sísmicos que realizados al Reservorio Zona Sur Este.

#### 3.1.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel o alcance de la investigación es el descriptivo porque busca describir las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio cuando éste esté sometido a un análisis dinámico.

También tiene implicancias correlacionales puesto que la investigación muestra la comparación entre las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio cuando éste se encuentre sometido a sollicitaciones sísmicas, utilizando dos metodologías de análisis dinámico.

#### 3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método es el hipotético deductivo o científico, puesto que para la investigación se comenzó desde una hipótesis y a través de las deducciones cuantificadas que se realizaron a los parámetros de respuesta estructural se determinaron los resultados finales de la investigación.

### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación está enmarcada dentro del diseño no experimental, es una investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables

independientes, es decir, que las condiciones para el análisis del reservorio no se modifican, se observa el fenómeno tal y como se da en su contexto. Se estudia las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio para cuando se tenga la eventualidad de un sismo.

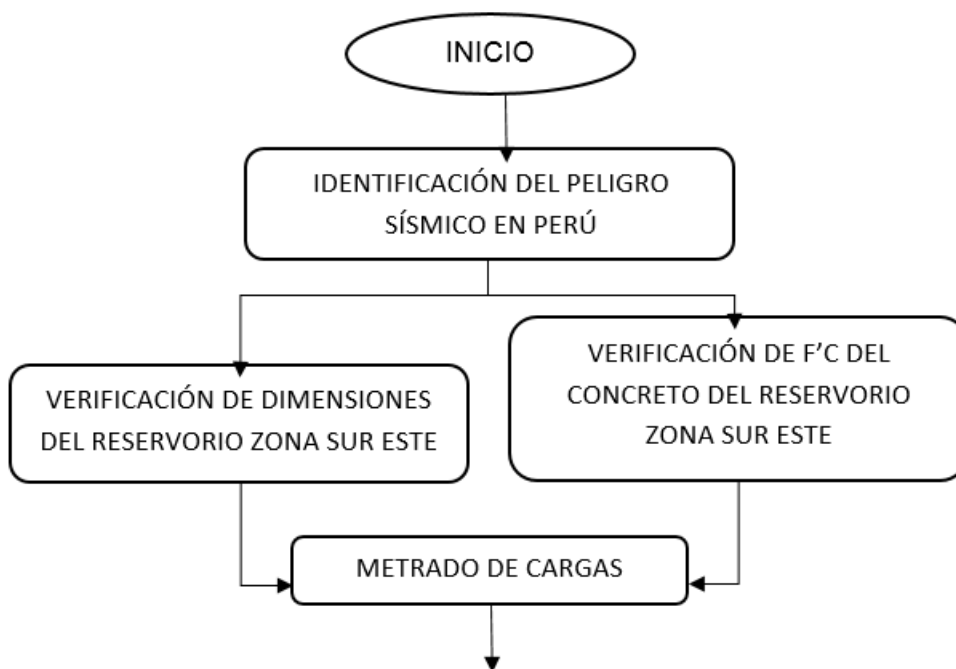
### 3.2.1.1 TIPO DE DISEÑO METODOLÓGICO

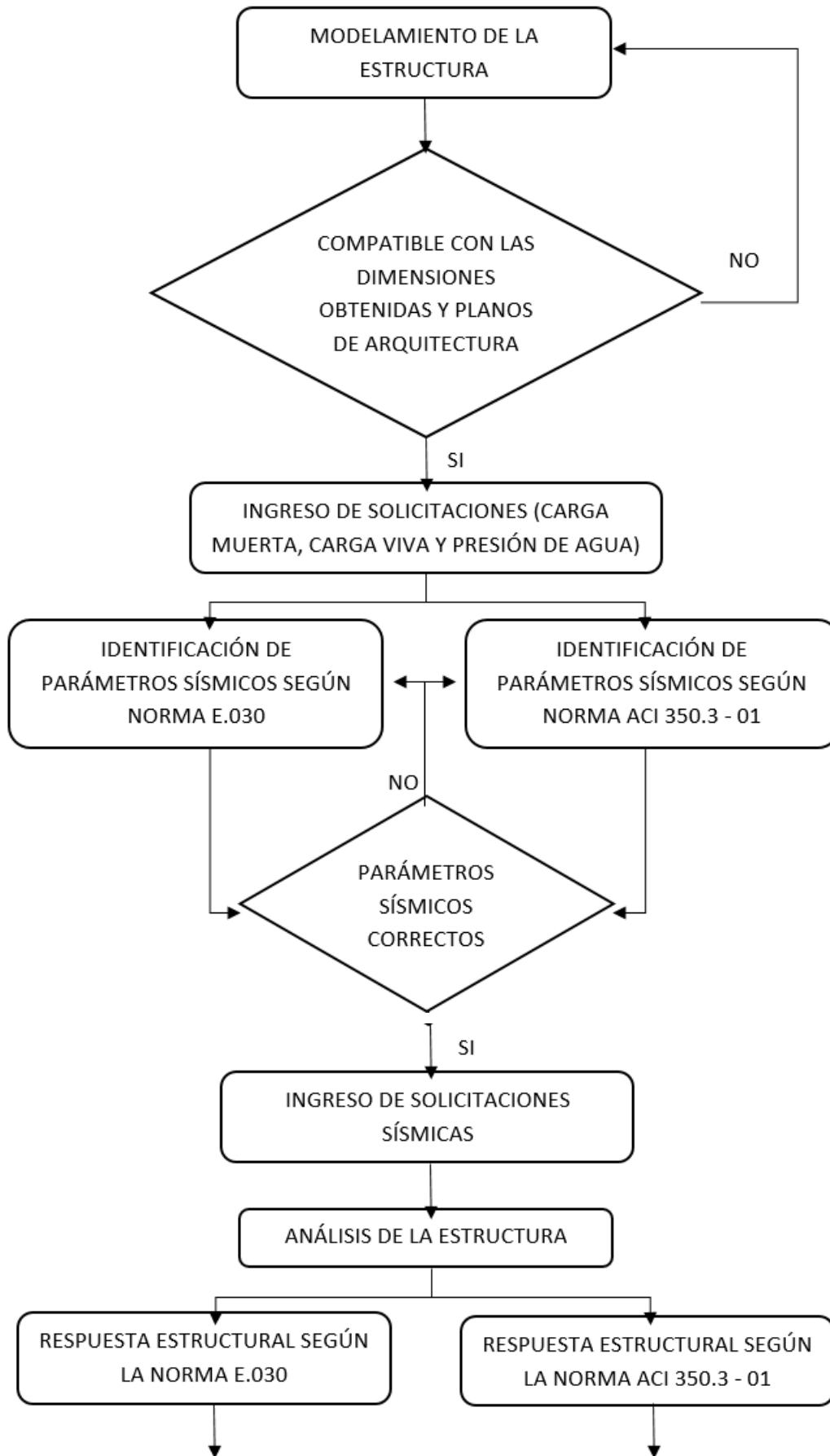
Es una investigación no experimental transeccional o transversal, puesto que los datos se recolectan en un solo momento, en un tiempo único. Es decir, se describe las variables en un momento dado que vendría a ser cuando ocurra el sismo.

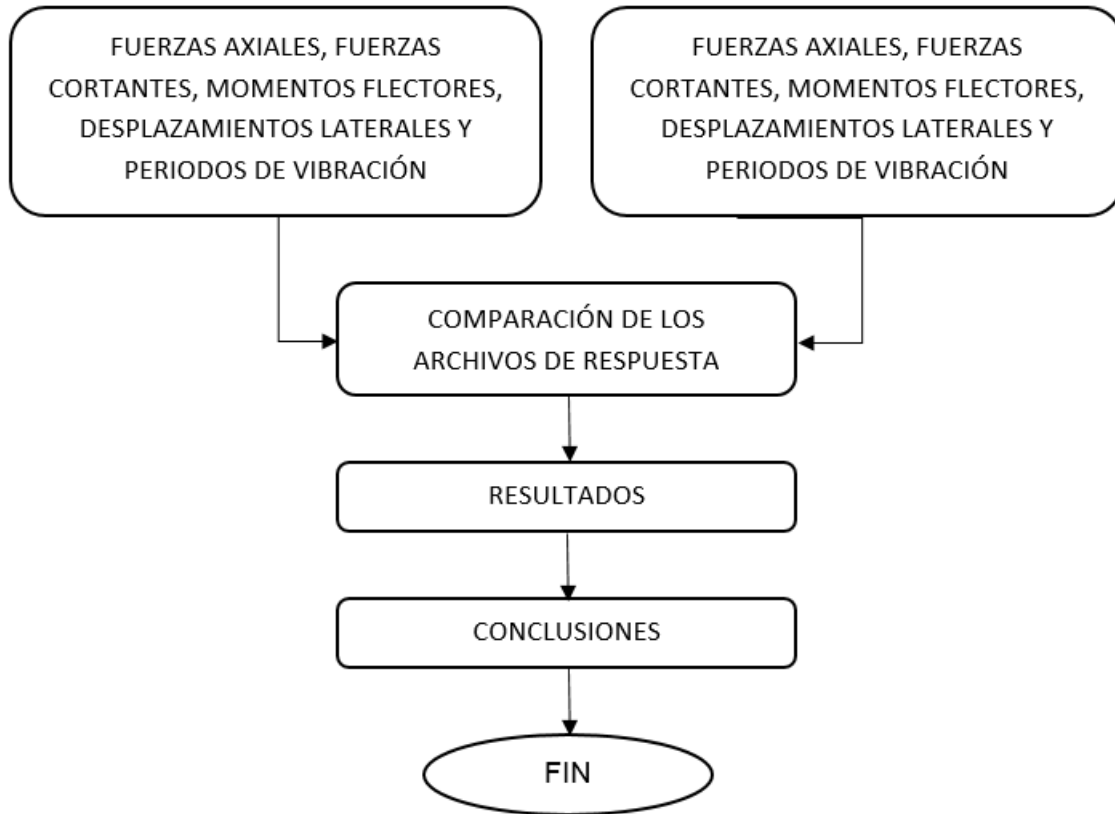
### 3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA

Se presenta el flujograma de los trabajos a seguir desde el punto de vista de la ingeniería:

**Figura 21: Flujograma de Procesos**







Fuente: Elaboración propia

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1 POBLACIÓN

##### 3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

La población en la cual se aplicará la investigación son todos los elementos estructurales de la estructura de categoría A, edificación esencial (E.030 Sismorresistente) Reservoirio Zona Sur Este ubicado en la Ciudad del Cusco, con una sismicidad asociada a la Zona 2.

Enmarcada además, con las siguientes particularidades:

- Sistema estructural de muro de concreto armado para las paredes del reservorio con cubierta tipo cáscara de concreto armado con  $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$



- El Reservoirio Zona Sur Este es de tipo apoyado, con sistema de muro empotrado en la base y capacidad máxima de agua de 1830 m<sup>3</sup>.

Figura 22: Ubicación del Reservoirio



Fuente: Expediente técnico

Estas características representan la totalidad de la población a estudiar

### 3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población está conformada por los parámetros de respuesta estructural como fuerzas, esfuerzos, deformaciones y periodos de vibración del Reservoirio Zona Sur Este de la Ciudad del Cusco.

### 3.3.2 MUESTRA

#### 3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra es de tipo Censal puesto que se estudia al 100% de la población. En otras palabras, la población y la muestra constituye las fuerzas, esfuerzos y deformaciones





del reservorio, al cual se aplica las cargas estáticas y dinámicas para el análisis de los parámetros de respuesta estructural.

### 3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra está conformada por los parámetros de respuesta estructural como fuerzas, esfuerzos, deformaciones y periodos de vibración del Reservorio Zona Sur Este de la Ciudad del Cusco.

### 3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO

El muestreo es no probabilístico, puesto que para la investigación se cuenta con un elemento de estudio que es el reservorio Zona Sur Este, siendo el tipo de muestreo por conveniencia.

Los valores a escoger para el análisis de los resultados fueron de una franja lateral de 2 m de largo y con altura del muro del modelo del reservorio (elementos tipo shells), tomando en consideración que, estos valores no varían en el perímetro del muro del reservorio, más sí en la altura del mismo.

De los valores obtenidos de los elementos shells en la franja del muro del modelo del reservorio, se tomaron en consideración los valores máximos, puestos que éstos son los más críticos dentro del análisis.

### 3.3.2.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA

Para la evaluación de la muestra se aplicaron los criterios de la norma “DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS CONTENEDORAS DE LÍQUIDOS (ACI 350.3-01) Y COMENTARIOS (350.3R-01)” con consideraciones de la norma E.030 sismorresistente para el territorio peruano.

Se usaron también la Norma E.020 Cargas, E.060 Concreto Armado para la aplicación de sobrecargas y combinaciones de carga en el modelo del Reservorio Zona Sur Este.



Se usó la norma ACI 350-01 Código de requerimiento para Estructuras de Concreto Medio Ambiental para obtener las combinaciones de carga de la norma americana.

Se usó el antecedente del año 2007, del Sr. Gustavo F. Vidal Parra para la obtención de las relaciones de Housner (1963) de los efectos dinámicos de una estructura circular contenedora de líquidos.

### 3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

La investigación presentó los siguientes criterios de inclusión:

Estudios de la verificación de la capacidad de carga admisible para la construcción del Reservorio Zona Sur Este – Cusco presentados en el Expediente Técnico del Proyecto “Construcción del Reservorio Zona Sur Este Ciudad del Cusco”

El reservorio Zona Sur Este es del tipo apoyado en el suelo, con sistema estructural de muros estructurales con cubierta tipo cáscara; siendo además de la categoría A, edificación esencial (E. 030 Sismorresistente).

Estructura de concreto armado con  $f'c=245$  kg/cm<sup>2</sup> con una capacidad máxima de 1830 m<sup>3</sup> de agua.


## 3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.4.1 INSTRUMENTOS


#### 3.4.1.1 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 3.4.1.1.1 FORMATOS DE OBTENCIÓN DE DATOS

3.4.1.1.1.1 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA E.030



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESEVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**

**AUTOR :** BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI

**FECHA :**


**FORMATO N°01**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA E.030**

Z =	
U =	
S =	
R =	


T	C	ZUCS	Sa
0.00			
0.10			
0.20			
0.30			
0.40			
0.50			
0.60			
0.70			
0.80			
0.90			
1.00			
1.10			
1.20			
1.30			
1.40			
1.50			
1.60			
1.70			
1.80			
1.90			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			

T	C	ZUCS	Sa
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			
4.10			
4.20			
4.30			
4.40			
4.50			
4.60			
4.70			
4.80			
4.90			
5.00			
5.10			
5.20			
5.30			
5.40			
5.50			
5.60			
5.70			
5.80			
5.90			
6.00			
6.50			
7.00			
7.50			
8.00			
8.50			
9.00			
9.50			
10.00			

3.4.1.1.1.2 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA IMPULSIVA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE


AUTOR : BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI

FECHA :


**FORMATO N°02**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA A CI 350.3-01 (MASA IMPULSIVA)**

<b>Z =</b>		<b>T</b>	<b>Ci</b>	<b>ZiCiS</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Ci</b>	<b>ZiCiS</b>	<b>Sa</b>
I =		0.00				3.60			
S =		0.10				3.70			
Rwi =		0.20				3.80			
		0.30				3.90			
		0.40				4.00			
		0.50				4.10			
		0.60				4.20			
		0.70				4.30			
		0.80				4.40			
		0.90				4.50			
		1.00				4.50			
		1.10				4.60			
		1.20				4.70			
		1.30				4.80			
		1.40				4.90			
		1.50				5.00			
		1.60				5.10			
		1.70				5.20			
		1.80				5.30			
		1.90				5.40			
		2.00				5.50			
		2.10				5.60			
		2.20				5.70			
		2.30				5.80			
		2.40				5.90			
		2.50				6.00			
		2.60				6.50			
		2.70				7.00			
		2.80				7.50			
		2.90				8.00			
		3.00				8.50			
		3.10				9.00			
		3.20				9.50			
		3.30				10.00			
		3.40							
		3.50							

3.4.1.1.1.3 CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO SEGÚN NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**

**AUTOR :** BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI

**FECHA :**

**FORMATO N°03**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA A CI 350.3-01 (MASA CONVECTIVA)**

<b>Z =</b>		<b>T</b>	<b>Cc</b>	<b>ZICeS</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Cc</b>	<b>ZICeS</b>	<b>Sa</b>
<b>I =</b>		0.00				3.60			
<b>S =</b>		0.10				3.70			
<b>Rvc =</b>		0.20				3.80			
		0.30				3.90			
		0.40				4.00			
		0.50				4.10			
		0.60				4.20			
		0.70				4.30			
		0.80				4.40			
		0.90				4.50			
		1.00				4.50			
		1.10				4.60			
		1.20				4.70			
		1.30				4.80			
		1.40				4.90			
		1.50				5.00			
		1.60				5.10			
		1.70				5.20			
		1.80				5.30			
		1.90				5.40			
		2.00				5.50			
		2.10				5.60			
		2.20				5.70			
		2.30				5.80			
		2.40				5.90			
		2.50				6.00			
		2.60				6.50			
		2.70				7.00			
		2.80				7.50			
		2.90				8.00			
		3.00				8.50			
		3.10				9.00			
		3.20				9.50			
		3.30				10.00			
		3.40							
		3.50							

3.4.1.1.2 FORMATO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS

3.4.1.1.2.1 FUERZAS AXIALES MÁXIMAS

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
<p>INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE</p>			
AUTOR :	BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI		
FECHA :			
<p><b>FORMATO N°04</b> <b>FUERZAS AXIALES MÁXIMAS</b></p>			
<b>FUERZAS AXIALES</b>			
H	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn/m	Tn/m
0.50			
1.00			
1.50			
2.00			
2.50			
2.84			
3.00			
3.50			
4.00			
4.50			
5.00			
5.50			
6.00			
6.50			

<b>FUERZAS AXIALES MÁXIMAS</b>		
H	CASO DE CARGA	MAX
		Tn/m
0.50		
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
2.84		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50		
6.00		
6.50		

3.4.1.1.2.2 FUERZAS CORTANTES MÁXIMAS



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

AUTOR : BACH. JORGE ANTONIO CUSHUALLPA MAMANI

FECHA :

**FORMATO N°05**  
**FUERZAS CORTANTES**

FUERZAS CORTANTES			
H	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn/m	Tn/m
0.50			
1.00			
1.50			
2.00			
2.50			
2.84			
3.00			
3.50			
4.00			
4.50			
5.00			
5.50			
6.00			
6.50			

FUERZAS CORTANTES MÁXIMAS		
H	CASO DE CARGA	MAX
		Tn/m
0.50		
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
2.84		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50		
6.00		
6.50		

3.4.1.1.2.3 MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 360.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

AUTOR : BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALPA MAMANI

FECHA :

**FORMATO N°06**  
**MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS**

MOMENTOS FLECTORES			
H	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50			
1.00			
1.50			
2.00			
2.50			
2.84			
3.00			
3.50			
4.00			
4.50			
5.00			
5.50			
6.00			
6.50			

MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS		
H	CASO DE CARGA	MAX
		Tn-m/m
0.50		
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
2.84		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50		
6.00		
6.50		



3.4.1.1.2.4 DESPLAZAMIENTOS LATERALES MÁXIMOS



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

AUTOR : BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALPA MAMANI

FECHA :

**FORMATO N°07**  
**DE SPLAZAMIENTOS MÁXIMOS**

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS				
ELEMENTO	CASO DE CARGA	EN EJE X		
		MAX	MIN	ABS
		mm	mm	mm
0.00	ENV			
0.50	ENV			
1.00	ENV			
1.50	ENV			
2.00	ENV			
2.50	ENV			
2.84	ENV			
3.00	ENV			
3.50	ENV			
4.00	ENV			
4.50	ENV			
5.00	ENV			
5.50	ENV			
6.00	ENV			
6.50	ENV			
ELEMENTO	CASO DE CARGA	EN EJE Y		
		MAX	MIN	ABS
		mm	mm	mm
0.00	ENV			
0.50	ENV			
1.00	ENV			
1.50	ENV			
2.00	ENV			
2.50	ENV			
2.84	ENV			
3.00	ENV			
3.50	ENV			
4.00	ENV			
4.50	ENV			
5.00	ENV			
5.50	ENV			
6.00	ENV			
6.50	ENV			

3.4.1.1.2.5 PERIODOS DE VIBRACIÓN



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

AUTOR : BACH. JORGE ANTONIO CUSIUALPA MAMANI


FECHA :

**FORMATO N°08**  
**PERIODOS DE VIBRACIÓN**


PERIODO Y FRECUENCIA DE..		
MODO	Periodo	Frecuencia
	s	rad/s
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

PARTICIPACIÓN DE MASA				
MODO	Periodo	UX	UY	UZ
	S	-	-	-
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

3.4.1.1.3 HOJAS DE CÁLCULO DE INGRESO DE DATOS

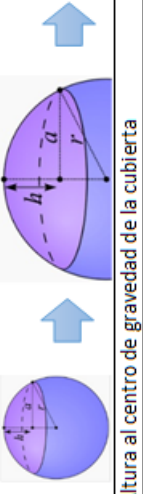


**ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**



Datos de la geometría de la estructura		Sistema ingles	
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Diametro interior	D <sub>i</sub>	m	0.00
Altura de la pared	H <sub>w</sub>	m	0.00
Espesor uniforme de la pared	t <sub>w</sub>	mm	0.00
Díametro del centro del muro	D <sub>muro</sub>	m	0.00

factor de m a ft => 3.2808399  
factor de kg a lb => 2.2046226

Datos de la cúpula		Sistema ingles	
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
	espesor cup	m	0.00
	h	m	0.00
	a	m	0.00
	r	m	0.00
	hr	m	0.00

Altura al centro de gravedad de la cubierta

Datos de los materiales		Sistema ingles	
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del concreto	γ <sub>c</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0.00
Resistencia del concreto	f' <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia del acero	f <sub>y</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	
Gravedad	g	m/seg <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del concreto	E <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	0.00
Densidad de masa del concreto	ρ <sub>c</sub>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	0.00
Densidad de masa del agua contenida	ρ <sub>L</sub>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	0.00



ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

Datos del líquido contenido

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del líquido	$\gamma_L$	kg/m <sup>3</sup>	0.00	$\gamma_L$	lb/ft <sup>3</sup>	0.00
Altura del líquido	H <sub>L</sub>	m		H <sub>L</sub>	ft	0.000
Volumen del líquido contenido	V <sub>liq</sub>	m <sup>3</sup>	0.00	V <sub>liq</sub>	ft <sup>3</sup>	0.00

Datos para análisis Sísmico

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Símbolo	Unidad	Valor
Factor de Zona Sísmica	Z	-		Z	-	0.00
Coficiente de perfil de suelo	S	-		S	-	0.00
Factor de importancia	I	-		I	-	0.00
Factor de Modificación de respuesta	R <sub>wi</sub>	-		R <sub>wi</sub>	-	0.00
	R <sub>wc</sub>	-		R <sub>wc</sub>	-	0.00


### 3.4.1.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Peruana E.020 Cargas.
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente.
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Peruana E.060 Concreto Armado.
- American Concrete Institute – Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (ACI 350.3R-01).
- American Concrete Institute - Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-01) and Commentary (ACI 350R-01).
- Software de Ingeniería SAP2000 v.16




3.4.2 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.2.1 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA NORMA E.030



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**


**AUTOR :** BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALPA MAMANI  
**FECHA :** 16/08/2016

**FORMATO N°01**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA E.030**

Z=	0.25
U=	1.50
S=	1.40
R=	6.00
Tp=	1.00
Tl=	1.60
g=	9.81


T	C	ZUCS	Sa
0.00	2.50	1.313	2.146
0.10	2.50	1.313	2.146
0.20	2.50	1.313	2.146
0.30	2.50	1.313	2.146
0.40	2.50	1.313	2.146
0.50	2.50	1.313	2.146
0.60	2.50	1.313	2.146
0.70	2.50	1.313	2.146
0.80	2.50	1.313	2.146
0.90	2.50	1.313	2.146
1.00	2.50	1.313	2.146
1.10	2.27	1.193	1.951
1.20	2.08	1.094	1.788
1.30	1.92	1.010	1.651
1.40	1.79	0.938	1.533
1.50	1.67	0.875	1.431
1.60	1.56	0.820	1.341
1.70	1.38	0.727	1.188
1.80	1.23	0.648	1.060
1.90	1.11	0.582	0.951
2.00	1.00	0.525	0.858
2.10	0.91	0.478	0.779
2.20	0.83	0.434	0.709
2.30	0.76	0.397	0.649
2.40	0.69	0.365	0.596
2.50	0.64	0.338	0.549
2.60	0.59	0.311	0.508
2.70	0.55	0.288	0.471
2.80	0.51	0.268	0.438
2.90	0.48	0.250	0.408
3.00	0.44	0.233	0.382
3.10	0.42	0.219	0.357
3.20	0.39	0.205	0.335
3.30	0.37	0.193	0.315
3.40	0.35	0.182	0.297
3.50	0.33	0.171	0.280

T	C	ZUCS	Sa
3.60	0.31	0.162	0.265
3.70	0.29	0.153	0.251
3.80	0.28	0.145	0.238
3.90	0.26	0.138	0.226
4.00	0.25	0.131	0.215
4.10	0.24	0.125	0.204
4.20	0.23	0.119	0.195
4.30	0.22	0.114	0.186
4.40	0.21	0.108	0.177
4.50	0.20	0.104	0.170
4.60	0.19	0.099	0.162
4.70	0.18	0.095	0.155
4.80	0.17	0.091	0.149
4.90	0.17	0.087	0.143
5.00	0.16	0.084	0.137
5.10	0.15	0.081	0.132
5.20	0.15	0.078	0.127
5.30	0.14	0.075	0.122
5.40	0.14	0.072	0.118
5.50	0.13	0.069	0.114
5.60	0.13	0.067	0.109
5.70	0.12	0.065	0.106
5.80	0.12	0.062	0.102
5.90	0.11	0.060	0.099
6.00	0.11	0.058	0.095
6.50	0.09	0.050	0.081
7.00	0.08	0.043	0.070
7.50	0.07	0.037	0.061
8.00	0.06	0.033	0.054
8.50	0.06	0.029	0.048
9.00	0.05	0.026	0.042
9.50	0.04	0.023	0.038
10.00	0.04	0.021	0.034






3.4.2.2 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA  
NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA IMPULSIVA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**




**INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**

**AUTOR :** BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALPA MAMANI  
**FECHA :** 16/08/2016


**FORMATO N°02**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA A CI 350.3-01 (MASA IMPULSIVA)**

Z =		T	Ci	ZICiS	Sa	T	Ci	ZICiS	Sa
I =	0.25	0.00	1.83	0.859	3.066	3.60	0.53	0.249	0.890
S =	1.25	0.10	1.83	0.859	3.066	3.70	0.52	0.245	0.874
Rwi =	1.50	0.20	1.83	0.859	3.066	3.80	0.51	0.241	0.858
g =	2.75	0.30	1.83	0.859	3.066	3.90	0.50	0.236	0.844
	9.81	0.40	1.83	0.859	3.066	4.00	0.50	0.233	0.829
		0.50	1.83	0.859	3.066	4.10	0.49	0.229	0.816
		0.60	1.76	0.824	2.938	4.20	0.48	0.225	0.803
		0.70	1.59	0.743	2.651	4.30	0.47	0.222	0.790
		0.80	1.45	0.680	2.425	4.40	0.47	0.218	0.778
		0.90	1.34	0.629	2.242	4.50	0.46	0.215	0.767
		1.00	1.25	0.588	2.090	4.60	0.45	0.212	0.756
		1.10	1.17	0.550	1.962	4.70	0.45	0.209	0.745
		1.20	1.11	0.519	1.851	4.80	0.44	0.206	0.735
		1.30	1.05	0.492	1.755	4.90	0.43	0.203	0.725
		1.40	1.00	0.468	1.670	5.00	0.43	0.200	0.715
		1.50	0.95	0.447	1.595	5.10	0.42	0.198	0.705
		1.60	0.91	0.428	1.528	5.20	0.42	0.195	0.696
		1.70	0.88	0.411	1.467	5.30	0.41	0.193	0.688
		1.80	0.84	0.396	1.413	5.40	0.41	0.190	0.679
		1.90	0.81	0.382	1.363	5.50	0.40	0.188	0.671
		2.00	0.79	0.369	1.317	5.60	0.40	0.186	0.663
		2.10	0.76	0.357	1.275	5.70	0.39	0.184	0.655
		2.20	0.74	0.346	1.236	5.80	0.39	0.182	0.647
		2.30	0.72	0.336	1.200	5.90	0.38	0.179	0.640
		2.40	0.70	0.327	1.168	6.00	0.38	0.177	0.633
		2.50	0.68	0.318	1.135	6.50	0.36	0.168	0.600
		2.60	0.66	0.310	1.105	7.00	0.34	0.160	0.571
		2.70	0.64	0.302	1.078	7.50	0.33	0.153	0.546
		2.80	0.63	0.295	1.052	8.00	0.31	0.146	0.523
		2.90	0.61	0.288	1.028	8.50	0.30	0.141	0.502
		3.00	0.60	0.282	1.005	9.00	0.29	0.135	0.483
		3.10	0.59	0.276	0.983	9.50	0.28	0.131	0.466
		3.20	0.58	0.270	0.963	10.00	0.27	0.128	0.450
		3.30	0.56	0.264	0.943				
		3.40	0.55	0.259	0.924				
		3.50	0.54	0.254	0.907				

3.4.2.3 DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO SEGÚN LA  
NORMA ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**


**AUTOR :** BACH. JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI  
**FECHA :** 16/08/2016

**FORMA TO N°03**  
**CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA A CI 350.3-01 (MA SA CONVECTIVA)**


Z =		T	Cc	ZICcS	Sa	T	Cc	ZICcS	Sa
I =	0.25	0.00	1.83	0.859	8.430	3.80	0.46	0.217	2.129
S =	1.25	0.10	1.83	0.859	8.430	3.70	0.44	0.205	2.015
Rwc =	1.50	0.20	1.83	0.859	8.430	3.80	0.42	0.195	1.911
g =	1.00	0.30	1.83	0.859	8.430	3.90	0.39	0.185	1.814
	9.81	0.40	1.83	0.859	8.430	4.00	0.38	0.178	1.724
		0.50	1.83	0.859	8.430	4.10	0.38	0.167	1.641
		0.60	1.83	0.859	8.430	4.20	0.34	0.159	1.584
		0.70	1.83	0.859	8.430	4.30	0.32	0.152	1.492
		0.80	1.83	0.859	8.430	4.40	0.31	0.145	1.425
		0.90	1.83	0.859	8.430	4.50	0.30	0.139	1.383
		1.00	1.83	0.859	8.430	4.60	0.28	0.133	1.304
		1.10	1.76	0.825	8.091	4.70	0.27	0.127	1.249
		1.20	1.66	0.778	7.635	4.80	0.26	0.122	1.198
		1.30	1.57	0.738	7.239	4.90	0.25	0.117	1.149
		1.40	1.50	0.702	6.890	5.00	0.24	0.113	1.104
		1.50	1.43	0.671	6.580	5.10	0.23	0.108	1.061
		1.60	1.37	0.642	6.303	5.20	0.22	0.104	1.020
		1.70	1.32	0.617	6.053	5.30	0.21	0.100	0.982
		1.80	1.27	0.594	5.827	5.40	0.21	0.096	0.946
		1.90	1.22	0.573	5.621	5.50	0.20	0.093	0.912
		2.00	1.18	0.554	5.432	5.60	0.19	0.090	0.880
		2.10	1.14	0.536	5.258	5.70	0.18	0.087	0.849
		2.20	1.11	0.520	5.097	5.80	0.18	0.084	0.820
		2.30	1.08	0.504	4.948	5.90	0.17	0.081	0.793
		2.40	1.04	0.488	4.790	6.00	0.17	0.078	0.768
		2.50	0.98	0.450	4.415	6.50	0.14	0.067	0.653
		2.60	0.89	0.416	4.081	7.00	0.12	0.057	0.563
		2.70	0.82	0.386	3.785	7.50	0.11	0.050	0.491
		2.80	0.77	0.359	3.519	8.00	0.09	0.044	0.431
		2.90	0.71	0.334	3.281	8.50	0.08	0.039	0.382
		3.00	0.67	0.313	3.068	9.00	0.07	0.035	0.341
		3.10	0.62	0.293	2.871	9.50	0.07	0.031	0.308
		3.20	0.59	0.275	2.694	10.00	0.06	0.028	0.278
		3.30	0.55	0.258	2.534				
		3.40	0.52	0.243	2.387				
		3.50	0.49	0.230	2.252				



3.4.2.4 HOJAS DE CÁLCULO DATOS INGRESADOS

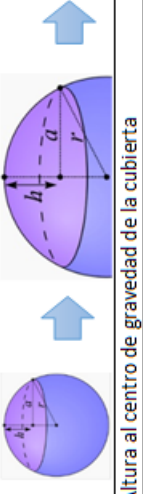


**ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**



Datos de la geometría de la estructura		
Descripción	Símbolo	Valor
Diametro interior	D <sub>i</sub>	20.9
Altura de la pared	H <sub>w</sub>	6.5
Espesor uniforme de la pared	t <sub>w</sub>	300
Diámetro del centro del muro	D <sub>muro</sub>	21.20

factor de m a ft => 3.2808399  
factor de kg a lb => 2.2046226

Datos de la cúpula		
Descripción	Símbolo	Valor
	espesor cup	0.10
	h	2.65
	a	10.60
	r	22.525
	hr	8.29

factor de m a ft => 3.2808399  
factor de kg a lb => 2.2046226

Datos de los materiales		
Descripción	Símbolo	Valor
Peso volumétrico del concreto	γ <sub>c</sub>	2400.00
Resistencia del concreto	f' <sub>c</sub>	245.00
Resistencia del acero	f <sub>y</sub>	4200.00
Gravedad	g	9.81
Módulo de elasticidad del concreto	E <sub>c</sub>	234787.14
Densidad de masa del concreto	ρ <sub>c</sub>	2.40
Densidad de masa del agua contenida	ρ <sub>L</sub>	1.00

Sistema ingles		
Símbolo	Unidad	Valor
D <sub>i</sub>	ft	68.570
H <sub>w</sub>	ft	21.325
t <sub>w</sub>	in	11.811
D <sub>muro</sub>	ft	69.55

espesor cup	ft	0.33
h	ft	8.69
a	ft	34.78
r	ft	73.90
hr	ft	27.198

γ <sub>c</sub>	lb/ft <sup>3</sup>	150
f' <sub>c</sub>		
f <sub>y</sub>		
g	ft/s <sup>2</sup>	32.19
E <sub>c</sub>	lb/in <sup>2</sup>	3339471.42
ρ <sub>c</sub>	lb-s <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>	4.66
ρ <sub>L</sub>	lb-s <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>	1.94



ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE

Datos del líquido contenido

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del líquido	γ <sub>L</sub>	kg/m <sup>3</sup>	1000.00	kN/m <sup>3</sup>	9.81	62.43
Altura del líquido	H <sub>L</sub>	m	5.33	ft		17.487
Volumen del líquido contenido	V <sub>liq</sub>	m <sup>3</sup>	1828.56	ft <sup>3</sup>		64575.05

Datos para análisis Sísmico

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Símbolo	Unidad	Valor
Factor de Zona Sísmica	Z	-	0.25	Z	-	0.25
Coefficiente de perfil de suelo	S	-	1.50	S	-	1.50
Factor de Importancia	I	-	1.25	I	-	1.25
Factor de Modificación de respuesta	R <sub>wi</sub>	-	2.75	R <sub>wi</sub>	-	2.75
	R <sub>wc</sub>	-	1.00	R <sub>wc</sub>	-	1.00

### 3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 3.5.1 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS NORMATIVOS

Se realizó un análisis comparativo de los artículos de las normas ACI 350.3 y E.030, de las cuáles se obtienen los parámetros para el cálculo del espectro de respuesta que cada norma utiliza para el análisis.

##### 3.5.1.1 FACTOR DE ZONA

Según nuestra norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente, nuestro territorio se encuentra clasificado en 4 zonas sísmicas; cada zona sísmica tiene un factor que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido, la cual tiene una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de aceleración de la gravedad.

En la norma americana ACI 350.3 - 01 encontramos 5 zonas sísmicas, cada zona con un factor de zona sísmica Z que el pico máximo de aceleración efectiva el cual corresponde al movimiento de suelo teniendo un 90% de probabilidad de no ser excedida en 50 años.

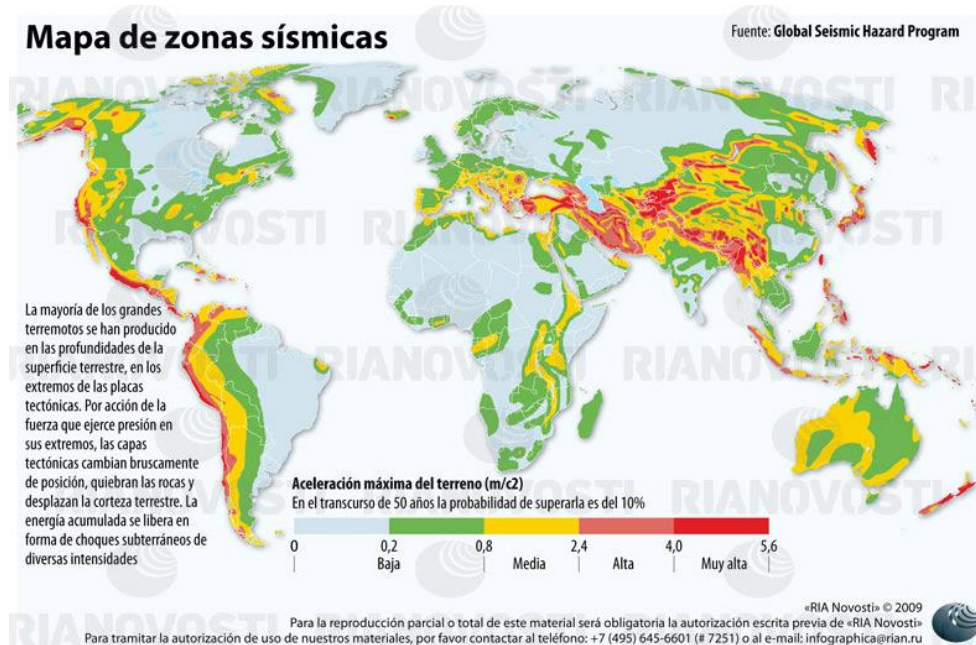
Tabla 12: Comparación de la zonificación sísmica

NORMA E.030		ACI 350.3 - 01																											
Se identifican 4 zonas sísmicas:		Se identifican 4 zonas sísmicas, estando la zona 2 dividida en dos:																											
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Factores de zona</th></tr><tr><th>Zona</th><th>Z</th></tr></thead><tbody><tr><td>4</td><td>0.45</td></tr><tr><td>3</td><td>0.35</td></tr><tr><td>2</td><td>0.25</td></tr><tr><td>1</td><td>0.10</td></tr></tbody></table>		Factores de zona		Zona	Z	4	0.45	3	0.35	2	0.25	1	0.10	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Factor Sísmico de Zona (Z)</th></tr><tr><th>Zona Sísmica</th><th>Factor Z</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0.075</td></tr><tr><td>2A</td><td>0.15</td></tr><tr><td>2B</td><td>0.20</td></tr><tr><td>3</td><td>0.30</td></tr><tr><td>4</td><td>0.40</td></tr></tbody></table>		Factor Sísmico de Zona (Z)		Zona Sísmica	Factor Z	1	0.075	2A	0.15	2B	0.20	3	0.30	4	0.40
Factores de zona																													
Zona	Z																												
4	0.45																												
3	0.35																												
2	0.25																												
1	0.10																												
Factor Sísmico de Zona (Z)																													
Zona Sísmica	Factor Z																												
1	0.075																												
2A	0.15																												
2B	0.20																												
3	0.30																												
4	0.40																												

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que los valores de factor sísmico que se dan en ambas normas son semejantes, y esto se debe a que las isoaceleraciones que se dan en un país continúan a lo largo de todo el continente y no son independientes para cada uno como se observa va en la siguiente figura:

Figura 23: Mapa zonas sísmicas del mundo



Fuente: Global seismic Hazard Program

### 3.5.1.2 COEFICIENTE DE SUELO

La norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente clasifica nuestro territorio en 5 perfiles de suelo considerando sus propiedades como la velocidad promedio de propagación de ondas de corte, el promedio ponderado de los N60 mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada. Cada perfil de suelo tiene un factor el cual es seleccionado con relación al factor de zona.

La norma americana ACI 350.3 - 01 tiene 4 perfiles de suelo en su clasificación. Esta clasificación de perfil de suelo la realiza según la velocidad de onda de corte y el espesor de la misma.

El perfil A con: (a) material rocoso caracterizado por una velocidad de onda de corte mayor a 762 m/s; o (b) medio-densa a densa o semi-rígido a rígido con profundidades

menores a 60.96 m. El perfil B de suelo con predominancia de condiciones de suelo medio-densa a densa o semi-rígida a rígida, donde la profundidad del estrato excede 60.96 m. El perfil C con más de 6.10 m de arcilla blanda pero no más de 12.19 m de arcilla blanda. El perfil D con más de 12.19 m de arcilla blanda caracterizado por una velocidad de onda de corte menor que 152.4 m/s.

Tabla 13: Comparación de los factores de Suelo

NORMA E.030					ACI 350.3 - 01																															
Se identifican 4 perfiles de suelo, relacionado con el factor de zona:					Se identifican 4 perfiles de suelo:																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">FACTOR DE SUELO (S)</th> </tr> <tr> <th>SUELO ZONA</th> <th>S<sub>0</sub></th> <th>S<sub>1</sub></th> <th>S<sub>2</sub></th> <th>S<sub>3</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z<sub>4</sub></td> <td>0.80</td> <td>1.00</td> <td>1.05</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td>Z<sub>3</sub></td> <td>0.80</td> <td>1.00</td> <td>1.15</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>Z<sub>2</sub></td> <td>0.80</td> <td>1.00</td> <td>1.20</td> <td>1.40</td> </tr> <tr> <td>Z<sub>1</sub></td> <td>0.80</td> <td>1.00</td> <td>1.60</td> <td>2.00</td> </tr> </tbody> </table>							FACTOR DE SUELO (S)					SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	0.80	1.00	1.05	1.10	Z <sub>3</sub>	0.80	1.00	1.15	1.20	Z <sub>2</sub>	0.80	1.00	1.20	1.40	Z <sub>1</sub>	0.80	1.00	1.60	2.00
FACTOR DE SUELO (S)																																				
SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>																																
Z <sub>4</sub>	0.80	1.00	1.05	1.10																																
Z <sub>3</sub>	0.80	1.00	1.15	1.20																																
Z <sub>2</sub>	0.80	1.00	1.20	1.40																																
Z <sub>1</sub>	0.80	1.00	1.60	2.00																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">PERIODOS "T<sub>P</sub>" Y "T<sub>L</sub>"</th> </tr> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">Perfil de Suelo</th> </tr> <tr> <th>S<sub>0</sub></th> <th>S<sub>1</sub></th> <th>S<sub>2</sub></th> <th>S<sub>3</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T<sub>P</sub> (s)</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>T<sub>L</sub> (s)</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table>					PERIODOS "T <sub>P</sub> " Y "T <sub>L</sub> "						Perfil de Suelo				S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	T <sub>P</sub> (s)	0.3	0.4	0.6	1.0	T <sub>L</sub> (s)	3.0	2.5	2.0	1.6								
PERIODOS "T <sub>P</sub> " Y "T <sub>L</sub> "																																				
	Perfil de Suelo																																			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>																																
T <sub>P</sub> (s)	0.3	0.4	0.6	1.0																																
T <sub>L</sub> (s)	3.0	2.5	2.0	1.6																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">COEFICIENTE DE PERFIL DE SUELO (S)</th> </tr> <tr> <th>TIPO</th> <th>COEFICIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>					COEFICIENTE DE PERFIL DE SUELO (S)		TIPO	COEFICIENTE	A	1.0	B	1.2	C	1.5	D	2.0																				
COEFICIENTE DE PERFIL DE SUELO (S)																																				
TIPO	COEFICIENTE																																			
A	1.0																																			
B	1.2																																			
C	1.5																																			
D	2.0																																			

Fuente: Elaboración propia

Se observa que tanto la norma peruana como la norma norte americana tienen 4 perfiles de suelo dentro de su clasificación, siendo sus valores también semejantes. Pero además la norma peruana nos proporciona adicionalmente periodos de vibración

como TP y TL según cada perfil de suelo, pero estos básicamente son para edificaciones.

### 3.5.1.3 FACTOR DE USO

La norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente clasifica las edificaciones en 4 categorías (esenciales, importantes, comunes y temporales) teniendo cada categoría un factor de uso.

La norma americana ACI 350.3 - 01 tiene una clasificación específicamente para estructuras contenedoras de líquidos (reservorios) y esta las hace según la importancia de su uso clasificándolas en 3.

Tabla 14: Comparación de los factores de Uso

NORMA E.030		ACI 350.3 – 01																										
Se identifican 4 categorías de las edificaciones:		Se identifican 3 usos para los contenedores de líquidos:																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE "U"</th> </tr> <tr> <th>CATEGORÍA</th> <th>FACTOR U</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">A</td> <td>A1</td> <td>Ver nota 1 (TABLA )</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Ver nota 2 (TABLA )</td> </tr> </tbody> </table>		CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE "U"		CATEGORÍA	FACTOR U	A	A1	Ver nota 1 (TABLA )	A2	1.5	B	1.3	C	1.0	D	Ver nota 2 (TABLA )	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">FACTOR DE IMPORTANCIA (I)</th> </tr> <tr> <th>USO DEL TANQUE</th> <th>FACTOR I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tanques que contienen material peligroso</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>Tanques cuyo contenido es usable para distintos propósitos después de un terremoto, o tanques que son parte de sistemas de salvataje</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>		FACTOR DE IMPORTANCIA (I)		USO DEL TANQUE	FACTOR I	Tanques que contienen material peligroso	1.5	Tanques cuyo contenido es usable para distintos propósitos después de un terremoto, o tanques que son parte de sistemas de salvataje	1.25	Otros	1.0
CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE "U"																												
CATEGORÍA	FACTOR U																											
A	A1	Ver nota 1 (TABLA )																										
	A2	1.5																										
B	1.3																											
C	1.0																											
D	Ver nota 2 (TABLA )																											
FACTOR DE IMPORTANCIA (I)																												
USO DEL TANQUE	FACTOR I																											
Tanques que contienen material peligroso	1.5																											
Tanques cuyo contenido es usable para distintos propósitos después de un terremoto, o tanques que son parte de sistemas de salvataje	1.25																											
Otros	1.0																											

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que la norma peruana tiene una clasificación más general para las estructuras a comparación de la norma americana que tiene una clasificación específica para estructuras contenedoras de líquidos. Además se observa que ambas



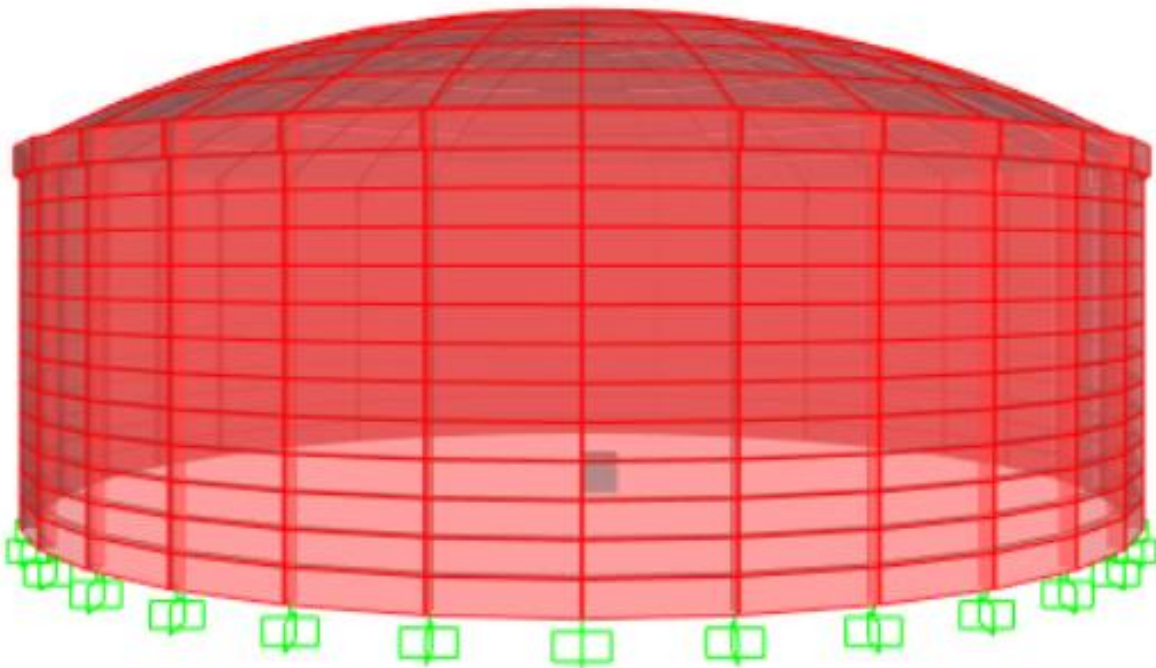
normas tienen valores muy semejantes dependiendo de la importancia de sus estructuras.

#### 3.5.1.4 FACTOR DE REDUCCIÓN Y SISTEMA ESTRUCTURAL

La norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente clasifica los sistemas estructurales según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis y teniendo cada sistema estructural su coeficiente de reducción.

La norma americana ACI 350.3 - 01 tiene valores para los factores de modificación de respuesta según el tipo de estructura contenedora de líquido y para según el modelo planteado en esta norma.

Figura 24: Modelación Reservorio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Comparación de los factores de Reducción

NORMA E.030		ACI 350.3 - 01																											
Los sistemas estructurales se clasifican según el material usado:		Se clasifican según el tipo de estructura y tipo de apoyo de esta: <table border="1" style="margin-top: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="4">FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA (Rw)</th> </tr> <tr> <th>Tipo de Estructura</th> <th>Rwi superficial</th> <th>Enterrado</th> <th>Rwc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Anclados</td> <td>4.5</td> <td>4.5++</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Empotrados o simple apoyo</td> <td>2.75</td> <td>4</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>No anclados, llenos o vacíos</td> <td>2.0</td> <td>2.75</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Tanques elevados</td> <td>0.4</td> <td>-</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>				FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA (Rw)				Tipo de Estructura	Rwi superficial	Enterrado	Rwc	Anclados	4.5	4.5++	1.0	Empotrados o simple apoyo	2.75	4	1.0	No anclados, llenos o vacíos	2.0	2.75	1.0	Tanques elevados	0.4	-	1.0
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA (Rw)																													
Tipo de Estructura	Rwi superficial					Enterrado	Rwc																						
Anclados	4.5					4.5++	1.0																						
Empotrados o simple apoyo	2.75					4	1.0																						
No anclados, llenos o vacíos	2.0					2.75	1.0																						
Tanques elevados	0.4					-	1.0																						
SISTEMAS ESTRUCTURALES																													
Sistema Estructural	Coefficiente Reducción, R estructuras regulares																												
Acero:																													
SMF	8																												
IMF	7																												
OMF	6																												
SCBF	8																												
OCBF	6																												
EBF	8																												
Concreto Armado																													
Pórticos	8																												
Dual	7																												
Muros estructurales	6																												
Muros de ductilidad limitada	4																												
Albañilería Armada o Confinada	3.0																												
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7																												

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que la norma peruana tiene una clasificación según el material usado y el sistema de estructuración a comparación de la norma americana que tiene una clasificación específica para estructuras contenedoras de líquidos y según el modelo dinámico que utiliza al considerar factores para las masas reactivas (convectiva e impulsiva) y según el tipo de apoyo que éstas tienen.



### 3.5.1.5 PERIODO DE VIBRACIÓN

La norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente nos permite calcular el periodo fundamental de vibración de la estructura para cada dirección, pero las relaciones que nos da son para edificaciones y no para el tipo de estructuras como reservorios o estructuras contenedoras de líquidos.

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$  para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean pórticos de concreto armado sin muros de corte o pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$  para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras y pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$  para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales y muros de ductilidad limitada.

$h_N$  = Altura total de la estructura

La norma americana ACI 350.3 - 01 es exclusivamente para contenedores de líquidos y podemos obtener los periodos de vibración para cada una de las masas reactivas planteadas en el modelo; para la masa impulsiva y para la masa convectiva.

Para el cálculo del periodo fundamental de oscilación del estanque (más la componente impulsiva del contenido) usamos la relación:

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

Donde:

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

$T_i$  = Periodo fundamental de oscilación del estanque, s



Para el cálculo del periodo natural del primer modo (convectivo) de batimiento de agua

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

Donde:

$T_c$  = Periodo natural del primer modo (convectivo) de batimiento de agua, s

$D$  = Diámetro, m

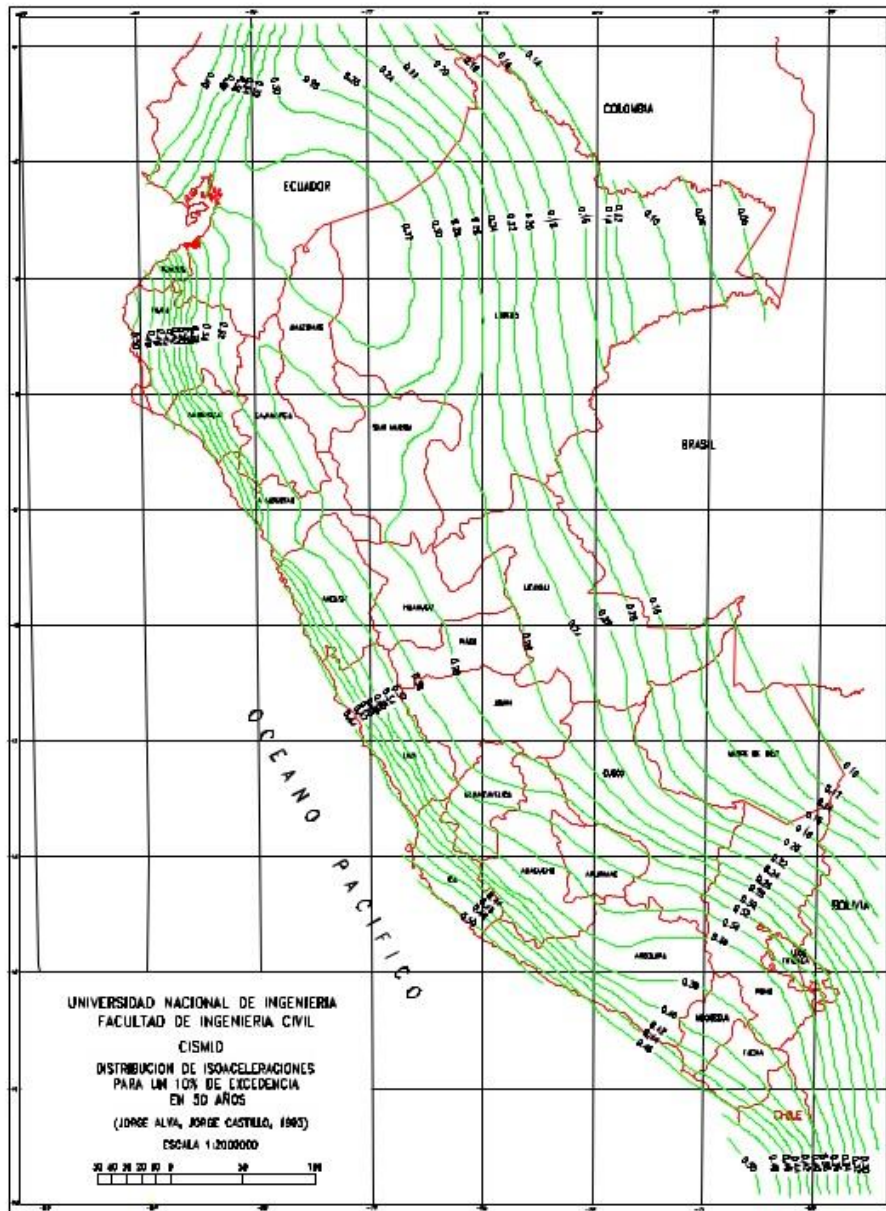
### 3.5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS NORMATIVOS

Se identificaron los valores para el cálculo del espectro de respuesta que cada norma utiliza para el análisis:

#### 3.5.2.1 IDENTIFICACIÓN FACTOR DE ZONA

Aunque tenemos los valores del mapa de isoaceleraciones para 50 años en Perú como se observa en la figura 25, para el cálculo de los espectros de ambas normas se usó el valor de la norma peruana E. 030; puesto que tanto la norma peruana como la americana tienen un valor de probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años:

Figura 25: Mapa de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años



Fuente: CISMID – FIC – UNI

### 3.5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE COEFICIENTE DE SUELO

Las características de la roca están definidas como rocas sedimentarias tipo arenisca de grano fino, y grano medio a grueso nombrado en las conclusiones del Estudio de la verificación de la capacidad de carga admisible para la construcción del Reservorio Zona Sur Este – Cusco presentados en el Expediente Técnico del Proyecto “Construcción del Reservorio Zona Sur Este Ciudad del Cusco”; presentándose estas



mismas características al borde del reservorio perteneciendo estas particularidades al perfil tipo S3: Suelo Blando según la clasificación de la Norma Peruana teniendo un factor de 1.40.

Según la norma americana ACI 350.3 – 01 y las características de la roca al borde del reservorio el tipo de perfil de suelo según esta clasificación es del tipo C con un factor de 1.50.

### 3.5.2.3 IDENTIFICACIÓN DE FACTOR DE USO

Según la norma Peruana y su clasificación de la categoría de las edificaciones, la estructura motivo de la investigación es una Edificación esencial con un factor de uso de 1.50.

Según la Norma ACI y su clasificación de tipo de estructura, el contenedor de líquido motivo de la investigación tiene un uso de abastecimiento de agua potable, con un volumen grande de agua siendo imprescindible su funcionamiento después de un terremoto; considerándole un factor de importancia de 1.25.

### 3.5.2.4 IDENTIFICACIÓN DE FACTOR DE REDUCCIÓN

Según la Norma Peruana, la clasificación de sistema estructural es por el material usado en la estructura, siendo éste de concreto armado de tipo muros estructurales como se observa en la figura 24 teniendo un factor de reducción de 6.

Según la Norma ACI y su clasificación de tipo de estructura, el contenedor de líquido motivo de la investigación se encuentra en los del tipo “Empotrados o Simple apoyo” considerándole un factor de modificación de respuesta de 2.75 para la masa impulsiva, 4 en caso esté enterrado y 1.0 para la masa convectiva.

Tabla 16: Parámetros Identificados para la Norma E.030

PARÁMETROS NORMA E.030		
PARÁMETRO		FACTOR
ZONA	Z	0.25
PERFIL DE SUELO	S	1.40
USO	U	1.50
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA	R	6.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Parámetros Identificados para la Norma ACI 350.3-01

PARÁMETROS NORMA ACI 350.3 - 01		
PARÁMETRO		FACTOR
ZONA	Z	0.25
PERFIL DE SUELO	S	1.50
IMPORTANCIA	I	1.25
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA	Rwi	2.75
	Rwc	1.00

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3 MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

Se realizó el modelamiento del reservorio para poder realizar el análisis de la estructura mediante la aplicación de diferentes casos de cargas como la presión del agua, solicitaciones sísmicas, entre otros.

#### 3.5.3.1 DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES

Las unidades con las que se trabajó en el modelamiento fueron de Tonf, m, C.

Para iniciar el modelamiento de la estructura, primero se definió los materiales con los que se diseñó el proyecto. La resistencia del concreto tanto para la cúpula, los muros y la viga collar fueron de 245 kg/cm<sup>2</sup>.

El módulo de elasticidad del concreto que se utilizó fueron los planteados según la norma peruana ( $15000 \times \text{RAIZ}(f'c)$ ) y la norma norte americana ( $15100 \times \text{RAIZ}(f'c)$ ).

Figura 26: Propiedades de material E.030

The screenshot shows a 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

- Material Name: CONC245
- Material Type: Concrete
- Symmetry Type: Isotropic
- Modulus of Elasticity (E): 2347871.4
- Weight and Mass:
  - Weight per Unit Volume: 2.4
  - Mass per Unit Volume: 0.2447
- Units: Tonf, m, C
- Poisson's Ratio (U): 0.2
- Other Properties for Concrete Materials:
  - Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 2450
  - Lightweight Concrete
  - Shear Strength Reduction Factor: (empty)
- Coeff of Thermal Expansion (A): 9.900E-06
- Shear Modulus (G): 978279.7
- Advanced Material Property Data:
  - Nonlinear Material Data...
  - Material Damping Properties...
  - Time Dependent Properties...
  - Thermal Properties...

Buttons: OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Propiedades de material ACI

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" for defining the properties of a material named "CONC245". The dialog is organized into several sections:

- Material Name:** CONC245
- Material Type:** Concrete
- Symmetry Type:** Isotropic
- Modulus of Elasticity:** E = 2363523.9
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume = 2.4, Mass per Unit Volume = 0.2447
- Units:** Tonf, m, C
- Poisson's Ratio:** U = 0.2
- Other Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f'c = 2450. There is an unchecked checkbox for "Lightweight Concrete" and a field for "Shear Strength Reduction Factor".
- Coeff of Thermal Expansion:** A = 9.900E-06
- Shear Modulus:** G = 984801.6
- Advanced Material Property Data:** Includes buttons for "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", "Time Dependent Properties...", and "Thermal Properties..."

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3.2 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES

Se definieron las secciones de los muros del reservorio, la viga collar y la cúpula de este.

Figura 28: Definición de sección del muro del reservorio

The dialog box 'Shell Section Data' for section 'MUR030' includes the following fields and options:

- Section Name:** MUR030
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green square
- Type:** Radio buttons for Shell - Thin (selected), Shell - Thick, Plate - Thin, Plate Thick, Membrane, and Shell - Layered/Nonlinear. Includes a 'Modify/Show Layer Definition...' button.
- Material:** Material Name: + CONC245, Material Angle: 0.
- Thickness:** Membrane: 0.3, Bending: 0.3
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Definición de sección de la cúpula del reservorio

The dialog box 'Shell Section Data' for section 'CUPULA10' includes the following fields and options:

- Section Name:** CUPULA10
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green square
- Type:** Radio buttons for Shell - Thin (selected), Shell - Thick, Plate - Thin, Plate Thick, Membrane, and Shell - Layered/Nonlinear. Includes a 'Modify/Show Layer Definition...' button.
- Material:** Material Name: + CONC245, Material Angle: 0.
- Thickness:** Membrane: 0.1, Bending: 0.1
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Definición de sección de la viga collar del reservorio

The dialog box 'Shell Section Data' for section 'VIGA50' includes the following fields and options:

- Section Name:** VIGA50
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green square
- Type:** Radio buttons for Shell - Thin, Shell - Thick (selected), Plate - Thin, Plate Thick, Membrane, and Shell - Layered/Nonlinear. Includes a 'Modify/Show Layer Definition...' button.
- Material:** Material Name: + CONC245, Material Angle: 0.
- Thickness:** Membrane: 0.5, Bending: 0.5
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

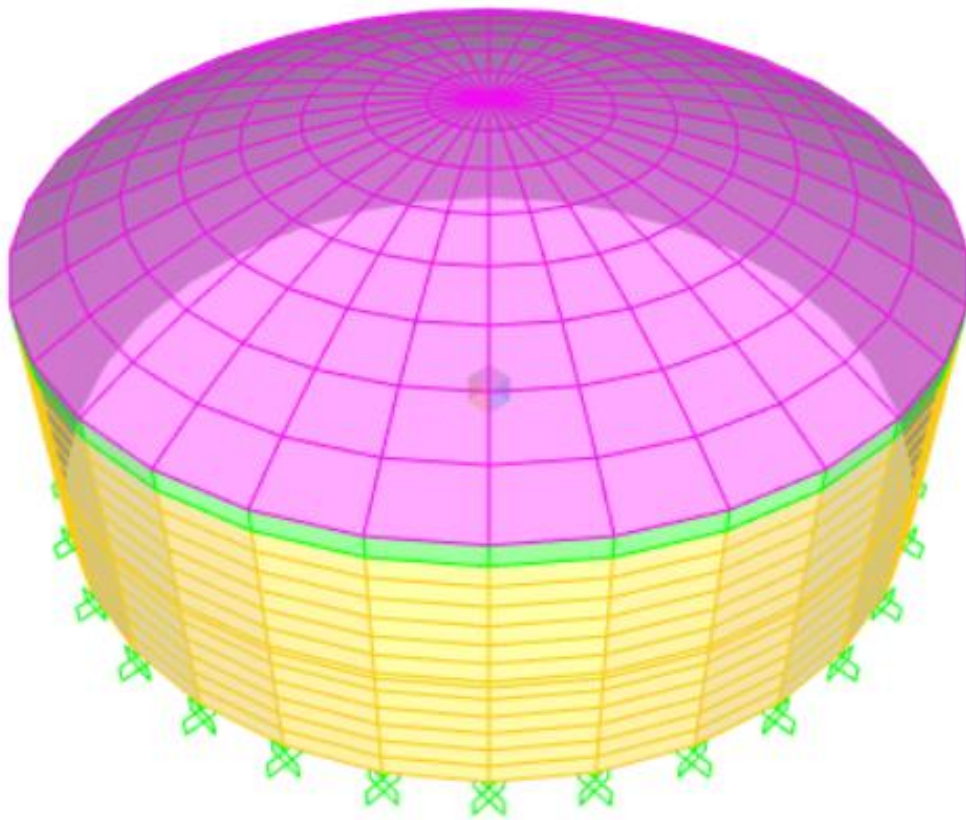
Fuente: Elaboración propia



Después de definir las propiedades de los materiales que se usaron en la modelación, en este caso del concreto, y de definir las secciones de los elementos que conforman la estructura, se crearon los modelos los cuales representan a la estructura estudiada en la presente investigación.

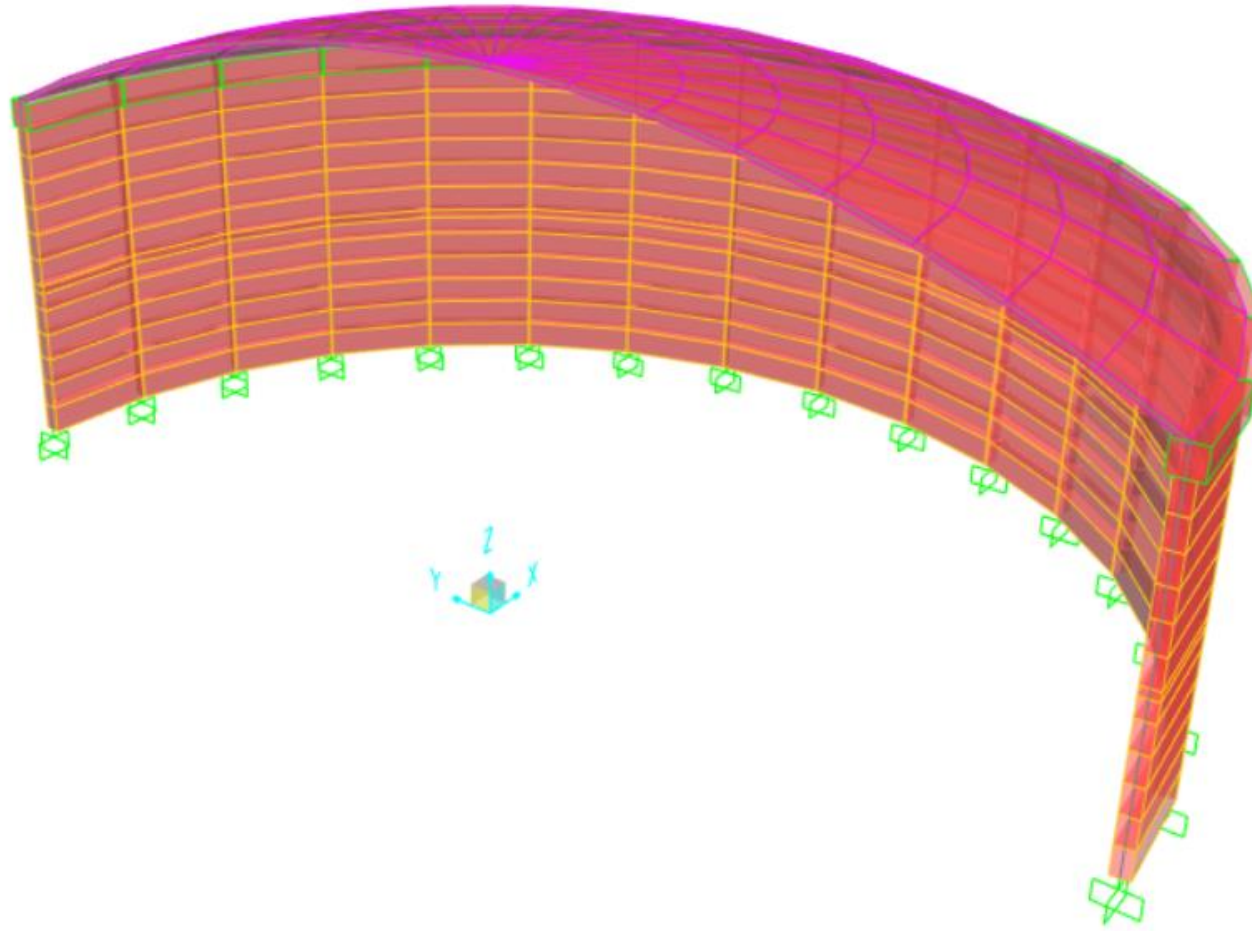
En el caso de la estructura motivo de investigación se consideraron todos los elementos como “elementos área”, se colocó el espesor correspondiente de los elementos como se puede apreciar en las figuras 28, 29 y 30.

Figura 31: Modelamiento tridimensional del reservorio



Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Corte del modelo del reservorio



Fuente: Elaboración propia

Después de realizado el modelamiento de la estructura, con las secciones para cada uno de sus elementos, se procedió a la aplicación de las respectivas cargas.

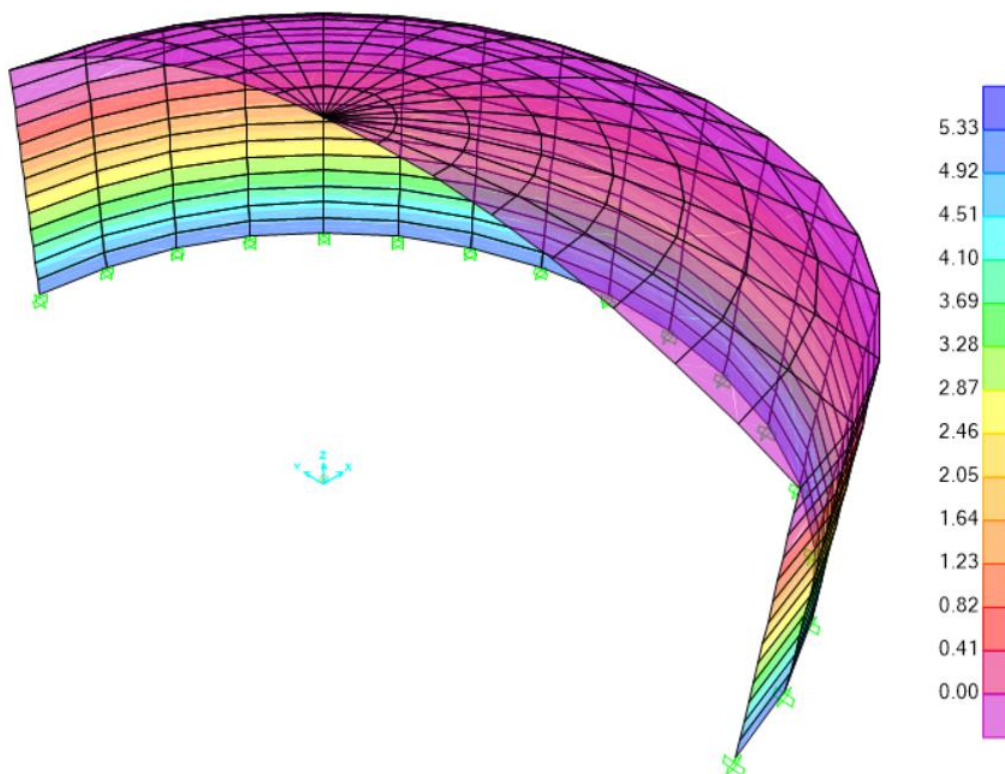
### 3.5.3.3 ASIGNACIÓN DE CARGAS

#### 3.5.3.3.1 ASIGNACIÓN DE CARGA ESTÁTICA DE AGUA

El tipo de carga es la presión que produce el agua en las paredes del reservorio, siendo la mayor presión en la base y la menor a la altura del nivel del agua.

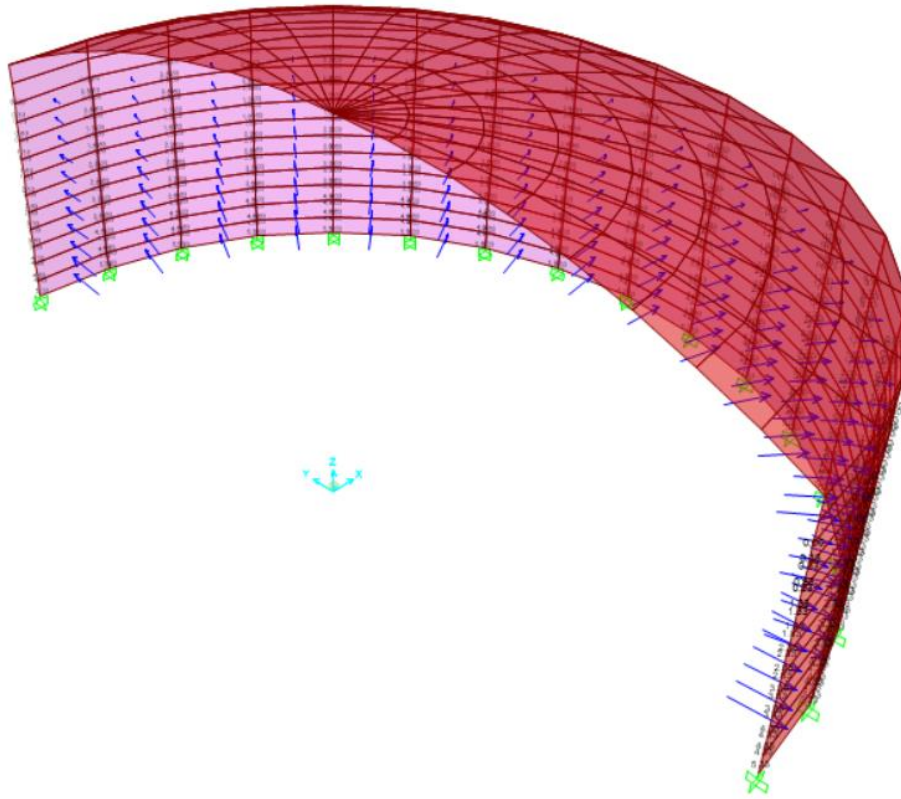
Para la aplicación de la presión en el modelo, primero se definió un patrón de puntos como se ve en la figura 35, los cuales fueron asignados a los muros del reservorio donde se aplicó la carga como presión en superficie.

Figura 33: Asignación de presión de agua - contornos



Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Asignación de presión de agua – Valores



Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Patrón de puntos

Pattern Data

Pattern Name: PARA AGUA

Pattern Assignment Type:  
 X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)  
 Z Coordinate at Zero Pressure and Weight Per Unit Volume

Pattern Value = Ax + By + Cz + D

Constant A	0.
Constant B	0.
Constant C	-1
Constant D	5.33

Restrictions:  
 Use all values  
 Zero Negative values  
 Zero Positive values

Options:  
 Add to existing values  
 Replace existing values  
 Delete existing values

OK Cancel

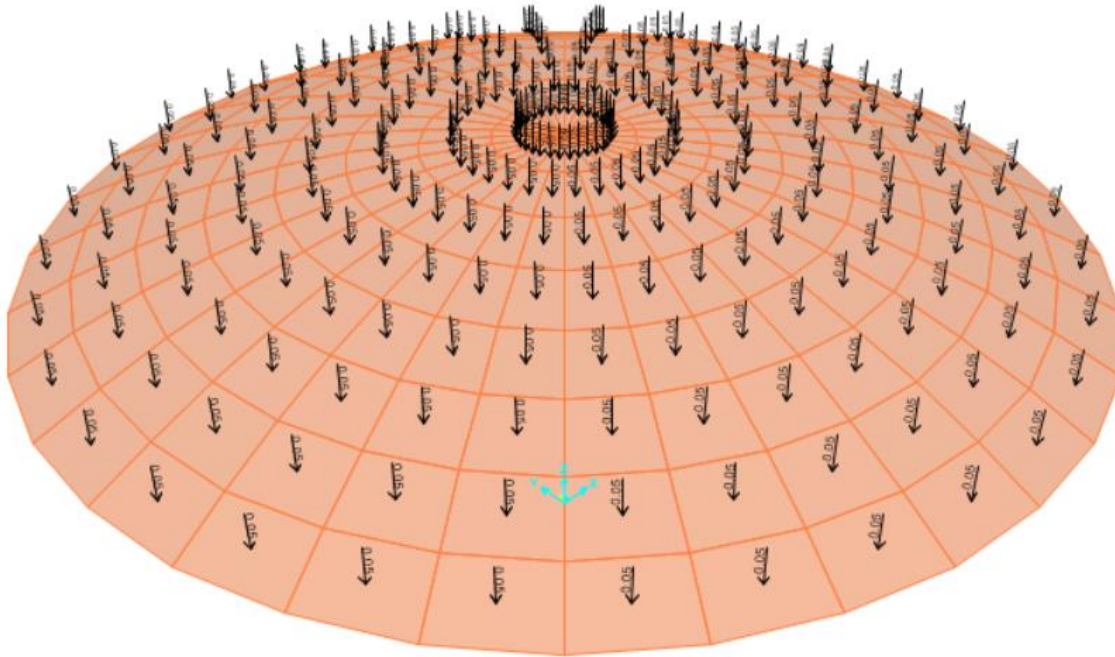
Fuente: Elaboración propia



### 3.5.3.3.2 ASIGNACIÓN DE CARGA VIVA

Asignamos la carga viva a la estructura, en este caso se asignaron al techo del reservorio, que vendría a ser la cúpula; las cargas aplicadas fueron según la norma peruana E.020 "CARGAS" del Reglamento Nacional de Edificaciones, 50kg/m<sup>2</sup>.

Figura 36: Asignación de carga viva de techo



Fuente: Elaboración propia

## 3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Se realizaron los siguientes pasos en la investigación:

Primero se hizo un análisis sísmico estático a la estructura de acuerdo a la norma norte americana ACI 350.3-01, para lo cual se determinaron primero los parámetros sísmicos.

Los valores de los parámetros sísmicos se obtuvieron de los propuestos por la norma norteamericana ACI 350.3-01 y los que nos facilita la norma peruana E.030 Sismorresistente como el factor de uso, factor de suelo, factor de zona y factor de

reducción sísmico o modificación de respuesta; se detalla la selección de estos valores en los ítems anteriores de “Identificación de los parámetros normativos”.

Después de realizado el análisis sísmico estático de la estructura, se realizó el análisis dinámico del tipo modal espectral, para esto se aplicaron espectros de diseño los cuales fueron construidos con los parámetros sísmicos que nos brindan las dos normas ya mencionadas.

### 3.6.1 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

El procedimiento realizado para el análisis sísmico estático fue según lo planteado por la norma americana ACI 350.3-01.

Primero se determinó las masas de los elementos que componen la estructura del reservorio como la masa de la cúpula, de los muros y de la viga collar.

Después se calculó el valor de las masas reactivas, es decir de la masa convectiva y de la masa impulsiva, estas dos las podemos calcular mediante fórmulas o podemos usar un gráfico como se observa en la figura 37:

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

Para :     D = 20.90 m  
           H<sub>L</sub> = 5.33 m  
           W<sub>L</sub> = 17938.19 kN

$$W_i = 5270.67 \text{ kN}$$

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

Para :     D = 20.90 m  
           H<sub>L</sub> = 5.33 m

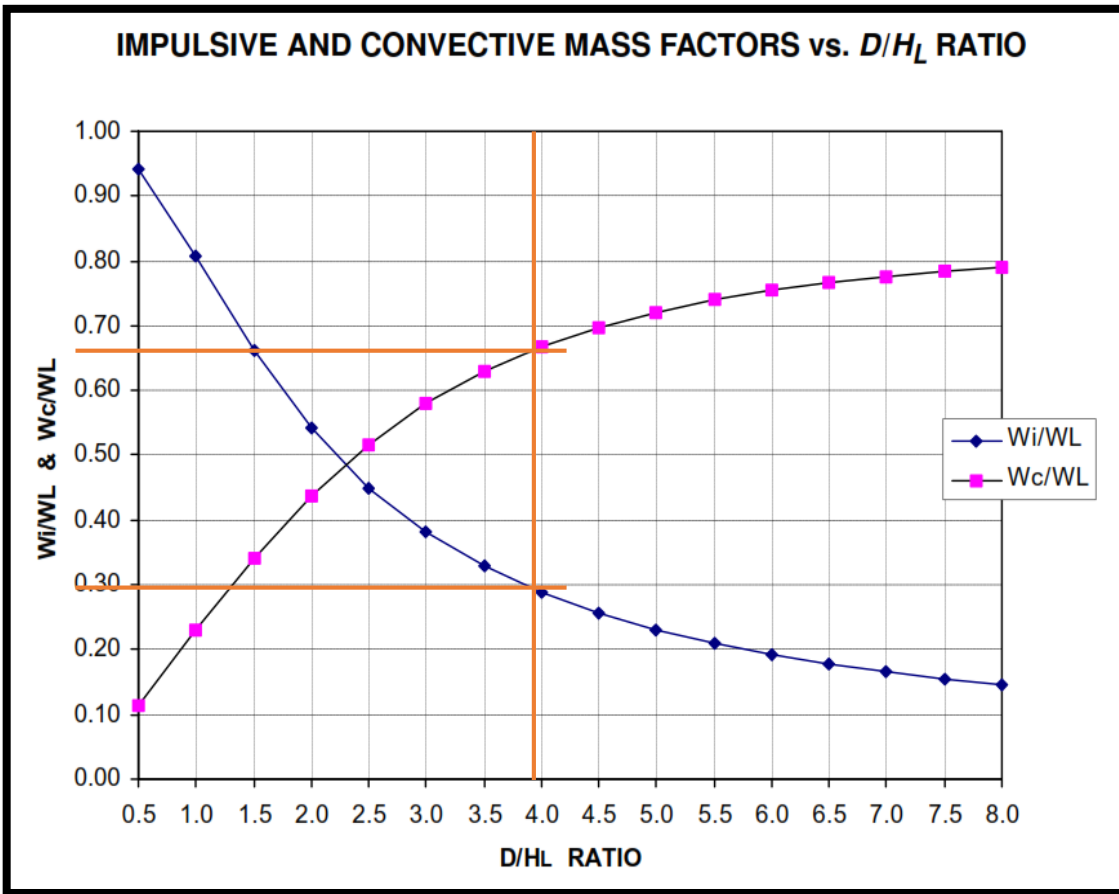
$$W_L = 17938.19 \text{ kN}$$

$$W_c = 11883.20 \text{ kN}$$

O podemos usar la siguiente figura:

$$\frac{D}{H_L} = \frac{20.90}{5.33} = 3.921$$

Figura 37: Cálculo de masa convectiva y masa impulsiva



Fuente: Elaboración propia

$$\frac{W_i}{W_L} = 0.295$$

$$W_i = 5291.77 \text{ kN}$$

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.655$$

$$W_c = 11749.51 \text{ kN}$$

Después de calculados los valores de las masas reactivas, procedemos al cálculo de la altura a la cual se encuentran éstas dentro de la estructura, y las obtenemos mediante fórmulas o podemos usar también un gráfico como se observa en la figura 38:

Para tanques con:

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

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

Para tanques con:

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

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

Entonces como:

$$\frac{D}{H_L} = \frac{20.90}{5.33} = 3.921$$

Usamos la segunda relación:

Para :  $H_L = 5.33 \text{ m}$

$h_i = 2.00 \text{ m}$

Para todos los tanques:

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

Para :  $D = 20.90 \text{ m}$



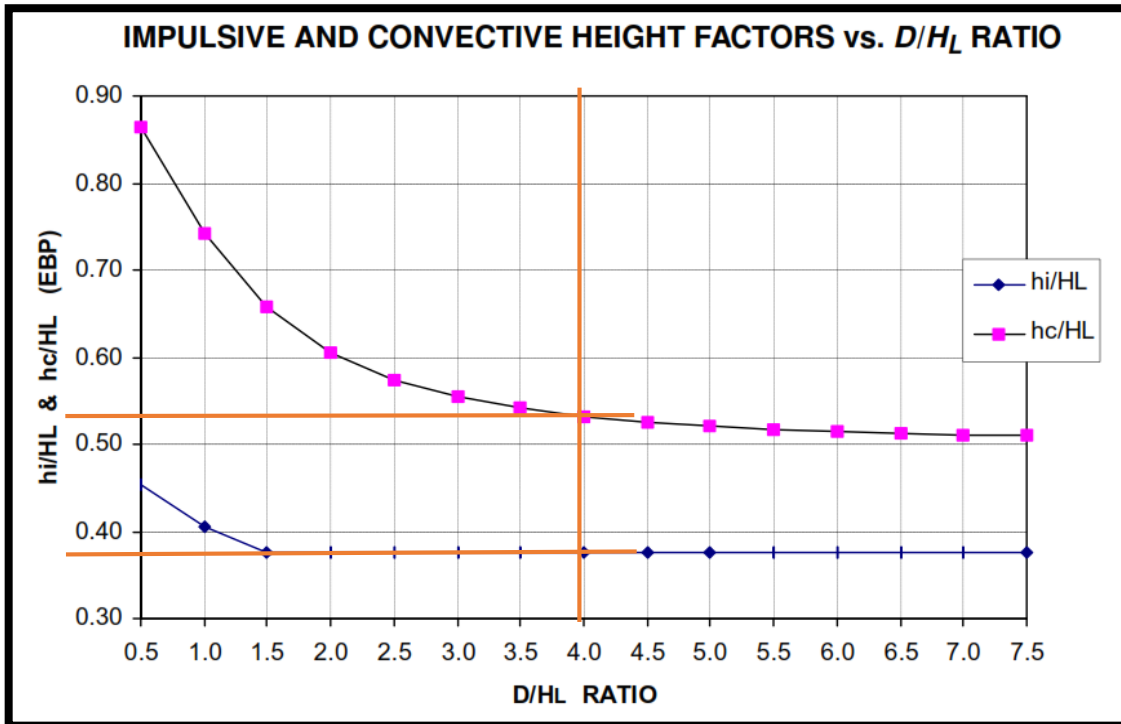
$$H_L = 5.33 \text{ m}$$

$$h_c = 2.84 \text{ m}$$

O podemos usar la siguiente figura:

$$\frac{D}{H_L} = \frac{20.90}{5.33} = 3.921$$

Figura 38: Cálculo de la altura de la masa convectiva y masa impulsiva



Fuente: Elaboración propia

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

$$h_i = 2.00 \text{ m}$$

$$\frac{h_c}{H_L} = 0.535$$

$$h_c = 2.852 \text{ m}$$

Luego se procedió a calcular las propiedades dinámicas de la estructura, primero se determinó la frecuencia circular del modo impulsivo de vibración ( $\omega_i$ ):

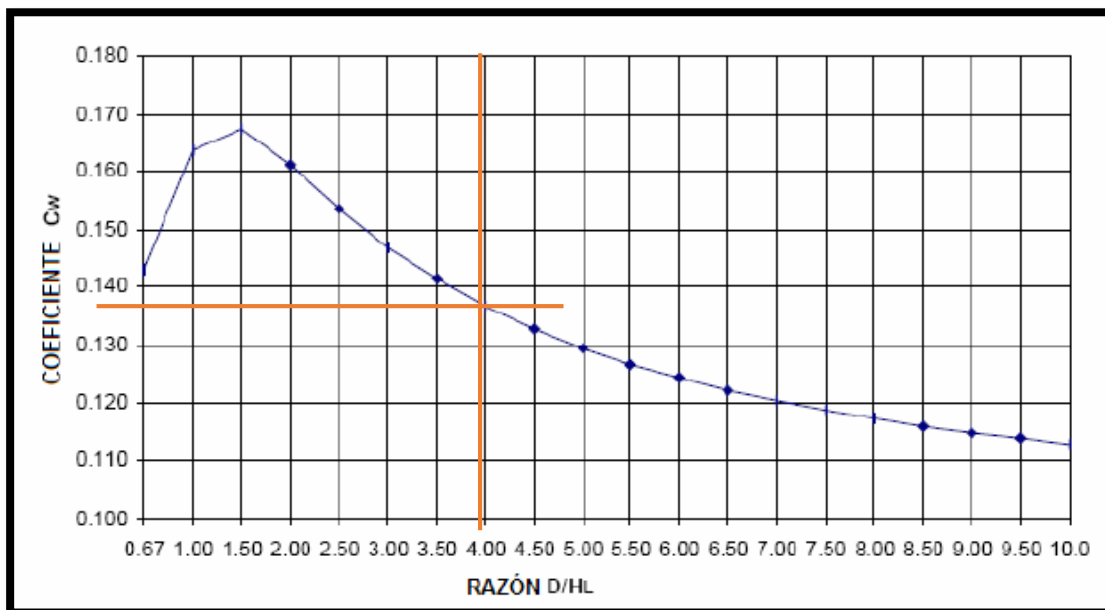
Calculamos  $C_w$  con una relación o podemos usar un gráfico como se muestra en la figura 39:

$$C_w = 9.375 \times 10^{-2} + 0.2039 \left( \frac{H_L}{D} \right) - 0.1034 \left( \frac{H_L}{D} \right)^2 - 0.1253 \left( \frac{H_L}{D} \right)^3 + 0.1267 \left( \frac{H_L}{D} \right)^4 - 3.186 \times 10^{-2} \left( \frac{H_L}{D} \right)^5$$

Para :  $H_L = 5.33 \text{ m}$   
 $D = 20.90 \text{ m}$

$$C_w = 0.1374$$

Figura 39: Cálculo del factor  $C_w$



Fuente: Elaboración propia

$$\text{Para: } \frac{D}{H_L} = \frac{20.90}{5.33} = 3.921$$

$$C_w = 0.1375$$

$$C_l = C_w x \sqrt{\frac{t_w}{10R}}$$

Para :  $C_w = 0.1374$   
 $t_w = 300 \text{ mm}$   
 $R = 10.45 \text{ m}$

$$C_l = 0.2329$$

$$\omega_i = C_l x \frac{1}{H_L} \sqrt{\frac{10^3 E_c}{\rho_c}}$$

Para :  $E_c = 23032.62 \text{ MPa}$   
 $\rho_c = 2.4 \text{ kN-s}^2/\text{m}^4$   
 $H_L = 5.33 \text{ m}$   
 $C_l = 0.2329$

$$\omega_i = 135.3 \text{ rad/s}$$

Se usaron los valores calculados mediante las relaciones.

Luego se determinó la frecuencia circular de oscilación del primer modo convectivo de batimiento de agua ( $\omega_c$ ):

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

Para :  $H_L = 5.33 \text{ m}$   
 $D = 20.90 \text{ m}$   
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$$\lambda = 5.149$$

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



$$\begin{aligned}\text{Para : } \lambda &= 5.149 \\ D &= 20.90 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\omega_c = 1.126 \text{ rad/s}$$

Después de calcular las frecuencias de vibración para cada una de las masas reactivas, se procedió al cálculo de los periodos de vibración de las mismas:

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

$$\text{Para : } \omega_i = 135.3 \text{ rad/s}$$

$$T_i = 0.0464 \text{ s}$$

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

$$\text{Para : } \omega_c = 1.126 \text{ rad/s}$$

$$T_c = 5.58 \text{ s}$$

Posteriormente se calcularon los factores de amplificación espectral para cada masa reactiva,  $C_i$  para la impulsiva y  $C_c$  para la convectiva.

$$\text{Si } T_i \leq 0.31 \text{ s}$$

$$C_i = \frac{2.75}{S}$$

$$\text{Si } T_i > 0.31 \text{ s}$$

$$C_i = \frac{1.25}{T_i^{2/3}} \leq \frac{2.75}{S}$$

$$\text{Para : } T_i = 0.0464 \text{ s}$$

$$C_i = 1.833$$

$$\text{Si } T_c \geq 2.4 \text{ s}$$

$$C_c = \frac{6.0}{T_c^2}$$

Para :  $T_c = 5.58 \text{ s}$

$$C_c = 0.193$$

Calculamos el coeficiente de masa efectiva  $\varepsilon$ :

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

Para :  $D = 20.90 \text{ m}$

$$H_L = 5.33 \text{ m}$$

$$\varepsilon = 0.505$$

A continuación se calculó las fuerzas dinámicas laterales de la estructura:

Para :  $Z = 0.25$

$$S = 1.5$$

$$I = 1.25$$

$$C_i = 1.833$$

$$C_c = 0.193$$

$$R_{wi} = 2.75$$

$$R_{wc} = 1.00$$

$$\varepsilon = 0.505$$

$$P_w = Z S I C_i x \frac{\varepsilon W_w}{R_{wi}}$$

$$P_w = 482.5 \text{ kN}$$

$$P_r = Z S I C_i x \frac{\varepsilon W_r}{R_{wi}}$$

$$P_r = 139.3 \text{ kN}$$

$$P_i = ZSIC_i x \frac{\varepsilon W_i}{R_{wi}}$$

$$P_i = 831.6 \text{ kN}$$

$$P_c = ZSIC_c x \frac{\varepsilon W_c}{R_{wc}}$$

$$P_c = 542.4 \text{ kN}$$

### 3.6.2 ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL

Para el análisis dinámico espectral de la estructura se construyeron 2 espectros de diseño con los parámetros sísmicos obtenidos de la norma norteamericana ACI 350.3-01 para las dos masas reactivas, uno para la masa impulsiva y el otro para la masa convectiva del modelo planteado.

Se construyó también un espectro de diseño considerando los parámetros sísmicos que nos brinda la norma peruana E.030 Sismorresistente de acuerdo al tipo de estructura, ubicación y material de la estructura.

De esta forma, una vez realizado el modelo y aplicadas las cargas estáticas en el mismo, para realizar el análisis dinámico espectral se siguió el flujograma mostrado en la Figura 21.

#### 3.6.2.1 ESPECTROS DE DISEÑO

##### 3.6.2.1.1 ESPECTROS DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01

Para determinar los espectros de diseño según la norma norte americana ACI 350.3-01 se usó la siguiente relación para la masa impulsiva:

$$S_a = \frac{ZISC_i}{R_{wi}} x g$$

Donde :

Z = Factor de Zona Sísmica

I = Factor de Importancia

S = Coeficiente de perfil de Suelo

$R_{wi}$  = Factor de modificación de respuesta imp.

$C_i$  = Factor de amplificación espectral impulsivo

g = Aceleración de la gravedad

Tabla 18: Parámetros identificados para la Norma ACI 350.3 - 01

PARÁMETROS NORMA ACI 350.3 - 01		
PARÁMETRO		FACTOR
ZONA	Z	0.25
PERFIL DE SUELO	S	1.50
IMPORTANCIA	I	1.25
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA	$R_{wi}$	2.75
	$R_{wc}$	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Valores de Aceleración Espectral Masa Impulsiva ACI 350.3-01

T (s)	$C_i$	Sa IMP. (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	$C_i$	Sa IMP. (m/s <sup>2</sup> )
0.00	1.83	3.066	3.60	0.53	0.890
0.10	1.83	3.066	3.70	0.52	0.874
0.20	1.83	3.066	3.80	0.51	0.858
0.30	1.83	3.066	3.90	0.50	0.844
0.40	1.83	3.066	4.00	0.50	0.829
0.50	1.83	3.066	4.10	0.49	0.816
0.60	1.76	2.938	4.20	0.48	0.803
0.70	1.59	2.651	4.30	0.47	0.790
0.80	1.45	2.425	4.40	0.47	0.778
0.90	1.34	2.242	4.50	0.46	0.767

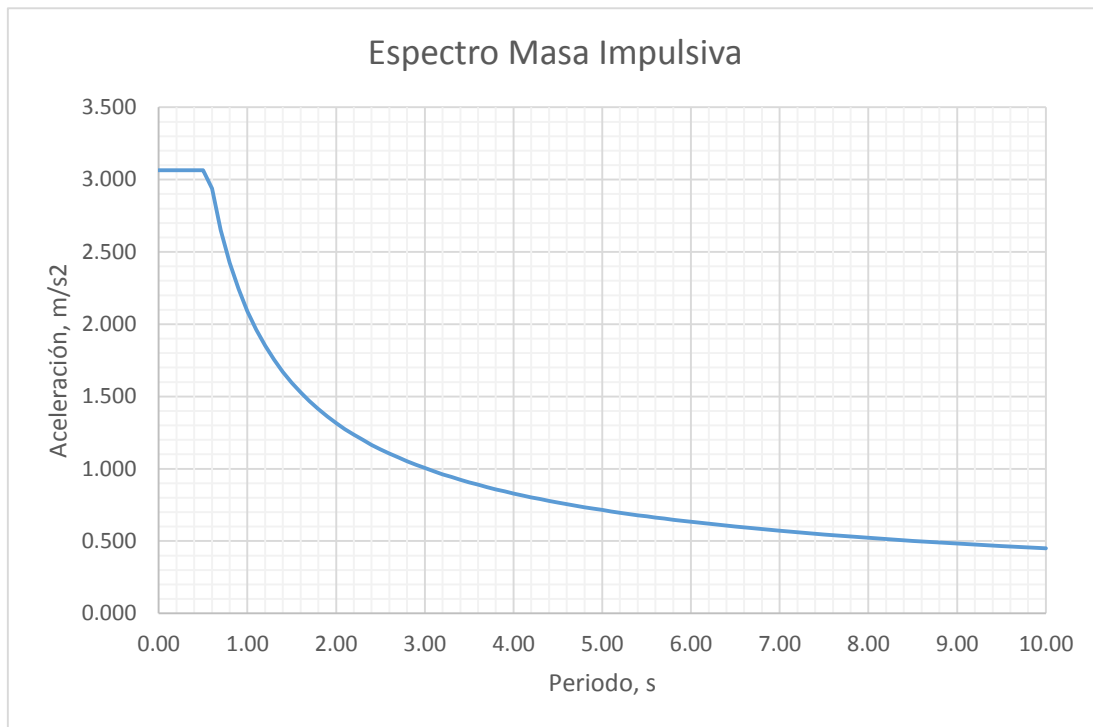
T (s)	Ci	Sa IMP. (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	Ci	Sa IMP. (m/s <sup>2</sup> )
1.00	1.25	2.090	4.60	0.45	0.756
1.10	1.17	1.962	4.70	0.45	0.745
1.20	1.11	1.851	4.80	0.44	0.735
1.30	1.05	1.755	4.90	0.43	0.725
1.40	1.00	1.670	5.00	0.43	0.715
1.50	0.95	1.595	5.10	0.42	0.705
1.60	0.91	1.528	5.20	0.42	0.696
1.70	0.88	1.467	5.30	0.41	0.688
1.80	0.84	1.413	5.40	0.41	0.679
1.90	0.81	1.363	5.50	0.40	0.671
2.00	0.79	1.317	5.60	0.40	0.663
2.10	0.76	1.275	5.70	0.39	0.655
2.20	0.74	1.236	5.80	0.39	0.647
2.30	0.72	1.200	5.90	0.38	0.640
2.40	0.70	1.166	6.00	0.38	0.633
2.50	0.68	1.135	6.50	0.36	0.600
2.60	0.66	1.105	7.00	0.34	0.571
2.70	0.64	1.078	7.50	0.33	0.546
2.80	0.63	1.052	8.00	0.31	0.523
2.90	0.61	1.028	8.50	0.30	0.502
3.00	0.60	1.005	9.00	0.29	0.483
3.10	0.59	0.983	9.50	0.28	0.466
3.20	0.58	0.963	10.00	0.27	0.450
3.30	0.56	0.943			
3.40	0.55	0.924			
3.50	0.54	0.907			

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores del periodo y de la aceleración espectral calculados en la tabla anterior, se graficó el espectro de respuesta para la masa impulsiva de la estructura como se muestra en la figura 40:



Figura 40: Espectro de respuesta Masa impulsiva ACI 350.3-01



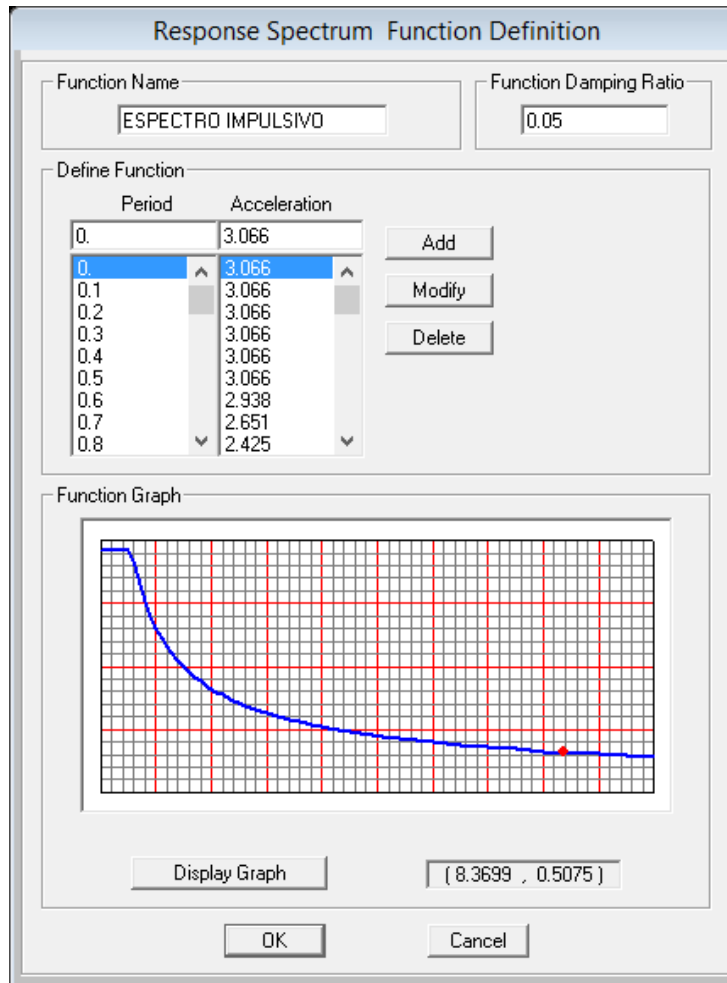
Fuente: Elaboración propia

#### 3.6.2.1.1.1 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE LA MASA IMPULSIVA COMO UNA FUNCIÓN

Para poder colocar el espectro de diseño en el modelo realizado de la estructura, se ingresó éste como una función de la siguiente forma:

***Define > Functions > Response Spectrum > Add new function > From File***

Figura 41: Ventana de asignación de espectro de respuesta impulsivo



Fuente: Elaboración propia

Para la masa convectiva:

$$S_a = \frac{ZISC_c}{R_{WC}} \times g$$

Donde :

Z = Factor de Zona Sísmica

I = Factor de Importancia

S = Coeficiente de perfil de Suelo

R<sub>WC</sub> = Factor de modificación de respuesta conv.

$C_c$  = Factor de amplificación espectral convectivo

$g$  = Aceleración de la gravedad

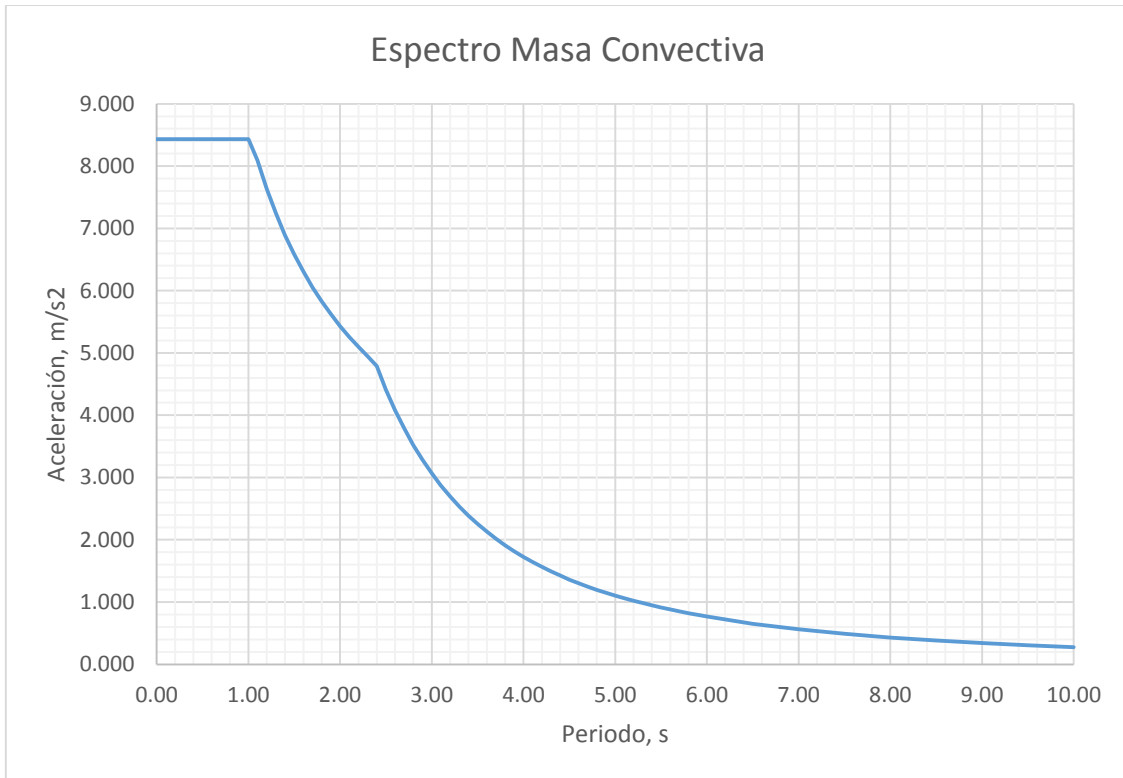
Tabla 20: Valores de Aceleración Espectral Masa Convectiva ACI 350.3-01

<b>T</b> (s)	<b>Cc</b>	<b>Sa.</b> (m/s <sup>2</sup> )	<b>T</b> (s)	<b>Cc</b>	<b>Sa.</b> (m/s <sup>2</sup> )
0.00	1.83	8.430	3.60	0.46	2.129
0.10	1.83	8.430	3.70	0.44	2.015
0.20	1.83	8.430	3.80	0.42	1.911
0.30	1.83	8.430	3.90	0.39	1.814
0.40	1.83	8.430	4.00	0.38	1.724
0.50	1.83	8.430	4.10	0.36	1.641
0.60	1.83	8.430	4.20	0.34	1.564
0.70	1.83	8.430	4.30	0.32	1.492
0.80	1.83	8.430	4.40	0.31	1.425
0.90	1.83	8.430	4.50	0.30	1.363
1.00	1.83	8.430	4.60	0.28	1.304
1.10	1.76	8.091	4.70	0.27	1.249
1.20	1.66	7.635	4.80	0.26	1.198
1.30	1.57	7.239	4.90	0.25	1.149
1.40	1.50	6.890	5.00	0.24	1.104
1.50	1.43	6.580	5.10	0.23	1.061
1.60	1.37	6.303	5.20	0.22	1.020
1.70	1.32	6.053	5.30	0.21	0.982
1.80	1.27	5.827	5.40	0.21	0.946
1.90	1.22	5.621	5.50	0.20	0.912
2.00	1.18	5.432	5.60	0.19	0.880
2.10	1.14	5.258	5.70	0.18	0.849
2.20	1.11	5.097	5.80	0.18	0.820
2.30	1.08	4.948	5.90	0.17	0.793
2.40	1.04	4.790	6.00	0.17	0.766
2.50	0.96	4.415	6.50	0.14	0.653
2.60	0.89	4.081	7.00	0.12	0.563
2.70	0.82	3.785	7.50	0.11	0.491
2.80	0.77	3.519	8.00	0.09	0.431
2.90	0.71	3.281	8.50	0.08	0.382
3.00	0.67	3.066	9.00	0.07	0.341
3.10	0.62	2.871	9.50	0.07	0.306
3.20	0.59	2.694	10.00	0.06	0.276
3.30	0.55	2.534			
3.40	0.52	2.387			
3.50	0.49	2.252			

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores del periodo y de la aceleración espectral calculados en la tabla anterior, podemos graficar el espectro de respuesta para la masa convectiva de la estructura como se muestra en la figura:

Figura 42: Espectro de respuesta Masa convectiva ACI 350.3-01



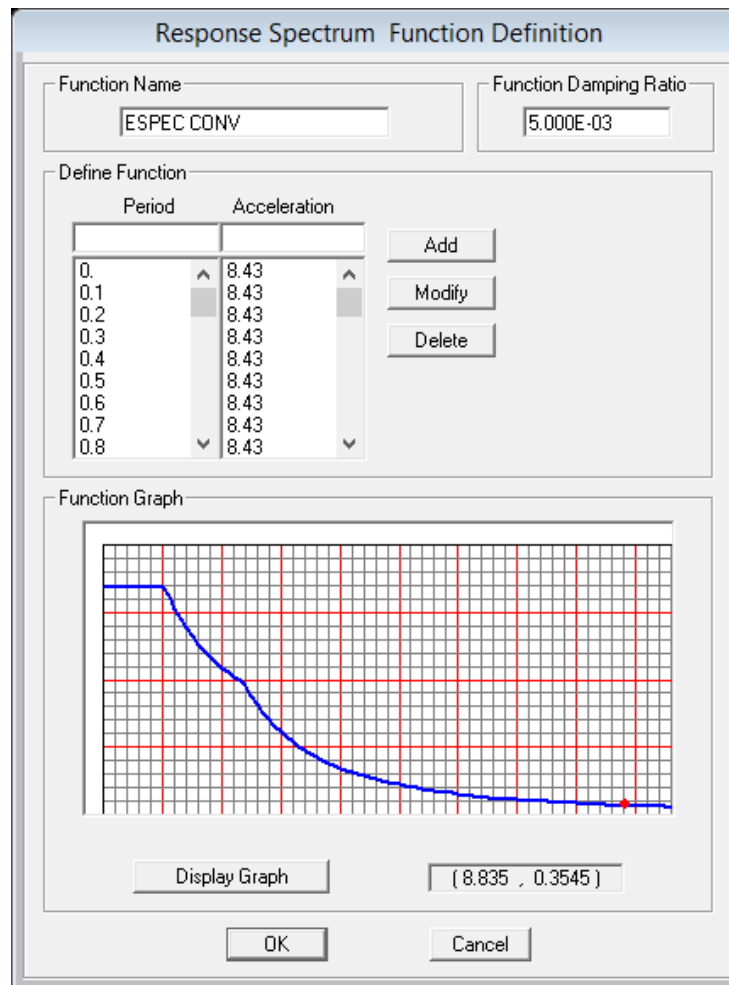
Fuente: Elaboración propia

#### 3.6.2.1.1.2 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA DE LA MASA CONVECTIVA COMO UNA FUNCIÓN

Para poder colocar el espectro de diseño como sismo dentro del modelo realizado de la estructura, se ingresó éste como una función de la siguiente forma:

***Define > Functions > Response Spectrum > Add new function > From File***

Figura 43: Ventana de asignación de espectro de respuesta convectivo



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2.1.1.3 COMBINACIONES DE CARGA

La ACI COMITÉ 350 en ACI 350-01 el capítulo 9 nos da las combinaciones de carga para una resistencia requerida:

Para cualquier combinación de D, L o F:

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

La ecuación de resistencia requerida será:



$$U = 1.4 D + 1.7 L + 1.7 F$$

Y donde D o L reducen los efectos de F:

$$U = 0.9 D + 1.7 F$$

Y con sismo:

$$U = 1.05 D + 1.28 L + 1.40 E$$

$$U = 0.90 D + 1.43 E$$

Con sismo y presión de líquido:

$$U = 1.05 D + 1.28 L + 1.28 F + 1.40 E$$

Donde:

D = Carga Muerta

L = Carga Viva

E = Carga de Sismo (Earthquake)

F = Carga de Presión de Líquidos o Fluidos

#### 3.6.2.1.1.4 DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA

Se definieron las combinaciones de carga en el programa, considerando las combinaciones de carga que se muestran en el ítem anterior:

Figura 44: Definición Combinación 1

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
VIVA	Linear Static	1.7
DEAD	Linear Static	1.4
VIVA	Linear Static	1.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Definición Combinación 2

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.7
DEAD	Linear Static	1.4
VIVA	Linear Static	1.7
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Definición Combinación 3

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.7
DEAD	Linear Static	0.9
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Definición Combinación 4

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.05
DEAD	Linear Static	1.05
VIVA	Linear Static	1.28
ESPECTRO CONVECT	Response Spectrum	1.4

Fuente: Elaboración propia



Figura 48: Definición Combinación 5

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	0.9
DEAD	Linear Static	0.9
ESPECTRO CONVECT	Response Spectrum	1.43

Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Definición Combinación 6

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.05
DEAD	Linear Static	1.05
VIVA	Linear Static	1.28
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.28
ESPECTRO CONVECT	Response Spectrum	1.4

Fuente: Elaboración propia

## 3.6.2.1.2 ESPECTROS DE DISEÑO SEGÚN LA E.030

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

Donde :

Z = Factor de Zona

U = Factor de Uso

S = Factores de Suelo

C = Factor de amplificación sísmica

R = Coeficiente básico de reducción

g = Aceleración de la gravedad

Tabla 21: Parámetros identificados para la Norma e.030

PARÁMETROS NORMA E.030		
PARÁMETRO		FACTOR
ZONA	Z	0.25
PERFIL DE SUELO	S	1.40
USO	U	1.50
FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA	R	6.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Valores de Aceleración Espectral Norma E. 030

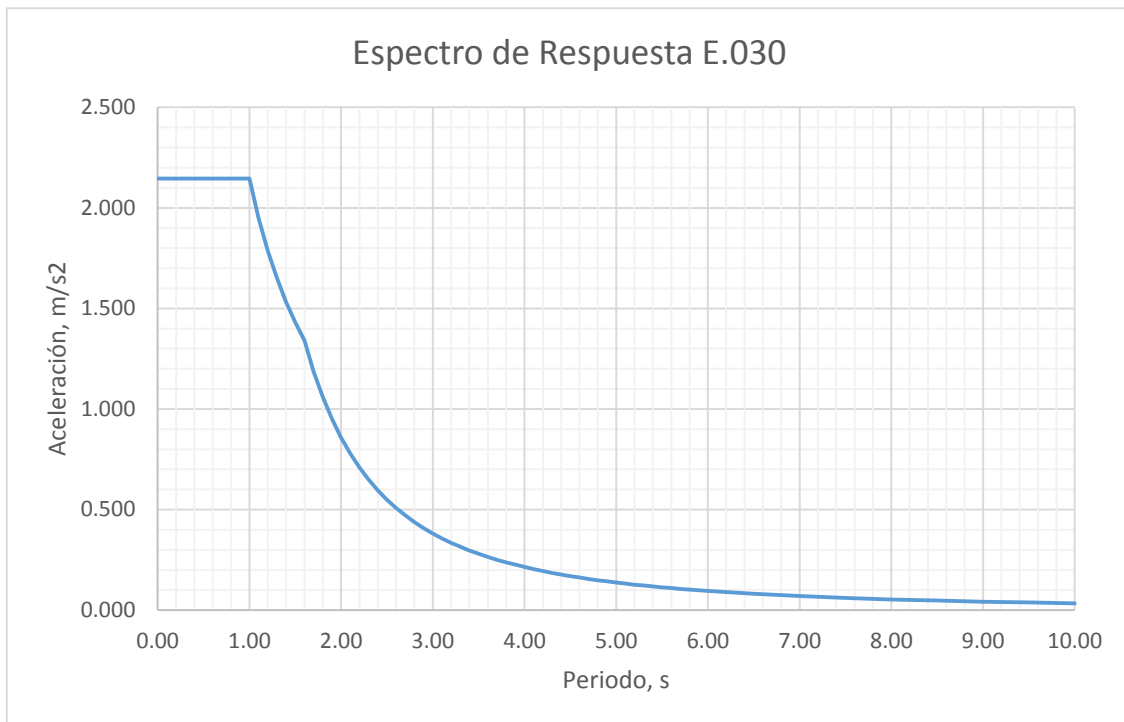
T (s)	C	Sa. (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	C	Sa. (m/s <sup>2</sup> )
0.00	2.50	2.146	3.60	0.31	0.265
0.10	2.50	2.146	3.70	0.29	0.251
0.20	2.50	2.146	3.80	0.28	0.238
0.30	2.50	2.146	3.90	0.26	0.226
0.40	2.50	2.146	4.00	0.25	0.215
0.50	2.50	2.146	4.10	0.24	0.204

T (s)	C	Sa. (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	C	Sa. (m/s <sup>2</sup> )
0.60	2.50	2.146	4.20	0.23	0.195
0.70	2.50	2.146	4.30	0.22	0.186
0.80	2.50	2.146	4.40	0.21	0.177
0.90	2.50	2.146	4.50	0.20	0.170
1.00	2.50	2.146	4.60	0.19	0.162
1.10	2.27	1.951	4.70	0.18	0.155
1.20	2.08	1.788	4.80	0.17	0.149
1.30	1.92	1.651	4.90	0.17	0.143
1.40	1.79	1.533	5.00	0.16	0.137
1.50	1.67	1.431	5.10	0.15	0.132
1.60	1.56	1.341	5.20	0.15	0.127
1.70	1.38	1.188	5.30	0.14	0.122
1.80	1.23	1.060	5.40	0.14	0.118
1.90	1.11	0.951	5.50	0.13	0.114
2.00	1.00	0.858	5.60	0.13	0.109
2.10	0.91	0.779	5.70	0.12	0.106
2.20	0.83	0.709	5.80	0.12	0.102
2.30	0.76	0.649	5.90	0.11	0.099
2.40	0.69	0.596	6.00	0.11	0.095
2.50	0.64	0.549	6.50	0.09	0.081
2.60	0.59	0.508	7.00	0.08	0.070
2.70	0.55	0.471	7.50	0.07	0.061
2.80	0.51	0.438	8.00	0.06	0.054
2.90	0.48	0.408	8.50	0.06	0.048
3.00	0.44	0.382	9.00	0.05	0.042
3.10	0.42	0.357	9.50	0.04	0.038
3.20	0.39	0.335	10.00	0.04	0.034
3.30	0.37	0.315			
3.40	0.35	0.297			
3.50	0.33	0.280			

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores del periodo y de la aceleración espectral calculados en la tabla anterior, se graficó el espectro de respuesta de la estructura como se muestra en la figura 50:

Figura 50: Espectro de respuesta E. 030



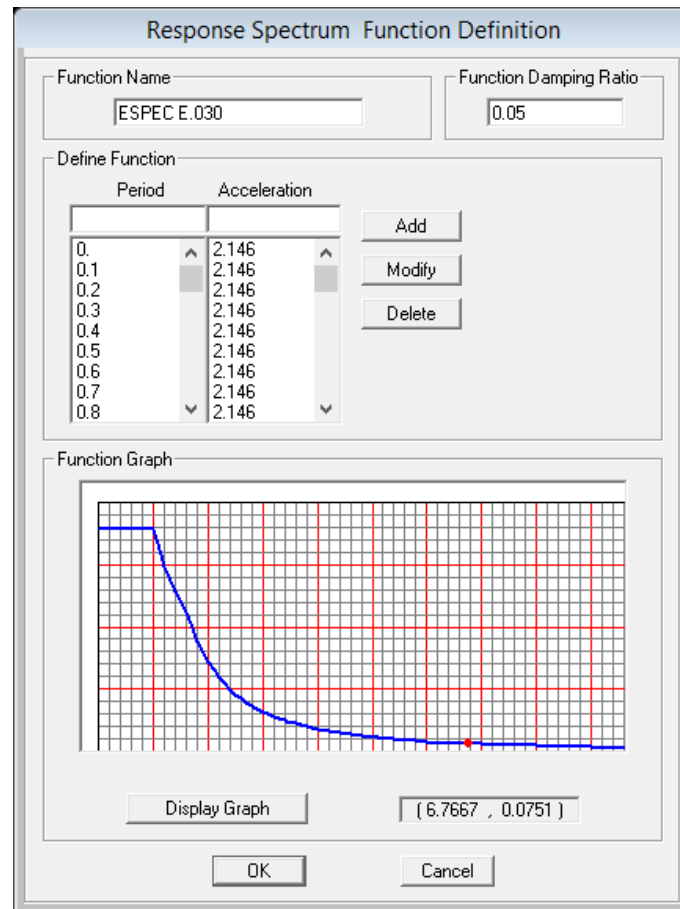
Fuente: Elaboración propia

#### 3.6.2.1.2.1 DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA PARA LA NORMA E.030 COMO UNA FUNCIÓN

Para poder colocar el espectro de diseño como sismo dentro del modelo realizado de la estructura, se ingresó este como una función de la siguiente forma:

***Define > Functions > Response Spectrum > Add new function > From File***

Figura 51: Ventana de asignación de espectro de respuesta Norma E.030



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2.1.2.2 COMBINACIONES DE CARGA

La norma E.060 en el capítulo 9 nos da las combinaciones de carga para una resistencia requerida:

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

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

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV + 1.4 CL$$

Con Sismo y Presión de líquido:

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

Donde:

CM = Carga Muerta

CV = Carga Viva

CS = Carga de Sismo

CL = Carga de Presión de Líquidos

### 3.6.2.1.2.3 DEFINICIÓN DE COMBINACIÓN DE CARGA

Se definieron las combinaciones de carga en el programa, considerando las combinaciones de carga que se muestran en el ítem anterior:

Figura 52: Definición Combinación 1

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
VIVA	Linear Static	1.7
DEAD	Linear Static	1.4
VIVA	Linear Static	1.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Definición Combinación 2

The dialog box 'Load Combination Data' for 'COMB2' shows the following configuration:

- Load Combination Name (User-Generated):** COMB2
- Notes:** Modify/Show Notes...
- Load Combination Type:** Linear Add
- Options:** Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo
- Define Combination of Load Case Results:**

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.25
DEAD	Linear Static	1.25
VIVA	Linear Static	1.25
SISMO 0.25 ABS + 0.75 SR	Combination	1.

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia

Figura 54: Definición Combinación 3

The dialog box 'Load Combination Data' for 'COMB3' shows the following configuration:

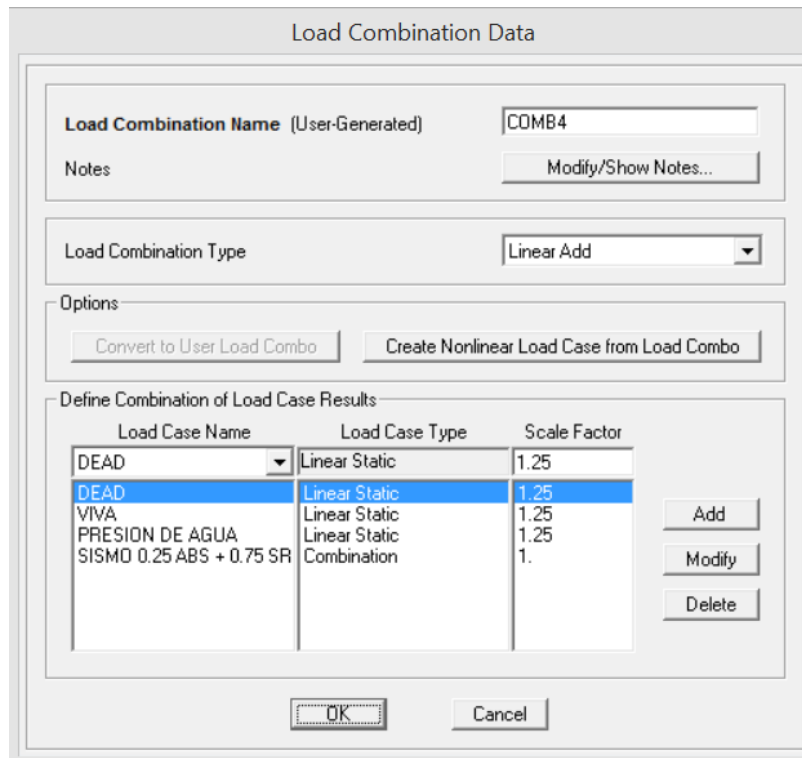
- Load Combination Name (User-Generated):** COMB3
- Notes:** Modify/Show Notes...
- Load Combination Type:** Linear Add
- Options:** Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo
- Define Combination of Load Case Results:**

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.4
DEAD	Linear Static	1.4
VIVA	Linear Static	1.7
PRESION DE AGUA	Linear Static	1.4

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Fuente: Elaboración propia

Figura 55: Definición Combinación 4



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2.1.3 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA

#### 3.6.2.1.3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LAS MASAS REACTIVAS SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Se compararon los espectros obtenidos según la normativa norteamericana ACI 350.3-01 para la masa impulsiva y para la masa convectiva

Tabla 23: Comparación de valores de Aceleración Espectral según la Norma ACI 350.3-01

T (s)	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )
0.00	3.066	8.430	3.60	0.890	2.129
0.10	3.066	8.430	3.70	0.874	2.015
0.20	3.066	8.430	3.80	0.858	1.911
0.30	3.066	8.430	3.90	0.844	1.814
0.40	3.066	8.430	4.00	0.829	1.724
0.50	3.066	8.430	4.10	0.816	1.641
0.60	2.938	8.430	4.20	0.803	1.564



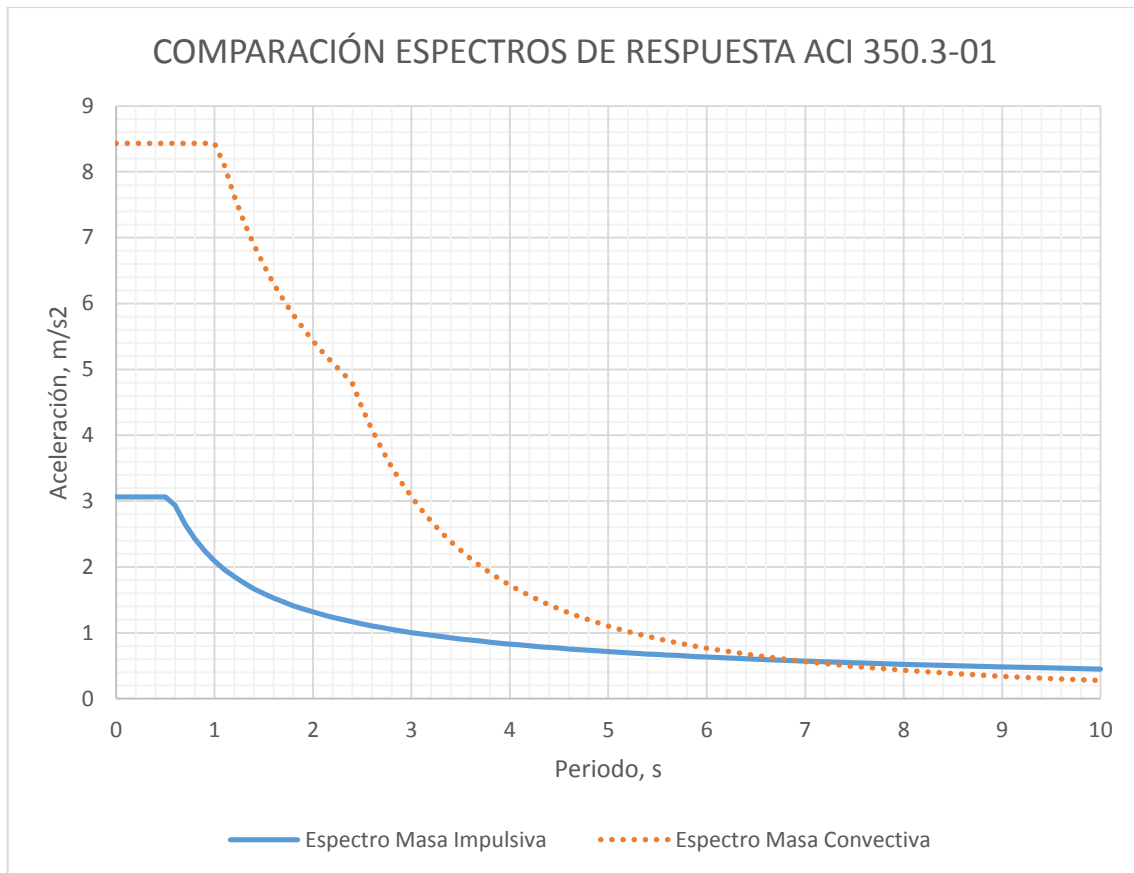
T (s)	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )
0.70	2.651	8.430
0.80	2.425	8.430
0.90	2.242	8.430
1.00	2.090	8.430
1.10	1.962	8.091
1.20	1.851	7.635
1.30	1.755	7.239
1.40	1.670	6.890
1.50	1.595	6.580
1.60	1.528	6.303
1.70	1.467	6.053
1.80	1.413	5.827
1.90	1.363	5.621
2.00	1.317	5.432
2.10	1.275	5.258
2.20	1.236	5.097
2.30	1.200	4.948
2.40	1.166	4.790
2.50	1.135	4.415
2.60	1.105	4.081
2.70	1.078	3.785
2.80	1.052	3.519
2.90	1.028	3.281
3.00	1.005	3.066
3.10	0.983	2.871
3.20	0.963	2.694
3.30	0.943	2.534
3.40	0.924	2.387
3.50	0.907	2.252

T (s)	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )
4.30	0.790	1.492
4.40	0.778	1.425
4.50	0.767	1.363
4.60	0.756	1.304
4.70	0.745	1.249
4.80	0.735	1.198
4.90	0.725	1.149
5.00	0.715	1.104
5.10	0.705	1.061
5.20	0.696	1.020
5.30	0.688	0.982
5.40	0.679	0.946
5.50	0.671	0.912
5.60	0.663	0.880
5.70	0.655	0.849
5.80	0.647	0.820
5.90	0.640	0.793
6.00	0.633	0.766
6.50	0.600	0.653
7.00	0.571	0.563
7.50	0.546	0.491
8.00	0.523	0.431
8.50	0.502	0.382
9.00	0.483	0.341
9.50	0.466	0.306
10.00	0.450	0.276

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 23 los valores de aceleración espectral obtenidos mediante la aplicación de la Norma ACI 350.3-01 para la masa convectiva son mayores en comparación a los valores para la masa impulsiva, y esto es coherente puesto que la masa convectiva representa el oleaje del agua que se da ante la presencia de un sismo.

Figura 56: Comparación de Espectros de Respuesta según la Norma ACI 350.3-01



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.1.3.2 COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA ENTRE LA NORMA ACI 350.3-01 Y NORMA PERUANA E.030

También se compararon los espectros obtenidos según la normativa norteamericana ACI 350.3-01 para las dos masas reactivas y la Norma Peruana E.030 para edificaciones esenciales.

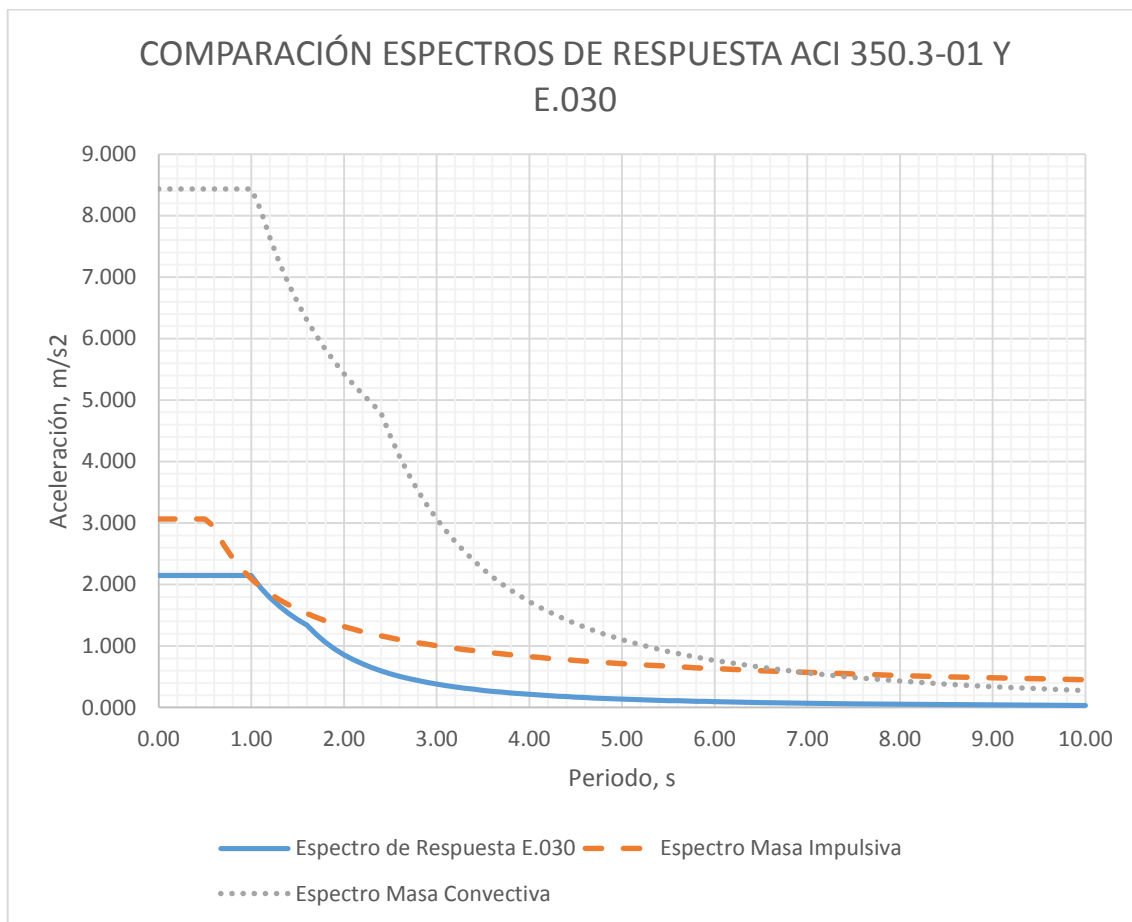
Tabla 24: Comparación de los valores de Aceleración Espectral de la Norma ACI 350.3-01 y Norma E. 030

T (s)	Espectro de Respuesta E.030 (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )	T (s)	Espectro de Respuesta E.030 (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Impulsiva (m/s <sup>2</sup> )	Espectro Masa Convectiva (m/s <sup>2</sup> )
0.00	2.146	3.066	8.430	3.60	0.265	0.890	2.129
0.10	2.146	3.066	8.430	3.70	0.251	0.874	2.015
0.20	2.146	3.066	8.430	3.80	0.238	0.858	1.911
0.30	2.146	3.066	8.430	3.90	0.226	0.844	1.814
0.40	2.146	3.066	8.430	4.00	0.215	0.829	1.724
0.50	2.146	3.066	8.430	4.10	0.204	0.816	1.641
0.60	2.146	2.938	8.430	4.20	0.195	0.803	1.564
0.70	2.146	2.651	8.430	4.30	0.186	0.790	1.492
0.80	2.146	2.425	8.430	4.40	0.177	0.778	1.425
0.90	2.146	2.242	8.430	4.50	0.170	0.767	1.363
1.00	2.146	2.090	8.430	4.60	0.162	0.756	1.304
1.10	1.951	1.962	8.091	4.70	0.155	0.745	1.249
1.20	1.788	1.851	7.635	4.80	0.149	0.735	1.198
1.30	1.651	1.755	7.239	4.90	0.143	0.725	1.149
1.40	1.533	1.670	6.890	5.00	0.137	0.715	1.104
1.50	1.431	1.595	6.580	5.10	0.132	0.705	1.061
1.60	1.341	1.528	6.303	5.20	0.127	0.696	1.020
1.70	1.188	1.467	6.053	5.30	0.122	0.688	0.982
1.80	1.060	1.413	5.827	5.40	0.118	0.679	0.946
1.90	0.951	1.363	5.621	5.50	0.114	0.671	0.912
2.00	0.858	1.317	5.432	5.60	0.109	0.663	0.880
2.10	0.779	1.275	5.258	5.70	0.106	0.655	0.849
2.20	0.709	1.236	5.097	5.80	0.102	0.647	0.820
2.30	0.649	1.200	4.948	5.90	0.099	0.640	0.793
2.40	0.596	1.166	4.790	6.00	0.095	0.633	0.766
2.50	0.549	1.135	4.415	6.50	0.081	0.600	0.653
2.60	0.508	1.105	4.081	7.00	0.070	0.571	0.563
2.70	0.471	1.078	3.785	7.50	0.061	0.546	0.491
2.80	0.438	1.052	3.519	8.00	0.054	0.523	0.431
2.90	0.408	1.028	3.281	8.50	0.048	0.502	0.382
3.00	0.382	1.005	3.066	9.00	0.042	0.483	0.341
3.10	0.357	0.983	2.871	9.50	0.038	0.466	0.306
3.20	0.335	0.963	2.694	10.00	0.034	0.450	0.276
3.30	0.315	0.943	2.534				
3.40	0.297	0.924	2.387				
3.50	0.280	0.907	2.252				

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 24 los valores de aceleración espectral obtenidos mediante la aplicación de la Norma ACI 350.3-01 para la masa convectiva son también mayores en comparación a los valores de la norma E.030 Sismorresistente. Los valores de aceleración espectral de la masa impulsiva también son mayores al de la Norma Peruana E.030.

Figura 57: Comparación de los Espectros de Respuesta según la Norma ACI 350.3-01 Y E.030



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.2 PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL AL ANÁLISIS DINÁMICO

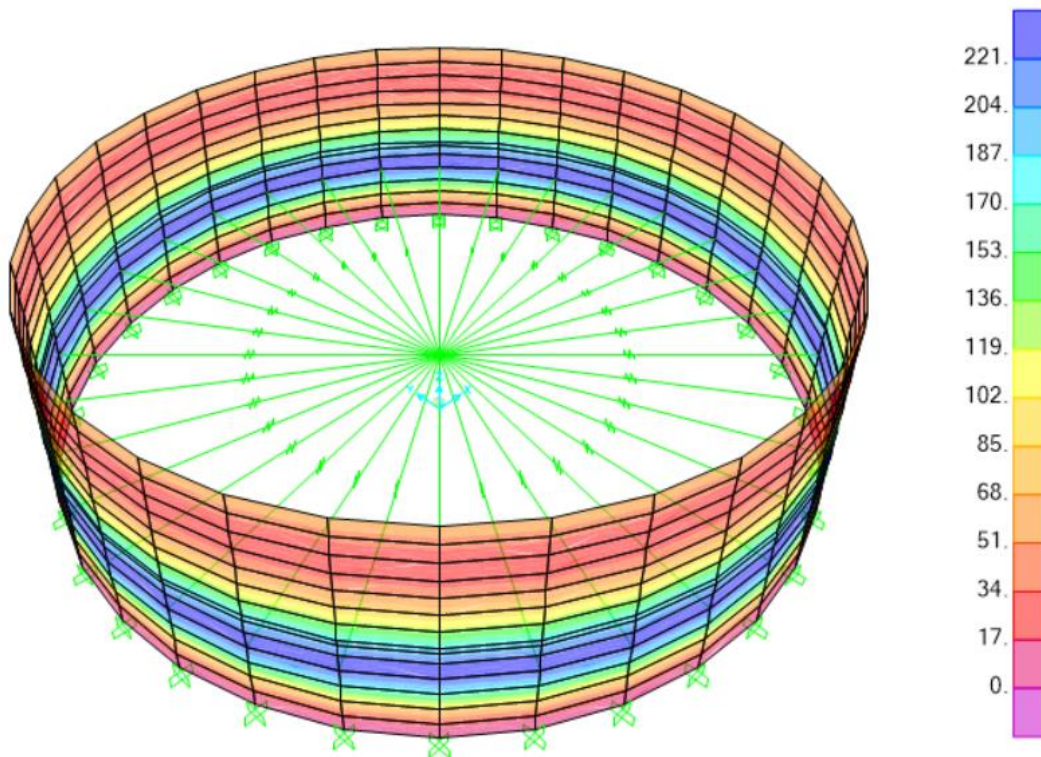
Al haber realizado el análisis estructural, la interacción de la estructura con el sismo, mediante el software SAP2000, se generó la respuesta de la estructura traducida en

esfuerzos internos como fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momentos flectores, desplazamientos y periodos de vibración; los cuales se muestran a continuación.

3.6.2.2.1 FUERZAS AXIALES

3.6.2.2.1.1 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Figura 58: Contornos de Fuerzas Axiales de la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3 tn(1/m)



Fuente: Elaboración Propia

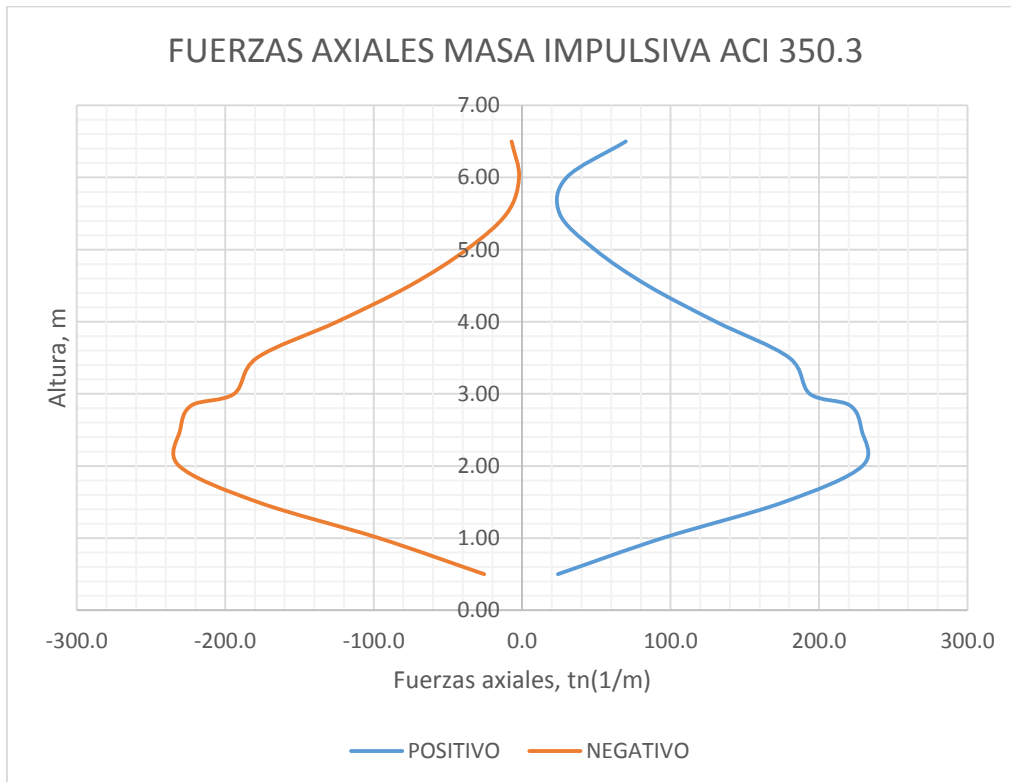
Tabla 25: Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3

FUERZAS AXIALES PARA LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		POSITIVO Tn(1/m)	NEGATIVO Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	24.135	-25.560
1.00	ENVOLVENTE	94.637	-96.424
1.50	ENVOLVENTE	176.430	-178.155
2.00	ENVOLVENTE	229.176	-230.982
2.50	ENVOLVENTE	228.644	-230.309
2.84	ENVOLVENTE	220.795	-222.672

H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
3.00	ENVOLVENTE	193.828	-194.031
3.50	ENVOLVENTE	180.003	-178.556
4.00	ENVOLVENTE	130.560	-124.624
4.50	ENVOLVENTE	84.741	-75.643
5.00	ENVOLVENTE	49.084	-37.453
5.50	ENVOLVENTE	25.246	-10.352
6.00	ENVOLVENTE	29.979	-2.072
6.50	ENVOLVENTE	69.831	-7.064

Fuente: Elaboración Propia

Figura 59: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3

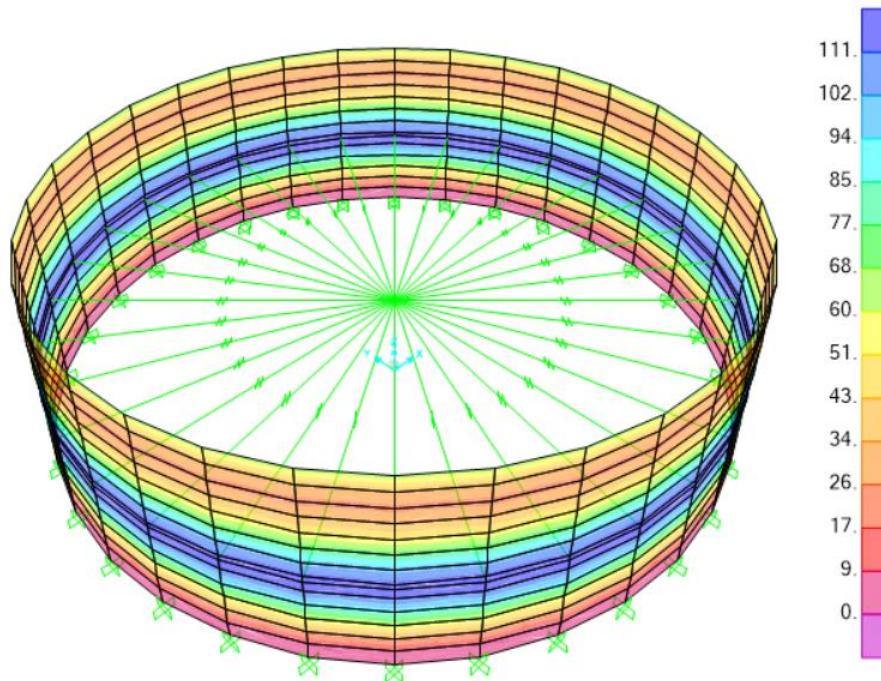


Fuente: Elaboración Propia



3.6.2.2.1.2 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA ACI SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Figura 60: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Conectiva según la norma ACI 350.3  $T_n(1/m)$



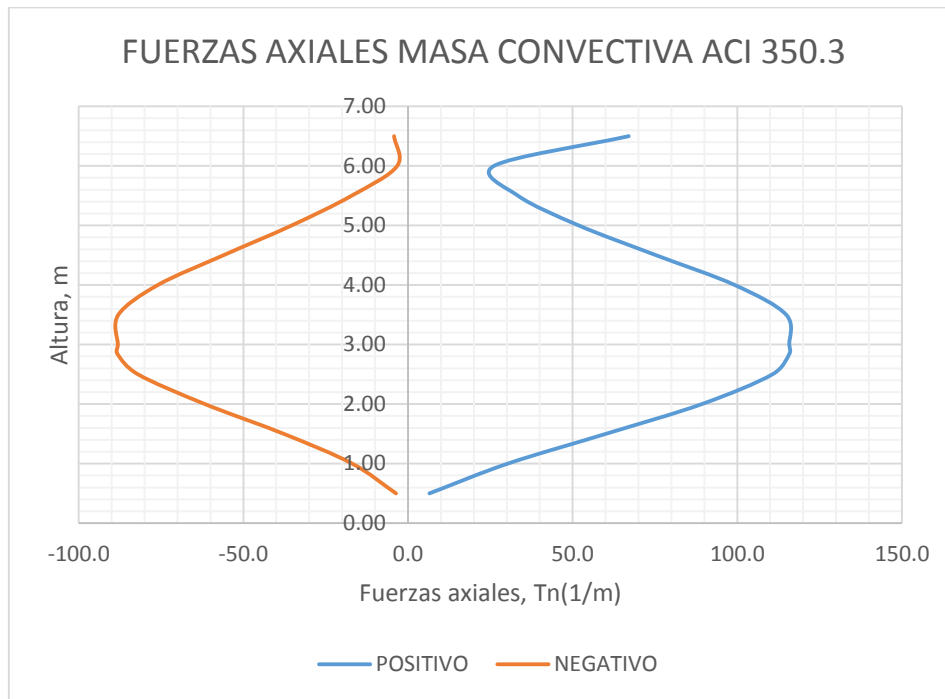
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Fuerzas Axiales para la Masa Conectiva según la norma ACI 350.3

FUERZAS AXIALES MASA CONVECTIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		$T_n(1/m)$	$T_n(1/m)$
0.50	ENVOLVENTE	6.513	-3.645
1.00	ENVOLVENTE	30.306	-16.946
1.50	ENVOLVENTE	60.095	-37.729
2.00	ENVOLVENTE	89.264	-61.684
2.50	ENVOLVENTE	110.703	-82.026
2.84	ENVOLVENTE	115.788	-88.218
3.00	ENVOLVENTE	115.801	-88.119
3.50	ENVOLVENTE	114.878	-87.966
4.00	ENVOLVENTE	99.235	-75.966
4.50	ENVOLVENTE	75.348	-56.033
5.00	ENVOLVENTE	51.865	-35.335
5.50	ENVOLVENTE	33.392	-17.112
6.00	ENVOLVENTE	26.115	-3.292
6.50	ENVOLVENTE	67.045	-4.223

Fuente: Elaboración Propia

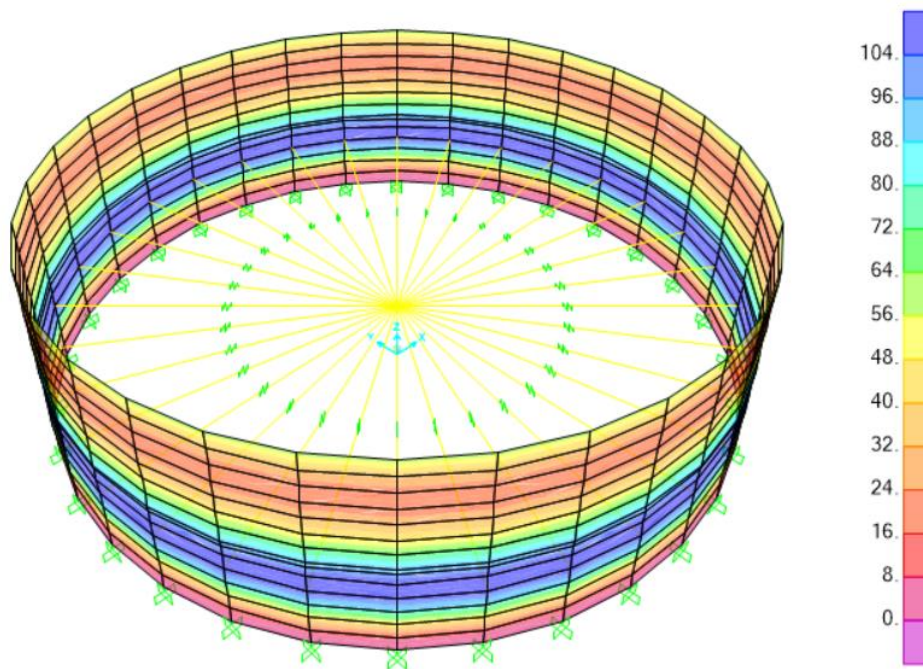
Figura 61: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.2.1.3 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Figura 62: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030 Tn(1/m)



Fuente: Elaboración Propia

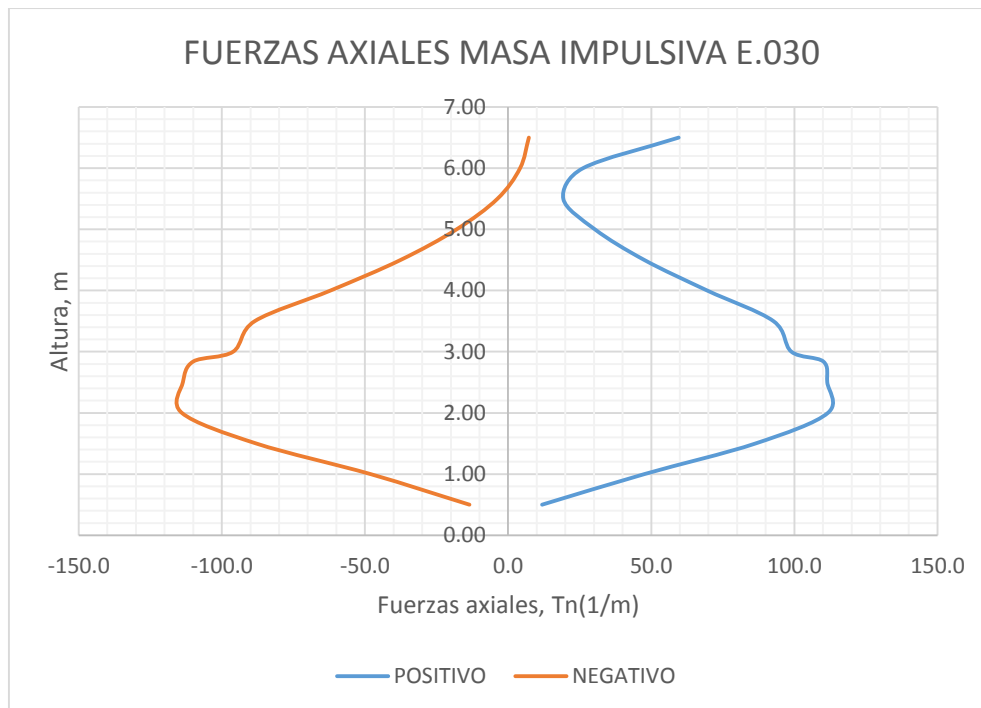


Tabla 27: Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030

FUERZAS AXIALES MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	11.872	-13.511
1.00	ENVOLVENTE	47.627	-48.065
1.50	ENVOLVENTE	86.429	-88.021
2.00	ENVOLVENTE	111.717	-113.964
2.50	ENVOLVENTE	111.492	-113.614
2.84	ENVOLVENTE	110.110	-109.974
3.00	ENVOLVENTE	98.975	-96.069
3.50	ENVOLVENTE	92.693	-88.506
4.00	ENVOLVENTE	69.554	-62.045
4.50	ENVOLVENTE	47.559	-37.547
5.00	ENVOLVENTE	30.329	-18.012
5.50	ENVOLVENTE	19.276	-3.727
6.00	ENVOLVENTE	26.168	4.183
6.50	ENVOLVENTE	59.588	7.255

Fuente: Elaboración Propia

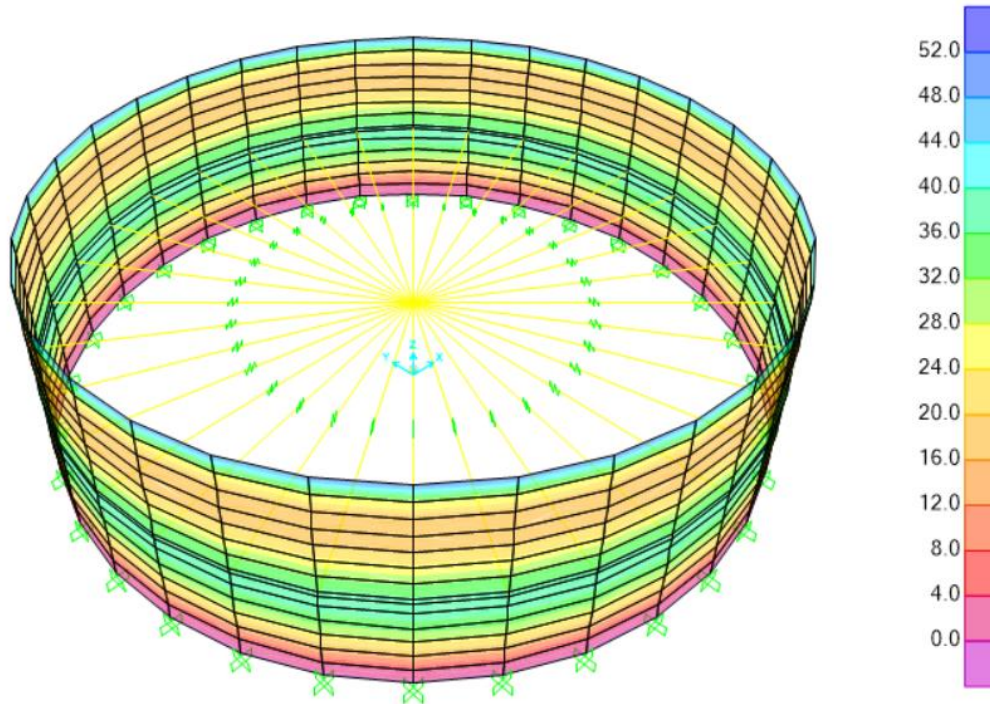
Figura 63: Gráfico de Fuerzas Axiales para la Masa Impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.1.4 FUERZAS AXIALES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Figura 64: Contornos de Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma E.030,  $T_n(1/m)$



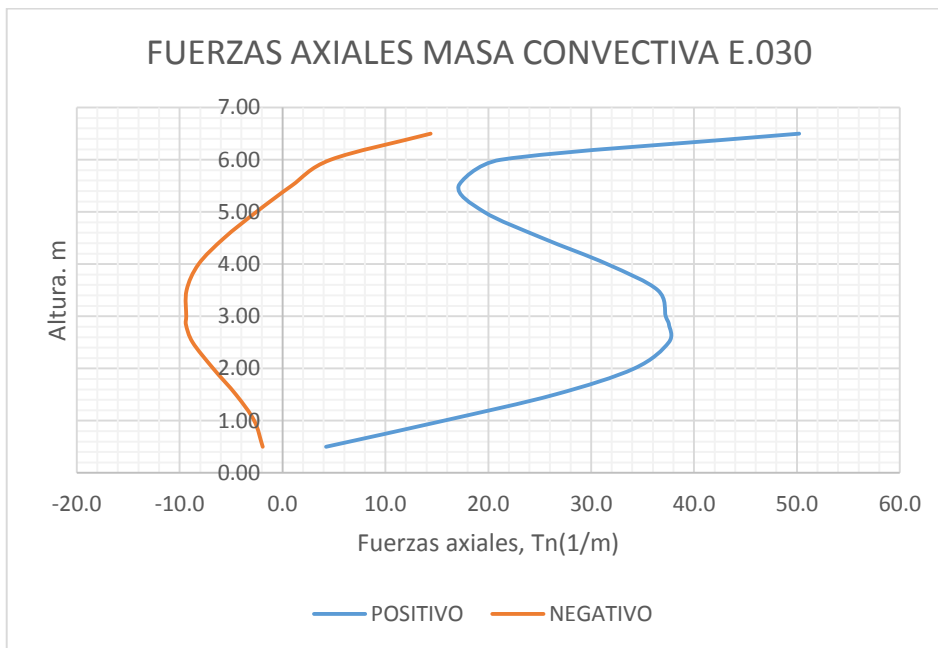
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28: Fuerzas Axiales para la Masa Convectiva según la norma E.030

FUERZAS AXIALES MASA CONVECTIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		$T_n(1/m)$	$T_n(1/m)$
0.50	ENVOLVENTE	4.232	-1.922
1.00	ENVOLVENTE	15.680	-2.748
1.50	ENVOLVENTE	26.463	-4.527
2.00	ENVOLVENTE	34.185	-6.738
2.50	ENVOLVENTE	37.539	-8.731
2.84	ENVOLVENTE	37.563	-9.385
3.00	ENVOLVENTE	37.245	-9.355
3.50	ENVOLVENTE	36.474	-9.323
4.00	ENVOLVENTE	31.563	-8.156
4.50	ENVOLVENTE	25.246	-5.678
5.00	ENVOLVENTE	19.599	-2.539
5.50	ENVOLVENTE	17.119	0.870
6.00	ENVOLVENTE	21.203	4.673
6.50	ENVOLVENTE	50.216	14.396

Fuente: Elaboración Propia

Figura 65: Gráfico de Fuerzas Axiales Masa Convectiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

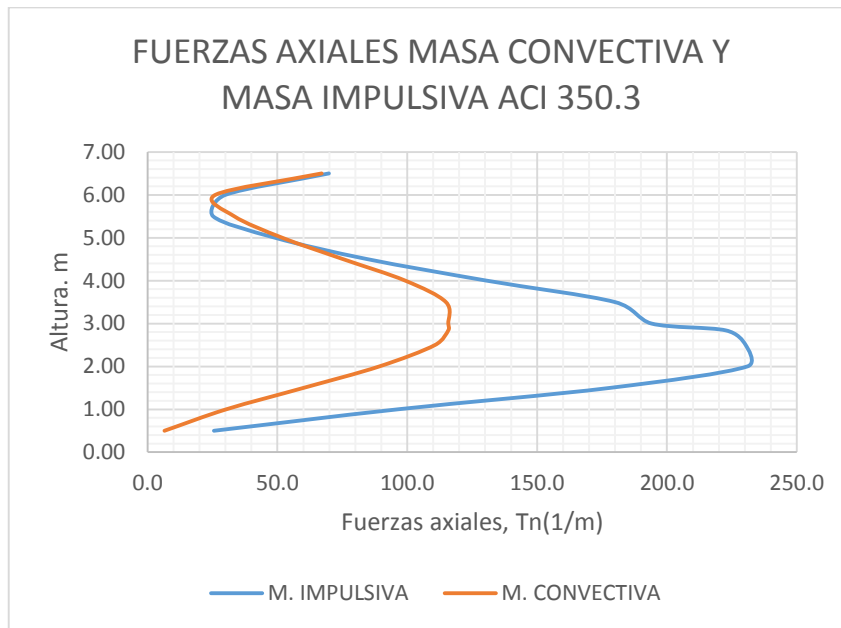
3.6.2.2.1.5 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS ACI 350.3-01 PARA LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA

Tabla 29: Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3-01

FUERZAS AXIALES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	25.560	6.513
1.00	ENVOLVENTE	96.424	30.306
1.50	ENVOLVENTE	178.155	60.095
2.00	ENVOLVENTE	230.982	89.264
2.50	ENVOLVENTE	230.309	110.703
2.84	ENVOLVENTE	222.672	115.788
3.00	ENVOLVENTE	194.031	115.801
3.50	ENVOLVENTE	180.003	114.878
4.00	ENVOLVENTE	130.560	99.235
4.50	ENVOLVENTE	84.741	75.348
5.00	ENVOLVENTE	49.084	51.865
5.50	ENVOLVENTE	25.246	33.392
6.00	ENVOLVENTE	29.979	26.115
6.50	ENVOLVENTE	69.831	67.045

Fuente: Elaboración Propia

Figura 66: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

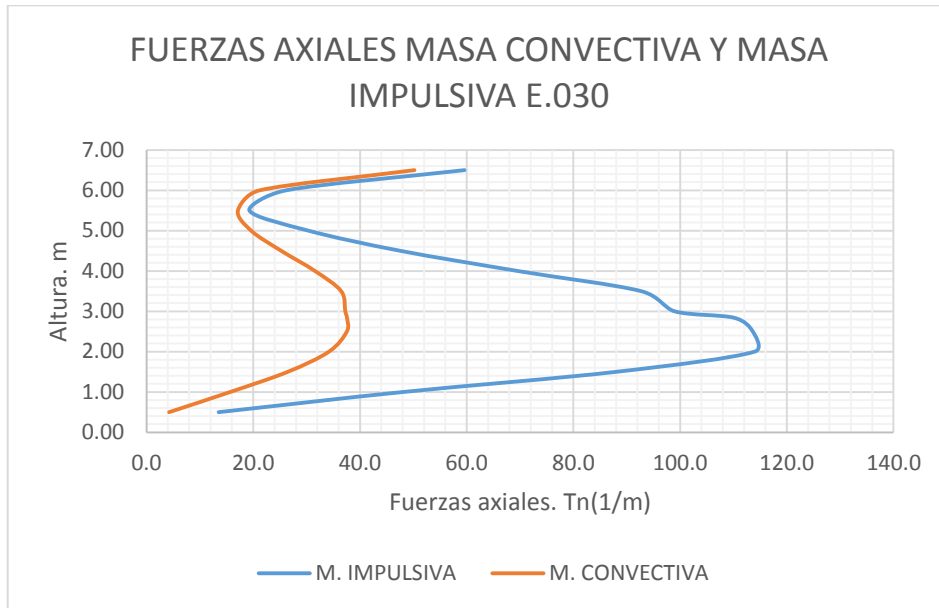
3.6.2.2.1.6 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 30: Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030

FUERZAS AXIALES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS AXIALES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	13.511	4.232
1.00	ENVOLVENTE	48.065	15.680
1.50	ENVOLVENTE	88.021	26.463
2.00	ENVOLVENTE	113.964	34.185
2.50	ENVOLVENTE	113.614	37.539
2.84	ENVOLVENTE	110.110	37.563
3.00	ENVOLVENTE	98.975	37.245
3.50	ENVOLVENTE	92.693	36.474
4.00	ENVOLVENTE	69.554	31.563
4.50	ENVOLVENTE	47.559	25.246
5.00	ENVOLVENTE	30.329	19.599
5.50	ENVOLVENTE	19.276	17.119
6.00	ENVOLVENTE	26.168	21.203
6.50	ENVOLVENTE	59.588	50.216

Fuente: Elaboración Propia

Figura 67: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.1.7 COMPARACIÓN DE FUERZAS AXIALES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 VS ACI 350.3

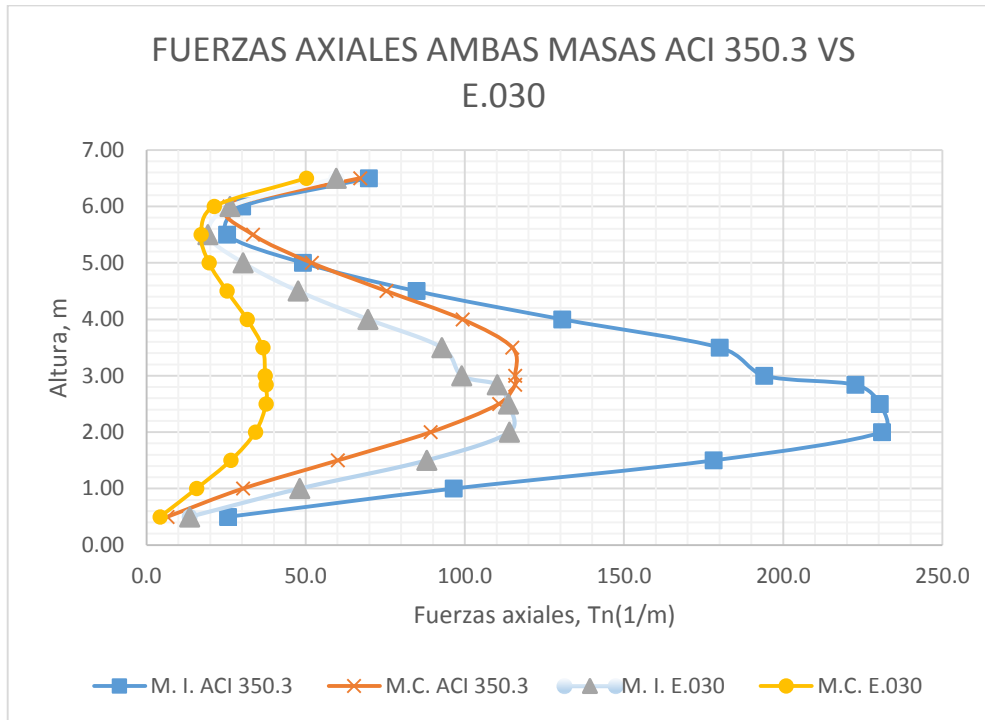
Tabla 31: Comparación de Fuerzas Axiales E.030 y ACI 350.3 Ambas masas

FUERZAS AXIALES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	25.560	6.513	13.511	4.232
1.00	ENVOLVENTE	96.424	30.306	48.065	15.680
1.50	ENVOLVENTE	178.155	60.095	88.021	26.463
2.00	ENVOLVENTE	230.982	89.264	113.964	34.185
2.50	ENVOLVENTE	230.309	110.703	113.614	37.539
2.84	ENVOLVENTE	222.672	115.788	110.110	37.563
3.00	ENVOLVENTE	194.031	115.801	98.975	37.245
3.50	ENVOLVENTE	180.003	114.878	92.693	36.474
4.00	ENVOLVENTE	130.560	99.235	69.554	31.563
4.50	ENVOLVENTE	84.741	75.348	47.559	25.246
5.00	ENVOLVENTE	49.084	51.865	30.329	19.599
5.50	ENVOLVENTE	25.246	33.392	19.276	17.119
6.00	ENVOLVENTE	29.979	26.115	26.168	21.203
6.50	ENVOLVENTE	69.831	67.045	59.588	50.216

Fuente: Elaboración Propia



Figura 68: Gráfico de Comparación de Fuerzas Axiales de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 y ACI 350.3

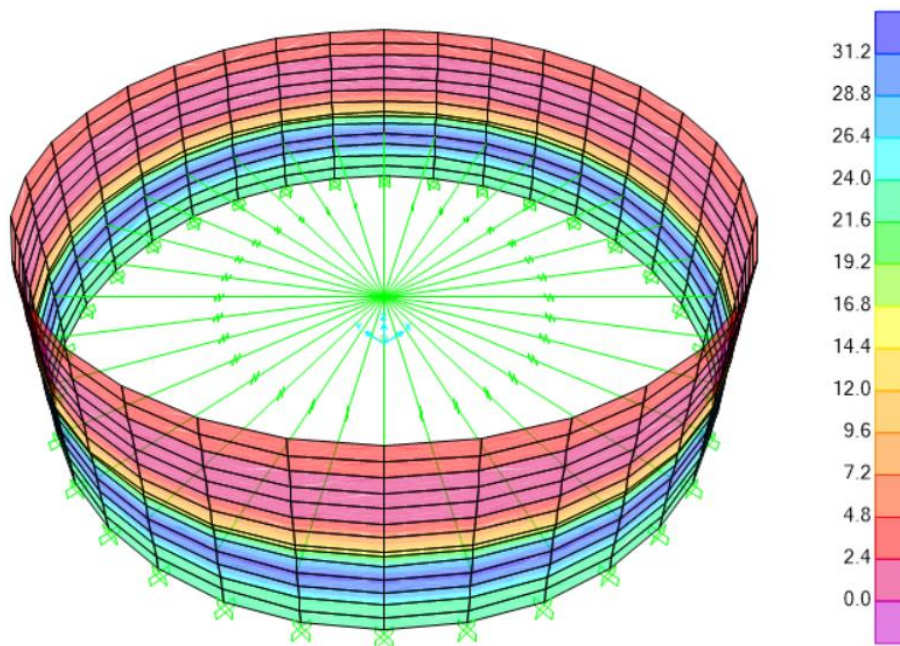


Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.2.2 FUERZAS CORTANTES

#### 3.6.2.2.2.1 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA ACI 350.3

Figura 69: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3



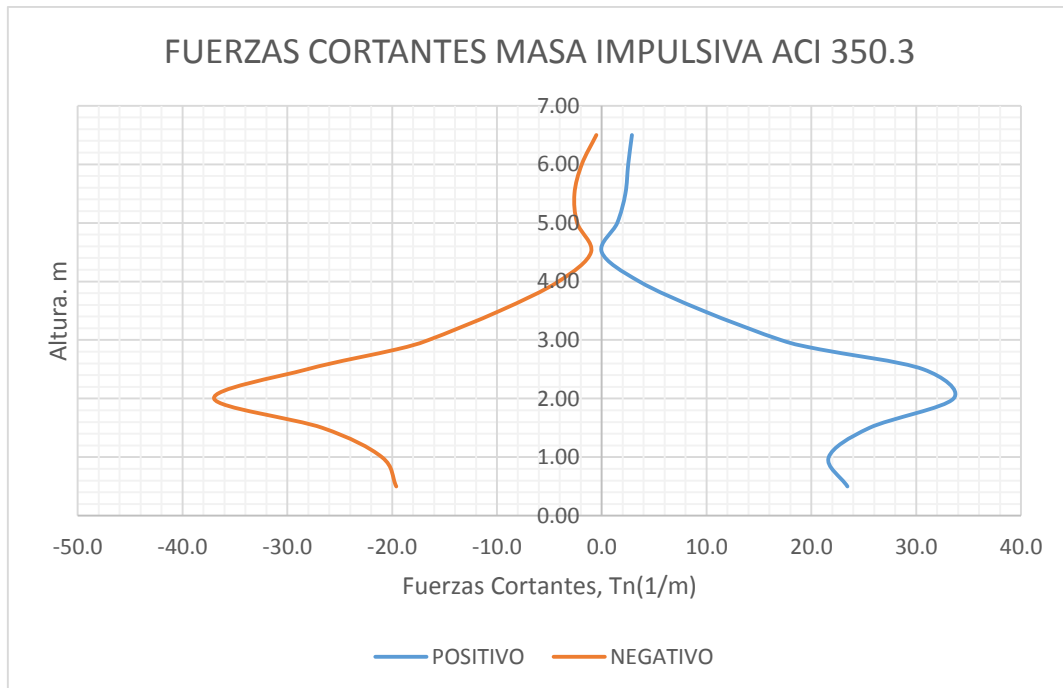
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32: Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3

FUERZAS CORTANTES MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	23.441	-19.605
1.00	ENVOLVENTE	21.658	-20.975
1.50	ENVOLVENTE	25.541	-26.650
2.00	ENVOLVENTE	33.563	-36.987
2.50	ENVOLVENTE	30.685	-28.120
2.84	ENVOLVENTE	20.817	-19.585
3.00	ENVOLVENTE	17.088	-16.526
3.50	ENVOLVENTE	9.663	-9.708
4.00	ENVOLVENTE	3.575	-4.116
4.50	ENVOLVENTE	0.002	-1.023
5.00	ENVOLVENTE	1.480	-2.348
5.50	ENVOLVENTE	2.256	-2.604
6.00	ENVOLVENTE	2.525	-1.905
6.50	ENVOLVENTE	2.880	-0.514

Fuente: Elaboración Propia

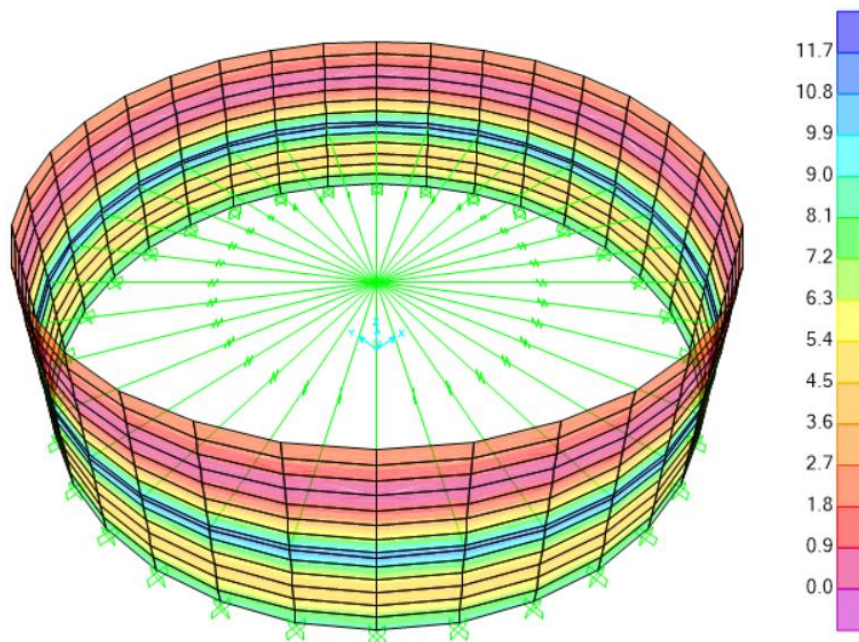
Figura 70: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.2 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN NORMA ACI 350.3

Figura 71: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva ACI 350.3-01



Fuente: Elaboración Propia

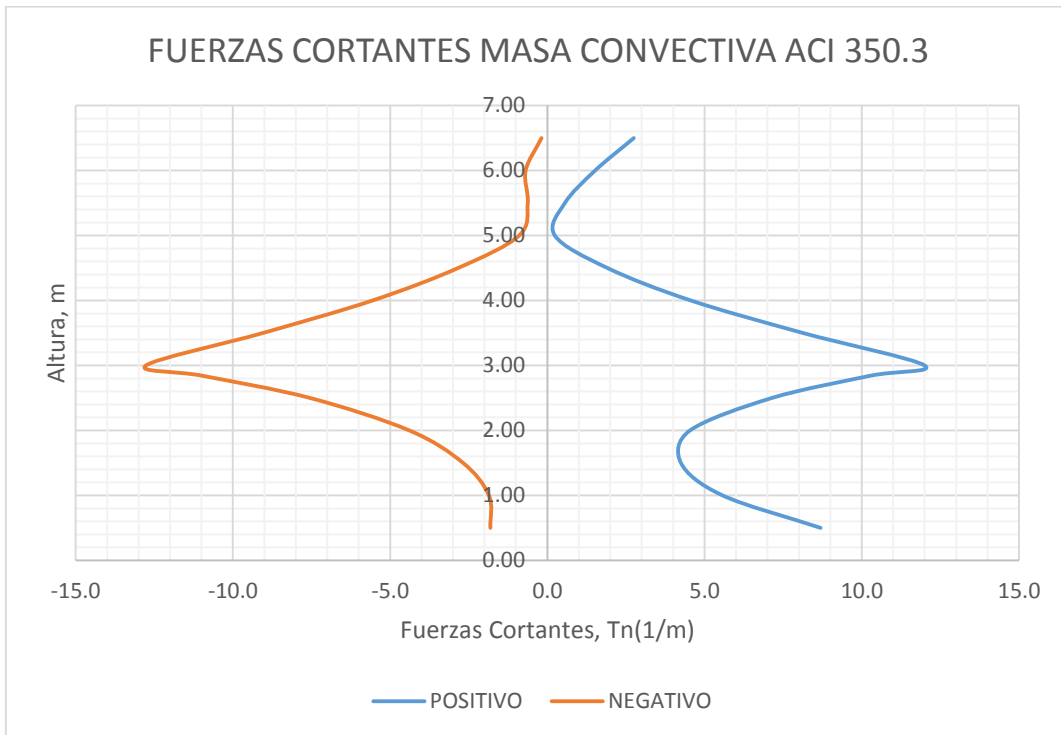
Tabla 33: Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma ACI 350.3-01

FUERZAS CORTANTES MASA CONVECTIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	8.690	-1.812
1.00	ENVOLVENTE	5.573	-1.858
1.50	ENVOLVENTE	4.248	-2.680
2.00	ENVOLVENTE	4.538	-4.391
2.50	ENVOLVENTE	7.146	-7.553
2.84	ENVOLVENTE	10.257	-10.956
3.00	ENVOLVENTE	11.998	-12.765
3.50	ENVOLVENTE	8.128	-9.044
4.00	ENVOLVENTE	4.562	-5.557
4.50	ENVOLVENTE	1.909	-2.837
5.00	ENVOLVENTE	0.238	-0.897
5.50	ENVOLVENTE	0.557	-0.624
6.00	ENVOLVENTE	1.520	-0.691
6.50	ENVOLVENTE	2.750	-0.185

Fuente: Elaboración Propia

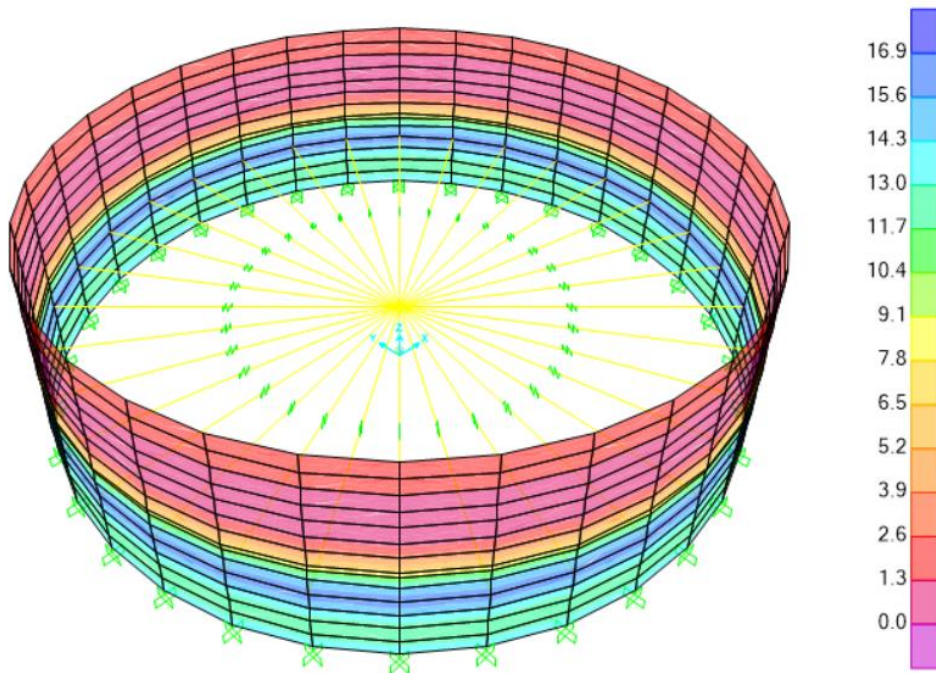


Figura 72: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma ACI 350.3



### 3.6.2.2.2.3 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA E.030

Figura 73: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030



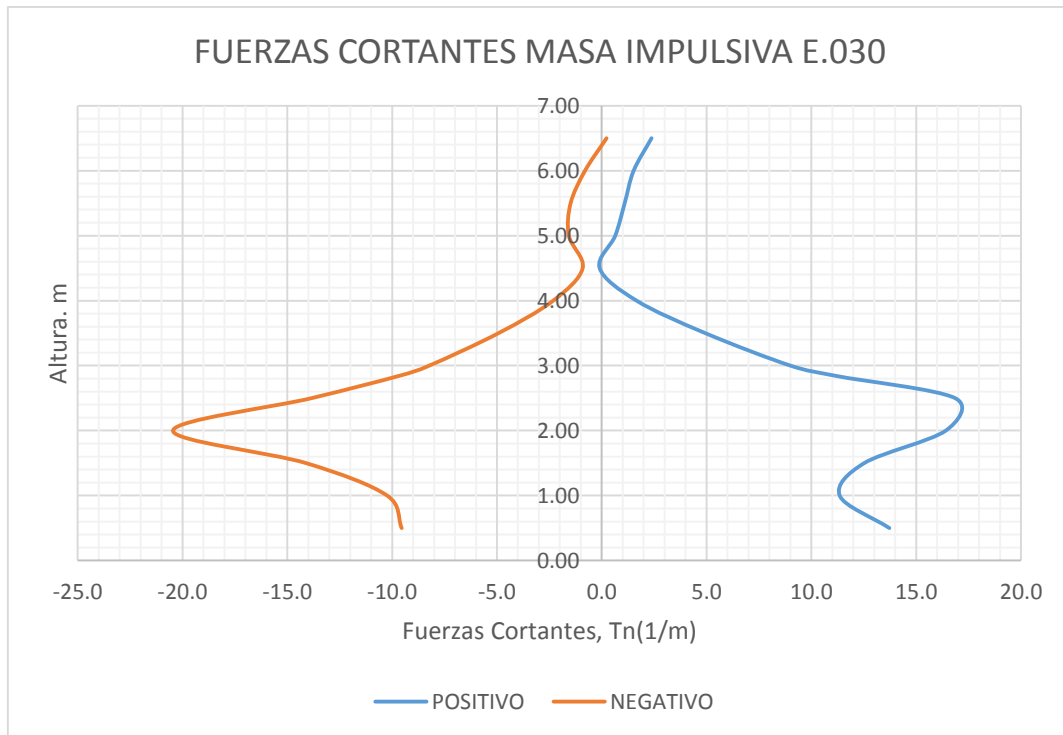
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030

FUERZAS CORTANTES MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	13.722	-9.544
1.00	ENVOLVENTE	11.351	-10.239
1.50	ENVOLVENTE	12.524	-14.110
2.00	ENVOLVENTE	16.414	-20.454
2.50	ENVOLVENTE	16.856	-13.837
2.84	ENVOLVENTE	11.211	-9.698
3.00	ENVOLVENTE	9.002	-8.228
3.50	ENVOLVENTE	4.939	-4.924
4.00	ENVOLVENTE	1.659	-2.314
4.50	ENVOLVENTE	-0.099	-0.911
5.00	ENVOLVENTE	0.644	-1.570
5.50	ENVOLVENTE	1.094	-1.485
6.00	ENVOLVENTE	1.521	-0.798
6.50	ENVOLVENTE	2.374	0.229

Fuente: Elaboración Propia

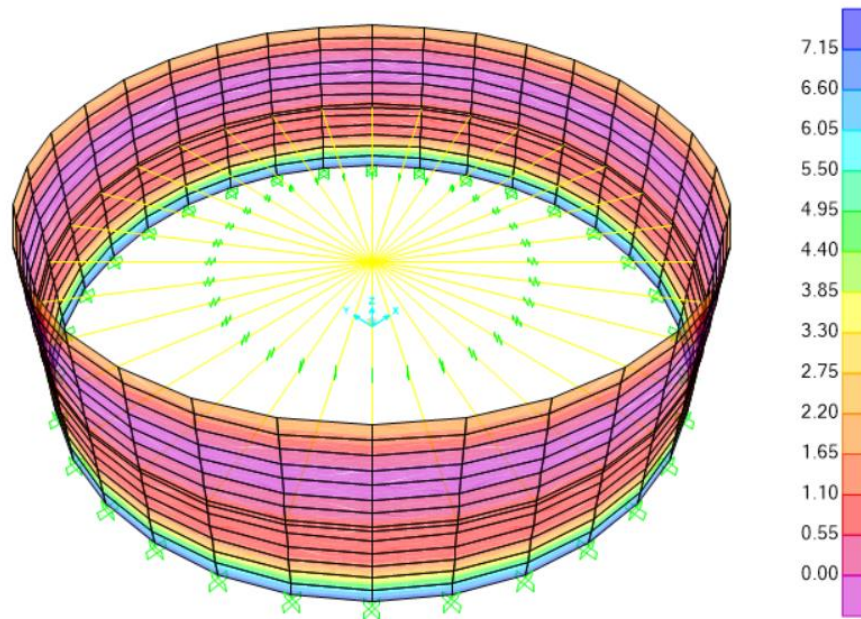
Figura 74: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Impulsiva según norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.4 FUERZAS CORTANTES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA CON NORMA E.030

Figura 75: Contorno de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030



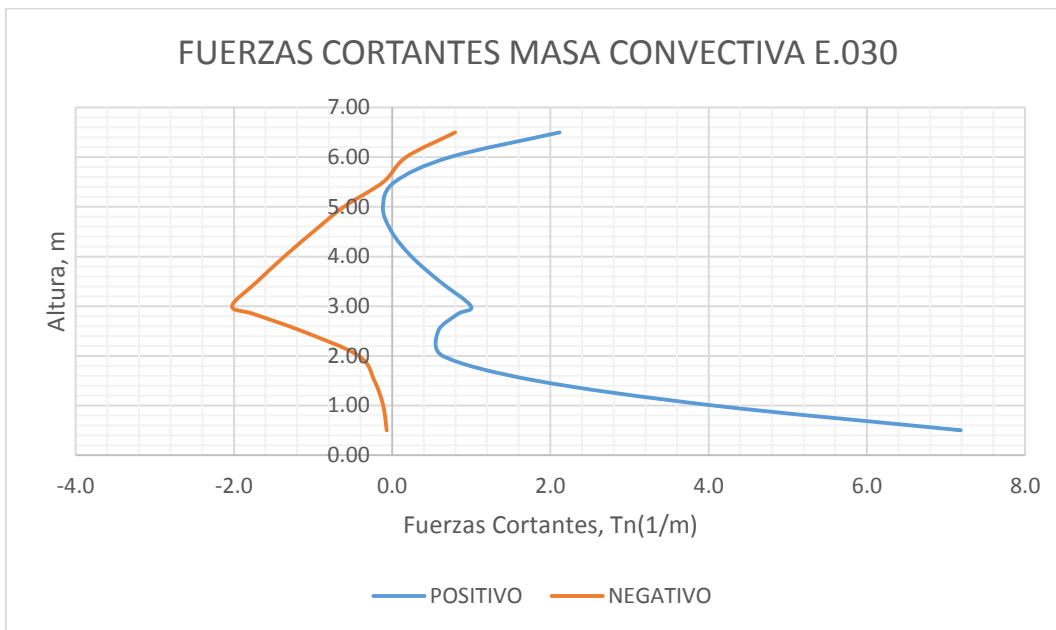
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35: Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030

FUERZAS CORTANTES MASA CONVECTIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	7.188	-0.069
1.00	ENVOLVENTE	4.058	-0.114
1.50	ENVOLVENTE	1.817	-0.225
2.00	ENVOLVENTE	0.638	-0.423
2.50	ENVOLVENTE	0.582	-1.143
2.84	ENVOLVENTE	0.827	-1.747
3.00	ENVOLVENTE	0.996	-2.024
3.50	ENVOLVENTE	0.600	-1.703
4.00	ENVOLVENTE	0.244	-1.363
4.50	ENVOLVENTE	-0.007	-0.997
5.00	ENVOLVENTE	-0.117	-0.611
5.50	ENVOLVENTE	0.031	-0.113
6.00	ENVOLVENTE	0.727	0.175
6.50	ENVOLVENTE	2.116	0.796

Fuente: Elaboración Propia

Figura 76: Gráfico de Fuerzas Cortantes Masa Convectiva según norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

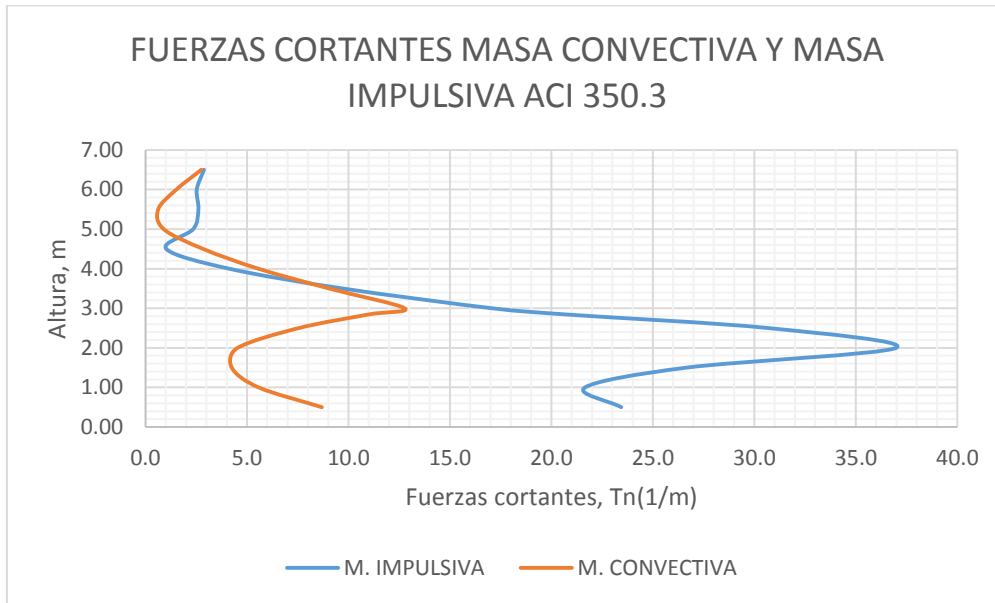
3.6.2.2.2.5 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3

Tabla 36: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3

FUERZAS CORTANTES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	23.441	8.690
1.00	ENVOLVENTE	21.658	5.573
1.50	ENVOLVENTE	26.650	4.248
2.00	ENVOLVENTE	36.987	4.538
2.50	ENVOLVENTE	30.685	7.553
2.84	ENVOLVENTE	20.817	10.956
3.00	ENVOLVENTE	17.088	12.765
3.50	ENVOLVENTE	9.708	9.044
4.00	ENVOLVENTE	4.116	5.557
4.50	ENVOLVENTE	1.023	2.837
5.00	ENVOLVENTE	2.348	0.897
5.50	ENVOLVENTE	2.604	0.624
6.00	ENVOLVENTE	2.525	1.520
6.50	ENVOLVENTE	2.880	2.750

Fuente: Elaboración Propia

Figura 77: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

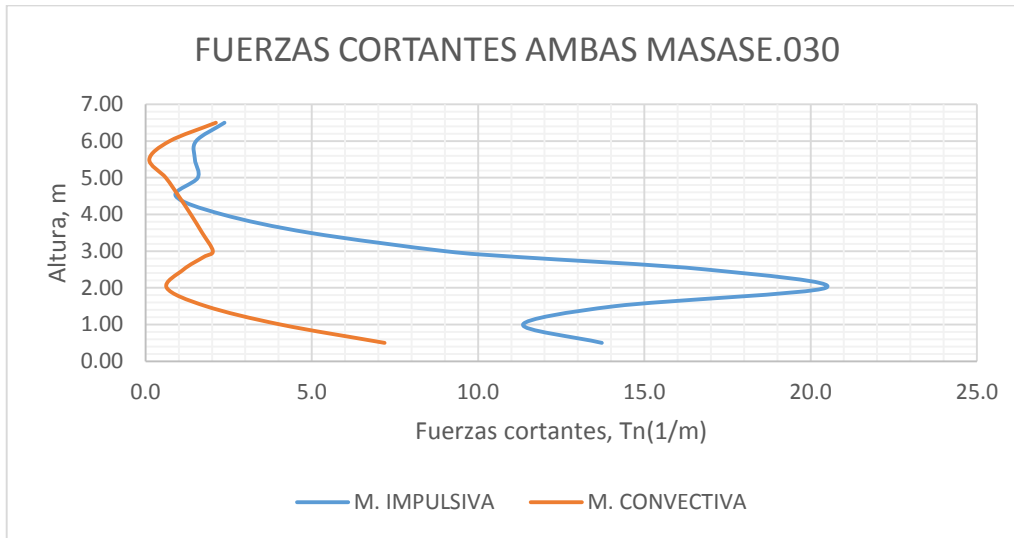
3.6.2.2.2.6 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 37: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma E.030

FUERZAS CORTANTES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	FUERZAS CORTANTES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	13.722	7.188
1.00	ENVOLVENTE	11.351	4.058
1.50	ENVOLVENTE	14.110	1.817
2.00	ENVOLVENTE	20.454	0.638
2.50	ENVOLVENTE	16.856	1.143
2.84	ENVOLVENTE	11.211	1.747
3.00	ENVOLVENTE	9.002	2.024
3.50	ENVOLVENTE	4.939	1.703
4.00	ENVOLVENTE	2.314	1.363
4.50	ENVOLVENTE	0.911	0.997
5.00	ENVOLVENTE	1.570	0.611
5.50	ENVOLVENTE	1.485	0.113
6.00	ENVOLVENTE	1.521	0.727
6.50	ENVOLVENTE	2.374	2.116

Fuente: Elaboración Propia

Figura 78: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.2.7 COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 VS E.030

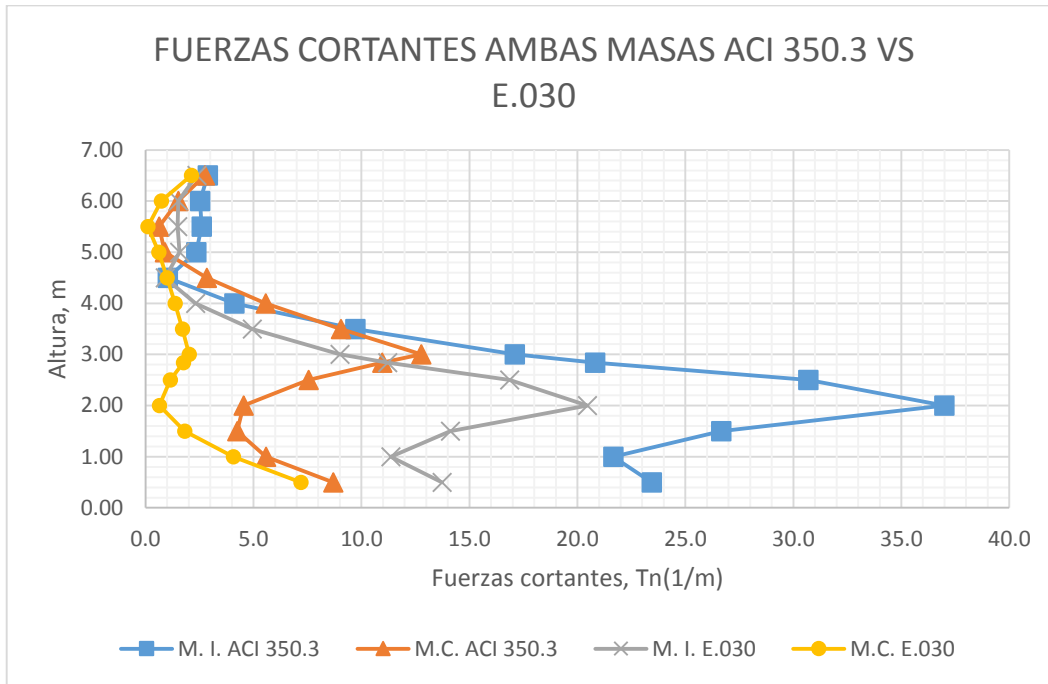
Tabla 38: Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030

FUERZAS CORTANTES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	23.441	8.690	13.722	7.188
1.00	ENVOLVENTE	21.658	5.573	11.351	4.058
1.50	ENVOLVENTE	26.650	4.248	14.110	1.817
2.00	ENVOLVENTE	36.987	4.538	20.454	0.638
2.50	ENVOLVENTE	30.685	7.553	16.856	1.143
2.84	ENVOLVENTE	20.817	10.956	11.211	1.747
3.00	ENVOLVENTE	17.088	12.765	9.002	2.024
3.50	ENVOLVENTE	9.708	9.044	4.939	1.703
4.00	ENVOLVENTE	4.116	5.557	2.314	1.363
4.50	ENVOLVENTE	1.023	2.837	0.911	0.997
5.00	ENVOLVENTE	2.348	0.897	1.570	0.611
5.50	ENVOLVENTE	2.604	0.624	1.485	0.113
6.00	ENVOLVENTE	2.525	1.520	1.521	0.727
6.50	ENVOLVENTE	2.880	2.750	2.374	2.116

Fuente: Elaboración Propia



Figura 79: Gráfico de Comparación Fuerzas Cortantes de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030 y ACI 350.3

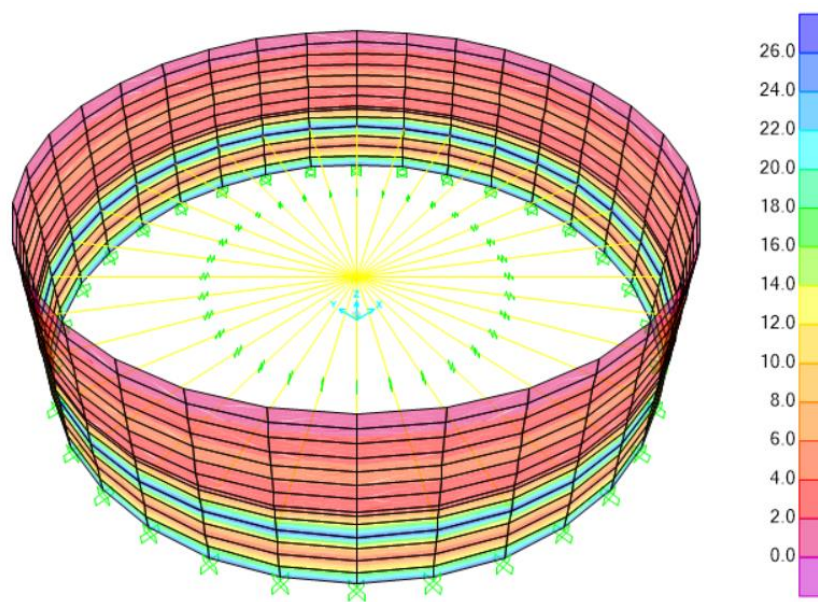


Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.2.3 MOMENTOS FLECTORES

#### 3.6.2.2.3.1 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Figura 80: Contornos de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3



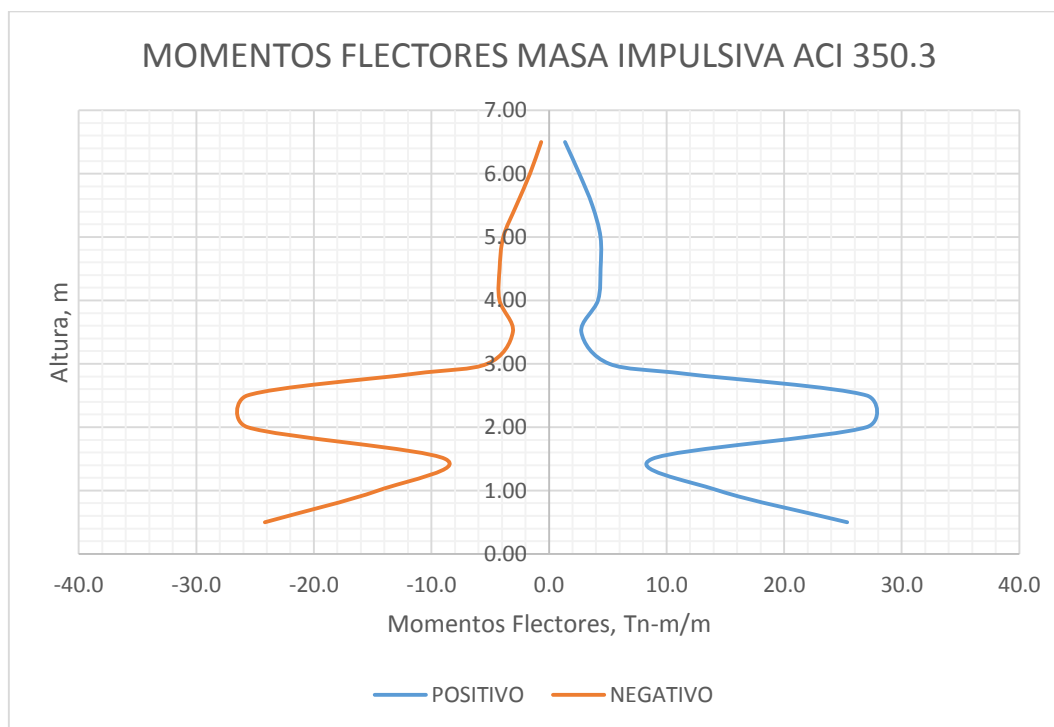
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39: Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3

MOMENTOS FLECTORES MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	25.358	-24.166
1.00	ENVOLVENTE	14.416	-14.544
1.50	ENVOLVENTE	8.776	-8.843
2.00	ENVOLVENTE	27.005	-25.642
2.50	ENVOLVENTE	27.029	-25.665
2.84	ENVOLVENTE	11.697	-11.619
3.00	ENVOLVENTE	5.132	-5.262
3.50	ENVOLVENTE	2.749	-3.074
4.00	ENVOLVENTE	4.162	-4.208
4.50	ENVOLVENTE	4.385	-4.202
5.00	ENVOLVENTE	4.380	-3.893
5.50	ENVOLVENTE	3.684	-2.776
6.00	ENVOLVENTE	2.578	-1.619
6.50	ENVOLVENTE	1.361	-0.664

Fuente: Elaboración Propia

Figura 81: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3

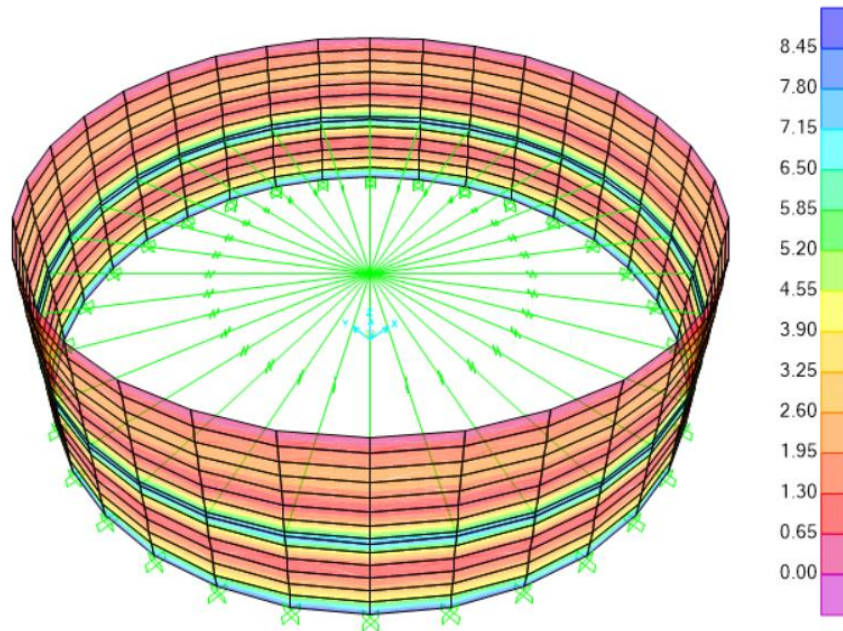


Fuente: Elaboración Propia



3.6.2.2.3.2 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Figura 82: Contornos de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3



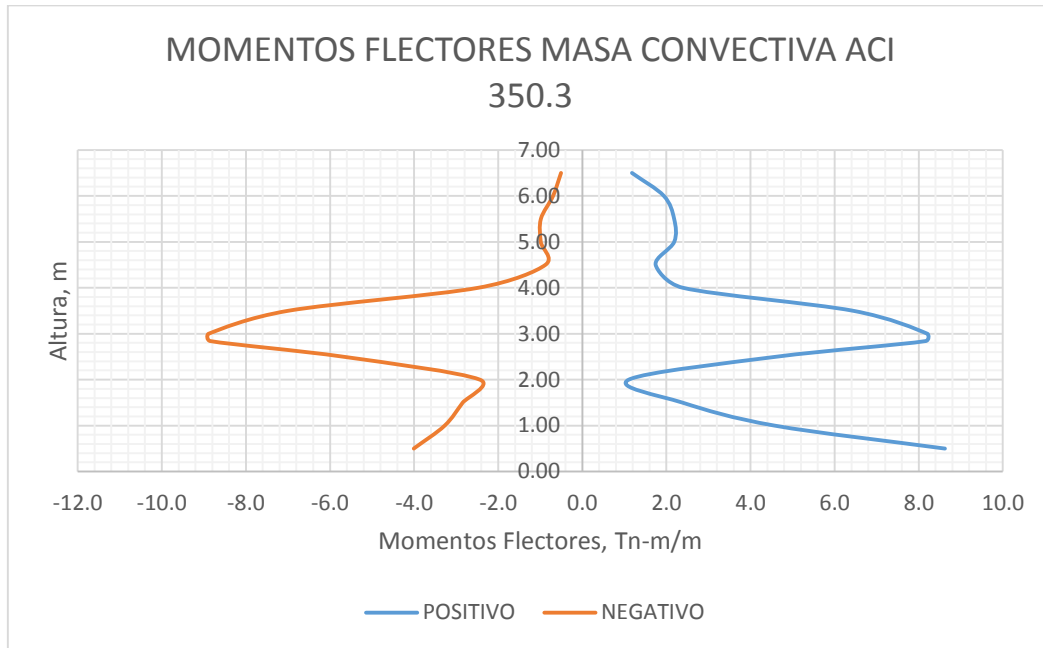
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40: Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3

MOMENTOS FLECTORES MASA CONVECTIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	8.623	-4.008
1.00	ENVOLVENTE	4.572	-3.273
1.50	ENVOLVENTE	2.382	-2.845
2.00	ENVOLVENTE	1.104	-2.436
2.50	ENVOLVENTE	4.618	-5.687
2.84	ENVOLVENTE	8.164	-8.847
3.00	ENVOLVENTE	8.205	-8.887
3.50	ENVOLVENTE	6.437	-6.993
4.00	ENVOLVENTE	2.392	-2.476
4.50	ENVOLVENTE	1.743	-0.877
5.00	ENVOLVENTE	2.185	-0.989
5.50	ENVOLVENTE	2.183	-0.986
6.00	ENVOLVENTE	1.938	-0.696
6.50	ENVOLVENTE	1.181	-0.506

Fuente: Elaboración Propia

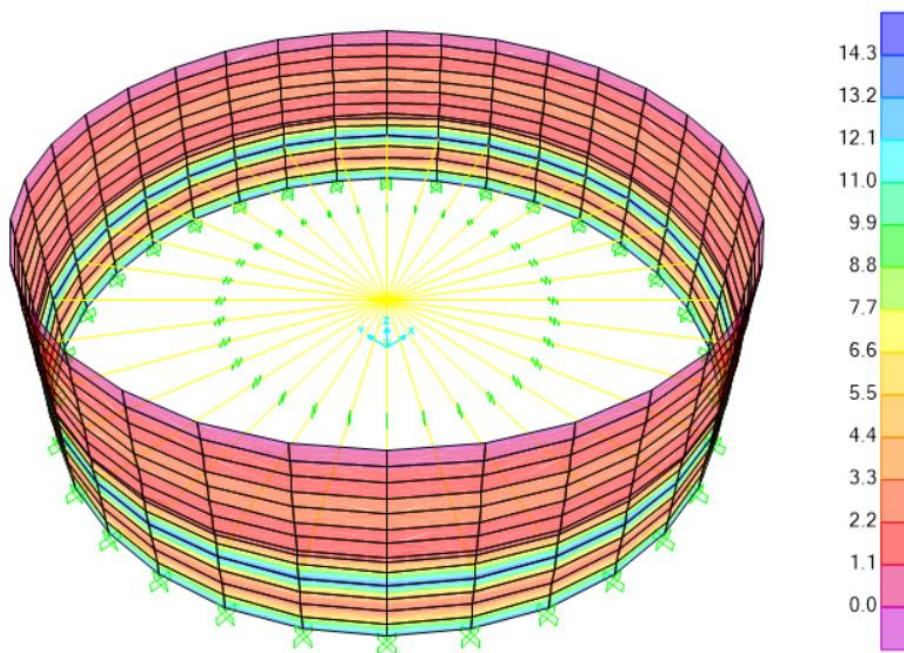
Figura 83: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2.2.3.3 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Figura 84: Contornos de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030



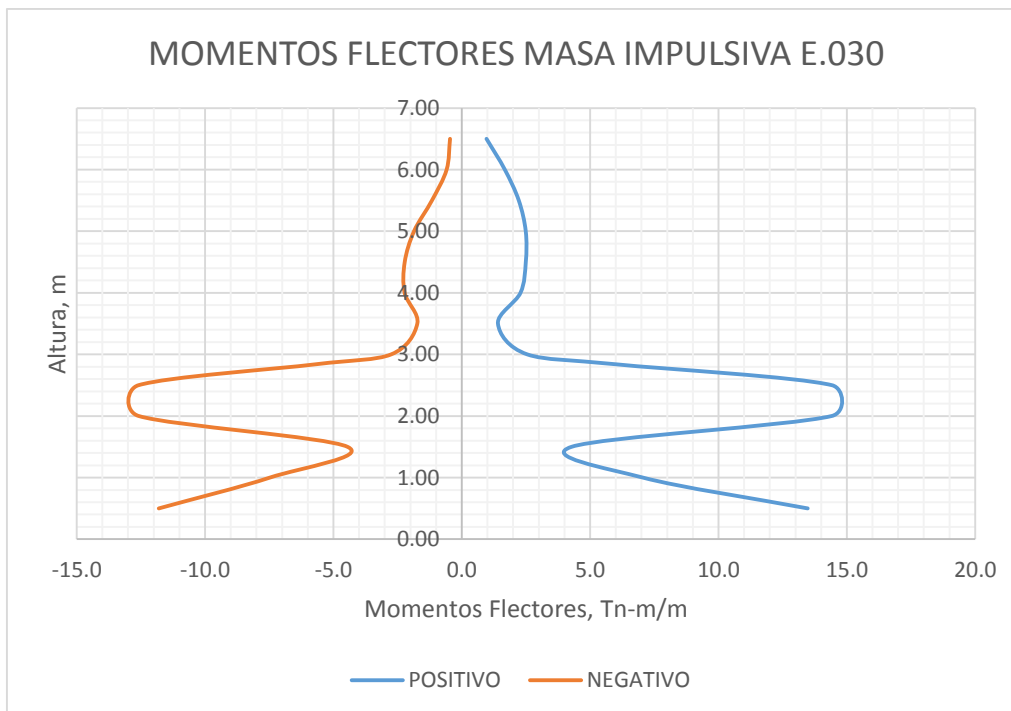
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41: Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030

MOMENTOS FLECTORES MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	13.476	-11.803
1.00	ENVOLVENTE	7.058	-7.476
1.50	ENVOLVENTE	4.278	-4.453
2.00	ENVOLVENTE	14.412	-12.584
2.50	ENVOLVENTE	14.424	-12.595
2.84	ENVOLVENTE	6.000	-5.685
3.00	ENVOLVENTE	2.554	-2.752
3.50	ENVOLVENTE	1.409	-1.732
4.00	ENVOLVENTE	2.287	-2.226
4.50	ENVOLVENTE	2.494	-2.222
5.00	ENVOLVENTE	2.492	-1.859
5.50	ENVOLVENTE	2.221	-1.161
6.00	ENVOLVENTE	1.678	-0.589
6.50	ENVOLVENTE	0.963	-0.457

Fuente: Elaboración Propia

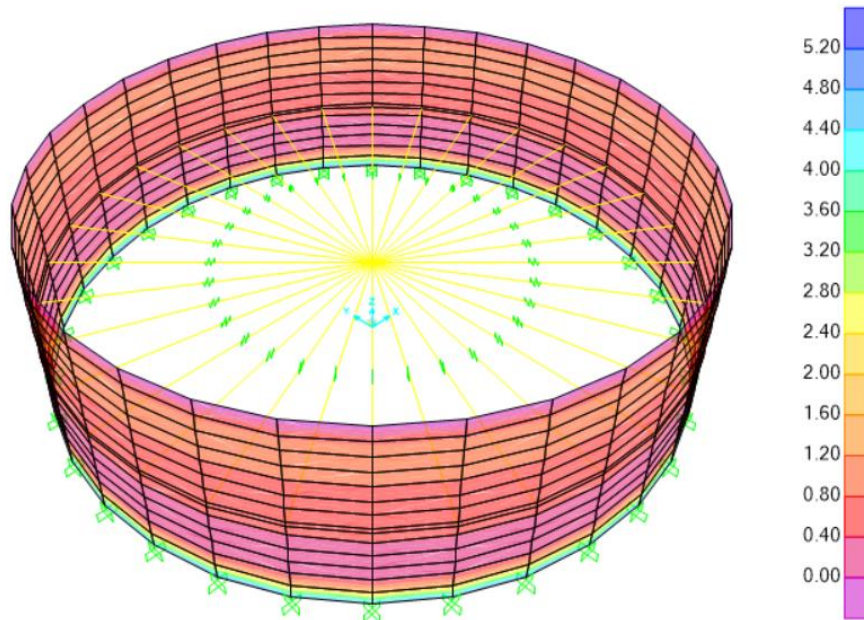
Figura 85: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.3.4 MOMENTOS FLECTORES EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Figura 86: Contornos de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030



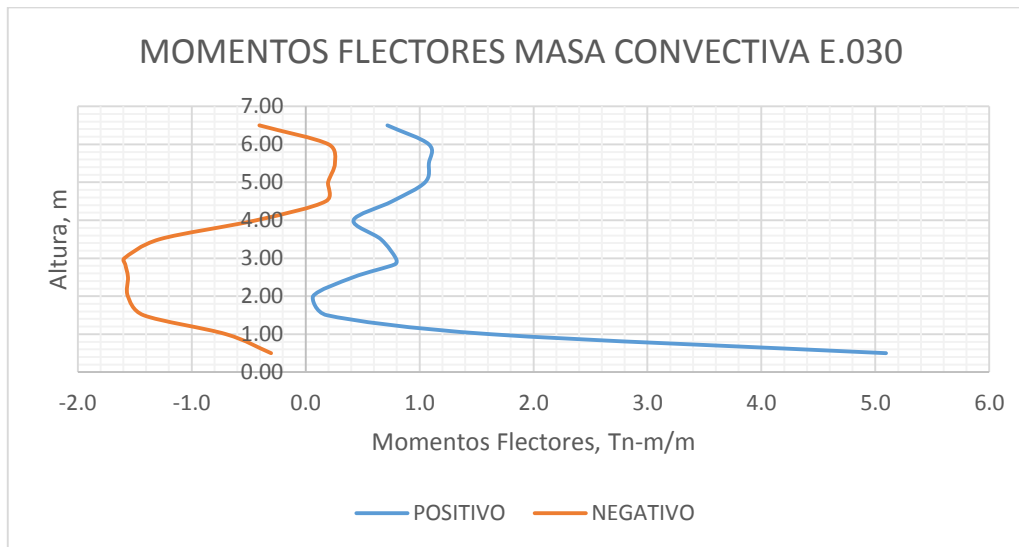
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42: Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030

MOMENTOS FLECTORES MASA CONVECTIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		POSITIVO	NEGATIVO
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	5.093	-0.303
1.00	ENVOLVENTE	1.624	-0.698
1.50	ENVOLVENTE	0.187	-1.422
2.00	ENVOLVENTE	0.066	-1.560
2.50	ENVOLVENTE	0.417	-1.559
2.84	ENVOLVENTE	0.783	-1.583
3.00	ENVOLVENTE	0.792	-1.591
3.50	ENVOLVENTE	0.661	-1.282
4.00	ENVOLVENTE	0.420	-0.434
4.50	ENVOLVENTE	0.760	0.176
5.00	ENVOLVENTE	1.048	0.197
5.50	ENVOLVENTE	1.082	0.257
6.00	ENVOLVENTE	1.082	0.201
6.50	ENVOLVENTE	0.718	-0.406

Fuente: Elaboración Propia

Figura 87: Gráfico de Momentos Flectores de Masa Convectiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.3.5 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

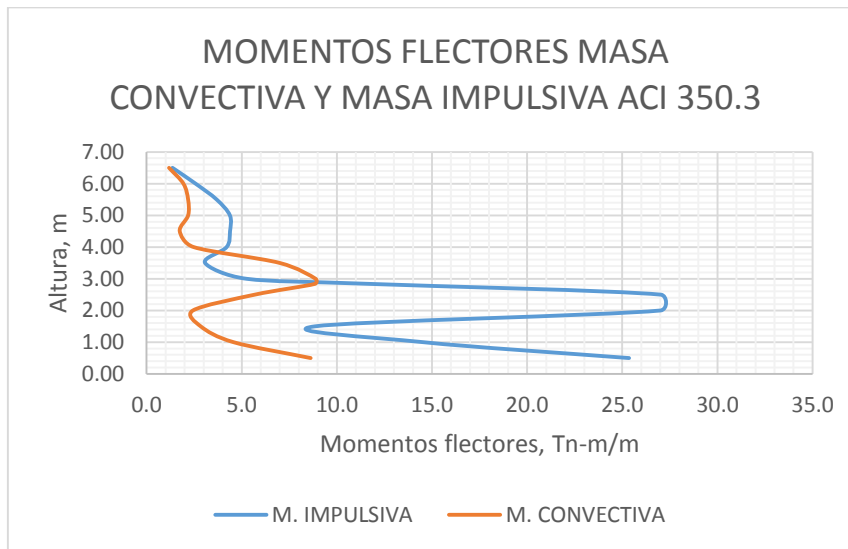
Tabla 43: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma ACI 350.3

MOMENTOS FLECTORES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	25.358	8.623
1.00	ENVOLVENTE	14.544	4.572
1.50	ENVOLVENTE	8.843	2.845
2.00	ENVOLVENTE	27.005	2.436
2.50	ENVOLVENTE	27.029	5.687
2.84	ENVOLVENTE	11.697	8.847
3.00	ENVOLVENTE	5.262	8.887
3.50	ENVOLVENTE	3.074	6.993
4.00	ENVOLVENTE	4.208	2.476
4.50	ENVOLVENTE	4.385	1.743
5.00	ENVOLVENTE	4.380	2.185
5.50	ENVOLVENTE	3.684	2.183
6.00	ENVOLVENTE	2.578	1.938
6.50	ENVOLVENTE	1.361	1.181

Fuente: Elaboración Propia



Figura 88: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

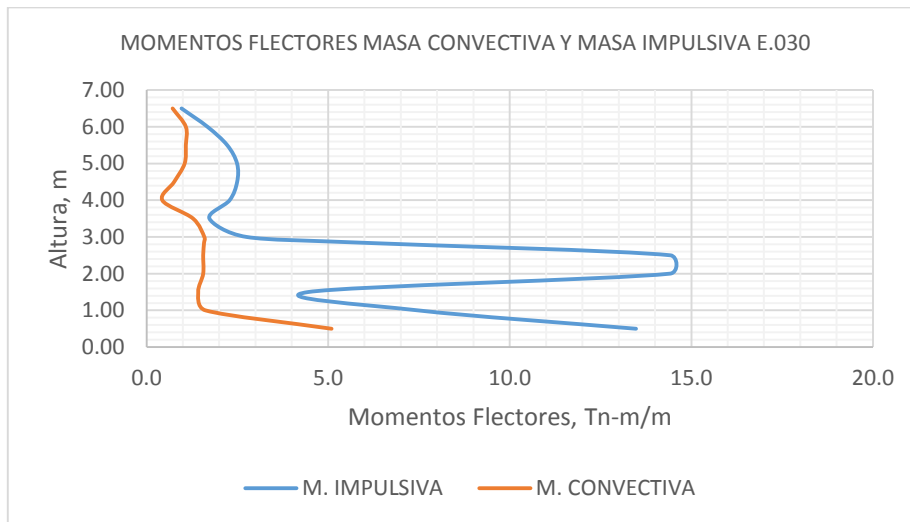
3.6.2.2.3.6 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS CON DE LA MASA CONVECTIVA Y LA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 44: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva según la norma E.030

MOMENTOS FLECTORES MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	MOMENTOS FLECTORES	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	13.476	5.093
1.00	ENVOLVENTE	7.476	1.624
1.50	ENVOLVENTE	4.453	1.422
2.00	ENVOLVENTE	14.412	1.560
2.50	ENVOLVENTE	14.424	1.559
2.84	ENVOLVENTE	6.000	1.583
3.00	ENVOLVENTE	2.752	1.591
3.50	ENVOLVENTE	1.732	1.282
4.00	ENVOLVENTE	2.287	0.434
4.50	ENVOLVENTE	2.494	0.760
5.00	ENVOLVENTE	2.492	1.048
5.50	ENVOLVENTE	2.221	1.082
6.00	ENVOLVENTE	1.678	1.082
6.50	ENVOLVENTE	0.963	0.718

Fuente: Elaboración Propia

Figura 89: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y la masa impulsiva Según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

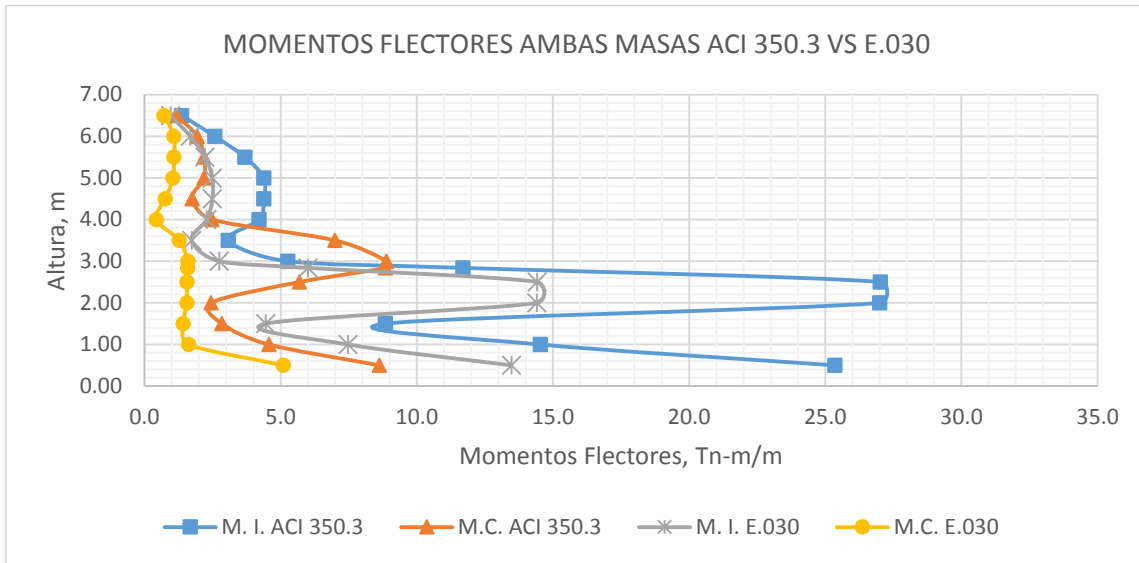
3.6.2.2.3.7 COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN NORMA E.030 VS ACI 350.3

Tabla 45: Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030

MOMENTOS FLECTORES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn-m/m	Tn-m/m	Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	25.358	8.623	13.476	5.093
1.00	ENVOLVENTE	14.544	4.572	7.476	1.624
1.50	ENVOLVENTE	8.843	2.845	4.453	1.422
2.00	ENVOLVENTE	27.005	2.436	14.412	1.560
2.50	ENVOLVENTE	27.029	5.687	14.424	1.559
2.84	ENVOLVENTE	11.697	8.847	6.000	1.583
3.00	ENVOLVENTE	5.262	8.887	2.752	1.591
3.50	ENVOLVENTE	3.074	6.993	1.732	1.282
4.00	ENVOLVENTE	4.208	2.476	2.287	0.434
4.50	ENVOLVENTE	4.385	1.743	2.494	0.760
5.00	ENVOLVENTE	4.380	2.185	2.492	1.048
5.50	ENVOLVENTE	3.684	2.183	2.221	1.082
6.00	ENVOLVENTE	2.578	1.938	1.678	1.082
6.50	ENVOLVENTE	1.361	1.181	0.963	0.718

Fuente: Elaboración Propia

Figura 90: Gráfico de Comparación de Momentos Flectores de la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.4 DESPLAZAMIENTOS

3.6.2.2.4.1 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

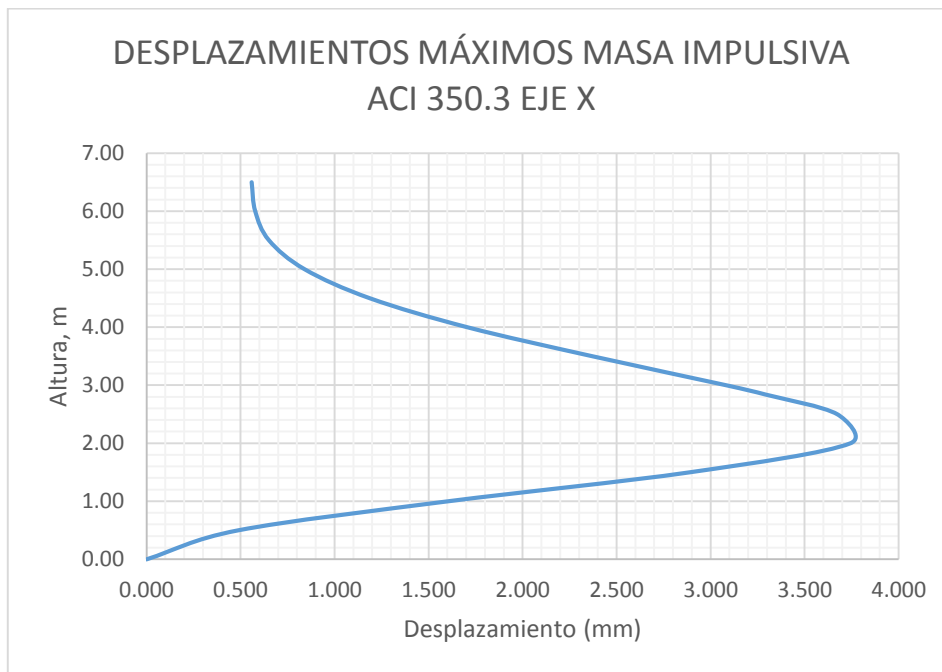
Tabla 46: Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS MASA IMPULSIVA ACI 350.3 EJE X				
H (m)	CASO DE CARGA	EN X		
		MAX mm	MIN mm	ABS mm
0.00	ENV	0.000	0.000	0.000
0.50	ENV	0.487	-0.474	0.487
1.00	ENV	1.602	-1.598	1.602
1.50	ENV	2.888	-2.885	2.888
2.00	ENV	3.743	-3.743	3.743
2.50	ENV	3.670	-3.674	3.674
2.84	ENV	3.293	-3.278	3.293
3.00	ENV	3.084	-3.046	3.084
3.50	ENV	2.372	-2.269	2.372
4.00	ENV	1.707	-1.559	1.707
4.50	ENV	1.188	-1.005	1.188
5.00	ENV	0.841	-0.611	0.841
5.50	ENV	0.651	-0.343	0.651
6.00	ENV	0.578	-0.152	0.578
6.50	ENV	0.559	0.008	0.559

Fuente: Elaboración Propia



Figura 91: Gráfica de Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

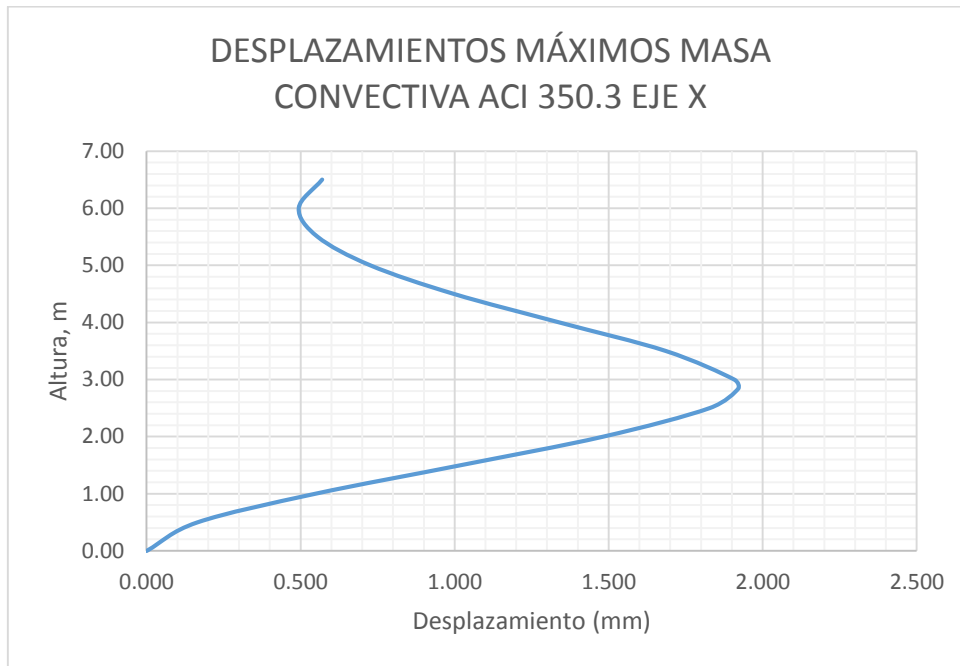
3.6.2.2.4.2 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3

Tabla 47: Desplazamientos Masa Convectiva según la norma ACI 350.3

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS MASA CONVECTIVA ACI 350.3 EJE X				
H (m)	CASO DE CARGA	EN X		
		MAX mm	MIN mm	ABS mm
0.00	ENV	0.000	0.000	0.000
0.50	ENV	0.165	-0.085	0.165
1.00	ENV	0.547	-0.318	0.547
1.50	ENV	1.019	-0.658	1.019
2.00	ENV	1.482	-1.044	1.482
2.50	ENV	1.828	-1.375	1.828
2.84	ENV	1.921	-1.486	1.921
3.00	ENV	1.908	-1.487	1.908
3.50	ENV	1.686	-1.322	1.686
4.00	ENV	1.340	-1.037	1.340
4.50	ENV	0.997	-0.737	0.997
5.00	ENV	0.726	-0.471	0.726
5.50	ENV	0.555	-0.253	0.555
6.00	ENV	0.494	-0.092	0.494
6.50	ENV	0.570	-0.004	0.570

Fuente: Elaboración Propia

Figura 92: Gráfica de Desplazamientos Masa Convectiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

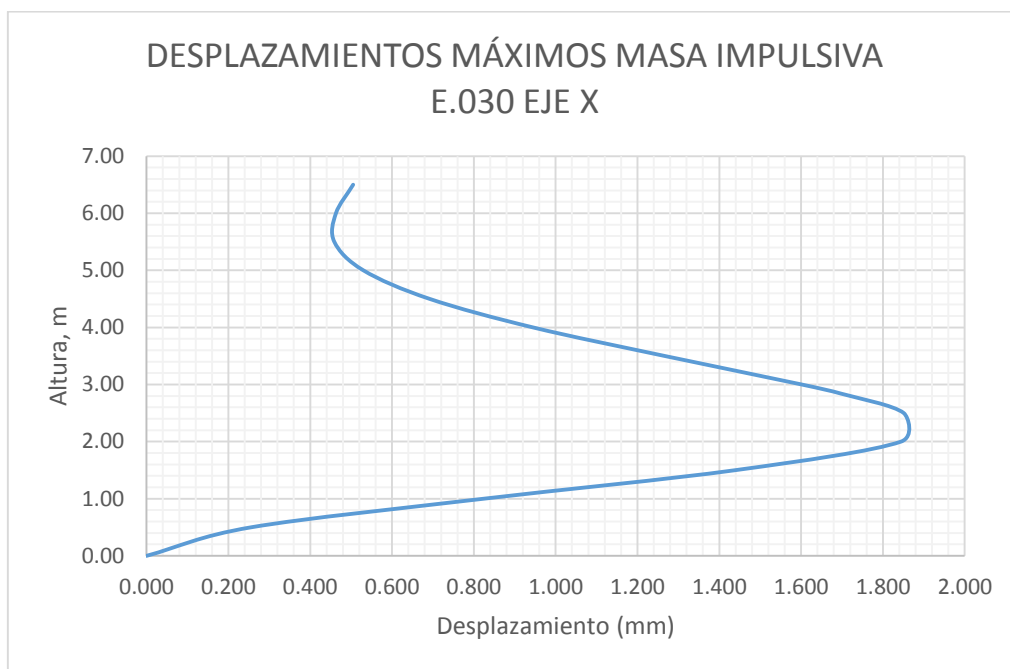
3.6.2.2.4.3 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 48: Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma E.030

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS MASA IMPULSIVA E.030 EJE X				
H (m)	CASO DE CARGA	EN X		
		MAX mm	MIN mm	ABS mm
0.00	ENV	0.000	0.000	0.000
0.50	ENV	0.256	-0.233	0.256
1.00	ENV	0.824	-0.787	0.824
1.50	ENV	1.439	-1.421	1.439
2.00	ENV	1.844	-1.844	1.844
2.50	ENV	1.851	-1.814	1.851
2.84	ENV	1.698	-1.620	1.698
3.00	ENV	1.602	-1.507	1.602
3.50	ENV	1.267	-1.124	1.267
4.00	ENV	0.945	-0.767	0.945
4.50	ENV	0.692	-0.486	0.692
5.00	ENV	0.530	-0.277	0.530
5.50	ENV	0.459	-0.121	0.459
6.00	ENV	0.463	0.005	0.463
6.50	ENV	0.505	0.121	0.505

Fuente: Elaboración Propia

Figura 93: Gráfica de Desplazamientos Masa Impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

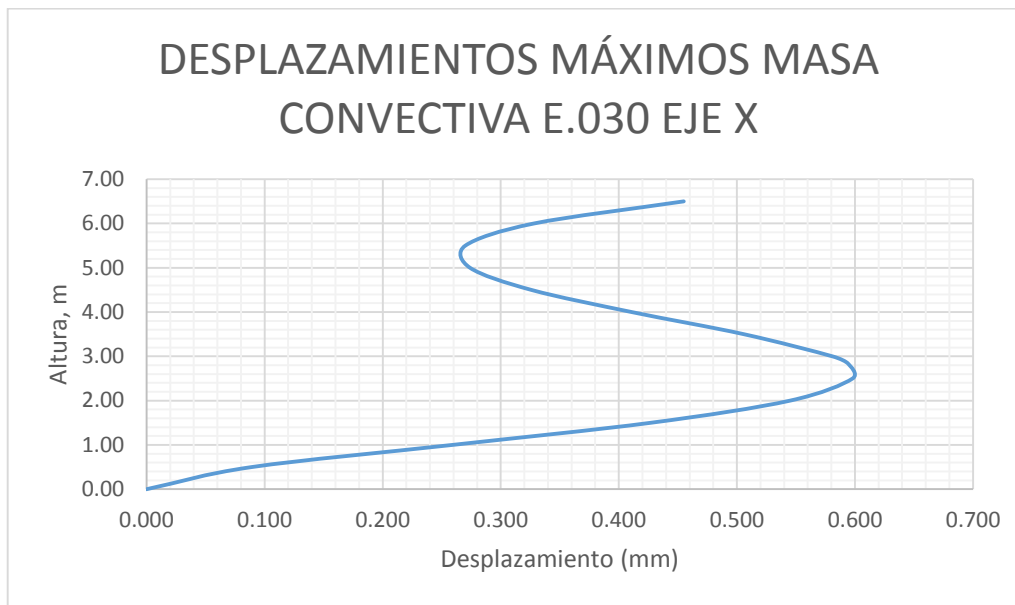
3.6.2.2.4.4 DESPLAZAMIENTOS EN MUROS PARA MASA CONVECTIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 49: Desplazamientos Masa Convectiva E.030

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS MASA CONVECTIVA E.030 EJE X				
H (m)	CASO DE CARGA	EN X		
		MAX mm	MIN mm	ABS mm
0.00	ENV	0.000	0.000	0.000
0.50	ENV	0.089	-0.007	0.089
1.00	ENV	0.259	-0.027	0.259
1.50	ENV	0.427	-0.057	0.427
2.00	ENV	0.545	-0.094	0.545
2.50	ENV	0.598	-0.128	0.598
2.84	ENV	0.594	-0.141	0.594
3.00	ENV	0.581	-0.142	0.581
3.50	ENV	0.506	-0.127	0.506
4.00	ENV	0.411	-0.091	0.411
4.50	ENV	0.326	-0.050	0.326
5.00	ENV	0.274	0.001	0.274
5.50	ENV	0.270	0.061	0.270
6.00	ENV	0.328	0.127	0.328
6.50	ENV	0.455	0.193	0.455

Fuente: Elaboración Propia

Figura 94: Gráfica de Desplazamientos Masa Convectiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

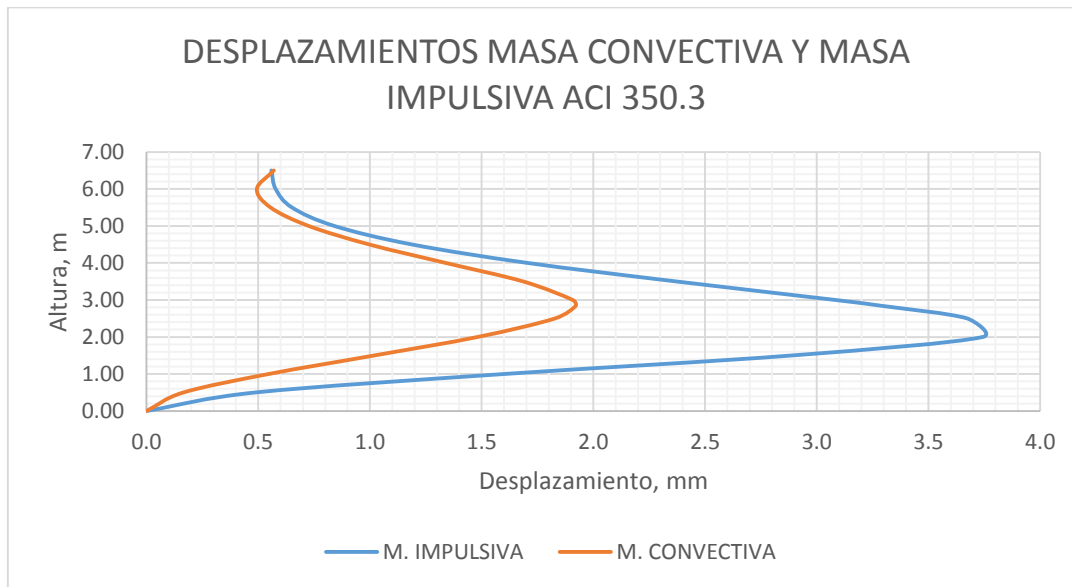
3.6.2.2.4.5 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01

Tabla 50: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3

DESPLAZAMIENTOS MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA ACI 350.3			
H (m)	CASO DE CARGA	DESPLAZAMIENTOS	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		mm	mm
0.00	ENVOLVENTE	0.000	0.000
0.50	ENVOLVENTE	0.487	0.165
1.00	ENVOLVENTE	1.602	0.547
1.50	ENVOLVENTE	2.888	1.019
2.00	ENVOLVENTE	3.743	1.482
2.50	ENVOLVENTE	3.674	1.828
2.84	ENVOLVENTE	3.293	1.921
3.00	ENVOLVENTE	3.084	1.908
3.50	ENVOLVENTE	2.372	1.686
4.00	ENVOLVENTE	1.707	1.340
4.50	ENVOLVENTE	1.188	0.997
5.00	ENVOLVENTE	0.841	0.726
5.50	ENVOLVENTE	0.651	0.555
6.00	ENVOLVENTE	0.578	0.494
6.50	ENVOLVENTE	0.559	0.570

Fuente: Elaboración Propia

Figura 95: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3



Fuente: Elaboración Propia

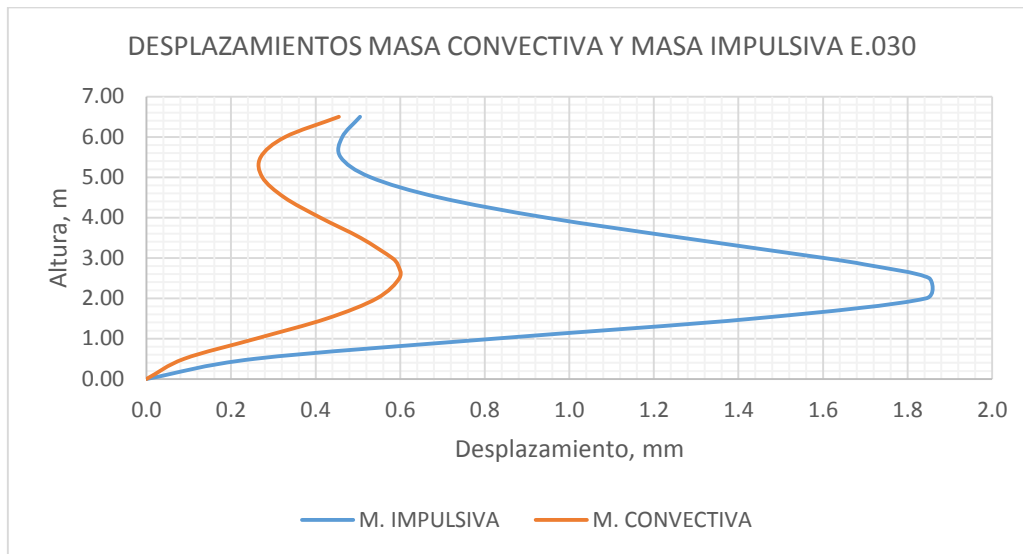
3.6.2.2.4.6 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030

Tabla 51: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma E.030

DESPLAZAMIENTOS MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA E.030			
H (m)	CASO DE CARGA	DESPLAZAMIENTOS	
		M. IMPULSIVA	M. CONVECTIVA
		mm	mm
0.00	ENVOLVENTE	0.000	0.000
0.50	ENVOLVENTE	0.256	0.089
1.00	ENVOLVENTE	0.824	0.259
1.50	ENVOLVENTE	1.439	0.427
2.00	ENVOLVENTE	1.844	0.545
2.50	ENVOLVENTE	1.851	0.598
2.84	ENVOLVENTE	1.698	0.594
3.00	ENVOLVENTE	1.602	0.581
3.50	ENVOLVENTE	1.267	0.506
4.00	ENVOLVENTE	0.945	0.411
4.50	ENVOLVENTE	0.692	0.326
5.00	ENVOLVENTE	0.530	0.274
5.50	ENVOLVENTE	0.459	0.270
6.00	ENVOLVENTE	0.463	0.328
6.50	ENVOLVENTE	0.505	0.455

Fuente: Elaboración Propia

Figura 96: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

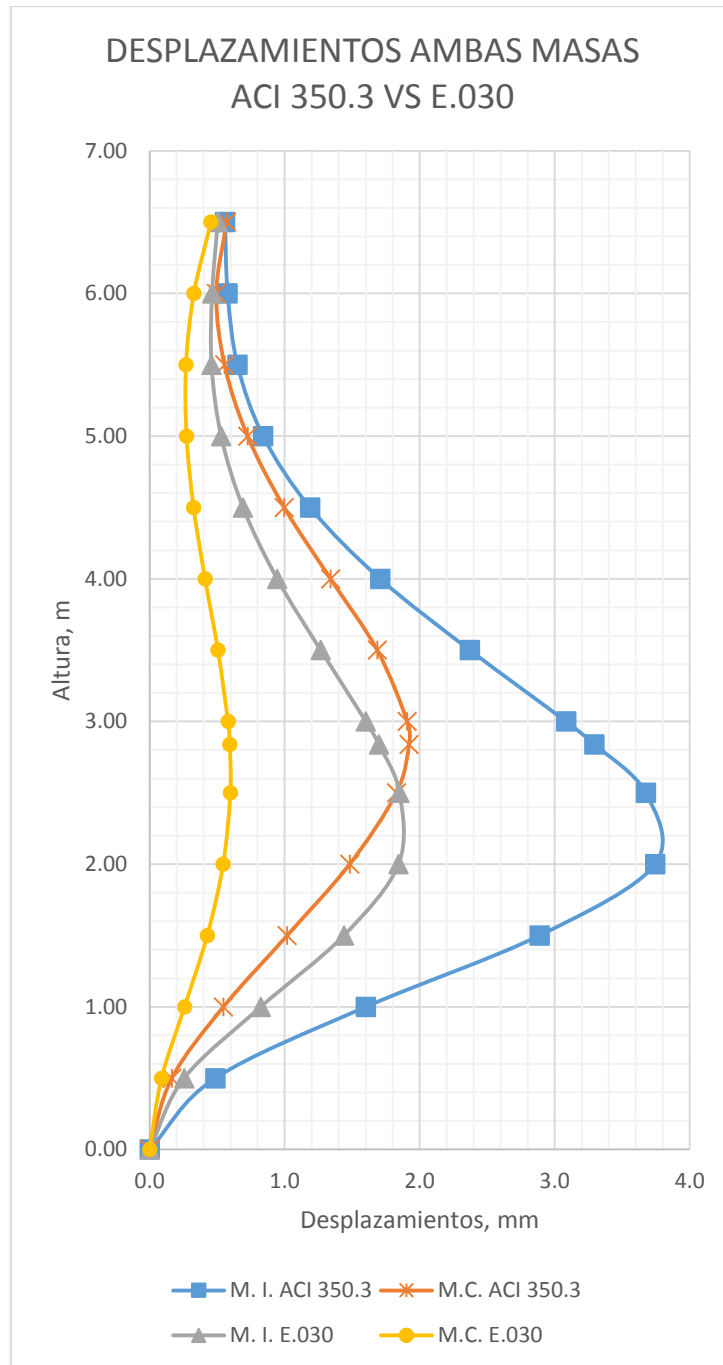
3.6.2.2.4.7 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN MUROS DE LA MASA CONVECTIVA E IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA E.030 VS ACI 350.3

Tabla 52: Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3 y E.030

DESPLAZAMIENTOS AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		mm	mm	mm	mm
0.00	ENVOLVENTE	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	ENVOLVENTE	0.487	0.165	0.256	0.089
1.00	ENVOLVENTE	1.602	0.547	0.824	0.259
1.50	ENVOLVENTE	2.888	1.019	1.439	0.427
2.00	ENVOLVENTE	3.743	1.482	1.844	0.545
2.50	ENVOLVENTE	3.674	1.828	1.851	0.598
2.84	ENVOLVENTE	3.293	1.921	1.698	0.594
3.00	ENVOLVENTE	3.084	1.908	1.602	0.581
3.50	ENVOLVENTE	2.372	1.686	1.267	0.506
4.00	ENVOLVENTE	1.707	1.340	0.945	0.411
4.50	ENVOLVENTE	1.188	0.997	0.692	0.326
5.00	ENVOLVENTE	0.841	0.726	0.530	0.274
5.50	ENVOLVENTE	0.651	0.555	0.459	0.270
6.00	ENVOLVENTE	0.578	0.494	0.463	0.328
6.50	ENVOLVENTE	0.559	0.570	0.505	0.455

Fuente: Elaboración Propia

Figura 97: Gráfica de Comparación de Desplazamientos de la masa convectiva e impulsiva según la norma ACI 350.3y E.030



Fuente: Elaboración Propia

## 3.6.2.2.5 PERIODOS DE VIBRACIÓN

## 3.6.2.2.5.1 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA IMPULSIVA ACI 350.3

Tabla 53: Valores de Periodo de Vibración Masa Impulsiva ACI 350.3 y porcentajes de participación de Masas

MASA IMPULSIVA ACI 350.3				
MODO	Periodo	UX	UY	UZ
	S	-	-	-
1	0.186	0.0000	0.9391	0.0000
2	0.183	0.9480	0.0000	0.0000
3	0.058	0.0000	0.0000	0.1689
4	0.050	0.0000	0.0005	0.0000
5	0.050	0.0005	0.0000	0.0000
6	0.047	0.0000	0.0000	0.0004
7	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.045	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

## 3.6.2.2.5.2 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA CONVECTIVA ACI 350.3

Tabla 54: Valores de Periodo de Vibración Masa Convectiva ACI 350.3 y porcentajes de participación de Masas

MASA CONVECTIVA ACI 350.3				
MODO	Periodo	UX	UY	UZ
	S	-	-	-
1	7.895	0.7639	0.2032	0.0000
2	7.895	0.2032	0.7639	0.0000
3	0.058	0.0000	0.0000	0.1683
4	0.050	0.0001	0.0000	0.0000
5	0.050	0.0000	0.0001	0.0000
6	0.047	0.0000	0.0000	0.0004
7	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.045	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia



## 3.6.2.2.5.3 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA IMPULSIVA E.030

Tabla 55: Valores de Periodo de Vibración Masa Impulsiva E.030 y porcentajes de participación de Masas

MASA IMPULSIVA E.030				
MODO	Periodo	UX	UY	UZ
	S	-	-	-
1	0.187	0.0000	0.9391	0.0000
2	0.184	0.9480	0.0000	0.0000
3	0.059	0.0000	0.0000	0.1689
4	0.050	0.0000	0.0005	0.0000
5	0.050	0.0005	0.0000	0.0000
6	0.047	0.0000	0.0000	0.0004
7	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.045	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

## 3.6.2.2.5.4 PERIODOS DE VIBRACIÓN MASA CONVECTIVA E.030

Tabla 56: Valores de Periodo de Vibración Masa Convectiva E.030 y porcentajes de participación de Masas

MASA CONVECTIVA E.030				
MODO	Periodo	UX	UY	UZ
	S	-	-	-
1	7.895	0.9197	0.0473	0.0000
2	7.895	0.0473	0.9197	0.0000
3	0.059	0.0000	0.0000	0.1683
4	0.050	0.0001	0.0000	0.0000
5	0.050	0.0000	0.0001	0.0000
6	0.047	0.0000	0.0000	0.0004
7	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.046	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.045	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.045	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2.5.5 COMPARACIÓN DE PERIODOS DE VIBRACIÓN AMBAS MASAS DE  
ACI 350.3 Y E.030Tabla 57: Comparación Valores de Periodo de Vibración Ambas Masas ACI 350.3 y  
E.030

MODO	MASA CONVECTIVA ACI 350.3	MASA IMPULSIVA ACI 350.3	MASA CONVECTIVA E.030	MASA IMPULSIVA E.030
	s	s	s	s
1er MODO	7.8945	0.1861	7.8946	0.1867
2do MODO	7.8945	0.1832	7.8946	0.1838
3er MODO	0.0585	0.0584	0.0587	0.0586
4to MODO	0.0500	0.0500	0.0501	0.0501
5to MODO	0.0500	0.0500	0.0501	0.0501
6to MODO	0.0468	0.0468	0.0469	0.0469

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

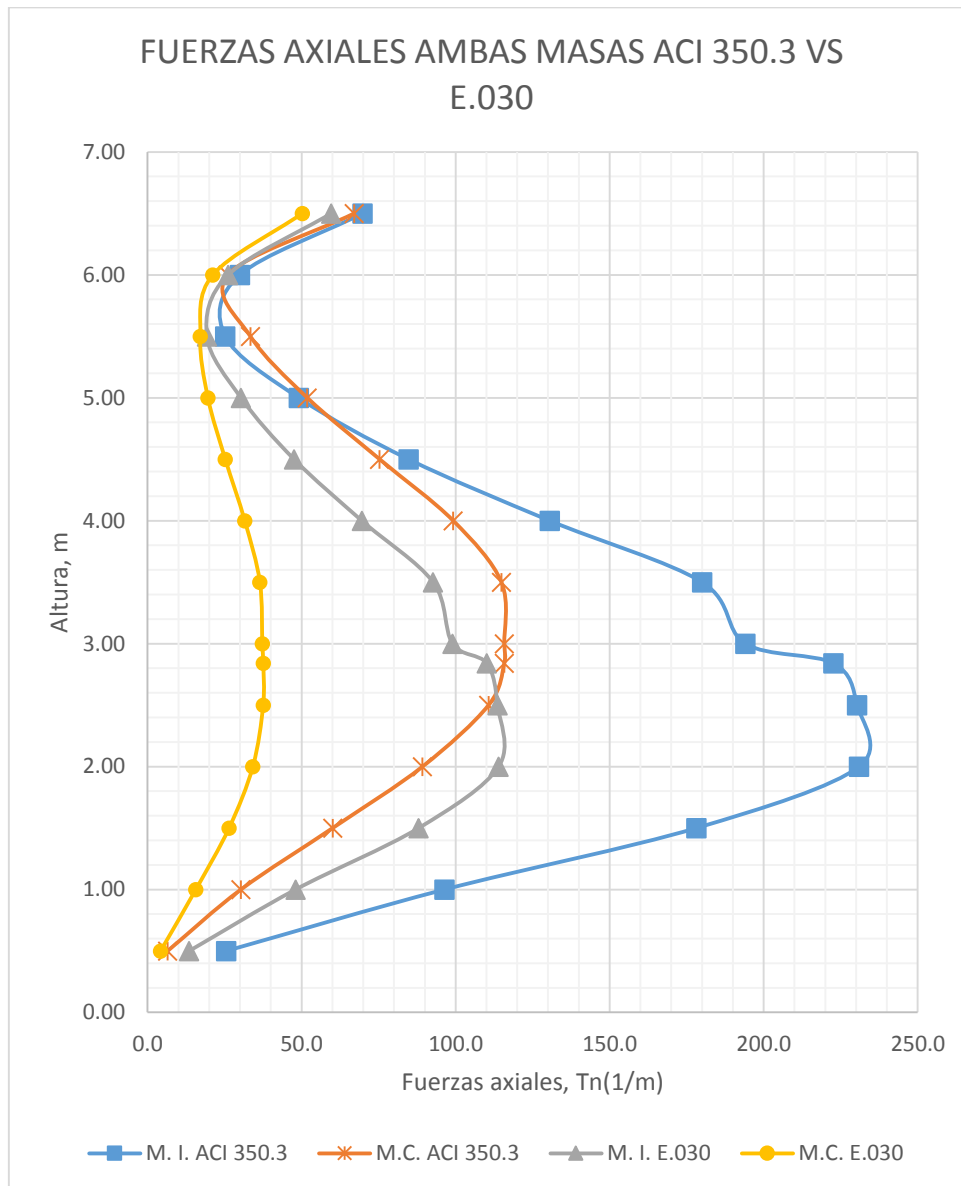
#### 4.1.1. COMPARACIÓN FUERZAS EN LOS EJES X LOCALES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030

Tabla 58: Comparación de Fuerzas Axiales para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030

FUERZAS AXIALES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	25.560	6.513	13.511	4.232
1.00	ENVOLVENTE	96.424	30.306	48.065	15.680
1.50	ENVOLVENTE	178.155	60.095	88.021	26.463
2.00	ENVOLVENTE	230.982	89.264	113.964	34.185
2.50	ENVOLVENTE	230.309	110.703	113.614	37.539
2.84	ENVOLVENTE	222.672	115.788	110.110	37.563
3.00	ENVOLVENTE	194.031	115.801	98.975	37.245
3.50	ENVOLVENTE	180.003	114.878	92.693	36.474
4.00	ENVOLVENTE	130.560	99.235	69.554	31.563
4.50	ENVOLVENTE	84.741	75.348	47.559	25.246
5.00	ENVOLVENTE	49.084	51.865	30.329	19.599
5.50	ENVOLVENTE	25.246	33.392	19.276	17.119
6.00	ENVOLVENTE	29.979	26.115	26.168	21.203
6.50	ENVOLVENTE	69.831	67.045	59.588	50.216

Fuente: Elaboración Propia

Figura 98: Comparación de Fuerzas en los ejes x locales para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la Tabla 58, los valores de las Fuerzas Axiales presentan un mayor valor para los análisis realizados (tanto con la norma ACI 350.3 y E.030) de la masa Impulsiva con respecto a los propios de la masa convectiva.

Gráficamente también se puede observar en la figura 98 que los valores de las Fuerzas Axiales obtenidos con los parámetros y procedimientos de la norma Americana ACI 350.3 son mayores en ambos casos (Masa impulsiva y masa convectiva) a los de la norma peruana E.030.

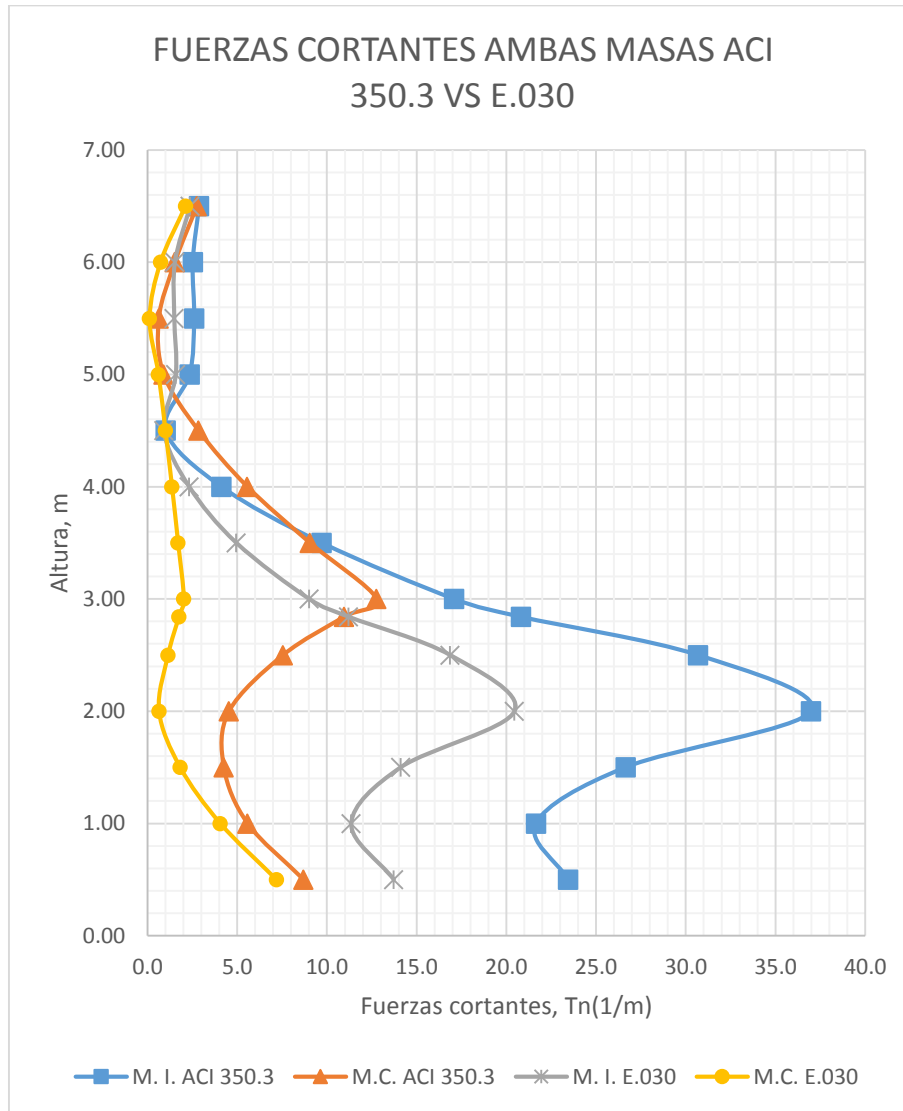
4.1.2. COMPARACIÓN FUERZAS CORTANTES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030

Tabla 59: Comparación de Fuerzas Cortantes para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030

FUERZAS CORTANTES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)	Tn(1/m)
0.50	ENVOLVENTE	23.441	8.690	13.722	7.188
1.00	ENVOLVENTE	21.658	5.573	11.351	4.058
1.50	ENVOLVENTE	26.650	4.248	14.110	1.817
2.00	ENVOLVENTE	36.987	4.538	20.454	0.638
2.50	ENVOLVENTE	30.685	7.553	16.856	1.143
2.84	ENVOLVENTE	20.817	10.956	11.211	1.747
3.00	ENVOLVENTE	17.088	12.765	9.002	2.024
3.50	ENVOLVENTE	9.708	9.044	4.939	1.703
4.00	ENVOLVENTE	4.116	5.557	2.314	1.363
4.50	ENVOLVENTE	1.023	2.837	0.911	0.997
5.00	ENVOLVENTE	2.348	0.897	1.570	0.611
5.50	ENVOLVENTE	2.604	0.624	1.485	0.113
6.00	ENVOLVENTE	2.525	1.520	1.521	0.727
6.50	ENVOLVENTE	2.880	2.750	2.374	2.116

Fuente: Elaboración Propia

Figura 99: Comparación de Fuerzas Cortantes para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar en la Figura 99 que los valores más importantes de las fuerzas cortantes para todos los análisis son los de la masa impulsiva (tanto para la ACI 350.3 y E030), precisamente a la altura de aplicación de las mismas.

También se ve que los valores mayores de la fuerza cortante son para la masa impulsiva obtenidos de los parámetros del ACI 350.3.

Los valores de las fuerzas cortantes de la masa convectiva según la ACI 350.3 son mayores que la masa impulsiva de la misma en el rango de 4 a 5 m de alto en el muro del reservorio.

Los valores de la masa convectiva según la E.030 son todos menores a los de la masa impulsiva de la misma.

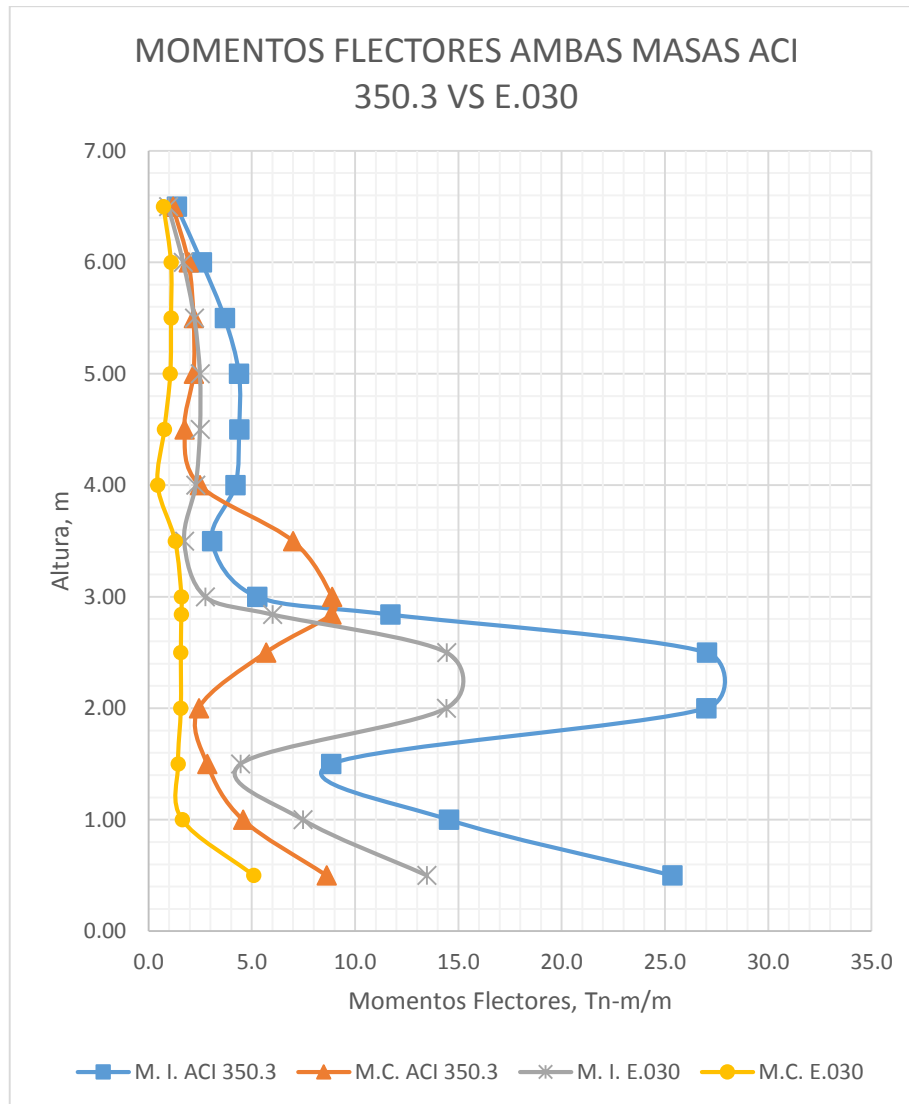
4.1.3. COMPARACIÓN MOMENTOS FLECTORES PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030

Tabla 60: Comparación de Momentos Flectores para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030

MOMENTOS FLECTORES AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		Tn-m/m	Tn-m/m	Tn-m/m	Tn-m/m
0.50	ENVOLVENTE	25.358	8.623	13.476	5.093
1.00	ENVOLVENTE	14.544	4.572	7.476	1.624
1.50	ENVOLVENTE	8.843	2.845	4.453	1.422
2.00	ENVOLVENTE	27.005	2.436	14.412	1.560
2.50	ENVOLVENTE	27.029	5.687	14.424	1.559
2.84	ENVOLVENTE	11.697	8.847	6.000	1.583
3.00	ENVOLVENTE	5.262	8.887	2.752	1.591
3.50	ENVOLVENTE	3.074	6.993	1.732	1.282
4.00	ENVOLVENTE	4.208	2.476	2.287	0.434
4.50	ENVOLVENTE	4.385	1.743	2.494	0.760
5.00	ENVOLVENTE	4.380	2.185	2.492	1.048
5.50	ENVOLVENTE	3.684	2.183	2.221	1.082
6.00	ENVOLVENTE	2.578	1.938	1.678	1.082
6.50	ENVOLVENTE	1.361	1.181	0.963	0.718

Fuente: Elaboración Propia

Figura 100: Comparación de Momentos Flectores para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar en la Figura 100 que los valores mayores de momentos flectores de todos los análisis son los propios de la masa impulsiva del ACI 350.3 precisamente a la altura de aplicación de las mismas.

Se observó que en el rango de 3 a 4 m de altura del muro del reservorio, la masa convectiva aporta mayores momentos flectores que la masa impulsiva, todo esto según la ACI 350.3



Los momentos flectores de la masa convectiva según la E.030 son todos menores a los de la masa impulsiva de la misma.

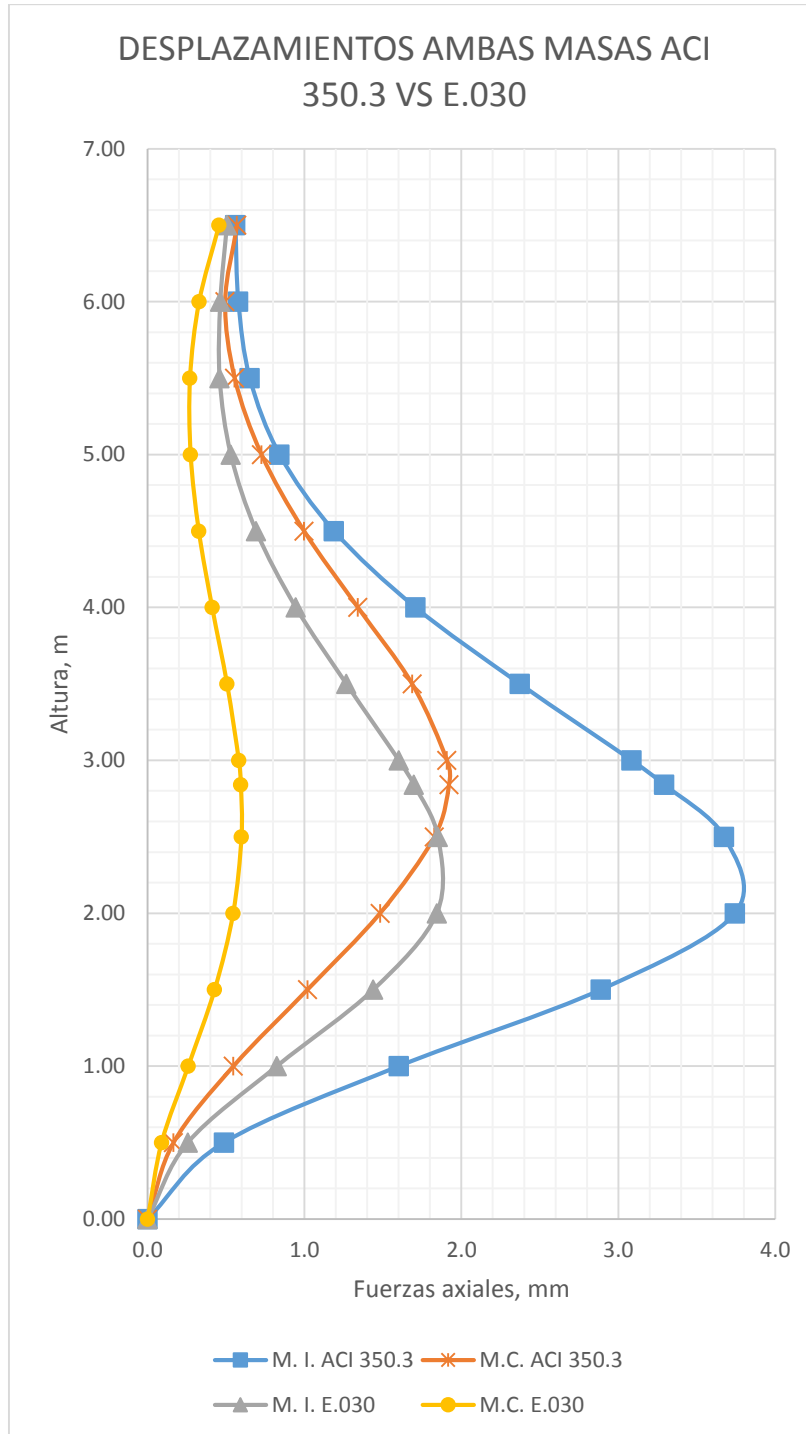
4.1.4. COMPARACIÓN DESPLAZAMIENTOS PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030

Tabla 61: Comparación de Desplazamientos Máximos para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030

DESPLAZAMIENTOS AMBAS MASAS ACI 350.3 VS E.030					
H (m)	CASO DE CARGA	ACI 350.3		E.030	
		M. I. ACI 350.3	M.C. ACI 350.3	M. I. E.030	M.C. E.030
		mm	mm	mm	mm
0.00	ENVOLVENTE	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	ENVOLVENTE	0.487	0.165	0.256	0.089
1.00	ENVOLVENTE	1.602	0.547	0.824	0.259
1.50	ENVOLVENTE	2.888	1.019	1.439	0.427
2.00	ENVOLVENTE	3.743	1.482	1.844	0.545
2.50	ENVOLVENTE	3.674	1.828	1.851	0.598
2.84	ENVOLVENTE	3.293	1.921	1.698	0.594
3.00	ENVOLVENTE	3.084	1.908	1.602	0.581
3.50	ENVOLVENTE	2.372	1.686	1.267	0.506
4.00	ENVOLVENTE	1.707	1.340	0.945	0.411
4.50	ENVOLVENTE	1.188	0.997	0.692	0.326
5.00	ENVOLVENTE	0.841	0.726	0.530	0.274
5.50	ENVOLVENTE	0.651	0.555	0.459	0.270
6.00	ENVOLVENTE	0.578	0.494	0.463	0.328
6.50	ENVOLVENTE	0.559	0.570	0.505	0.455

Fuente: Elaboración Propia

Figura 101: Comparación de Desplazamientos Máximos para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 101 y en la tabla 61, los desplazamientos mayores también pertenecen a los de la masa impulsiva del ACI 350.3, siendo el valor máximo

de 3.743 mm a la altura de 2 m del muro del reservorio, coincidiendo con la ubicación de la masa impulsiva.

El valor menor es para la masa convectiva con el análisis realizado según los parámetros de la norma E.030.

#### 4.1.5. COMPARACIÓN PERIODOS DE VIBRACIÓN PARA LA MASA CONVECTIVA Y MASA IMPULSIVA SEGÚN LA NORMA ACI 350.3 Y LA NORMA E.030

Tabla 62: Comparación de Periodos de Vibración para la masa convectiva y masa impulsiva según la norma ACI 350.3 y la norma E.030

MODO	MASA CONVECTIVA ACI 350.3	MASA IMPULSIVA ACI 350.3	MASA CONVECTIVA E.030	MASA IMPULSIVA E.030
	s	s	s	s
1er MODO	7.8945	0.1861	7.8946	0.1867
2do MODO	7.8945	0.1832	7.8946	0.1838
3er MODO	0.0585	0.0584	0.0587	0.0586
4to MODO	0.0500	0.0500	0.0501	0.0501
5to MODO	0.0500	0.0500	0.0501	0.0501
6to MODO	0.0468	0.0468	0.0469	0.0469

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar para todos los análisis que los modos más importantes son los dos primeros, puesto que hay mayor participación de masa en los mismos.

Los valores de los periodos de vibración asociados a la masa impulsiva son menores con respecto a los asociados a la masa convectiva, teniendo valores de 0.186 s y 0.187 s del primer modo según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 respectivamente. Los valores asociados a la masa convectiva tienen valores de 7.895 s y 7.895 s del primer modo según la norma ACI 350.3 y la norma E.030 respectivamente.

Podemos observar que los valores son muy similares entre los del ACI 350.3 y E.030, respaldando que los periodos de vibración dependen de la geometría de la estructura y las propiedades de los materiales.



El periodo de vibración mayor es para la masa convectiva en ambos casos (según la norma ACI 350.3-01 y la norma E.030) con 7.895 s para el primer modo de vibración; y siendo esto coherente si consideramos que la masa convectiva simula el oleaje del agua bajo un sismo.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### DEL CONTRASTE DE RESULTADOS CON EL MARCO TEÓRICO

1. ¿Los desplazamientos máximos del reservorio se encuentran dentro del rango admisible?

Como se puede observar en la tabla 61 de la página 177, el valor del máximo desplazamiento es el relacionado con la masa impulsiva, teniendo un valor de 3.743 mm, para una altura de 6.5 m de altura de muro, y según la relación de la tabla 6 de la página 31, obtenemos el valor de 0.0006 siendo éste menor a 0.007 para estructuras de concreto armado como se puede observar en la misma tabla..

2. ¿El periodo de vibración  $T_c$  para la masa convectiva es mayor que 2.4 s como muestra la ACI 350.3-01?

Como se observa en la tabla 54 y 56 de la página 168 y 169 respectivamente según la norma ACI 350.3 y la norma E.030, los valores asociados a la masa convectiva son mayores a 2.4 s, teniendo valores para el primer y segundo modo de vibrar de 7.8945 s y 7.8946 s respectivamente; teniendo en cuenta que estos dos primeros modos de vibrar tienen mayor participación de masa a comparación de los demás.

### DE LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. ¿Para qué masa reactiva entre la masa convectiva y masa impulsiva se obtienen los valores mayores de los parámetros de respuesta estructural?

Como se observa en las figuras 66, 77 y 88 (de las páginas 140, 149 y 158 respectivamente) los valores de Fuerzas axiales, Fuerzas cortantes y momentos flectores para la masa impulsiva son mayores respecto de los valores obtenidos para la masa convectiva (según la ACI 350.3), sin embargo no en toda la altura del



reservorio, puesto que, en pequeños tramos, los valores de parámetros de respuesta estructural son mayores para la masa convectiva respecto de la impulsiva.

Para un posterior diseño se propone usar los mayores valores de la superposición de ambas masas de sus Fuerzas axiales, Fuerzas cortantes y momentos flectores; es decir diseñar con la envolvente de ambas masas.

2. ¿Por qué son similares los valores de periodo de vibración calculados según el modelo de la norma ACI 350.3 y la Norma E.030?

Los valores de periodo de vibración en ambos casos (según la norma ACI 350.3 y la norma E.030) son similares puesto que éste parámetro dinámico depende de la geometría de la estructura y de las propiedades de los materiales. Esto se puede ver en la tabla 62 de la página 179, por ejemplo, para el primer modo de vibrar, donde los valores para la masa convectiva son 7.8945 s y 7.8946 s según la norma ACI 350.3 y norma E.030 respectivamente. Del mismo modo para la masa impulsiva los valores del periodo de vibración son 0.1861 s y 0.1867 s según la norma ACI 350.3 y norma E.030 respectivamente.

3. ¿En función de que parámetros se determina los factores  $k$  de los conectores (resortes) de la masa impulsiva y masa convectiva?

El valor de  $K$  de los resortes modelados para la masa impulsiva y la masa convectiva se determina a partir del periodo de vibración o de la frecuencia de vibración y de la magnitud de la respectiva masa. Se puede usar la relación para un grado de libertad de la página 59 teniendo una buena aproximación, más aún si se considera que las dos frecuencias (de cada masa) se alejan una de la otra, como es el caso.

4. ¿Por qué los valores mayores de los parámetros de respuesta estructural ocurren aproximadamente a los  $2m$  en el caso de la masa impulsiva y aproximadamente a los  $3m$  de la masa convectiva?

Tanto para las fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores que se observan en las tablas 58, 59 y 60 respectivamente (de las páginas 171, 173 y 175),



las mayores solicitaciones de la masa impulsiva se muestran aproximadamente a los 2 m y para la masa convectiva a los 3m; esto está directamente asociado a la ubicación de la masas en el modelo, las cuales dependen de la geometría del contenedor de líquidos y altura del agua según las consideraciones normativas.

5. ¿Cuáles son los parámetros de la norma peruana que sirven para definir la acción del sismo?

En la Norma Técnica Peruana E.030 los parámetros utilizados para definir el cálculo del espectro de aceleraciones son: El factor de Zona (Z), el factor de suelo (S), el factor de Uso (U), el coeficiente de amplificación sísmica (C) y el factor de reducción (R).

6. ¿Cuáles son los parámetros de la norma norteamericana ACI 350.3-01 que sirven para definir la acción del sismo?

En la norma norteamericana para definir la acción del sismo se utiliza los parámetros de Factor de Zona Sísmica (Z), el factor de importancia (I), el coeficiente de perfil de suelo (S), el factor de amplificación de respuesta (C) y el factor de modificación de respuesta (Rw).

7. ¿Qué método de Análisis Estructural utiliza el software de Apoyo?

El software que utilizamos para el análisis de la estructura, SAP2000, se basa en la teoría de elementos finitos y se considera correcta la utilización del método de elementos finitos puesto que el método divide a la estructura en una serie de elementos, los cuales se interconectan en nudos, la solución a estas ecuaciones es compleja así que para analizar una estructura tridimensional nos apoyamos en el ordenador por medio de programas computacionales que utilicen este método.



8. ¿Cómo idealiza la norma norteamericana las masas de un contenedor de líquidos para un análisis dinámico?

La norma norteamericana se basa en el método de Housner, y divide la masa del líquido en dos masas, una masa convectiva que representa la acción de oleaje del líquido y una masa impulsiva que representa la porción del líquido contenido que se mueve en conjunto a la estructura.

9. ¿Qué tipo de apoyo tiene el reservorio Zona Sur?

El reservorio Zona Sur de la investigación de concreto armado del tipo circular apoyado, y según la norma norteamericana entraría en la clasificación de tanques circulares con base simplemente apoyada.

10. ¿Qué fuerzas dinámicas laterales se usaron para el cálculo de la cortante basal?

Se usaron las fuerzas asociadas a la masa del muro, de la cubierta, a las masas convectiva e impulsiva en el análisis sísmico estático.

11. ¿Cómo se obtiene el espectro de diseño inelástico?

El espectro de diseño inelástico se obtiene a partir de la reducción del espectro de diseño elástico, por medio del uso de los factores de reducción dependientes de la ductilidad.

12. ¿Por qué el espectro de diseño sísmico asociada a la masa convectiva presenta mayores aceleraciones que el asociado a la masa impulsiva?

El valor de reducción de respuesta por ductilidad para esta masa es menor, por ende las aceleraciones de la estructura asociados a las masa convectiva serán mayores teniendo una relación inversa como lo podemos apreciar en las relaciones de cálculo de espectro. Además de tener en cuenta que la masa convectiva es la que representa el oleaje del agua cuando hay actividad sísmica.



### 13. ¿Influye el tipo de cubierta en el análisis dinámico del reservorio?

La cubierta de la estructura puede ser de domo de luz libre o abierta al exterior, no afectando al modelo dinámico refiriéndonos a la masa del líquido, pero sí en el cálculo de las fuerzas dinámicas laterales para la obtención de la cortante basal en el análisis estático de la estructura.

### DE LA DEMOSTRACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

#### 1. ¿Por qué el procedimiento de análisis sísmico depende de los parámetros geométricos de la estructura y del líquido contenido?

El procedimiento de análisis sísmico depende de los parámetros geométricos de la estructura y del líquido contenido puesto que las masas reactivas utilizadas en el modelo de Housner (masa convectiva y masa impulsiva) están directamente relacionado al volumen del líquido y por ende es necesario conocer la geometría de la estructura y del líquido contenido (nivel del agua),

#### 2. ¿Por qué los parámetros sísmicos de la norma ACI 350.3-01 amerita mayores etapas de selección?

En primer lugar, la norma ACI 350.3 es específicamente para estructuras contenedoras de líquidos a comparación de la norma peruana E.030 que es en general para edificaciones. Por ejemplo, las especificaciones típicas que tienen están relacionados al tipo de apoyo del contenedor de líquido y al uso del mismo.

#### 3. ¿Por qué los factores de amplificación de espectro dependen de la magnitud de los periodos de vibración?

Dependen de la magnitud de los periodos de vibración, puesto que, los factores de amplificación de espectro modifican el espectro de respuesta de la estructura, la cual está relacionada a los periodos de vibración, que a su vez dependen de la geometría del contenedor de líquido y de las propiedades de los materiales.



4. ¿Por qué los espectros calculados mediante la norma ACI 350.3 son mayores al calculado mediante la norma E.030?

Puesto que para el cálculo de los espectros de diseño, los valores de R (reducción de respuesta) son mayores para la norma E.030 con un valor de 6, mientras que los de la norma ACI 350.3-01 presentan valores de 2.75 y 1 (para masa impulsiva y convectiva respectivamente) como se muestra en la tabla comparativa 15.

### **DE LOS APORTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Se realizó un procedimiento o metodología para el análisis estructural sísmico dinámico para este tipo de estructuras (contenedores de líquidos o reservorios), considerando los valores de los parámetros sísmicos que se deben utilizar según el contexto de esta investigación.

Conocer cuál de las normas aplicadas dentro de la investigación es más adecuada para su aplicación en el análisis de un contenedor de líquido.

La aplicación del modelo de Housner (modelo dinámico para contenedores de líquidos) con la utilización de software para realizar el análisis dinámico modal espectral.

## GLOSARIO

### A

**Altura de Masa Convectiva:** Viene a ser la altura a la cual se encuentra la masa convectiva según el modelo de G. Housner.

**Altura de Masa Impulsiva:** Viene a ser la altura a la cual se encuentra la masa convectiva según el modelo de G. Housner.

**Amortiguamiento:** Es lo que genera la pérdida de energía en un determinado sistema. En todo cuerpo en movimiento, éste último tiende a disminuir con el tiempo, esta disminución está asociada a la pérdida de energía en el sistema.

**Análisis Sísmico:** Es el encargado de encontrar las fuerzas y momentos internos debidos a cargas sísmicas en cada uno de los elementos del sistema estructural para luego proceder en el diseño.

### D

**Desplazamiento:** Es la longitud medida desde el punto inicial del nudo de cualquier estructura.

**Ductilidad:** Es la propiedad que define la posibilidad de la estructura o alguno de sus componentes estructurales de experimentar deformaciones más allá del límite elástico sin reducir de manera significativa su resistencia o rigidez.

### E

**EBP:** Se refiere al diseño hidrodinámico en el que es necesario computar el volcamiento de la pared con respecto al piso del estanque, excluyendo la presión basal (es decir, excluyendo la presión aportada por el piso). El diseño hidrodinámico EBP

es usado para determinar la necesidad de aguante en estanque con base no ajustada. EBP también se usa para determinar la presión de diseño actuante en el muro.

**Espectro de respuesta:** Representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto.

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

## E

**Fuerza Axial:** Es la fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme.

**Fuerza cortante:** Es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un primas mecánico. Se designa variadamente como T, V o Q.

## I

**IBP:** Se refiere al diseño hidrodinámico en el cual es necesario investigar el volcamiento de toda la estructura respecto a la fundación. El diseño IBP hidrodinámico es usado para determinar la presión de diseño actuante en el piso del estanque y la fundación continua. Esta presión es transferida directamente al sub suelo u otra



estructura soportante. Las cuentas IBP para efectos de momento por la acción de presiones dinámicas de fluidos en el fondo del estanque por el incremento del brazo del momento vertical efectivo a las fuerzas aplicadas.

**Envolvente:** Viene a ser un tipo de combinación en la cual se muestran los máximos valores obtenidos con todos los casos de carga y combinaciones que se hayan introducido.

## M

**Masa Convectiva:** Viene a ser la masa que representa el oleaje del agua ante la presencia de un sismo según el modelo de Housner.

**Masa Impulsiva:** Viene a ser la masa del agua que se encuentra rígidamente conectada a las paredes o muros del reservorio ante la presencia de un sismo según el modelo de Housner.

**Modos de vibrar:** Patrón o forma característica en el que vibrará un sistema mecánico. La mayoría de los sistemas tienen muchos modos de vibración y es tarea del análisis estructural determinar la forma de esos modos.

**Módulo de Elasticidad:** Es un tipo de constante elástica que relaciona el esfuerzo aplicado con la deformación.

**Momento Flector:** Es un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

## P

**Periodo de Vibración:** Es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda. El concepto aparece tanto en las matemáticas como en la física y otras áreas de conocimiento.

## CONCLUSIONES

### **CONCLUSIÓN N°1**

Se ha logrado verificar la HIPÓTESIS GENERAL “El procedimiento a realizar mediante la aplicación de la normativa ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente es claro y replicable para determinar la magnitud de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este”, pudiéndose realizar el procedimiento de análisis dinámico de este tipo de estructuras guiándose del flujograma de procesos de la figura 21 de la página 61.

### **CONCLUSIÓN N°2**

Se ha logrado verificar la primera hipótesis específica “Los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este son la geometría de la estructura y propiedades de los materiales” como se puede observar en las hojas de cálculo de ingreso de datos y en la metodología descrita, el procedimiento y relaciones a utilizar para el análisis estático dependen tanto de la geometría de la estructura como de la calidad de los materiales como el módulo de elasticidad del concreto y el peso específico del líquido contenido.

Estos parámetros también influyen en el análisis dinámico en el cálculo de los periodos de vibración

### **CONCLUSIÓN N°3**

Se ha logrado verificar la segunda hipótesis específica “Las magnitudes de los parámetros sísmicos en ambas normas son semejantes, sin embargo existen variaciones significativas para el factor I y factor R”, como se puede apreciar en las tablas comparativas 14 y 15 de las páginas 86 y 88 respectivamente, los parámetros de Importancia – Uso y Reducción de respuesta tienen una clasificación más detallada en el ACI 350.3 respecto de nuestra norma peruana E.030, siendo la primera



exclusivamente para estructuras contendoras de líquidos como es el caso del Reservorio Zona Sur Este.

#### **CONCLUSIÓN N°4**

Se ha logrado verificar la tercera hipótesis específica “La magnitud de los factores de amplificación de espectro dependerá de la magnitud que toman los periodos de vibración y el coeficiente de suelo” como se puede observar en la página 108 y 109, los factores de amplificación de espectro impulsivo y convectivo dependen de los periodos de vibración, dependiendo además el factor de amplificación impulsivo del coeficiente de suelo; utilizando después estos factores para la construcción de los espectros de diseño.

El factor de amplificación de espectro para la norma Peruana también depende del periodo de la estructura como se puede observar en la página 28, pero además está en función del periodo que define la plataforma de este mismo factor y del periodo que define el inicio de la zona del mismo factor con desplazamiento constante.

#### **CONCLUSIÓN N°5**

Se ha logrado verificar la cuarta hipótesis específica “Para la norma ACI 350.3 se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural en virtud de los parámetros que determinan sus espectros de diseño”, como se observa en las tablas 58, 59, 60 y 61 y en las figuras 98, 99, 100 y 101 (páginas 171 – 178) los valores de parámetros de respuesta estructural son mayores para la masa convectiva y la masa impulsiva de la norma ACI 350.3-01 con respecto a la norma E.030. Esto también se puede verificar si observamos la figura 57 de la página 132, donde los espectros de mayores valores de aceleración son los de la norma ACI 350.3 con respecto al de la norma E.030.

#### **CONCLUSIÓN N°6**

No se ha logrado verificar la quinta hipótesis específica “Para la norma ACI 350.3 se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del

Reservorio Zona Sur Este”, puesto que aunque los valores son muy similares, los relacionados a la norma E.030, tanto para la masa convectiva como para la masa impulsiva, son ligeramente mayores que los de la norma ACI 350.3-01. Como se puede ver en la tabla 62 de la página 179, para la masa impulsiva el periodo de vibración para la norma E.030 es de 0.1867 s frente a los 0.1861 de la norma ACI 350.3. De igual manera el periodo de vibración para la masa convectiva de la norma E.030 es de 7.8946 s frente a los 7.8945 s de la Norma ACI 350.3.

### **CONCLUSIÓN N°7**

Se ha identificado que el factor de reducción  $R$  es el valor que incide considerablemente en el cálculo de espectro para ambas normas, teniendo que el valor para la norma peruana es de 6 y para la americana de 2.75 y 1. Obteniendo así valores mayores en el cálculo del espectro de diseño para los de la norma americana ACI 350.3. Si bien es cierto que las estructuras se diseñan en el rango no lineal de los materiales, al ser los reservorios estructuras de mayor trascendencia, la norma ACI obliga al cálculo de las áreas de refuerzo mayores, que atenderán mayores valores de parámetros de respuesta estructural.

### **CONCLUSIÓN N°8**

Como se observa en la tabla 62 de la página 179, los valores de periodo de vibración mayores son los relacionados a la masa convectiva y los de menor valor a los de la masa impulsiva.

Tenemos que tomar en consideración que la masa impulsiva se encuentra rígidamente conectada a las paredes del reservorio, lo cual hace que la estructura tenga un periodo de vibración bajo al hacer a la estructura rígida también. Mientras que la masa convectiva se encuentra conectada con una rigidez menor para poder simular el oleaje del agua causando que exista un mayor periodo en la estructura



## RECOMENDACIONES

### DE NUEVOS TEMAS DE INVESTIGACIÓN

- Realizar un análisis de este tipo de estructuras (contenedores de líquidos) basándose en normas extranjeras de países de nuestra región, Latinoamérica.
- Estudiar la magnitud del factor R para este tipo de estructuras (contenedores de líquidos) en la medida que éste depende de aspectos referidos a redundancia, ductilidad y resistencia.
- Estudiar la no linealidad de este tipo de estructuras (contenedores de líquidos) para conocer y entender su respuesta estructural en este rango de comportamiento de respuesta.
- Realizar el análisis sísmico para otras clases de contenedores de líquidos como los de sección cuadrada, del tipo elevado, entre otros, para nuestra región.

### PARA REPLICAR EL PRESENTE TRABAJO

- Realizar una adecuada identificación de los parámetros sísmicos para el análisis de este tipo de estructuras.
- Para efectos del desarrollo de todas estas investigaciones se recomienda hacer estudio de mecánica de suelos integrales, donde se desarrollen pruebas como velocidad de ondas de corte, para que de esta forma, la identificación de la naturaleza del suelo sean más precisos ayudando a identificar parámetros de suelo más exactos.

### EN GENERAL

- Se recomienda utilizar los resultados de este trabajo de investigación para realizar un análisis y diseño estructural más preciso para este tipo de estructuras



(contenedores de líquidos o reservorios), edificación esencial, en la ciudad del Cusco, frente a los efectos de un sismo.

- Incluir dentro de la normativa peruana consideraciones o procedimiento de análisis estructural para reservorios o contenedores de líquidos, teniendo éstos un comportamiento diferente al de los edificios. También aumentar factores de reducción de respuesta para este tipo de estructuras considerando que éstas deben tener un rango menor de deformación ante la presencia de un sismo.



## REFERENCIAS

- ACI COMMITE 350. (2001). *Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-01) and Commentary (ACI 350R-01)*. United States: ACI COMMITE 350.
- ACI COMMITTEE 350. (2001). *Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01)*. United States: ACI COMMITTEE 350.
- Bazán, E., & Meli, R. (2004). *Diseño Sísmico de Edificios*. México: LIMUSA.
- Castillo Aedo, J., & Alva Hurtado, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*. Lima, Perú.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (1999). *Curso sobre diseño y construcción sismoresistente de estructuras* (Primera ed.). México: CENAPRED.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS*. Lima, Perú: COSUDE.
- Fratelli, M. G. (2001). *Estructuras Sismo-Resistentes*. U.C.V.
- García Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural aplicada al Diseño Sísmico*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Hároun, M. A. (1980). *Dynamic analyses of liquid storage tanks*. Pasadena, California: California Institute of Technology.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. México: MCGRAW-HILL.
- Housner, G. (1963). The dynamic behavior of water tanks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53(2), pp. 381-387.
- Martínez Galindo, E., & Sánchez Arregui, L. F. (2004). *ANÁLISIS SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS DE AGUA SOBRE DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN REFORZADO EN LA CIUDAD DE*



BUCARAMANGA. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Costa Rica: CEMEDE.

Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento. (2016). *Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"*. Perú: El Peruano.

Munshi, J. A. (2002). *Design of Liquid-Containing Concrete Structures for Earthquake Forces*. United States: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

Paz, M. (1992). *DINÁMICA ESTRUCTURAL*. Barcelona, España: REVERTÉ, S.A.

Portland Cement Association. (1993). *Circular Concrete Tanks Without Prestressing*. Worthington, Ohio, USA: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

Quezada Vera, W. A., & Salinas Palacios, A. M. (2014). *DISEÑO Y ANALISIS DE UN RESERVORIO TIPO FUSTE DE 300 M3 EN LA CIUDAD DE TRUJILLO*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Norma Técnica E.020 Cargas*. Lima.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). *Norma Técnica E.060 Concreto Armado*. Lima.

Salvá Huertas, I. (s.f.). *EFICIENCIA ESTRUCTURAL DE DIFERENTES TANQUES DE CONCRETO*.

Vidal Parra, G. (2007). *Diseño sísmico de un estanque de hormigón armado, comparación del código norteamericano y las recomendaciones neozelandesas*. Concepción, Chile: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN.

ANEXOS  
MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE.

	PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO	VARIABLES	INDICADOR	UNIDAD
General	¿Cómo es el procedimiento a realizar según la normativa ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente para determinar la magnitud de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este?	El procedimiento a realizar mediante la aplicación de la normativa ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente es claro y replicable para determinar la magnitud de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este.	Organizar un procedimiento claro y replicable mediante la aplicación de la normativa ACI 350.3-01 y según las consideraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente para determinar las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del Reservorio de concreto armado Zona Sur Este.	Parámetros de Respuesta Estructural  Procedimiento según la norma ACI 350.3-01  Procedimiento con consideraciones de la norma E.030 Diseño Sismorresistente	Esfuerzos internos Deformaciones Fuerzas cortantes   Parámetros sísmicos	Pa m kN   Adim
	<b>Problema Especifico 1.</b> ¿Cuáles son los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este?	<b>Hipótesis Especifico 1.</b> Los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este son la geometría de la estructura y propiedades de los materiales.	<b>Objetivo Especifico 1.</b> Identificar los parámetros de la norma ACI 350.3-01 que permiten desarrollar el análisis estructural del Reservorio Zona Sur Este.	Parámetros geométricos  Propiedades de los materiales.	Altura Diámetro f'c fy	m m Kg/cm2 Kg/cm2
Específicos	<b>Problema Especifico 2.</b> ¿Cómo son las magnitudes de los parámetros sísmicos según las consideraciones de la norma ACI 350.3-01 y la norma peruana E.030 Sismorresistente?	<b>Hipótesis Especifico 2.</b> Las magnitudes de los parámetros sísmicos en ambas normas son semejantes, sin embargo existen variaciones significativas para el factor I y factor R.	<b>Objetivo Especifico 2.</b> Determinar las magnitudes de los parámetros sísmicos según las consideraciones de la norma ACI 350.3-01 y la norma peruana E.030 Sismorresistente.	Parámetros sísmicos	Factor de importancia, Factor de reducción de respuesta	Adim Adim
	<b>Problema Especifico 3.</b> ¿De qué coeficientes depende la magnitud de los factores de amplificación de espectro según la norma ACI 350.3-01?	<b>Hipótesis Especifico 3.</b> La magnitud de los factores de amplificación de espectro dependerá de la magnitud que toman los periodos de vibración y el coeficiente de suelo.	<b>Objetivo Especifico 3.</b> Determinar la magnitud de los factores de amplificación de espectro de acuerdo a los periodos de vibración y el coeficiente de suelo.	Factor de amplificación espectral	Factor de amplificación espectral	Adim
	<b>Problema Especifico 4.</b> ¿Para qué norma se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural?	<b>Hipótesis Especifico 4.</b> Para el código ACI 350.3 se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural en virtud de los parámetros que determinan sus espectros de diseño.	<b>Objetivo Especifico 4.</b> Determinar para qué norma se obtienen los valores mayores de parámetros de respuesta estructural.	Parámetros de Respuesta Estructural	Fuerzas Axiales Fuerzas Cortantes Momentos Flectores Desplazamientos	Tn Tn Tn/mm mm
	<b>Problema Especifico 5.</b> ¿Para qué norma se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este?	<b>Hipótesis Especifico 5.</b> Para la norma ACI 350.3 se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este.	<b>Objetivo Especifico 5.</b> Determinar para qué norma se obtienen los valores mayores del parámetro dinámico periodo de vibración del Reservorio Zona Sur Este.	Parámetros Dinámicos	Periodos de vibración	seg

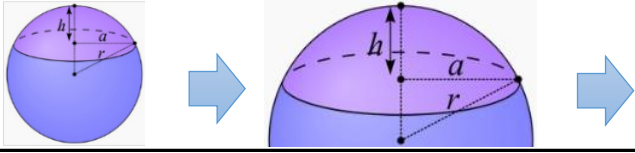


**ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**



**Datos de la geometría de la estructura**

factor de m a ft => 3.2808399  
factor de kg a lb => 2.2046226

Descrpición	Símbolo	Unidad	Valor
Diametro interior	Di	m	20.9
Altura de la pared	Hw	m	6.5
Espesor uniforme de la pared	tw	mm	300
Diámetro del centro del muro	Dmuro	m	21.20
<b>Datos de la cúpula</b>			
	espesor cup	m	0.10
	h	m	2.65
	a	m	10.60
	r	m	22.525
Altura al centro de gravedad de la cubierta	hr	m	8.29

**Sistema ingles**

Símbolo	Unidad	Valor
Di	ft	68.570
Hw	ft	21.325
tw	in	11.811
Dmedio	ft	69.55
<b>Datos de la cúpula</b>		
espesor cup	ft	0.33
h	ft	8.69
a	ft	34.78
r	ft	73.90
hr	ft	27.198

**Datos de los materiales**

Descrpición	Símbolo	Unidad	Valor		Valor	Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del concreto	$\gamma_c$	kg/m <sup>3</sup>	2400.00	kN/m <sup>3</sup>	23.54	$\gamma_c$	lb/ft <sup>3</sup>	150
Resistencia del concreto	$f'_c$	kg/cm <sup>2</sup>	245.00			$f'_c$		
Resistencia del acero	$f_y$	kg/cm <sup>2</sup>	4200.00			$f_y$		
Gravedad	g	m/seg <sup>2</sup>	9.81			g	ft/s <sup>2</sup>	32.19
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c$	kg/cm <sup>2</sup>	234787.14	Mpa	23032.62	$E_c$	lb/in <sup>2</sup>	3339471.42
Densidad de masa del concreto	$\rho_c$	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	2.40			$\rho_c$	lb-s <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>	4.66
Densidad de masa del agua contenida	$\rho_L$	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	1.00			$\rho_L$	lb-s <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>	1.94



**ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**



**Datos del líquido contenido**

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor			Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del líquido	$\gamma_L$	kg/m <sup>3</sup>	1000.00	kN/m <sup>3</sup>	9.81	$\gamma_L$	lb/ft <sup>3</sup>	62.43
Altura del líquido	H <sub>L</sub>	m	5.33			H <sub>L</sub>	ft	17.487
Volumen del líquido contenido	V <sub>liq</sub>	m <sup>3</sup>	1828.56			V <sub>liq</sub>	ft <sup>3</sup>	64575.05

**Datos para análisis Sísmico**

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor			Símbolo	Unidad	Valor
Factor de Zona Sísmica	Z	-	0.25			Z	-	0.25
Coeficiente de perfil de suelo	S	-	1.50			S	-	1.50
Factor de Importancia	I	-	1.25			I	-	1.25
Factor de Modificación de respuesta	R <sub>wi</sub>	-	2.75			R <sub>wi</sub>	-	2.75
	R <sub>wc</sub>	-	1.00			R <sub>wc</sub>	-	1.00

Masa del muro del estanque	W <sub>w</sub>	kg	311696.26	kN	3057.74	W <sub>w</sub>	lb	687172.62
Masa de la cubierta del estanque	W <sub>r</sub>	kg	90012.28	kN	883.02	W <sub>r</sub>	lb	198443.12
Masa del líquido	W <sub>l</sub>	kg	1828561.88	kN	17938.19	W <sub>l</sub>	lb	4031288.89

**Fuerzas Dinámicas Laterales**

Fuerza de Inercia Lateral de la aceleración del muro	P <sub>w</sub>	kN	482.559			P <sub>w</sub>	lb	108446.51
Fuerza de Inercia Lateral de la aceleración de la cubierta	P <sub>r</sub>	kN	139.354			P <sub>r</sub>	lb	31317.41
Fuerza total impulsiva asociada a W <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	kN	831.794			P <sub>i</sub>	lb	186930.88
Fuerza total lateral convectiva asociada a W <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>	kN	542.430			P <sub>c</sub>	lb	121901.54

Corte Total Basal	V	kN	1551.611			V	lb	348696.829
-------------------	---	----	----------	--	--	---	----	------------





**ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE**



**Momentos de flexion en la seccion transversal completa**

Momento de inercia lateral de la aceleración del muro	Mw	kN*m	1568.316
Momento de inercia lateral de la aceleración de la cubier	Mr	kN*m	1155.248
Momento total impulsivo asociada a Wi	Mi	kN*m	1662.548
Momento total convectivo asociada a Wc	Mc	kN*m	1543.097

Momento flector de toda la sección transversal del estan	Mb	kN*m	4649.638
--	----	------	----------

**Momentos de flexion en la seccion transversal completa**

Momento de inercia lateral de la aceleración del muro	Mw	kN*m	1568.316
Momento de inercia lateral de la aceleración de la cubier	Mr	kN*m	1155.248
Momento total impulsivo asociada a Wi	M'i	kN*m	6990.233
Momento total convectivo asociada a Wc	M'c	kN*m	4417.562

Momento volcante en la base del estanque, incluyendo e	Mo	kN*m	10671.116
--	----	------	-----------

**Borde Libre**

Borde Libre	d <sub>max</sub>	m	0.94
-------------	------------------	---	------

Mw	lb*ft	1156335.857
Mr	lb*ft	851775.923
Mi	lb*ft	1225813.962
Mc	lb*ft	1137741.286

Mb	ft*lb	3428225.63
----	-------	------------

Mw	lb*ft	1156335.86
Mr	lb*ft	851775.92
Mi	lb*ft	5153970.88
Mc	lb*ft	3257113.66

Mo	ft*lb	7867923.33
----	-------	------------

d <sub>max</sub>	ft	3.10
------------------	----	------



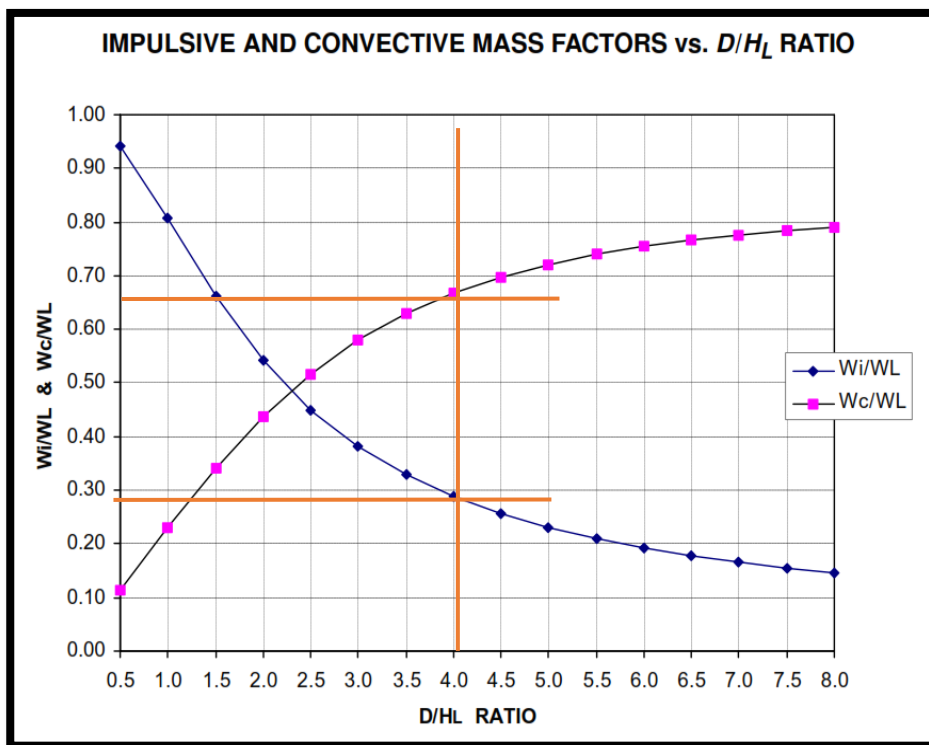


ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE



Análisis Dinámico

$$\frac{W_i}{W_l} = \frac{\tanh(0.866 \left(\frac{D}{H_L}\right))}{0.866 \left(\frac{D}{H_L}\right)}$$



D/HL = 3.92

Masa Impulsiva	Wi	kN	5270.67
----------------	----	----	---------

537.28

Wi	lb	1184489.73
----	----	------------

$$\frac{W_c}{W_l} = 0.230 * \left(\frac{D}{H_l}\right) * \tanh\left(3.68 \left(\frac{H_l}{D}\right)\right)$$

Masa Convectiva	Wc	kN	11883.20
-----------------	----	----	----------

1211.33

Wc	lb	2670536.32
----	----	------------



ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE



Altura a centros de gravedad Excluyendo la presión de base, EBP

Para estanques con:  $\frac{L}{Hl} \geq 1.333$

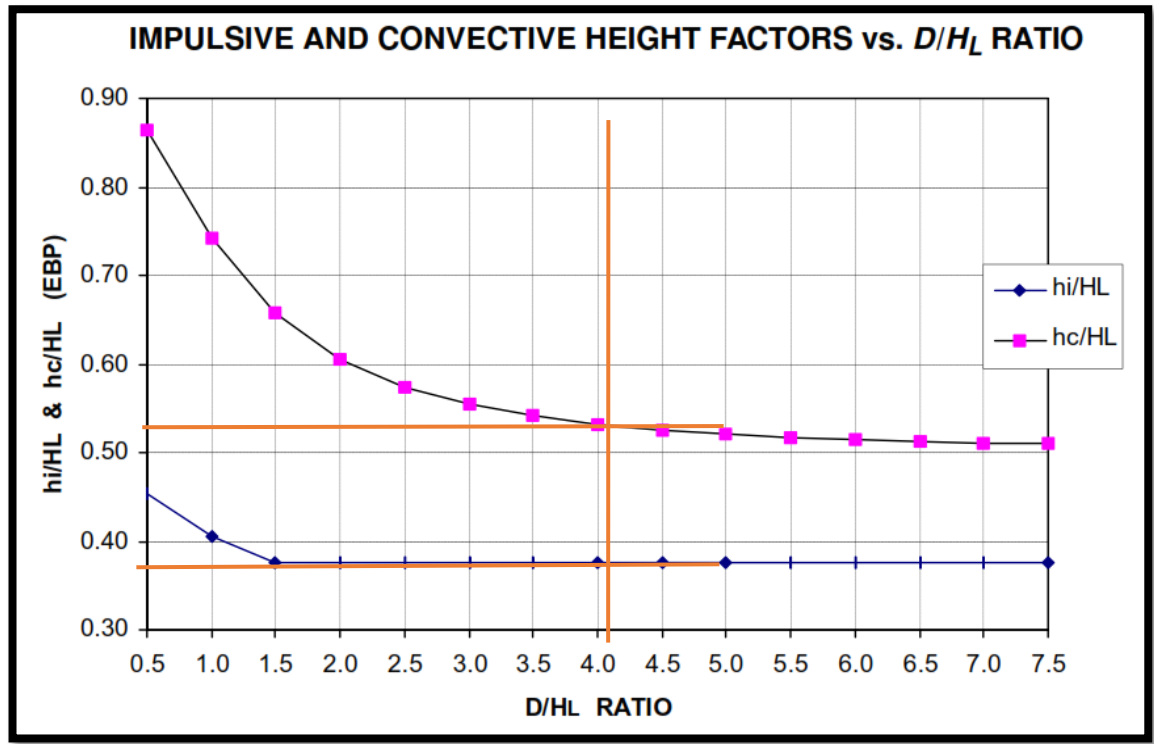
D/Hl = 3.92

Altura de fuerza lateral impulsiva	hi	m	2.00
------------------------------------	----	---	------

Altura de fuerza lateral convectiva	hc	m	2.84
-------------------------------------	----	---	------

hi	ft	6.56
----	----	------

hc	ft	9.33
----	----	------



D/Hl = 3.92



ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE



Altura a centros de gravedad Incluyendo la presión de base, IBP

D/H<sub>L</sub> = 3.92

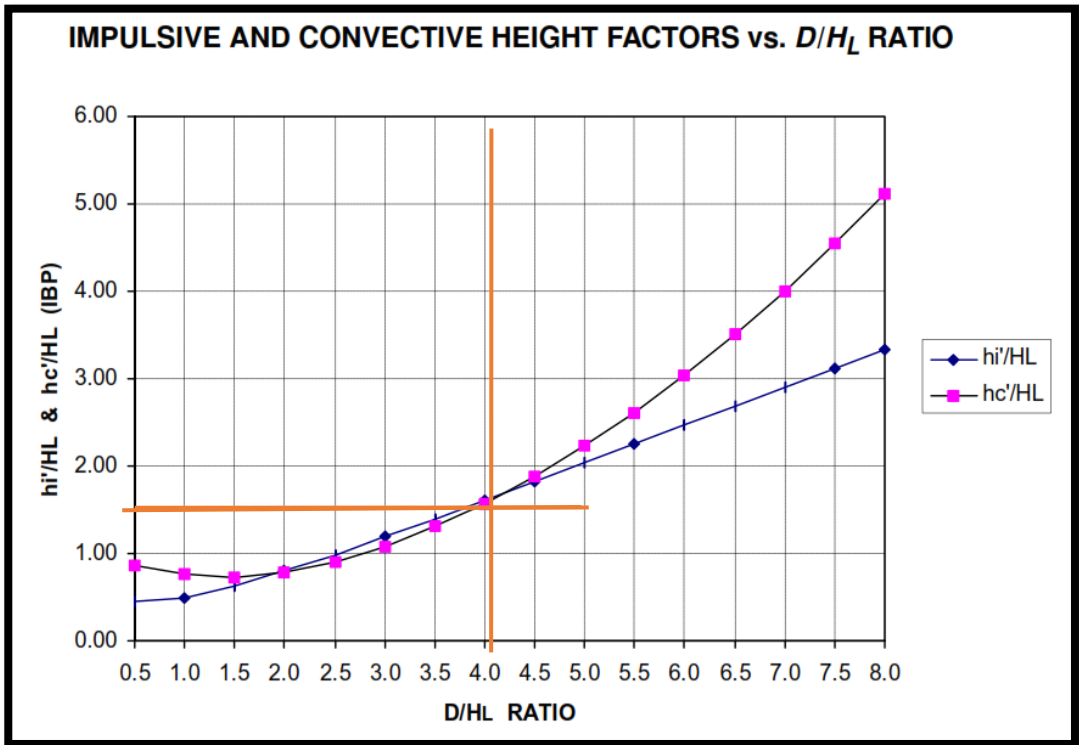
Para estanques con:  $\frac{L}{Hl} \geq 0.75$

Altura de fuerza lateral impulsiva	hi'	m	8.40
------------------------------------	-----	---	------

Altura de fuerza lateral convectiva	hc'	m	8.14
-------------------------------------	-----	---	------

hi'	m	27.57
-----	---	-------

hc'	m	26.72
-----	---	-------



D/H<sub>L</sub> = 3.92



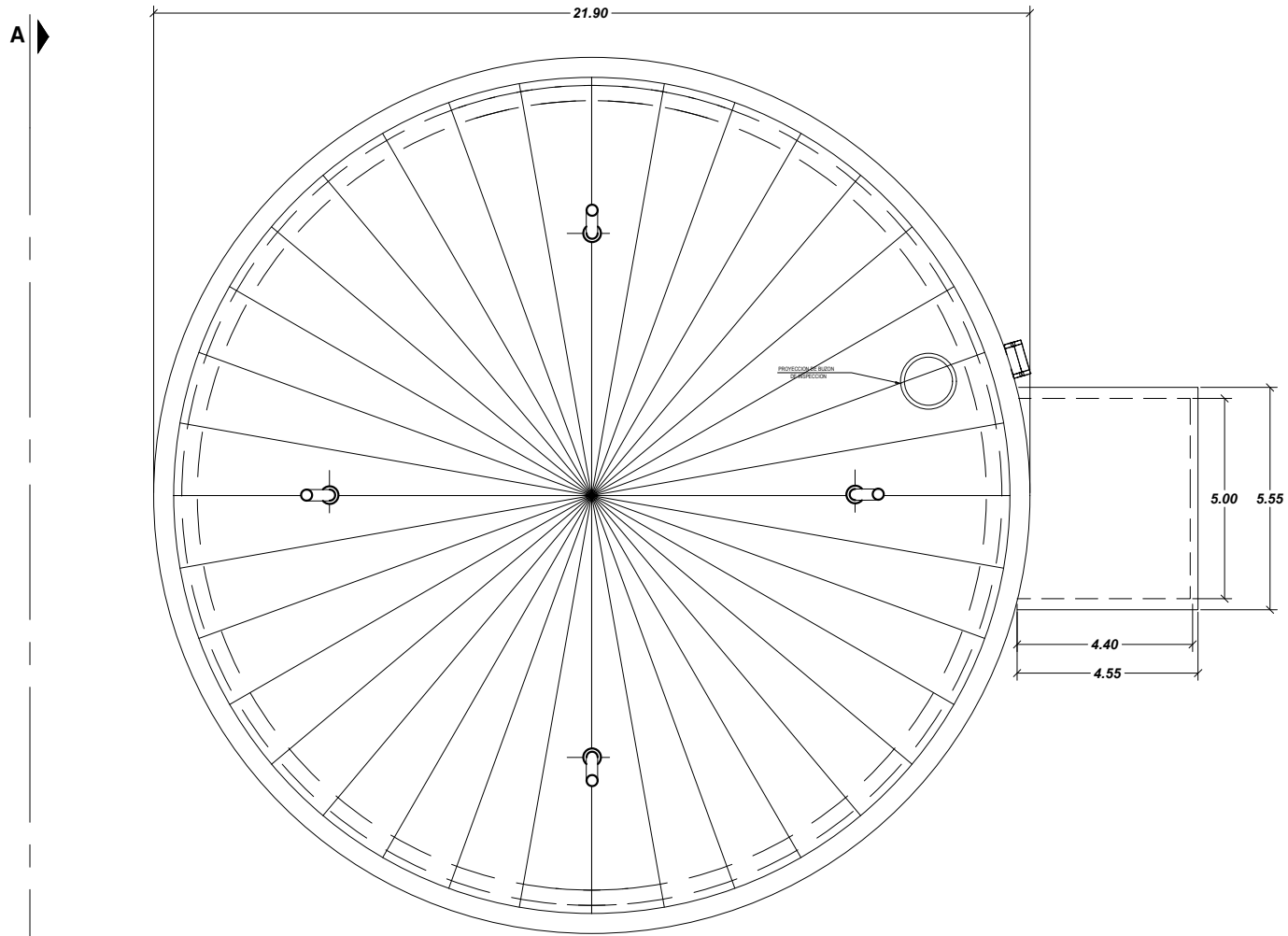
ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE



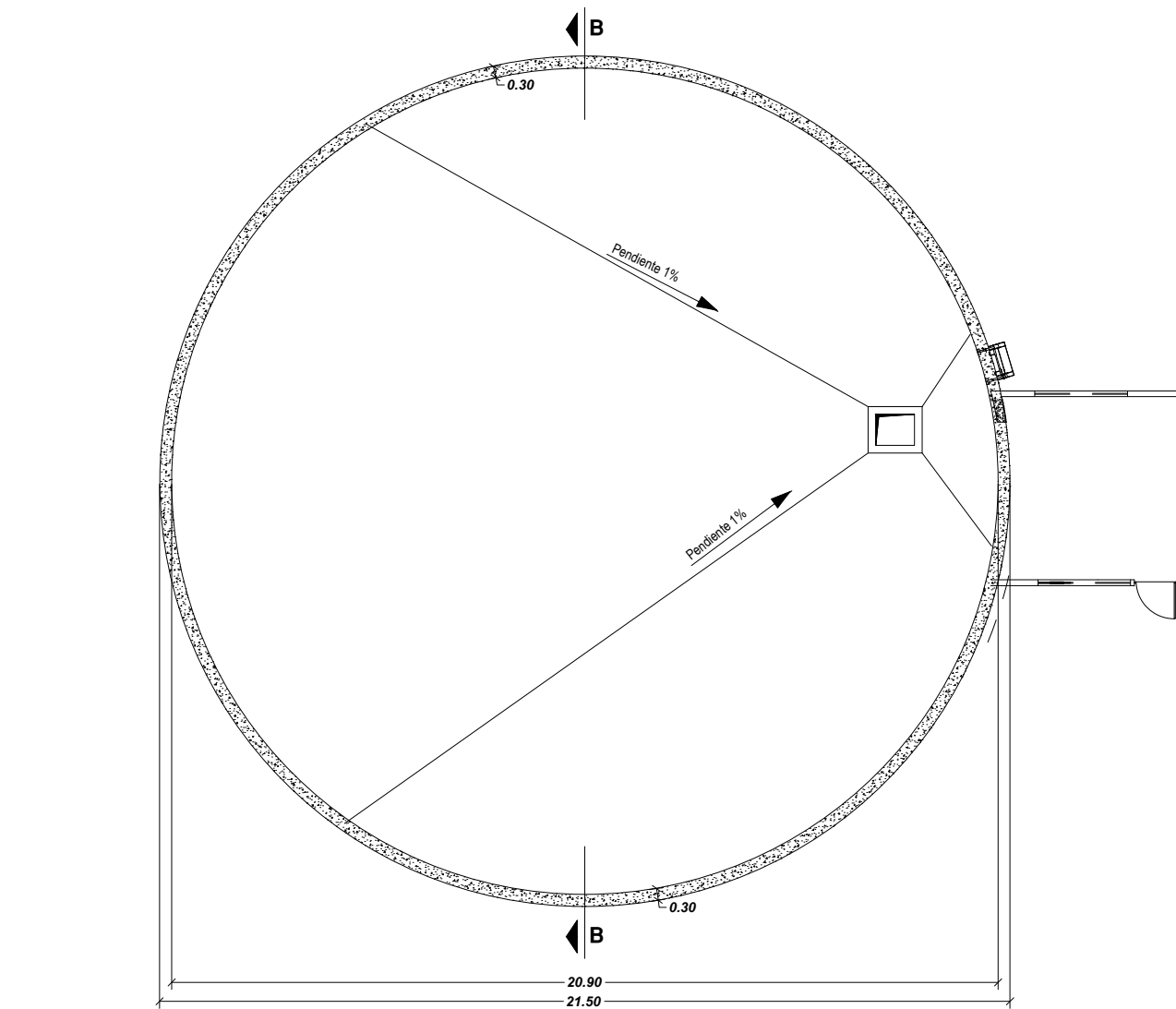
Propiedades Dinámicas

Periodo fundamental de oscilación del estanque (más la c	$T_i$	seg	0.046
Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración	$\omega_i$	rad/seg	135.357
Coeficientes para determinar la frecuencia fundamental d	$C_l$	-	0.233
Coeficientes para determinar la frecuencia fundamental d	$C_w$	-	0.137
Coeficiente de cálculo	$\lambda$	-	5.149
Frecuencia circular de oscilación del 1er modo convectivo	$\omega_c$	rad/seg	1.126
Periodo natural del primer modo (convectivo) de batimie	$T_c$	seg	5.578
Factor de amplificación de espectro periodo-dependiente	$C_i$	-	1.833
Factor de amplificación de espectro periodo-dependiente	$C_c$	-	0.193
Coeficiente de masa efectiva estanque circular	$\epsilon$	-	0.51

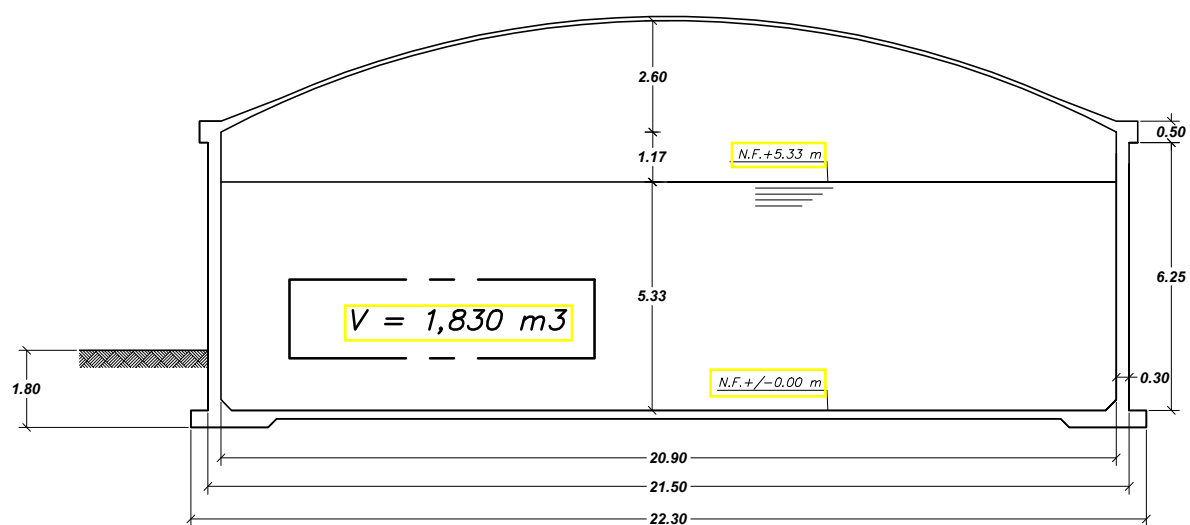
$T_i$	seg	0.046
$\omega_i$	rad/seg	135.357
$C_l$	-	0.233
$C_w$	-	0.137
$\lambda$	-	9.327
$\omega_c$	rad/seg	1.126
$T_c$	seg	5.578
$C_i$	-	1.833
$C_c$	-	0.193
$\epsilon$	-	0.51



VISTA SUPERIOR: CUPULA DE RESERVORIO

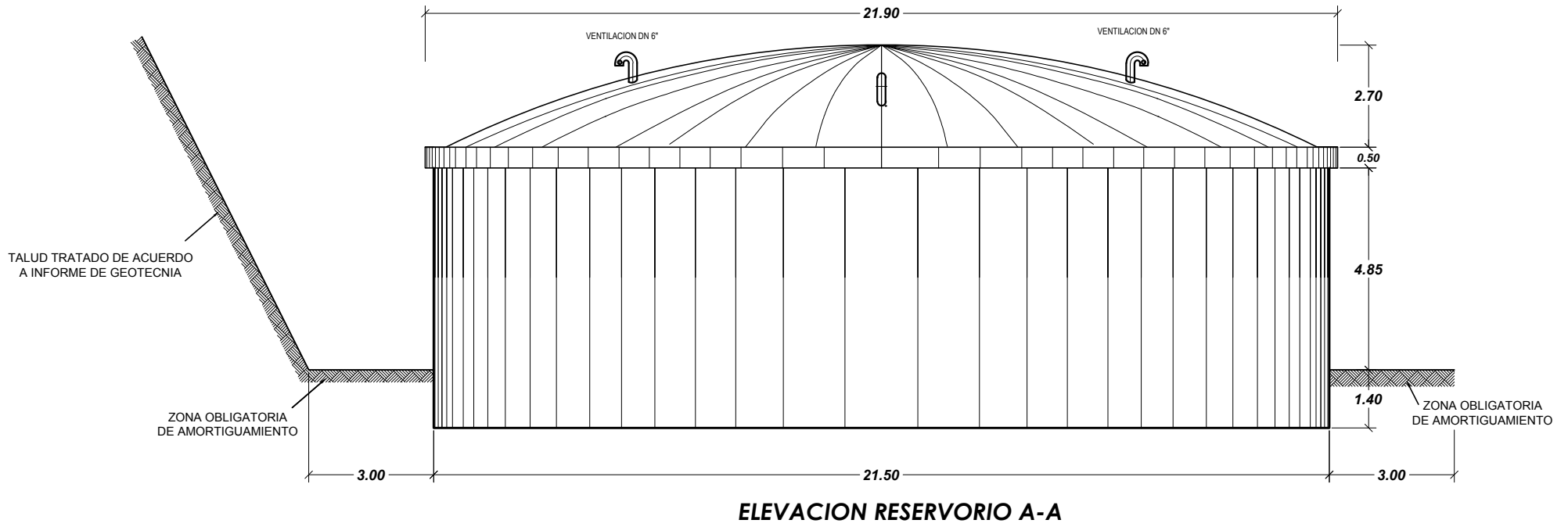


VISTA LOSA DE FONDO RESERVORIO

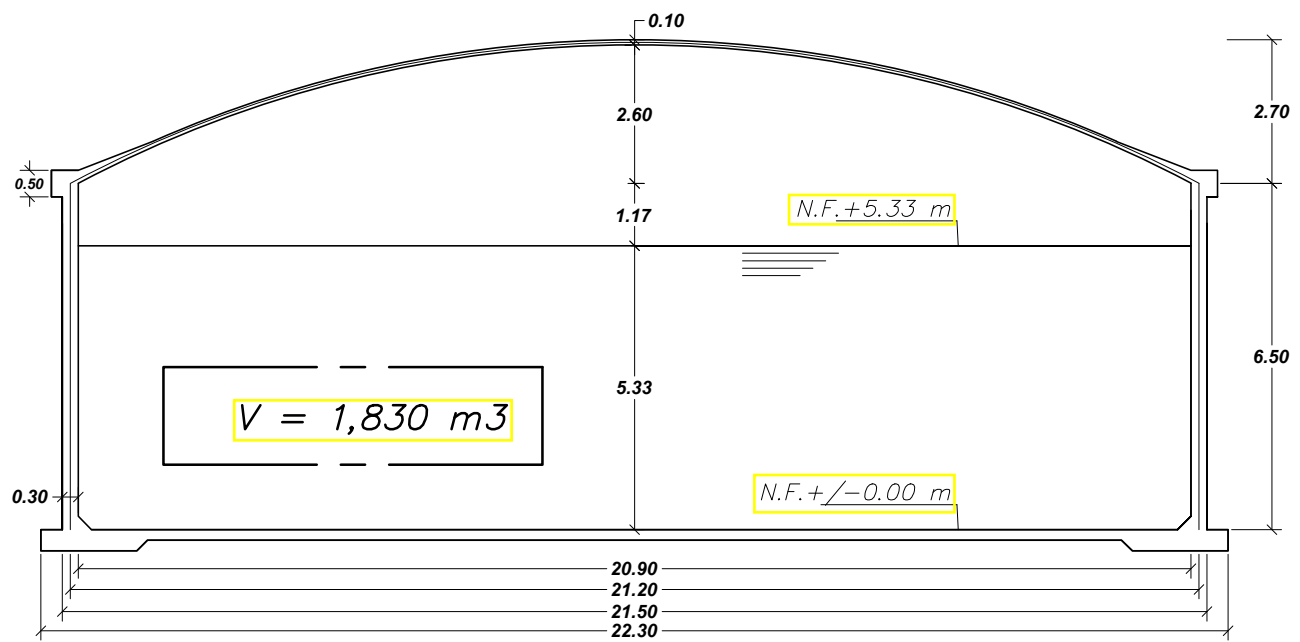


SECCION RESERVORIO B-B

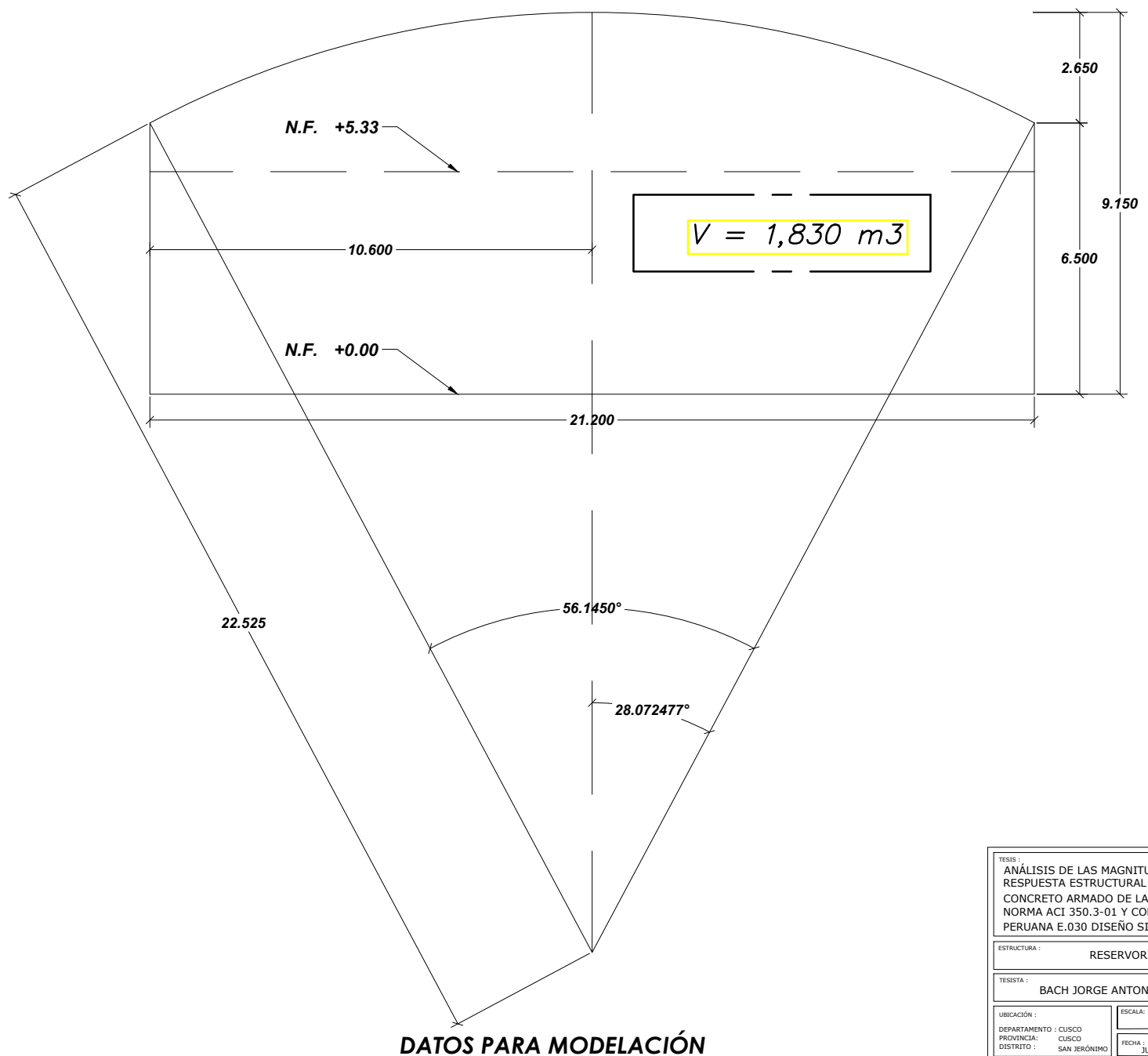
TESIS : ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE		
ESTRUCTURA : RESERVORIO ZONA SUR ESTE		
TESISTA : BACH JORGE ANTONIO CUSIHUALPA MAMANI		
UBICACIÓN : DEPARTAMENTO : CUSCO PROVINCIAL : CUSCO DISTRITO : SAN JERÓNIMO	ESCALA : INDICADAS	LÁMINA : <b>U - 01</b>
FECHA : JUNIO 2016		



ELEVACION RESERVOIRIO A-A



CORTE GENERAL RESERVOIRIO



DATOS PARA MODELACIÓN

TESIS : ANÁLISIS DE LAS MAGNITUDES DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL RESERVOIRIO ZONA SUR DE CONCRETO ARMADO DE LA CIUDAD DEL CUSCO SEGÚN LA NORMA ACI 350.3-01 Y CONSIDERACIONES DE LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE		
ESTRUCTURA : RESERVOIRIO ZONA SUR ESTE		
TESISISTA : BACH JORGE ANTONIO CUSIHUALLPA MAMANI		
UBICACIÓN : DEPARTAMENTO : CUSCO PROVINCIA : CUSCO DISTRITO : SAN JERÓNIMO	ESCALA : INDICADAS	LÁMINA : JUNIO 2016 <b>U - 02</b>