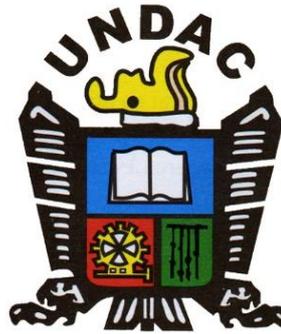


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**Diseño y evaluación de un reservorio de 350 m³ tipo fuste con
aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante
eventos sísmicos, Lima – 2017**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor : Bach. Joel Renzo QUISPE RODRIGUEZ

Asesor : Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Cerro de Pasco – Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**Diseño y evaluación de un reservorio de 350 m³ tipo fuste con
aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante
eventos sísmicos, Lima – 2017**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Villar REQUIS CARBAJAL
PRESIDENTE

Mg. José German RAMIREZ MEDRANO
MIEMBRO

Ing. Pedro YARASCA CORDOVA
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones, a mis
Padres por el apoyo incondicional
en mi formación profesional, a la
Universidad por los conocimientos
brindados

RECONOCIMIENTO

A los docentes de la Facultad de Ingeniería civil, los cuales han contribuido en mi formación profesional, y asesoramiento, el cual hizo posible la realización del presente trabajo

RESUMEN

Actualmente en el Perú aún no se ha implementado un código para el análisis y diseño de estructuras que contienen agua, por lo que se emplean códigos extranjeros como el Eurocódigo (EC-8), el ACI 371 y el ACI-350.3.

Debido a estas características que presenta el Perú, es necesario que las estructuras que contengan agua sean construidas de manera que puedan reducir al mínimo los daños que ocurren cuando se suscitan los Fenómenos Sísmicos en el Perú.

Por lo expuesto, se plantea el diseño y evaluación de un reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos en la ciudad de Lima como una alternativa de solución, los cuales modifican las características dinámicas de la estructura reduciendo su demanda sísmica, cuando se produce un fenómeno sísmico.

Palabras clave: aisladores sísmicos, reservorio tipo fuste

SUMMARY

Currently, a code for the analysis and design of structures that contain water has not yet been implemented in Peru, so foreign codes such as Eurocode (EC-8), ACI 371 and ACI-350.3 are used.

Due to these characteristics that Peru presents, it is necessary that the structures containing water be constructed so that they can minimize the damage that occurs when the Seismic Phenomena in Peru arise.

Due to the above, the design and evaluation of a 350 m³ shaft-type reservoir with seismic insulators is proposed to improve the structural behavior before seismic events in the city of Lima as an alternative solution, which modify the dynamic characteristics of the structure by reducing its seismic demand, when a seismic phenomenon occurs.

Keywords: seismic isolators, shaft type reservoir

INTRODUCCION

El propósito principal de la investigación es el **Diseño y evaluación de un reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos en la ciudad de Lima** que brinden seguridad y sufran daños mínimos durante la acción sísmica, es de vital importancia realizar una investigación sobre el DISEÑO DE RESERVORIOS CON AISLADORES SISMICOS en el ámbito Nacional, puesto que las Nuevas estructuras contarán con Aisladores Sísmicos los cuales evitarán que se produzcan daños en las estructuras ante presencia de sismos severos.

En el capítulo 1.- se da a conocer la justificación para desarrollar la guía metodológica en ella se presentan las interrogantes, los objetivos, importancia y alcances que se pretenden alcanzar con el presente estudio.

En el capítulo 2.- se presenta el marco teórico para el desarrollo de la investigación, en este capítulo se describe la terminología técnica y académica del diseño y evaluación de reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos.

En el capítulo 3.- se da a conocer la metodología y tipo de investigación que estamos siguiendo sistemáticamente para la obtención de resultados que serán aplicados para el diseño y evaluación de reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos.

Finalmente, en el capítulo 4.- se da conocer el producto de la presente investigación, se da conocer los resultados.

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

CAPITULO I	1
PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.1 Identificación y Determinación del Problema	1
1.2 Delimitación de la Investigación.....	2
1.3 Formulación del Problema	3
1.3.1 Problema General.....	3
1.3.2 Problemas Específicos	3
1.4 Formulación de Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Justificación de la Investigación	4
1.6 Limitaciones de la Investigación.....	5
CAPITULO II	6
MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes de Estudio	6
2.2 Bases Teóricas Científicas	19

2.3 Definición de Términos Básicos	37
2.4 Formulación de Hipótesis	38
2.4.1 Hipótesis General.....	38
2.4.2 Hipótesis Especificas	38
2.5 Identificación de Variables	39
2.6 Definición Operacional de Variables e Indicadores	40
CAPITULO III	41
METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION.....	41
3.1 Tipo de Investigación.....	41
3.2 Métodos de Investigación	41
3.3 Diseño de la Investigación	42
3.4 Población y Muestra	42
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	43
3.7 Tratamiento Estadístico	43
3.8 Selección Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación	43
3.9 Orientación Ética	44
CAPITULO IV.....	45
RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1 Descripción del Trabajo de Campo.....	45
4.2 Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados	46
4.3 Prueba de Hipótesis	134
4.4 Discusión de Resultados	138

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y Determinación del Problema

De acuerdo a los Antecedentes de Sismos Ocurridos en el País, el Perú se encuentra ubicado en el "Círculo de Fuego del Océano Pacífico" que concentra el 85% de la actividad sísmica mundial, por su ubicación geográfica el Perú se encuentra ubicado en el borde occidental de Sudamérica, donde se produce la Subducción de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, a lo largo de la Historia se ha conocido la ocurrencia de sismos muy destructores, sobre todo aquellos ocurridos en el sur del Perú, que han devastado las ciudades de Arequipa y Tacna en el siglo XIX o como el último sismo ocurrido en la ciudad de Ica (Chincha y Pisco) en Agosto del año 2007, los cuales convierten al Perú en una zona de alto potencial sísmico.

En la actualidad en el Perú, aún no se ha implementado un código para el análisis y diseño de estructuras que contienen agua, por lo que se emplean códigos extranjeros como el Eurocódigo (EC-8), el ACI 371 y el ACI 350.3-01.

Debido a estas características que presenta el Perú, es necesario que las estructuras que contengan agua sean construidas de manera que puedan reducir al mínimo los daños que ocurren cuando se suscitan los Fenómenos Sísmicos en el Perú.

Por lo expuesto, se plantea como una alternativa de solución, el Diseño de reservorios con Aisladores Sísmicos, los cuales modifican las características dinámicas de la estructura reduciendo su demanda sísmica, cuando se produce un fenómeno sísmico.

1.2 Delimitación de la Investigación

Delimitación Espacial

El estudio que se pretende llevar a cabo diseñando una estructura que contenga agua de 350 m³ para la Ciudad de Lima en el Distrito San Juan de Miraflores, AA.HH. Pamplona Alta.

Delimitación Temporal

Meses, febrero - julio del 2017

Delimitación Conceptual

Aisladores Sísmicos

Características de los Aisladores Sísmicos

Tipos de Aisladores Sísmicos

Componentes de los Aisladores Sísmicos

Disipadores Sísmicos

Tipos de Disipadores

Ventajas de los Aisladores

Diseño de reservorio tipo fuste.

1.3 Formulación del Problema

La presente investigación ante los Antecedentes de Eventos Sísmicos ocurridos en el Perú, está dirigida a encontrar el Diseño adecuado de un reservorio de 350 m³ tipo fuste:

1.3.1 Problema General

¿Cómo diseñar y evaluar un reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos, Lima - 2017?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo conocer los requerimientos mínimos de diseño de un reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos?
- ¿Cómo aplicar la Norma de Diseño Sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-01), en el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos?
- ¿Cómo realizar la verificación de los resultados obtenidos mediante el programa de modelación estructural SAP 2000?

1.4 Formulación de Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y evaluar un reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos para mejorar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos, Lima - 2017.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Conocer los requerimientos mínimos de diseño de un reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos.
- Aplicar la Norma de Diseño Sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-01), en el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos.
- Realizar la verificación de los resultados obtenidos mediante el programa de modelación estructural SAP 2000.

1.5 Justificación de la Investigación

Debido a la necesidad cada vez más grande que se tiene en el país de realizar estructuras que brinden seguridad y sufran daños mínimos durante la acción sísmica, es de vital importancia realizar una investigación sobre el DISEÑO DE RESERVORIOS CON AISLADORES SISIMICOS en el ámbito Nacional, puesto que las Nuevas estructuras contarán con Aisladores Sísmicos los cuales evitarán que se produzcan daños en las estructuras ante presencia de sismos severos, asimismo se mejorará la Tecnología de Construcción en todo el País.

Por tanto, se ha propuesto realizar esta investigación, la cual brindara información sobre el Análisis y Diseño de reservorios tipo fuste con aisladores sísmicos.

Es por ello que es necesario promover el uso de tecnologías, probadas a nivel internacional y reconocidas por la comunidad profesional, orientadas a mejorar la respuesta sísmica de las estructuras, más allá de los requisitos mínimos de la normativa nacional vigente.

1.6 Limitaciones de la Investigación

- Información bibliográfica escasa sobre el Diseño de Aisladores Sísmicos en el Perú.
- Información Ausente sobre estructuras que contengan agua con Aisladores Sísmicos en la Ciudad de Lima.
- Esta investigación planteada es válida para la ciudad de Lima.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Estudio

Entre los años 1960 y 1970, la comunidad científica le dio una gran importancia a la respuesta sísmica no lineal de las estructuras, por lo que se involucraron en la cuantificación de la capacidad de deformación inelástica de los elementos estructurales (SEAOC, 1966). Dichos conceptos fueron reexaminados luego de los sismos de Northridge (1994) y Kobe (1995) donde se evidenció que los procedimientos de diseño basados en el análisis lineal eran inadecuados para predecir su respuesta sísmica (SEAOC, 1995). Para el caso de reservorios elevados, a pesar de ser estructuras esenciales, pocas son las investigaciones desarrolladas en los últimos 50 años que consideran el comportamiento no lineal del material. Por ello, estas estructuras siguen presentando daños o colapsan luego de un sismo de gran magnitud.

A lo largo de la historia, el hombre siempre ha querido disminuir el riesgo de los fenómenos naturales hacia su persona y la sociedad que lo rodea. Varios de estos desastres naturales como los huaycos, aludes y explosiones volcánicas son casi incontrolables; pero los sismos son los más comunes, ya que casi la mitad de las grandes ciudades del mundo están ubicadas en zonas proclives a estos. Algunos de los pensamientos más preocupantes en una comunidad es que nunca se sabe cuándo azotará un terremoto, de qué clase será, ni cuáles serán los edificios más afectados; a pesar de esto, actualmente los sismos se pueden prevenir de manera tan efectiva al punto de casi no sentirlos, gracias a unos dispositivos llamados aisladores sísmicos.¹ [1]

En las últimas décadas ha ganado aceptación entre la comunidad profesional el uso de sistemas de protección sísmica en estructuras. Entre ellos, los sistemas de aislación sísmica y de disipación de energía han sido los más utilizados. En términos generales, los sistemas de aislación sísmica actúan reflejando la energía del suelo, impidiendo que esta ingrese a la estructura, previniendo el daño estructural y no estructural. Por su parte, los sistemas de disipación de energía que, si bien no evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados para esos fines, reduciendo substancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura. El uso de disipadores de energía reduce la respuesta estructural, reduciendo el daño de componentes estructurales y no estructurales.²

¹ Michael Miller (OCTUBRE-2013), AISLADORES SÍSMICOS EN EDIFICACIONES, Ingenio en la edificación. Recuperado de: <http://ingenicons.blogspot.pe/2013/10/aisladores-sismicos-en-edificaciones.html>

² Cámara Chilena de la Construcción (2011), ANTECEDENTES GENERALES SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA Corporación de Desarrollo Tecnológico. Recuperado de: <http://www.fiic.la/LXV%20CONSEJO%20DIRECTIVO%20PANAMA/DELALLERA4.pdf>

Antecedentes Nacionales

La Pontificia Universidad Católica del Perú en Perú, a través de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, en el trabajo de titulación “ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN EL PERÚ”, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil de Paul Alexander Korswagen Eguren, Julio César Arias Ricse y Pamela Grace Huaranga Huamaní, en la parte de resumen nos indica que.³

La aislación de edificaciones consiste en colocar una interfase flexible entre el suelo y la estructura de forma que se reduzcan considerablemente las solicitaciones sísmicas a las que ésta estaría sometida. Así, se puede optar por un diseño con un factor de reducción de fuerza sísmica menor y se puede obtener como resultado una edificación que no sufrirá daños y permanecerá totalmente operativa durante y después de un evento sísmico. Las reducidas aceleraciones también protegen a los elementos no estructurales y a los contenidos de la edificación. Los aisladores son dispositivos que cuentan con una elevada rigidez a cargas verticales, pero son flexibles frente a solicitaciones laterales. Por consiguiente, las fuerzas transmitidas a la estructura por un sismo severo generan desplazamientos del orden de 25 centímetros en la interfase de aislación, pero derivas significativamente menores en la superestructura. Esta tesis se enfoca en el uso de aisladores elastoméricos, los cuales aprovechan la flexibilidad de un material similar al caucho para conseguir una baja rigidez lateral, pero lo combinan con planchas de acero para elevar la rigidez vertical. Al realizar un análisis del

³ Paul A.Korswagen, Julio C.Arias y Pamela G.Huaranga (2012) “ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN EL PERÚ”(Tesis de Pregrado).Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

comportamiento de diferentes tipos de estructuras con aisladores, se comprobó que ciertas estructuras se benefician de la aislación más que otras, siendo la esbeltez y el periodo de vibración los factores más influyentes. Como ventaja adicional a la reducción de las fuerzas, se ha encontrado, por ejemplo, que la aislación concentra la participación modal a sólo un modo por cada dirección, reduciendo así, la incertidumbre del comportamiento sísmico. Luego, se seleccionó una de las estructuras analizadas y se diseñó con el fin de observar las ventajas en el comportamiento estructural y diferencias en los costos. Se observó que el uso de concreto y acero en la superestructura disminuye, pero aumenta en la cimentación. En términos de costo, no se estima una reducción importante, sino un incremento debido a los aisladores. No obstante, deben cuantificarse los costos indirectos como las pólizas de seguros y el costo de cese de operación de una estructura esencial durante una emergencia como ventajas económicas. Finalmente, se incluye un detalle del procedimiento y recomendaciones para el diseño.

La Pontificia Universidad Católica del Perú, a través de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, en el trabajo de titulación “PROTECCIÓN DE UNA EDIFICACIÓN EXISTENTE CON DISIPADORES DE ENERGÍA”, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil de Luisa Joselinne Morales Díaz y Juan José Contreras Bálaro, en la parte de resumen nos indica que.⁴

En la actualidad existen en el mercado dispositivos de disipación de energía que podrían ser empleados en el reforzamiento de edificaciones

⁴ Luisa Morales D. y Juan Contreras B. (2012) “PROTECCIÓN DE UNA EDIFICACIÓN EXISTENTE CON DISIPADORES DE ENERGÍA”(Tesis de Pregrado).Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

importantes en el país. En este trabajo se discuten los objetivos que debe alcanzar un proyecto de reforzamiento y se revisan las estrategias y técnicas utilizadas para el reforzamiento de edificaciones. Se hace una breve presentación de los dispositivos de disipación de energía y se explica el funcionamiento de los disipadores de fluido viscoso. Para estimar la respuesta dinámica de los edificios con sistemas de amortiguamiento, se explican procedimientos con análisis tiempo-historia y por medio de métodos espectrales. Se resume una metodología para desarrollar el reforzamiento de edificaciones empleando disipadores, y se desarrolla como ejemplo el diseño del sistema de protección para una edificación educativa. Los resultados del trabajo muestran que, con el sistema de protección diseñado, la edificación estudiada podría alcanzar un amortiguamiento efectivo del orden del 25%, y la deriva y las solicitaciones internas se reducirían por un factor del orden de 0.6. El costo de los dispositivos para la edificación presentada se estimó en US\$ 45 por metro cuadrado de área construida.

La Universidad Nacional Federico Villarreal en Perú, a través de la Escuela Universitaria de Post-Grado Maestría en Gerencia de la Construcción Moderna, en el trabajo de titulación “Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres”, previo a la obtención del título Maestro en Gerencia de la Construcción Moderna de Ing. Víctor Antonio Zelaya Jara, en la parte de resumen nos indica que.⁵

El territorio del Perú es un escenario de múltiples peligros debido a su compleja conformación geológica y geodinámica muy activa, asociada a la

⁵ Ing. Víctor Antonio Zelaya Jara (2007) “Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres” (Tesis de Post-Grado).Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

complicada configuración morfológica y topográfica que influye notablemente en la variabilidad climática que, bajo la influencia del cambio climático global, da lugar al incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos potencialmente destructivos. Estos escenarios de peligros o amenazas corresponden a espacios donde se han registrado eventos ocurridos en el pasado y también donde, de acuerdo con los estudios de riesgo, se determina una mayor probabilidad de ocurrencia de los fenómenos. Los factores que son considerados para la identificación de estos escenarios son los siguientes: Las características y el tipo de variabilidad climática. Las características de la sismicidad y vulcanismo Los procesos de geodinámica externa Los fenómenos que adquieren la categoría de peligros que ocasionan los desastres de mayor envergadura en el país son: los terremotos, las inundaciones, los huaycos y aluviones (avalanchas de lodo) y las sequías.

Hay muchos otros fenómenos que ocurren eventualmente pero que tienen un impacto menor en términos territoriales, así como en cantidad de víctimas, daños y pérdidas económicas que los anteriormente citados.

Los terremotos son el peligro mayor en nuestro país. La actividad sísmica en el Perú tiene un amplio desarrollo cuyo origen está relacionado con las condiciones tectónicas regionales y locales, y las condiciones locales de los suelos que determinan la aceleración y la severidad de sacudimiento, que a su vez van a tener notable influencia sobre las estructuras.

En el país existen 2 grandes regiones sismogénicas:

La zona de subducción de placas tectónicas, generada por la interacción de las placas tectónicas Sudamericana (continental) y la de Nazca (submarina), las cuales interactúan, produciéndose un proceso de subducción dando lugar a la generación de fricciones que genera energía que es liberada de manera violenta a modo de sismos. Esta es la principal causa de los mayores sismos registrados en el país. Toda la franja costera y litoral del Océano Pacífico se configura, así como el escenario donde inciden los mayores terremotos generados en esta zona, por los cuales las ciudades y pueblos de la Costa peruana y aquellas que habitan en los contrafuertes de la cordillera occidental sienten los mayores impactos. Algunos lugares de la costa han soportado sismos de mayor magnitud, entre ellos se encuentra la parte central y la parte sur de la costa de la vertiente occidental de los andes los que se ven afectados por los sismos generados en esta macrozona. Cabe señalar que los sismos generados en la zona de subducción pueden generar tsunamis que hacen más compleja los efectos en las poblaciones. Otra de las zonas sismogénicas que producen sismos locales y regionales dentro del territorio están asociadas a la existencia de fallas geológicas activas. Estos sismos locales son por lo general de menor magnitud, pero al generarse muy cerca de la superficie, alcanzan un gran poder destructor reflejado en la alta severidad de sacudimiento e intensidades que se registran en las estructuras.

Estas zonas sismogénicas continentales corresponden a segmentos que corren paralelos a la Cordillera de los Andes. Una de ellas que se ubica en la vertiente oriental de los Andes que abarca los departamentos de Amazonas

San Martín y se extienden hacia el Sur cubriendo los departamentos de Huánuco, Pasco, Junín, Ayacucho, Cusco y Puno.

Otro segmento recorre los valles interandinos desde Cajamarca, Ancash. Un tercer segmento está en la parte Norte del Perú entre Piura y se extiende hacia el Ecuador. Son muchos los eventos sísmicos registrados en la historia del Perú que han afectado a las poblaciones.

El terremoto más grande que afectó la ciudad de Lima fue el de 1746. De 3,000 casas existentes en Lima, sólo quedaron 25 en pie. En el Callao debido al tsunami ocurrido después del sismo, de un total de 4,000 personas sólo sobrevivieron 200.

Otro terremoto importante ocurrió en 1940, de 8.2 grados en la escala de Richter, causó 179 muertos y 3,500 heridos.

En los últimos 63 años han ocurrido tres terremotos mayores de 7 grados, siendo el de 1940 de 8.2. Los otros han sido en 1966, 1970 y en 1974. El desastre más letal de la historia peruana ocurrió el 31 de Mayo de 1970 en Ancash y en menor grado en La Libertad y Lima; un sismo fue el detonante de eventos tales como los aluviones, inundaciones y licuefacción de suelos; en total fallecieron aproximadamente 69 mil personas. En Arequipa, en 1948 ocurrió un terremoto de 7.5 grados con efectos en Moquegua Tacna y Puno. Nuevamente en Arequipa hubo un sismo destructivo en 1958 de 7 grados y dos años después otro de 6 grados, en 1979 un terremoto de 6,9, en 1988 otro de 6.2 grados.

Los terremotos más recientes en el Perú ocurrieron en San Martín (1990,1991), Cuzco (1992), Ica (1996), Ayacucho (1999), y Moquegua Arequipa (2001). El sur de Perú y el norte de Chile es considerado como una zona de alta probabilidad de ocurrencia de sismos destructivos; en segundo lugar Lima y Ancash; y en tercer lugar Lambayeque-Piura.

En consecuencia y en mérito a lo enunciado, el trabajo de investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

En el Capítulo I.- Se plantea el problema, caracterizándolo y delimitándolo en función a los alcances y efectos que el tema de investigación pretende establecer y su incidencia en las medidas correctivas que la población debe ejecutar. Así mismo se define el problema de estudio, así como se precisa los objetivos que persigue la investigación.

En el Capítulo II.- Se esboza los fundamentos teóricos de la investigación, partiendo desde el enfoque histórico y conceptual hasta el tratamiento esencial de los efectos que sustenta la implementación de un estudio sobre diseño sísmico. También se formulan las hipótesis de trabajo, estableciendo las variables e indicadores que operacionalizan su funcionamiento en el proceso.

En el Capítulo III.- Se sintetiza el proceso metodológico, señalando las técnicas y procedimientos que se han utilizado en el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo IV.- Se presenta el análisis y los resultados de la investigación, señalando los hechos y fundamentos del desarrollo sobre

diseño sísmico y su incidencia en la reducción de desastres. Se aplica las encuestas respectivas a la población de docentes y alumnos de la Universidad. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil y su respectiva representación gráfica.

En el Capítulo V.- Se presenta la propuesta de un modelo de diseño Sísmico del Reservorio Tipo Fuste de 350 m³, para que soporte un sismo severo, y permita salvaguardar la vida humana, que es el objetivo principal de la tesis.

En el Capítulo VI. - Finalmente se resumen las conclusiones y se proponen algunas recomendaciones, como resultado de la investigación

Antecedentes Internacionales

La Universidad Austral de Chile en Valdivia - Chile, a través de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles en el trabajo de titulación “ANÁLISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS.”, previo a la obtención del título de licenciado en Ingeniería Civil de Marcelo Andrés Saavedra Quezada, en la parte de resumen nos indica que.⁶

Se presenta un estudio donde se valida un procedimiento simplificado para el análisis de edificios con aisladores sísmicos, en el cual se considera la respuesta sísmica de edificios de varios pisos con aisladores sísmicos, con un grado de libertad por planta. Se analiza la respuesta del sistema asumiendo que el edificio tiene un comportamiento elástico lineal y que el aislador puede

⁶ Marcelo Andrés Saavedra Quezada, (2005). “ANÁLISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS”(Tesis de Pregrado).Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile

ser simulado por un modelo lineal y no lineal. En este procedimiento de análisis simplificado se debe estimar el modo fundamental de vibración y la frecuencia natural del edificio con base fija. Para efectos de validez del método simplificado se calculan estos parámetros dinámicos en forma exacta, pero además se estudia la influencia de ellos en el modelo con aislamiento basal considerando su cálculo mediante métodos aproximados. Una vez establecidas las ecuaciones de equilibrio dinámico al modelo estructural (Edificio + Aislador), donde se obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales acopladas, el cual representa el comportamiento dinámico del modelo en estudio. Se procede a solucionar este sistema, por lo cual, se utiliza los conceptos de ecuación de estado y la aplicación de métodos de aproximación numérica mediante un algoritmo computacional que se desarrolla en la herramienta de cálculo MATLAB, así, en definitiva, se obtiene la respuesta de la estructura en el tiempo para un registro sísmico de aceleración. El análisis sísmico se realiza sobre 2 tipologías de edificios estructuradas en base a muros de corte de 4 y 10 pisos de altura. Se obtienen las respuestas dinámicas (amplitudes modales, desplazamiento de la base y de todos los niveles) de las estructuras planteadas para 5 registros sísmicos. Se compara esta respuesta aproximada con la obtenida por el programa ETABS Nonlinear. El modelo se validó, debido a que las diferencias de los resultados entre ambos programas no son significativas, esto es porque no se pierde el orden de magnitud en relación a los resultados exactos. Por lo tanto, es factible usar este procedimiento simplificado de análisis de edificios con aisladores sísmicos para etapas de prediseño donde se controlan y verifican los resultados exactos.

La Universidad Austral de Chile en Valdivia - Chile, a través de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles en el trabajo de titulación “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)”, previo a la obtención del título de licenciado en Ingeniería Civil de Jaime Andrés Arriagada Rosas, en la parte de resumen nos indica que.⁷

Este estudio es desarrollado para analizar los efectos que tendría la implementación de un sistema de aislación sísmica sobre el comportamiento estructural y de costos, para un caso en particular: el edificio Vanguardia. Este edificio destinado a oficinas, consta de siete pisos más un nivel de subterráneo y se ubicaría en la ciudad de Concepción. El trabajo se describe en cinco etapas: i) análisis y diseño de la estructura convencional, ii) diseño del sistema de aislación, iii) análisis de la estructura aislada, iv) diseño del edificio Vanguardia aislado y v) análisis comparativo de costos entre la estructura aislada y la convencional. Para efecto de la elección del sistema de aislación más apropiado, se diseñaron tres sistemas posibles: HDR, mixto conformado por aisladores LRB y HDR, y finalmente FPS. Como siguiente paso, se aplicó un análisis dinámico no lineal según la NCh 2745 al edificio Vanguardia aislado con el propósito tanto de evaluar cual sistema de aislación sería el escogido, como de realizar una comparación de respuesta entre las estructuras convencional y aislada. El diseño del edificio Vanguardia aislado se realiza con la reciente norma de aislación sísmica NCh

⁷ Jaime Andrés Arriagada Rosas, (2005). “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)” (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile

2745 analizando las ventajas que pueda presentar. El análisis económico comparativo se hace incluyendo los costos directos e indirectos, esto último a través de una curva de vulnerabilidad sísmica.

La Universidad Nacional Autónoma de México en México, a través de la Facultad de Ingeniería, en el trabajo de titulación “TEORÍA DEL AISLAMIENTO SÍSMICO PARA EDIFICACIONES”, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil de Lily Marlene Bonilla Sosa, en la parte de resumen nos indica que.⁸

El presente trabajo tiene por finalidad desarrollar el conocimiento que se tiene sobre los diferentes sistemas de control estructural en la actualidad, y con base en ello, comparar los beneficios obtenidos por estos sistemas en comparación con los apoyos convencionales. En especial, considerando el caso de los aisladores de base. Esta demostración se hizo con ayuda del programa de cómputo SAP2000 versión. Históricamente, los movimientos sísmicos representan un peligro para las estructuras causándoles daños permanentes tanto en cimentaciones como en la superestructura, y en algunos casos llegando al colapso de ésta. Para ello, es necesario diseñar estructuras que resistan fuerzas sísmicas. Sin embargo, es nuestro deber hacer construcciones que puedan resistir tanto sismos de pequeña como de alta magnitud. Esto es, que las estructuras tengan una gran capacidad de deformación, y que inclusive, vaya más allá de su estado elástico. Como solución a esta situación, se crearon los sistemas de control estructural, los cuales han sido desarrollados en esta tesis para un mayor conocimiento acerca de ellos.

⁸ Lily Marlene Bonilla Sosa s, (2012) titulación “TEORÍA DEL AISLAMIENTO SÍSMICO PARA EDIFICACIONES” (Tesis de Pregrado). Nacional Autónoma de México, México.

2.2 Bases Teóricas – Científicas

2.2.1 Base Teórica

La ingeniería sísmica actual ha desarrollado interesantes tecnologías con el propósito de proteger las estructuras frente a terremotos, como los aisladores sísmicos de base, elementos que admiten deformaciones de más de 1 metro.

El aislamiento sísmico es una colección de elementos estructurales para aislar la superestructura del edificio del terreno y así proteger la integridad de las edificaciones. El diseño sismorresistente de edificaciones con aisladores sísmicos consiste en la modificación de las características dinámicas de la edificación o estructuras reduciendo su demanda sísmica.

Los aisladores sísmicos de base consisten en unos elementos elastoméricos colocados en la estructura, cuya flexibilidad permite minimizar los daños por sismo. El elastómero, a su vez está, reforzado interiormente con láminas de acero que evitan el aplastamiento del aislador por el peso de la estructura.

Fig. 01: Aislador Sísmico



Fuente: Aisladores Sísmicos en Edificación

La aplicación de este tipo de aisladores consigue reducir las aceleraciones y deformaciones de la superestructura eliminando el daño estructural. Una estructura correctamente aislada sísmicamente recibe solo la cuarta o quinta parte de la aceleración del terreno, mientras que una estructura convencional la amplifica de 3 a 4 veces.⁹

Sistemas de Protección Sísmica¹⁰

Los sistemas de protección sísmica de estructuras utilizados en la actualidad incluyen diseños relativamente simples hasta avanzados sistemas totalmente automatizados. Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en tres categorías: Sistemas activos, sistemas semi-activos y sistemas pasivos. El presente documento se concentra fundamentalmente en los sistemas pasivos de protección sísmica.

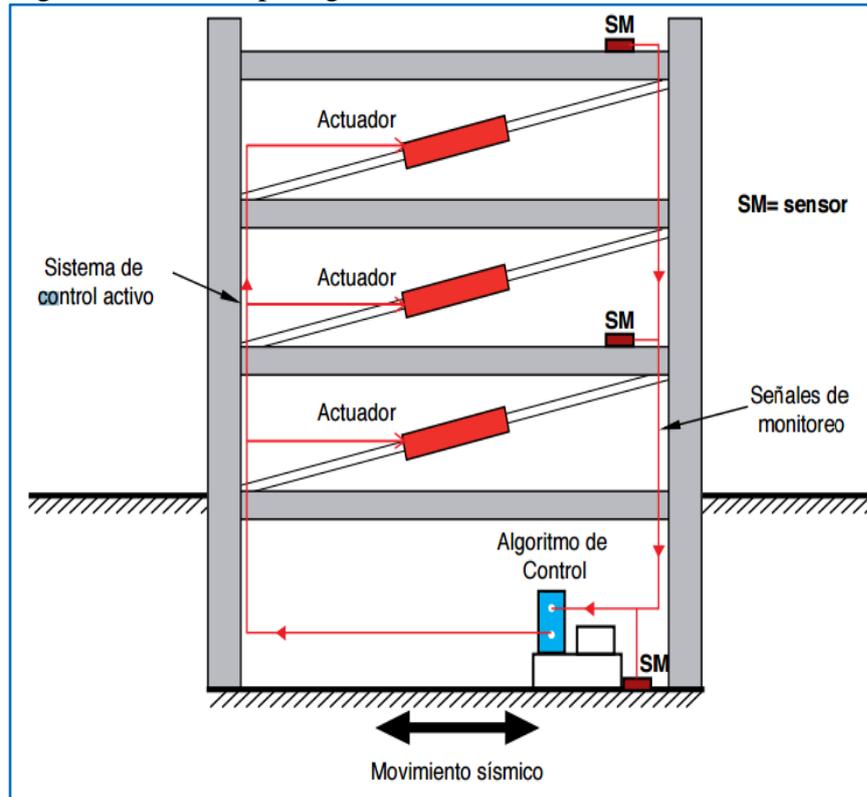
Sistemas Activos.- Los sistemas activos de protección sísmica son sistemas complejos que incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos. La Figura 2 muestra el diagrama de flujo del mecanismo de operación de los sistemas de protección sísmica activos. Estos sistemas monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos sísmicos. El actuar de los sistemas activos se resume de la siguiente forma: las excitaciones externas y la

⁹Structuralia formación especializada (2013), AISLADORES SÍSMICOS EN EDIFICACIONES, Recuperado de <http://www.structuralia.com/es/ae/item/102434-aisladores-sismicos-en-edificaciones>

¹⁰Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción (2011). Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Corporación de Desarrollo Tecnológico. 29. 14-16.

respuesta de la estructura son medidas mediante sensores, principalmente acelerómetros, instalados en puntos estratégicos de la estructura. Un algoritmo de control procesa, también en tiempo real, la información obtenida por los instrumentos, y determina las fuerzas necesarias que deben aplicar los actuadores para estabilizar la estructura. Las fuerzas que estos sistemas utilizan son, generalmente, aplicadas por actuadores que actúan sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos. Una de las principales desventajas de los sistemas activos de protección sísmica, además de su costo, es que necesitan de una fuente de alimentación externa continua para su funcionamiento durante un sismo. No obstante, constituyen la mejor alternativa de protección sísmica de estructuras, ya que permiten ir modificando la respuesta de los dispositivos en tiempo real, lo que implica un mejor comportamiento de la estructura durante el sismo. Los sistemas de protección sísmica activos han sido desarrollados en Estados Unidos y en Japón. Estos sistemas han sido aplicados principalmente en Japón, donde las restricciones de espacio de las grandes urbes, han detonado la construcción de estructuras de gran esbeltez.

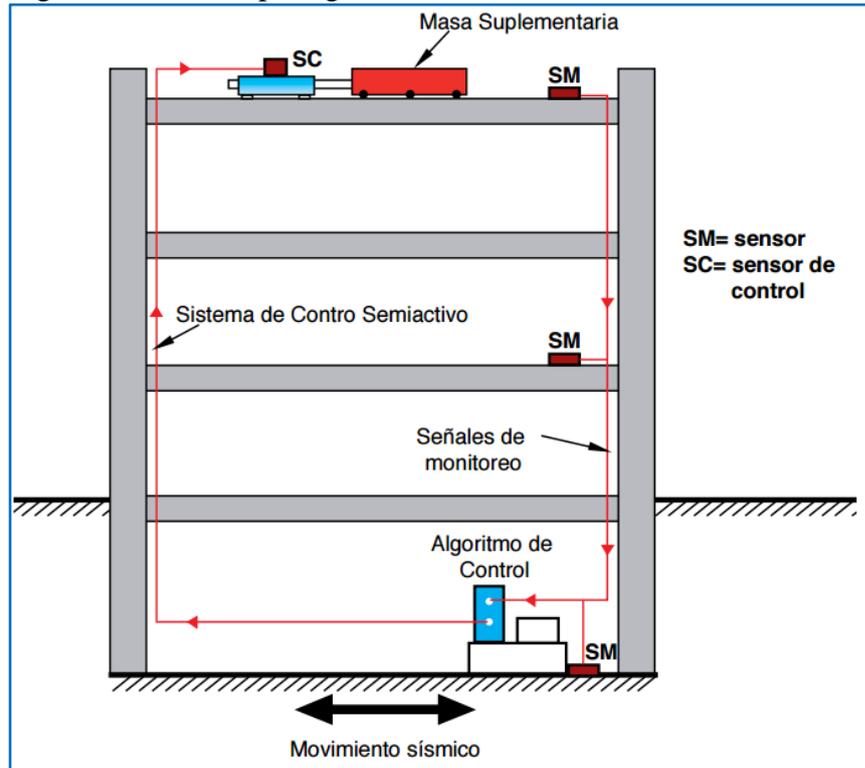
Fig. 02: Estructura protegida con Sistemas Activos



Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Sistemas Semi-Activos.- Los sistemas Semi-Activos de protección sísmica, al igual que los activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural. Sin embargo, a diferencia de los sistemas activos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semi-activos, los dispositivos de fricción con fricción controlable, y los disipadores con fluidos electro o magneto-reológicos.

Fig. 03: Estructura protegida con Sistema Semi-Activo



Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Sistemas Pasivos.- Los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica más comúnmente utilizados en la actualidad. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía. Los sistemas pasivos permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor. Dado que estos sistemas son más comúnmente utilizados, en comparación a los sistemas activos y semi-activos.

Disipación de Energía Los disipadores de energía, a diferencia de los aisladores sísmicos, no evitan que las fuerzas y movimientos sísmicos se transfieran desde el suelo a la estructura. Estos dispositivos son diseñados para disipar la energía entregada por sismos, fenómenos de viento fuerte u otras sollicitaciones de origen dinámico, protegiendo y reduciendo los daños

en elementos estructurales y no estructurales. Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Un caso particular de dispositivo de disipación de energía, que ha comenzado recientemente a ser utilizado en Chile para la protección sísmica de estructuras, corresponde a los amortiguadores de masa sintonizada. Estos dispositivos, ubicados en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural. Al igual que los sistemas de aislación sísmica de base, los dispositivos de disipación de energía, han sido ampliamente utilizados a nivel mundial en el diseño de estructuras nuevas y en el refuerzo de estructuras existentes. Las ventajas y desventajas de los distintos tipos de dispositivos de disipación de energía se discuten con mayor detalle en el Capítulo 3 de este documento.

Aislación Sísmica El diseño de estructuras con aislación sísmica se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componentes del edificio ubicados por sobre la interfaz de aislación) de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación o a nivel del cielo del subterráneo (subestructura). Sin embargo, existen casos donde se han colocado aisladores en pisos superiores. La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislación. El aislamiento sísmico es utilizado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. A diferencia de las técnicas convencionales de

reforzamiento de estructuras, el aislamiento sísmico busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente. Debido a esto último, la aislación sísmica de base es especialmente útil para la protección y refuerzo de edificios históricos y patrimoniales.

Sistemas Pasivos de Disipación de Energía¹¹

Alternativas de Protección

Los sistemas pasivos de disipación de energía pueden ser clasificados en cuatro categorías, según sean estos activados por desplazamientos, velocidades, por una combinación de desplazamientos y velocidades, o por movimiento (fuerzas inerciales). A continuación, se detalla brevemente las características generales de cada una de estas categorías de disipadores de energía.

Disipadores Activados por Desplazamientos

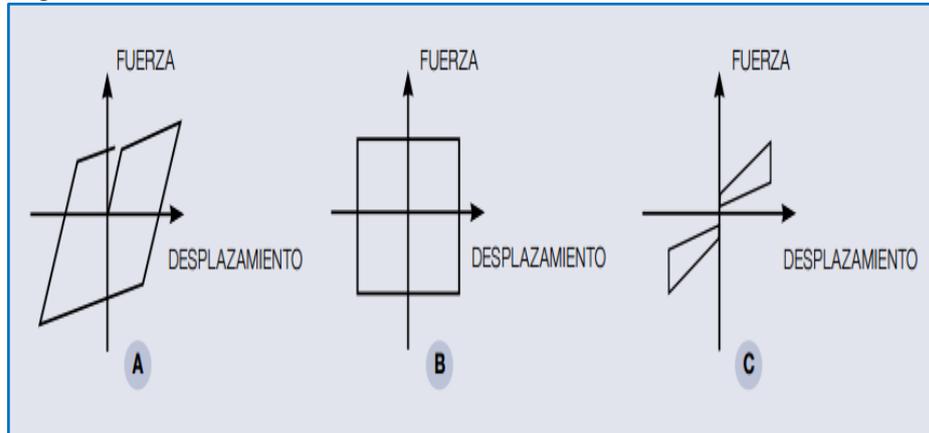
Los disipadores de esta categoría se activan por medio de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un terremoto. Estos dispositivos disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies especialmente diseñadas para estos fines. Bajo esta clasificación se encuentran los dispositivos metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrantes.

¹¹Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción (2011). Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. *Corporación de Desarrollo Tecnológico*. 29. 17-23.

La Figura 04, muestra ciclos fuerza-deformación típicos de disipadores activados por desplazamientos: a) Metálico b) Friccional y c) Autocentrante

El área encerrada por la curva corresponde a la energía disipada por el dispositivo.

Fig. 04: Ciclos de Fuerza - Deformación



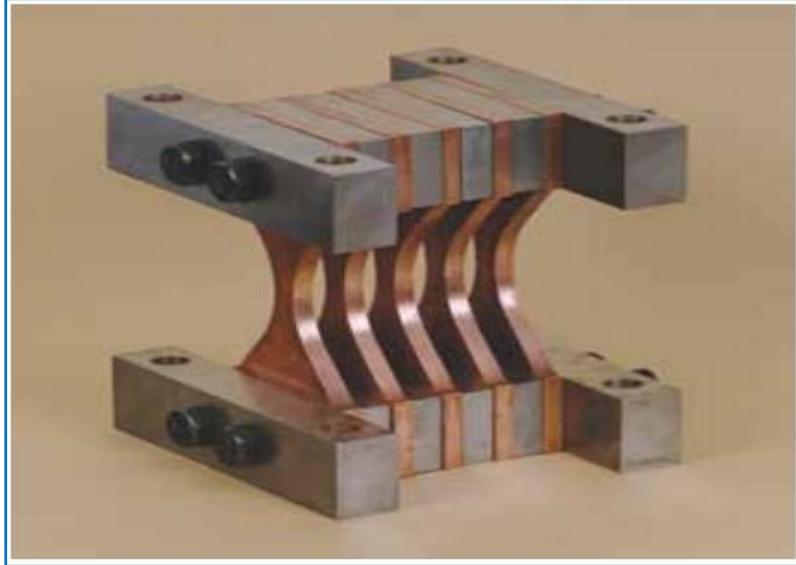
Fuente.- Corporación de Desarrollo Tecnológico

Disipadores Metálicos

Estos dispositivos disipan energía por medio de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos. Los disipadores metálicos presentan, en general, un comportamiento predecible, estable, y confiable a largo plazo. En general, estos dispositivos poseen buena resistencia ante factores ambientales y temperatura. La Figura muestra, a modo de ejemplo, un disipador metálico tipo ADAS, acrónimo del concepto Added Damping/Added Stiffness. Este tipo de dispositivo permite añadir, simultáneamente, rigidez y amortiguamiento a la estructura. Los disipadores metálicos tipo ADAS pueden ser fabricados con materiales de uso frecuente en construcción. La geometría de estos dispositivos está

especialmente definida para permitir la disipación de energía mediante la deformación plástica uniforme de las placas de acero.

Fig. 05: Disipador Metálico tipo ADAS.



Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

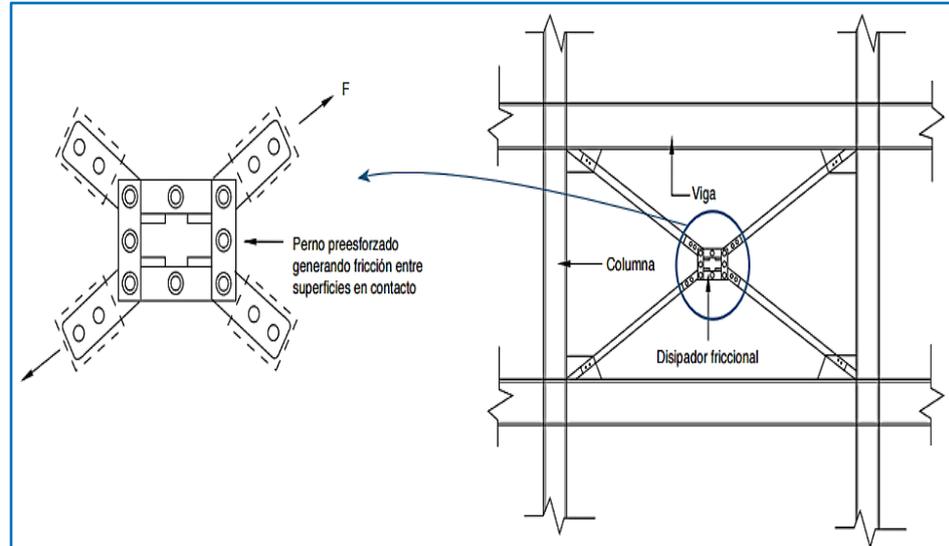
Disipadores Friccionales

Estos dispositivos disipan energía por medio de la fricción que se produce durante el desplazamiento relativo entre dos o más superficies en contacto. Estos disipadores son diseñados para activarse una vez que se alcanza un determinado nivel de carga en el dispositivo. Mientras la sollicitación no alcance dicha carga, el mecanismo de disipación se mantiene inactivo. Estos disipadores pueden ser materializados de varias maneras, incluyendo conexiones deslizantes con orificios ovalados o SBC (Slotted Bolted Connection), como el que se muestra en la figura, dispositivos con superficies en contacto sometidas a cargas de pre-compresión, etc.

La Figura 06 muestra un esquema del disipador friccional tipo Pall. Una desventaja importante de este tipo de dispositivo radica en la

incertidumbre de la activación de los dispositivos durante un sismo y en el aumento de la probabilidad de observar deformaciones residuales en la estructura.

Fig. 06: Disipador Friccional tipo Pall



Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Disipadores de Extrusión de Materiales

Estos dispositivos basan su comportamiento en la extrusión de materiales (típicamente plomo) a través de perforaciones. En esta categoría se encuentran las diagonales de pandeo restringido o BRB's (por sus siglas en inglés para Buckling Restrained Braces). Estos elementos permiten añadir, simultáneamente, rigidez y amortiguamiento a las estructuras. Los disipadores de extrusión son durables en el tiempo, sin verse afectados mayormente por el número de ciclos de carga o efectos climáticos. La desventaja de estos dispositivos se encuentra en que pueden aumentar la probabilidad de observar deformaciones residuales al término del sismo.

Disipadores Autocentrantes

Estos dispositivos basan su comportamiento en los ciclos histeréticos que se producen en conexiones o elementos pretensionados. Algunos disipadores autocentrantes pueden ser fabricados utilizando materiales con memoria de forma o SMA (por sus siglas en inglés para Shape Memory Alloys). Estos dispositivos utilizan las propiedades de los elementos que los componen, por ejemplo acero, y de la geometría de su configuración para disipar energía y, una vez finalizada la carga, regresar a su posición inicial. De esta forma, los disipadores autocentrantes permiten controlar gran parte de los desplazamientos residuales de la estructura luego de un terremoto.

Fig. 07 Biela con Sistema Autocentrante

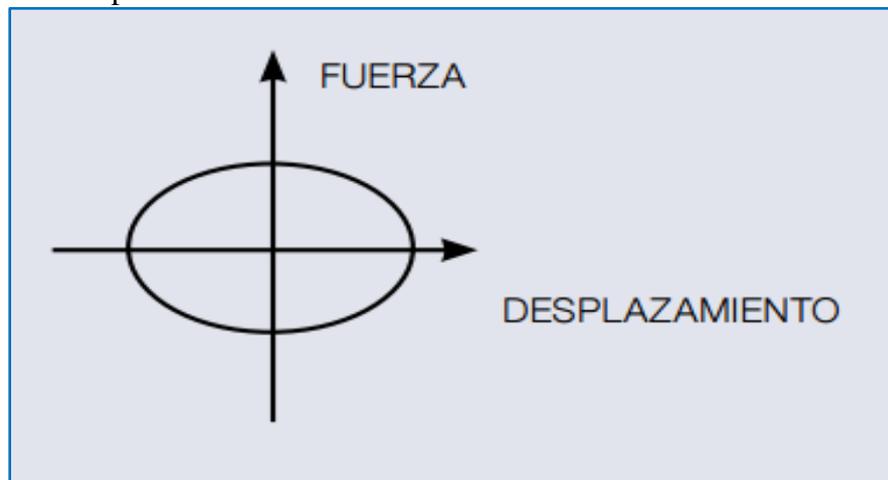


Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Disipadores Activados por Velocidad

Los disipadores de esta categoría se activan a partir de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un sismo. Estos sistemas, típicamente añaden amortiguamiento a las estructuras, sin afectar su rigidez lateral. Estos disipadores, en general, permiten brindar protección a las estructuras durante sismos de baja, mediana y gran intensidad.

Fig. 08: Ciclo Fuerza-Deformación de Disipador activado por Velocidad



Fuente.- Corporación de Desarrollo Tecnológico

Dispositivos Fluido - Viscosos

Este tipo de dispositivo disipa energía forzando un fluido altamente viscoso a pasar a través de orificios con diámetros, longitudes e inclinación especialmente determinados para controlar el paso del fluido. Estos dispositivos son similares a los amortiguadores de un automóvil, pero con capacidades para resistir las fuerzas inducidas por terremotos.

Fig. 09: Disipadores tipo Fluido-Viscoso

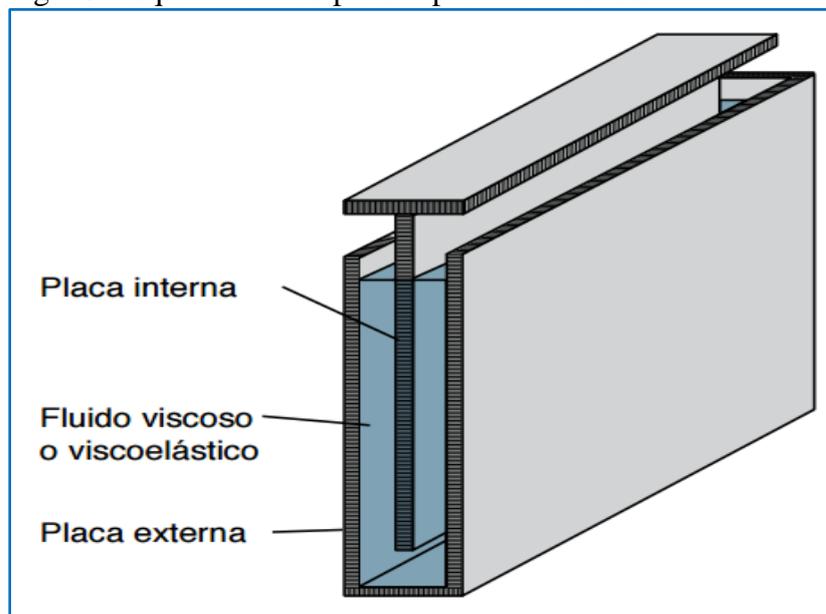


Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Muros viscosos

Los muros viscosos están compuestos por una placa que se mueve en un fluido altamente viscoso depositado al interior de un molde de acero (muro). El comportamiento de estos dispositivos depende principalmente de la frecuencia y amplitud de la carga, número de ciclos, y temperatura de trabajo.

Fig. 10: Esquema de Disipador tipo Muro Viscoso

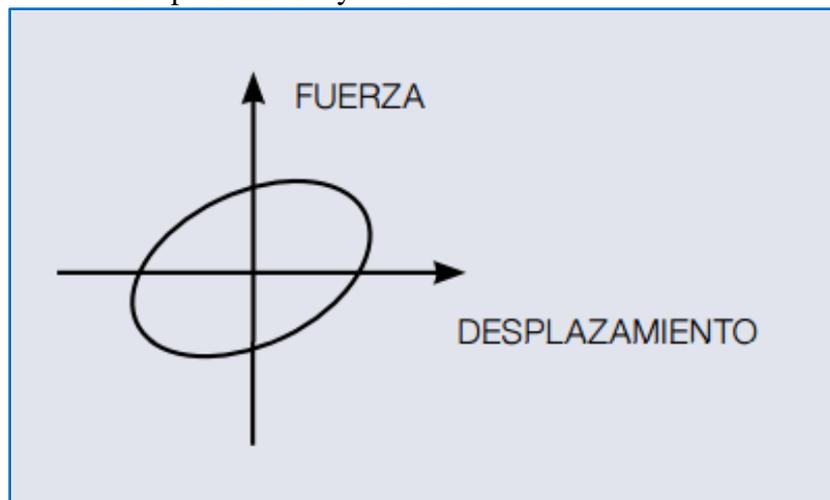


Fuente.- Corporación de Desarrollo Tecnológico

Disipadores Activados por Desplazamiento y Velocidad

Los disipadores de esta categoría se activan a partir de la acción combinada de los desplazamientos y velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura producidos durante un terremoto. Estos sistemas, típicamente añaden, simultáneamente, amortiguamiento y rigidez a las estructuras.

Fig.11: Esquema Fuerza-Deformación de Disipador activado por Desplazamiento y Velocidad

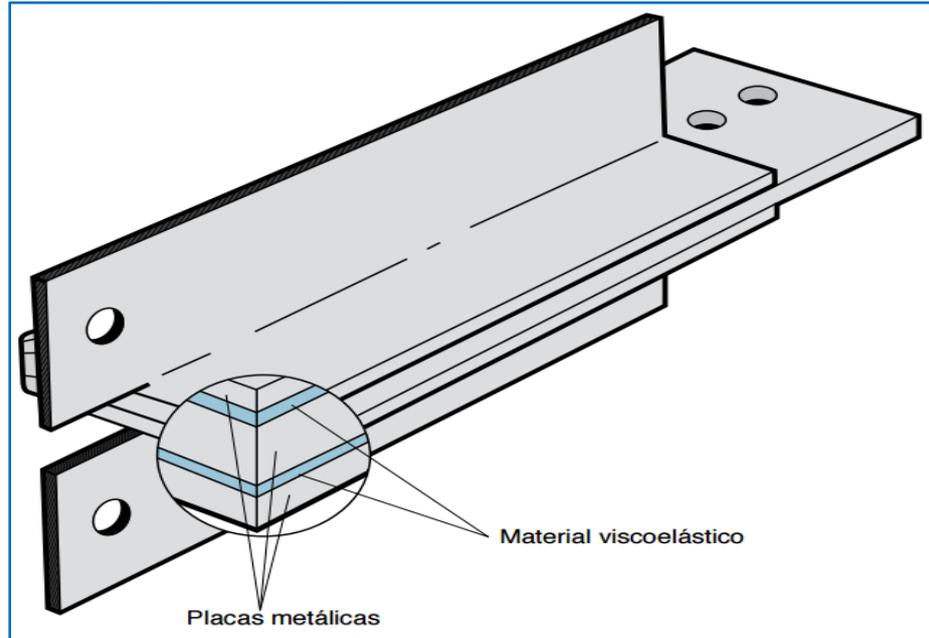


Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Dispositivos Viscoelásticos Sólidos

Estos dispositivos están formados por material viscoelástico ubicado entre placas de acero. Disipan energía a través de la deformación del material viscoelástico producida por el desplazamiento relativo de las placas. Estos dispositivos se ubican generalmente acoplados en arriostres que conectan distintos pisos de la estructura. El comportamiento de los amortiguadores viscoelásticos sólidos puede variar según la frecuencia y amplitud del movimiento, del número de ciclos de carga, y de la temperatura de trabajo.

Fig. 12: Esquema de Disipador Sólido Viscoelástico.



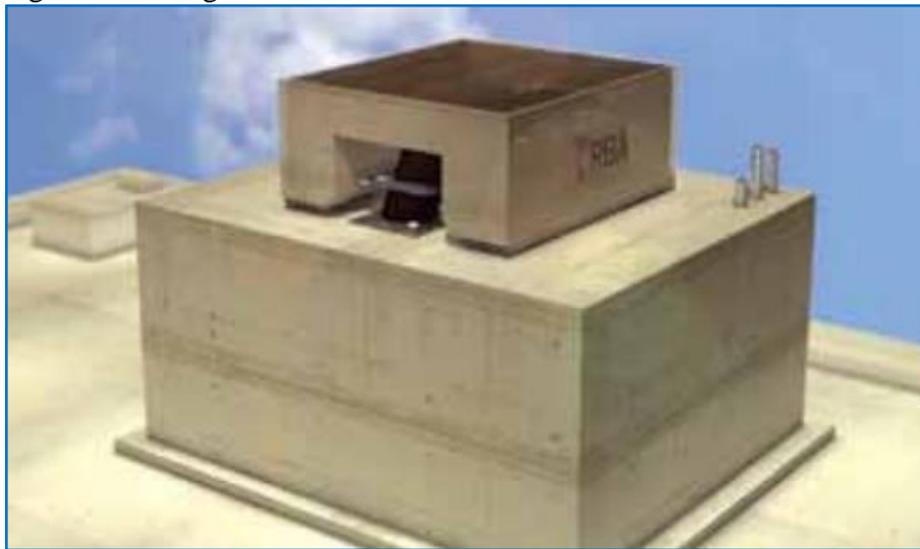
Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Dispositivos Activados por Movimiento

Esta categoría de sistemas de protección sísmica incluye los osciladores resonantes o Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS). Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Un AMS es un sistema constituido por una masa, elementos restitutivos, y mecanismos de disipación de energía. Este tipo de dispositivo utiliza el acoplamiento entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del oscilador resonante para reducir la respuesta dinámica de la estructura. Los osciladores resonantes son generalmente utilizados en edificios de gran altura para reducir las vibraciones inducidas por el viento, sin embargo, también existen aplicaciones para mejorar el comportamiento de estructuras ante eventos sísmicos.

Las Figuras 13 y 14 muestran un amortiguador de masa sintonizada. La gran ventaja de este tipo de dispositivo es que se pueden instalar a nivel de techo de las estructuras, minimizando el impacto en la arquitectura. No obstante, la respuesta de este tipo de dispositivos depende del grado de sintonización con la estructura durante el sismo. El diseño del AMS debe incorporar un mecanismo de ajuste de las propiedades dinámicas del AMS.

Fig. 13: Amortiguador de Masa sintonizada



Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico

Fig. 14: Amortiguador de Masa sintonizada



Fuente.- Corporación de Desarrollo Tecnológico

Aspectos Arquitectónicos

Los aspectos arquitectónicos dependen del tipo de disipador de energía que se instale en la estructura. En general, los dispositivos de disipación se distribuyen en toda la altura de las estructuras, para tomar ventaja de las deformaciones y velocidades de entrepiso a que se ven sometidas las Placas metálicas, Material viscoelástico, protección sísmica de estructuras durante eventos sísmicos. En estructuras donde las deformaciones y velocidades de entrepiso son bajas, es común utilizar dispositivos que abarcan dos, tres e incluso más pisos. Del mismo modo, los dispositivos suelen colocarse en puntos alejados de los centros de gravedad de las plantas del edificio, típicamente fachadas, a fin de mitigar efectos de torsión en las estructuras. Los disipadores de energía se encuentran disponibles en gran variedad de tamaños. Los disipadores viscosos, viscoelásticos, o friccionales pueden estar ocultos dentro de muros o tabiques. Los amortiguadores de masa sintonizada por su parte, que típicamente se colocan a nivel de techo de las estructuras, requieren de recintos de mayor tamaño especialmente habilitados para ellos, dimensionados considerando los desplazamientos máximos de los dispositivos en caso de sismo severo. Los disipadores de energía, independientemente de su tipología, deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados con posterioridad a sismos severos, y donde se les pueda dar mantenimiento en los casos en que se requiera. En todas las estructuras donde se utilizan dispositivos de disipación de energía, se recomienda considerar su uso desde las etapas iniciales del proyecto, a fin de mitigar el impacto en arquitectura de su incorporación.

Beneficios y Limitaciones de Uso

Beneficios, Los dispositivos de disipación de energía aumentan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, reduciendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos. Los esfuerzos, aceleraciones y deformaciones inducidos por un sismo en una estructura con sistemas de disipación de energía, puede ser entre un 15 a 40% menor que los correspondientes a una estructura sin disipadores, logrando reducir el daño producido a elementos estructurales y no estructurales.

Limitaciones de Uso, Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente luego de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, que si bien reducen las demandas en la estructura, pueden incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras.

Consideraciones para la Evaluación Económica

Al evaluar económicamente la instalación de disipadores de energía se deben considerar los siguientes aspectos:

Costos

- ✓ Costo de los dispositivos.
- ✓ Costos de proyecto.
- ✓ Costo de instalación.
- ✓ Costos directos y gastos generales.
- ✓ Costo de ensayos y certificación.
- ✓ Costos de los refuerzos locales de la estructura requeridos para la instalación de disipadores.

En algunos casos el costo de los dispositivos puede ser menor al de los elementos de sujeción del dispositivo a la estructura.

- ✓ Costos generales por aumento de plazos.
- ✓ Costos de mantención y/o reposición.
- ✓ Costo de posibles recintos que dejan de utilizarse para instalar los disipadores.

Beneficios

- ✓ Beneficio de reducción de daños durante sismos severos.
- ✓ Disminución de los costos de reparación de daños, luego de eventos sísmicos, dado que se reducen:
 - Daños estructurales.
 - Daños de componentes y sistemas no estructurales.
- ✓ Menores daños de contenidos de recintos.
- ✓ Beneficio para el mandante en reputación de marca. Ayuda a vender mejor los atributos del producto.
- ✓ Percepción de mayor seguridad del usuario.

Posibilidad de reducción de costos de estructura, condicionado a la normativa de diseño sísmico vigente.

2.3 Definición de Términos Básicos

Aislamiento Sísmico.- El aislamiento sísmico es una colección de elementos estructurales para desemparejar una superestructura de la edificación del terreno y así proteger la integridad del edificio. El aislamiento sísmico es una herramienta de gran alcance de la ingeniería sísmica.

Amortiguamiento.- La amortiguación o amortiguamiento se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía. Típicamente los amortiguadores disipan la energía cinética en energía térmica y/o en energía plástica (e.g. atenuador de impactos), es decir, la función de un amortiguador es recibir, absorber y mitigar una fuerza tal, ya sea porque se ha dispersado o porque la energía se ha transformado de forma que la fuerza inicial se haya hecho menor. Cuanto mejor sea la amortiguación de la fuerza inicial, menor será la fuerza recibida sobre el punto final.

Desplazamiento.- El cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos.

Espectro.- Es el de frecuencias, un fenómeno de ondas (sonoras, luminosas o electromagnéticas) que sirve para medir la distribución de amplitudes de una determinada frecuencia.

2.4 Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

Si diseñamos y evaluamos un reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos, mejoraremos el comportamiento estructural ante eventos sísmicos que ocurran en la Ciudad de Lima.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- Si conocemos los requerimientos mínimos de diseño de un reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos, lograremos mejorar el comportamiento estructural del reservorio ante eventos sísmicos.

- Si aplicamos la Norma de Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquidos (ACI 350.3-01), en el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos, lograremos conocer la mejora del comportamiento estructural al usar aislador sísmico.
- Si realizamos la verificación de los resultados obtenidos mediante el programa de modelación estructural SAP2000, lograremos conocer la mejora del comportamiento estructural al usar aislador sísmico.

2.5 Identificación de Variables

2.5.1 Variable Independiente

AISLADORES SISMICOS

2.5.2 Variable Dependiente

MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL
RESERVORIO DE 350 m³ TIPO FUSTE ANTE EVENTOS SISMICOS

2.6 Definición Operacional de Variables e Indicadores

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES			
VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	METODOLOGÍA
<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p><i>AISLADORES SISMICOS</i></p>	<p><u>Indicadores:</u></p> <p>Tipo de Aislador</p> <p>Desplazamiento</p> <p>Máximo</p> <p>Periodos de Vibración</p> <p>Carga Axial</p> <p>Máxima</p>	<p>HDR, LRB, Péndulo</p> <p>150 – 900 mm</p> <p>2.00 – 5.00 seg</p> <p>45.9 – 4079 Tn</p>	<p><u>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN</u></p> <p>El presente trabajo de Investigación es descriptivo, debido a que las variables independientes influenciaran en la variable dependiente.</p> <p><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></p> <p>El diseño a utilizar en la investigación será por objetivos conforme al esquema siguiente:</p> <p>OG = OBJETIVO GENERAL HG = HIPÓTESIS GENERAL CG = CONCLUSIÓN GENERAL</p> <p><u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u></p> <p><u>POBLACIÓN</u></p> <p>Será el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste en la Ciudad de Lima.</p> <p><u>MUESTRA</u></p> <p>Será el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste en la Ciudad de Lima, Distrito de San Juan de Miraflores, AA.HH. Pamplona Alta.</p>
<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p><i>MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO DE 350m³ TIPO FUSTE</i></p>	<p><u>Indicadores:</u></p> <p>Periodo de Vibración</p> <p>Deriva</p> <p>Daños producidos en el reservorio</p>	<p>2.00 – 3.00 s</p> <p>0.002 – 0.007</p> <p>Leve, Moderado</p> <p>Severo</p>	<p><u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u></p> <p><u>POBLACIÓN</u></p> <p>Será el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste en la Ciudad de Lima.</p> <p><u>MUESTRA</u></p> <p>Será el diseño del reservorio de 350 m³ tipo fuste en la Ciudad de Lima, Distrito de San Juan de Miraflores, AA.HH. Pamplona Alta.</p>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de Investigación es descriptivo, debido a que las variables independientes influenciarán en la variable dependiente.

3.2 Métodos de Investigación

El método es el cuantitativo - descriptivo porque a través del procesamiento de datos se describe, analiza y se interpreta sistemáticamente un conjunto de hechos relacionados con otras variables.

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño que utilizare en la investigación será por objetivos conforme al esquema siguiente:

OG = OBJETIVO GENERAL
HG = HIPÓTESIS GENERAL
CG = CONCLUSIÓN GENERAL.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Será el diseño del reservorio de 300 m3 tipo fuste en la Ciudad de Lima, Distrito de San Juan de Miraflores.

3.4.2 Muestra

Será el diseño del reservorio de 350 m3 tipo fuste, en la Ciudad de Lima, Distrito de San Juan de Miraflores, AA.HH Pamplona Alta

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las principales técnicas a utilizar en la investigación son:

- ✓ **Muestreo.**
- ✓ **Análisis Documental.**
- ✓ **Instrumentos**

Los principales instrumentos a utilizar en la investigación son:

- ✓ Laptop
- ✓ Sap2000
- ✓ Hojas de cálculo

- ✓ Computadora para procesar los datos obtenidos
- ✓ Libros para referencia.

3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Los medios a utilizarse para el procesamiento de los datos obtenidos en el transcurso de la investigación, serán los siguientes:

- ✓ Cuadros comparativos
- ✓ Diagramas recogidos.
- ✓ Gráficos ilustrativos.

3.7 Tratamiento Estadístico

Se aplicó una estrategia estadística a fin de correlacionar los datos, y obtener un modelo que nos indique las variables a los cuales está sujeto el proceso. Para tal fin se aplicó el Diseño Factorial simple.

3.8 Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

Selección: Los instrumentos de Investigación seleccionados son:

- **Análisis de Contenido**, en la cual se analiza lo referente a las características y propiedades que presentan las variables
- **Análisis de Documento**, referido al análisis bibliográfico para la elaboración del marco teórico de la presente investigación, según los documentos:
 - ACI 350.3.01
 - ASCE 07-2010
 - Norma E.020, E.030 y E.060
 - ASCE 07-2010

- Registro Acelerográfico del Perú
- Manual Dynamic Isolation System

➤ **Internet**, referido a la obtención de información para la investigación.

Validez, los instrumentos seleccionados son válidos debido a que las conclusiones se infieren a partir de los resultados obtenidos los cuales deberán estar dentro de los parámetros indicados por los mismos.

Confiabilidad, Se comprueba la confiabilidad de los instrumentos por la consistencia de sus parámetros en los resultados obtenidos con cada análisis.

3.9 Orientación Ética

La presente investigación se orienta a contribuir en el conocimiento sobre el comportamiento estructural de reservorios elevados con sistema de aislamiento sísmico frente a eventos sísmicos, lo cual servirá como punto de partida para optimizar el diseño de reservorios elevados, a la vez que brinden mayor seguridad y funcionalidad luego de ocurrido el sismo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del Trabajo de Campo

La presente investigación se realizó entre los meses de febrero y julio del año 2017, para lo cual se definió la población que es la Ciudad de Lima y la muestra que es el AA.HH Pamplona Alta en el Distrito de San Juan de Miraflores. Se inició con la recolección de datos y búsqueda de información sobre el objeto de la investigación, encontrándose escasa bibliografía sobre el diseño de reservorios elevados con aisladores sísmicos, asimismo a falta de implementación en el reglamento nacional de edificaciones sobre el diseño de reservorios contenedores de líquidos y sobre diseño de aisladores sísmicos, se empleó la norma ACI 350.3-01 y la norma ASCE 07-2010 respectivamente, con los lineamientos y procedimientos indicados en tales normas se realizó el Análisis Dinámico Espectral y Tiempo Historia del reservorio elevado tipo fuste con aisladores sísmicos y a

continuación se procedió al análisis e interpretación de resultados, finalizando con el diseño de los elementos estructurales del reservorio.

4.2 Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1 Normatividad para Diseño de Reservorios

En el análisis de reservorios, se tiene la integración de mínimo 02 materiales (el líquido contenido, generalmente agua y la estructura contenedora), los cuales tienen diferentes características y comportamientos, debido a sus propiedades cuando se realiza su diseño.

Para el análisis de estas estructuras, se debe evaluar mínimamente los siguientes estados de carga: carga muerta (CM), carga viva (CV), la carga hidrostática (CF) y la carga de sismo (CS), así también otras como la carga de viento (CW), etc.

Las cargas gravitacionales son debidas al peso propio de la estructura, al peso del líquido contenido y las sobrecargas según la norma respectiva.

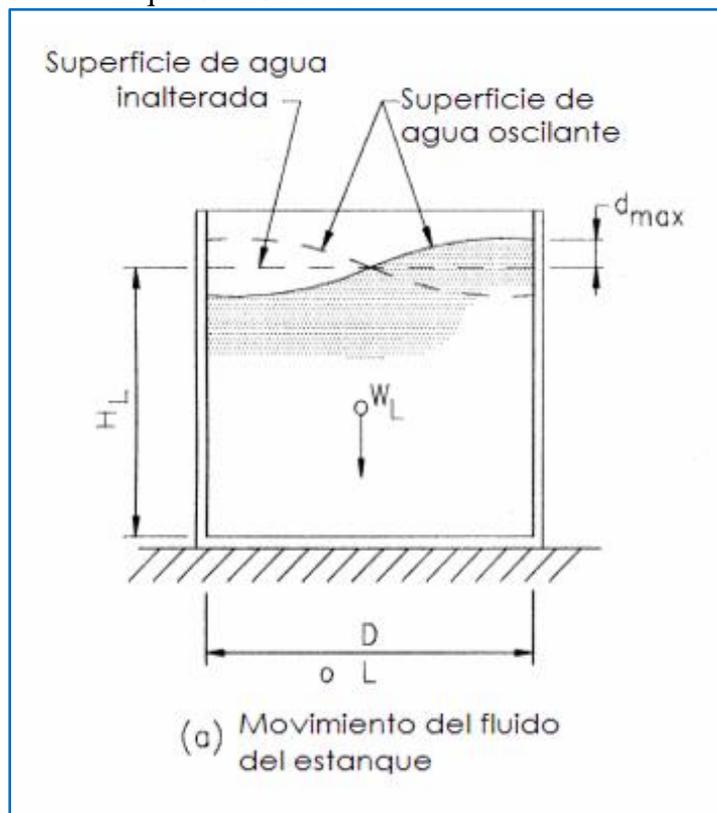
El reservorio cuando está parcial o completamente lleno de líquido (agua), está sometido a las presiones hidrostáticas sobre sus paredes, y estas se calculan como una función proporcional con la profundidad y el peso específico del líquido.

Para la evaluación de cargas de Sismo en reservorios, la Norma Sismorresistente E.030, no presenta reglamentación para realizar un análisis sísmico de reservorios, por lo cual se complementará con el código americano ACI 350.3-01 Seismic Design Liquid-Co.

4.2.2 Análisis Hidrodinámico

La figura 15 representa el comportamiento dinámico del conjunto líquido – estructura, durante una perturbación sísmica, se observa que, del total de la masa del agua contenida en el tanque, una parte de la masa de agua queda unida rígidamente a las paredes del reservorio, que esta confinada y ubicada en la parte inferior, a partir del piso del tanque, esta masa recibe el nombre de **masa fija o masa impulsiva**.

Fig. 15: Comportamiento Dinámico del Conjunto Líquido - Estructura



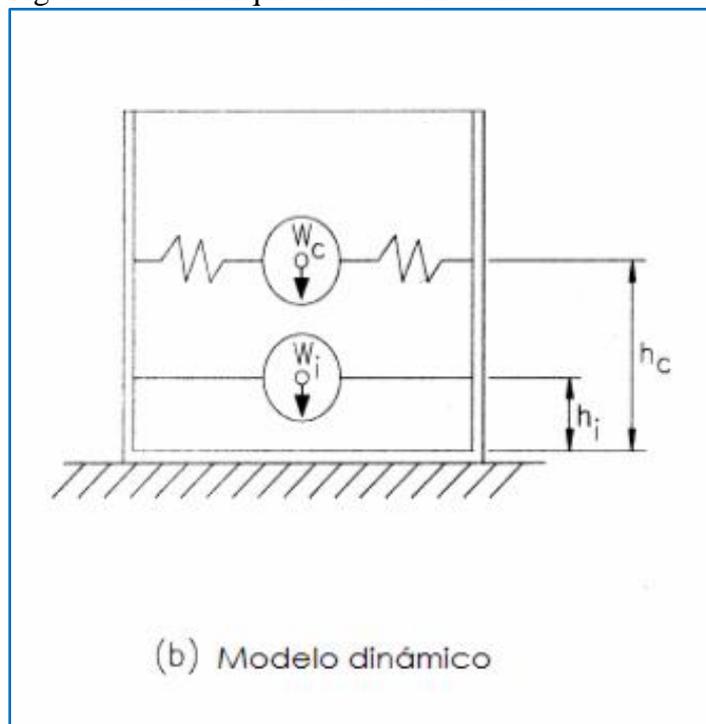
Fuente: ACI 350 3-01

La otra parte se ubica encima de la masa impulsiva y que no se encuentra confinada (presenta libertad por un borde libre) oscila durante la perturbación sísmica, que produce en ella un oleaje, esta masa recibe el nombre de **masa móvil o masa convectiva**.

Se observa que los efectos hidrodinámicos son un factor importante a tener en cuenta, para ello se utiliza el **Sistema Mecánico Equivalente de Housner (1963)**, que se muestra en la figura 16, que muestra la existencia de la **masa fija o impulsiva (mi)**, la cual se adhiere rígidamente a las paredes interiores del tanque y que dicha masa al estar totalmente confinada, deberá unirse a las paredes del tanque a través de resortes cuya rigidez es infinita.

Asimismo, se observa la existencia de la **masa convectiva o móvil (mc)**, que se ubica por encima de la masa impulsiva y se adhiere a las paredes del tanque por medio de resortes cuya rigidez axial, corresponde a la del líquido contenido.

Fig. 16: Sistema Equivalente de Housner



Fuente: ACI 350 3-01

Los parámetros a usar en un reservorio de depósito circular son:

$$m_i = m_f \cdot \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{3} \cdot D}{2H}\right)}{\left(\sqrt{3} \cdot \frac{D}{2H}\right)}$$

$$m_c = 363. m_f \cdot \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{13,5} \cdot H}{D}\right)}{\left(512 \cdot \frac{\sqrt{13,5} \cdot H}{D}\right)}$$

$$K = 45. w_f \cdot \frac{\left(\frac{m_c \cdot H}{m_f \cdot D}\right)^2}{2H}$$

$$h_i = 3. H \cdot \frac{(1 + \alpha \left(\frac{m_f}{m_i}\right) - 1)}{8}$$

$$h_c = H \cdot \left(1 - \frac{\left(\cosh\left(\sqrt{13,5} \frac{H}{D}\right) - \beta\right)}{\left(\sqrt{13,5} \cdot H \cdot \frac{\sinh\left(\sqrt{13,5} \cdot \frac{H}{D}\right)}{D}\right)} \right)$$

$$t = 2p \cdot \sqrt{\frac{m_c}{K}}$$

Donde:

H : Altura del fluido almacenado en el reservorio

D : Diámetro interior del reservorio

w_f : Peso del fluido total

m_f : Masa del fluido total

m_i : Masa fija o impulsiva del fluido

m_c : Masa móvil o convectiva del fluido

h_i : Altura de la posición de la masa impulsiva respecto a la base del tanque

h_c : Altura de la posición de la masa convectiva respecto a la base del tanque

K : Constante de rigidez de los resortes de la masa convectiva

t : Periodo de oscilación de la masa convectiva

α = 0 y β = 1, cuando la interacción es solo en las paredes del tanque

$\alpha = 4/3$ y $\beta = 2$, cuando la interacción es en las paredes y en el fondo del tanque

4.2.3 Diseño Estructural de los Elementos del Reservorio

a) Linterna de Iluminación

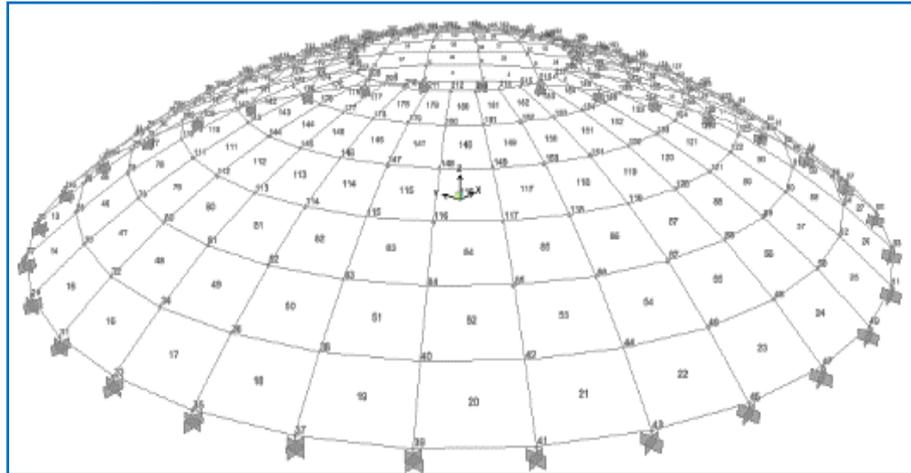
Es una viga de anillo circular que forma una abertura en el centro de la cobertura del reservorio, sirve para dar iluminación natural al interior del depósito o cuba del reservorio, previniendo que no ingresen elementos y/o cuerpos extraños. Se diseña considerando cargas a compresión, el concreto a utilizar será desde $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ debido a que este elemento no está en contacto con el agua y no soporta cargas mayores.

b) Cúpula Esférica

Elemento que es cobertura de la cuba del reservorio. Se analiza, aplicando la Teoría de Membranas en la que los esfuerzos que se producen en la cúpula con peso propio, la carga de la linterna de iluminación, la sobrecarga, así como los efectos de flexión producidos en el apoyo.

Este elemento tendrá ensanche de la cobertura en el extremo exterior debido a las fuerzas de corte producidas en ese punto, el concreto a utilizar será desde $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ debido a que no está en contacto con el agua y no soporta grandes cargas

Fig. 17: Cúpula Esférica



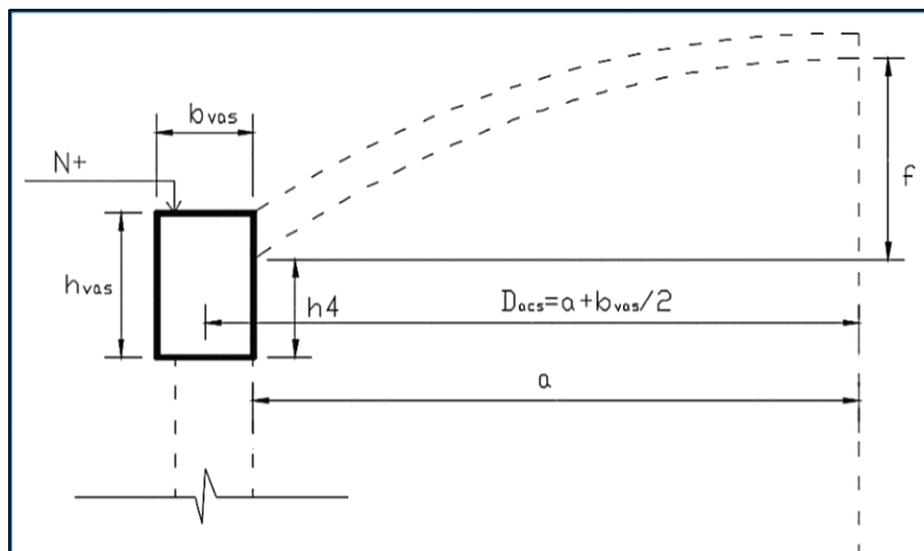
Fuente: DDE III-UPC

c) Viga de Anillo Superior

Se requiere de una Viga de Anillo Circular Superior debido a las cargas no verticales producidas por la Cúpula Esférica y que sea capaz de soportar cargas horizontales. Se verificarán los esfuerzos de tracción en el concreto de la estructura.

Este anillo será de concreto con una resistencia igual o mayor a $f'c=280$ Kg/cm² debido a que está en contacto con el agua y debe presentar impermeabilidad.

Fig. 18: Viga de Anillo Superior

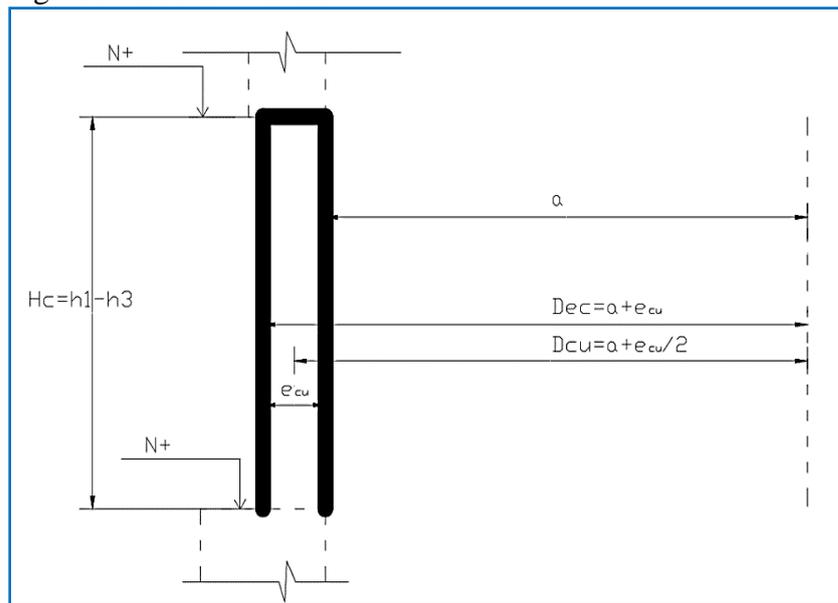


Fuente: J. Salinas S.

d) Pared Cilíndrica

Es la pared exterior de la cuba y soporta la presión del líquido que está contenido en el interior, se diseña por flexión y de la misma manera que los elementos que están en contacto con el agua debe tener una resistencia igual o mayor de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 19: Pared Cilíndrica

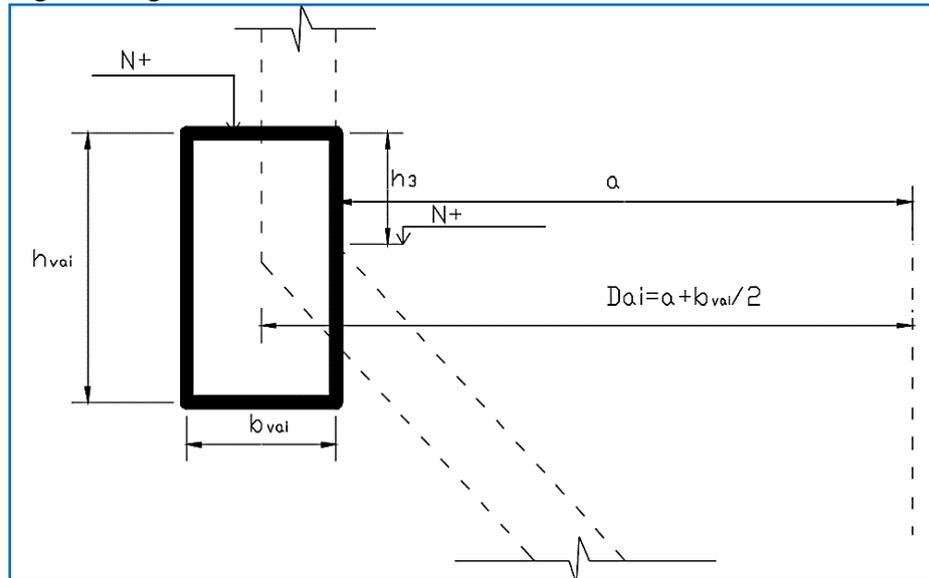


Fuente: J. Salinas S.

e) Viga de Anillo Inferior

Viga de anillo inferior ubicado entre la pared de la cuba y el fondo cónico. En su diseño se toma en cuenta todas las cargas que actúan en la viga (peso de la cobertura, viga superior y pared cilíndrica). Por ser un elemento en contacto con el agua debe tener una resistencia igual o mayor de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 20: Viga de Anillo Inferior



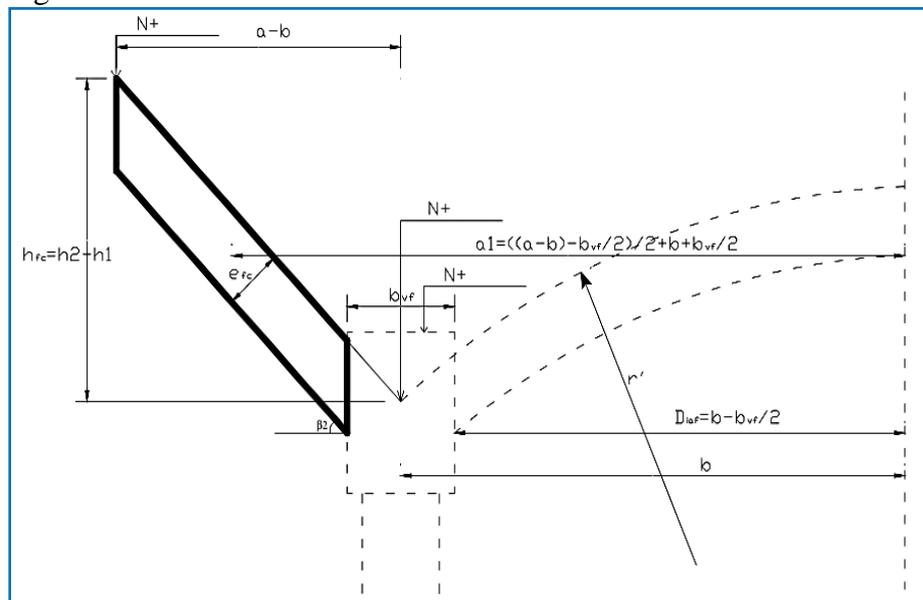
Fuente: J. Salinas S.

f) Losa de Fondo Cónico

Es el fondo en voladizo del depósito de superficie plana e inclinada. Se diseña mediante los esfuerzos de tracción, y verificar por flexión.

Este elemento está en contacto con el agua y tendrá una resistencia igual o mayor de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 21: Losa de Fondo Cónico



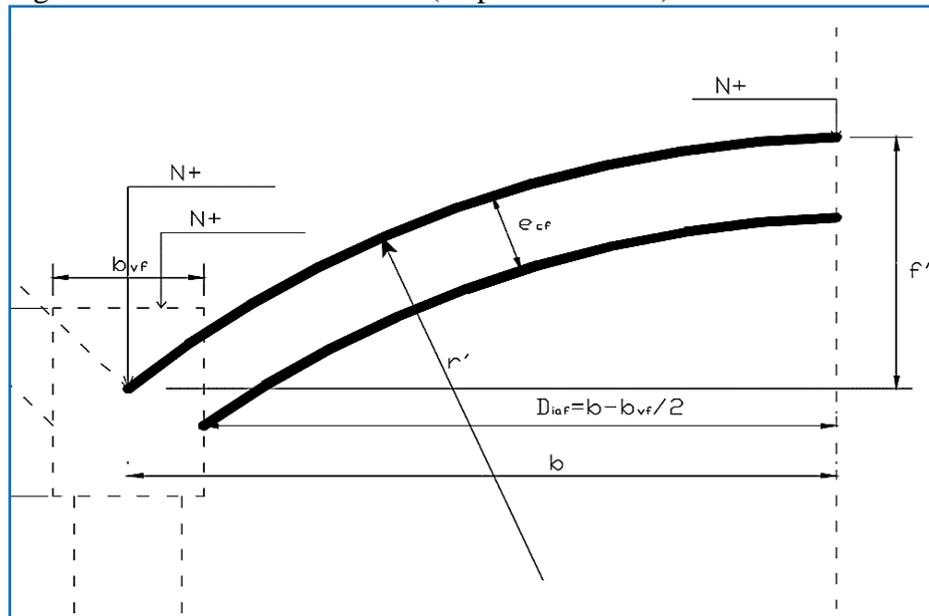
Fuente: J. Salinas S.

g) Losa de Fondo Esférico

Es el fondo interno del depósito, el cual genera presiones horizontales de igual manera que el fondo cónico sobre la viga de fondo. Se diseña por esfuerzos de tracción, y se verifica por flexión y pandeo en el apoyo.

Asimismo, este elemento está en contacto con el agua y tendrá una resistencia igual o mayor de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 22: Losa de Fondo Esférico (Cúpula de Fondo)



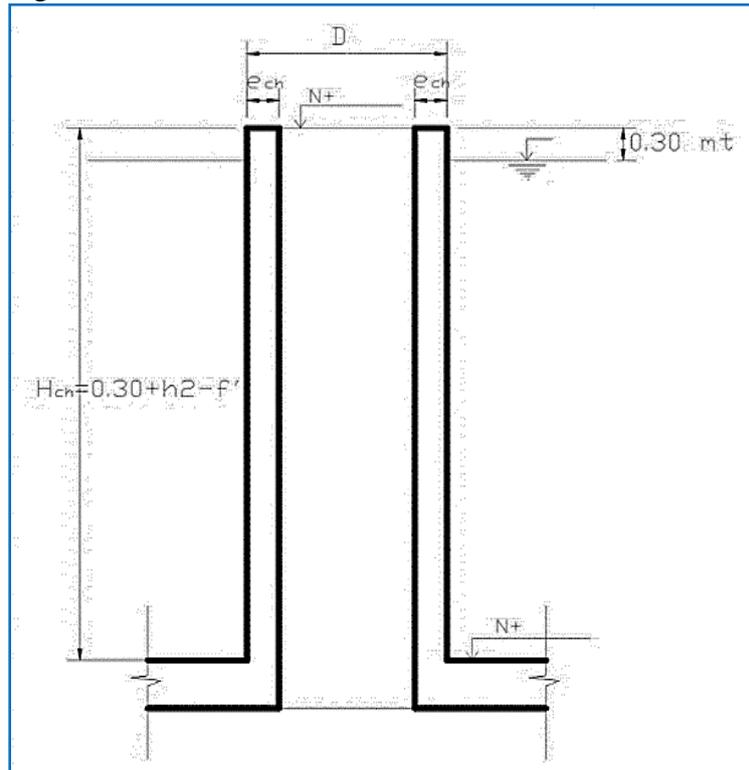
Fuente: J. Salinas S.

h) Chimenea de Acceso

Es la pared circular interna del depósito que tendrá un diámetro adecuado para la entrada y salida de tuberías, adicionando el paso de una persona. Se diseñará por flexión, y se verifica por esbeltez y pandeo.

Al igual que todos los elementos en contacto con el agua se considerará una resistencia igual o mayor de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 23: Chimenea de Acceso



Fuente: J. Salinas S.

i) Anillo Circular de Fondo de Chimenea

Viga que une la pared de la chimenea y el fondo esférico, se diseña determinando la carga de colapso.

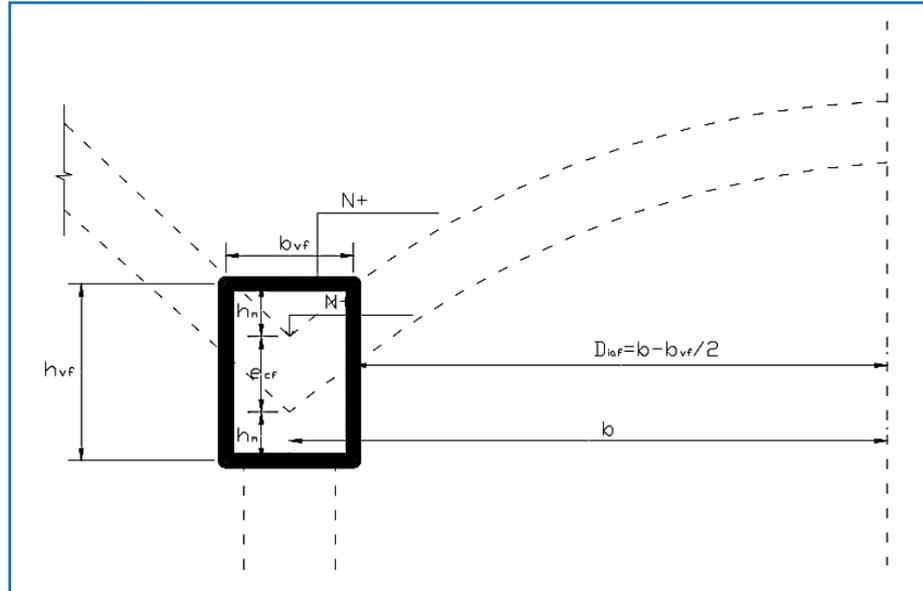
De la misma manera que todos los elementos en contacto con el agua, se considerará una resistencia igual o mayor de $f^c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

j) Viga de Fondo

Es la viga que une el fondo cónico y el fondo esférico, siendo estos tres elementos los que deben de anular las cargas horizontales.

Este elemento se diseña con una resistencia igual o mayor de $f^c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 24: Viga de Fondo



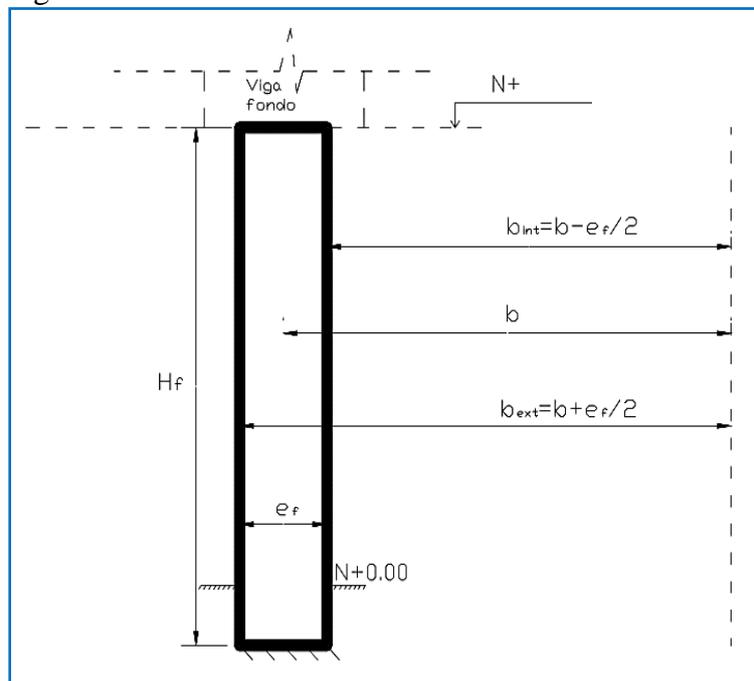
Fuente: J. Salinas S.

k) Fuste Cilíndrico

Es el principal elemento de soporte, recibe las cargas muertas y cargas vivas de todos los elementos indicados anteriormente, su diseño es por cargas de tracción y compresión.

Este elemento se diseña con una resistencia de concreto de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

Fig. 25: Fuste Cilíndrico

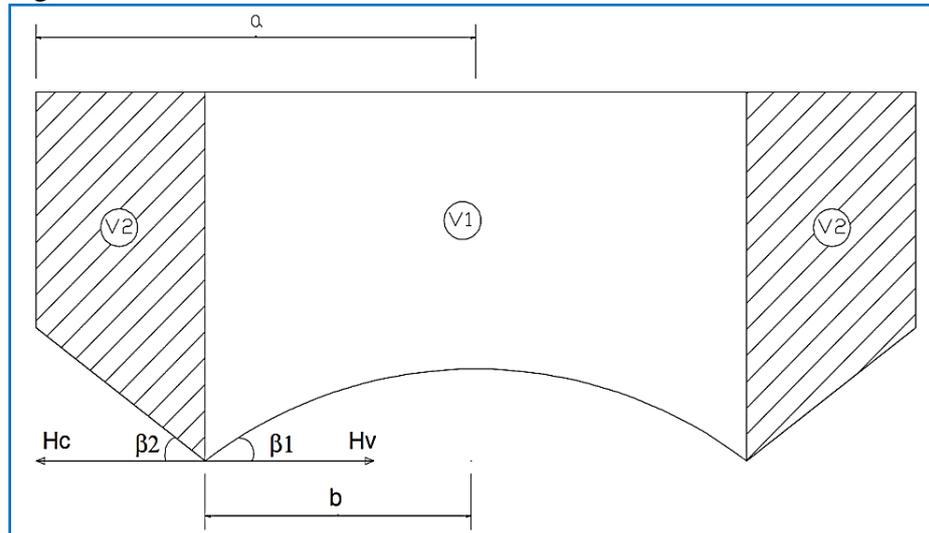


Fuente: J. Salinas S.

4.2.4 Predimensionamiento

Los depósitos tipo Fuste deben dimensionarse de tal forma que se anulen los empujes sobre la viga circular de fondo, que une la pared cónica con la pared esférica, es decir que las componentes longitudinales de las presiones C_c de la cúpula, y C_v del voladizo cónico, se equilibren.

Fig. 26: Dimensionado de la Cuba



Fuente: J. Salinas S.

Donde:

V_1 = Volumen sobre la cúpula esférica

V_2 = Volumen sobre la superficie cónica

β_1 = Ángulo interior formado por la horizontal y la tangente a la curva.

β_2 = Ángulo exterior formado por la horizontal y el fondo cónico.

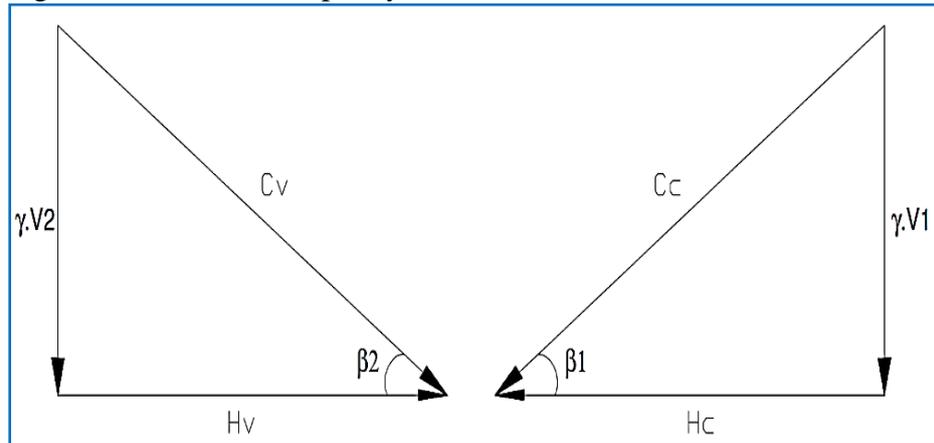
Las presiones C_c y C_v en toda la longitud del perímetro del reservorio ($2\pi b$)

son:

$$C_c = \gamma V_1 / \text{sen}(\beta_1)$$

$$C_c = \gamma V_2 / \text{sen}(\beta_2)$$

Fig. 27: Presiones de Cúpula y Fondo cónico



Fuente: DDE III-UPC

Entonces la componente horizontal será:

$$Hc = Cc \cdot \cos(\beta_1)$$

$$Hc = \left[\gamma \cdot \frac{V_1}{\sin(\beta_1)} \right] \cdot \cos(\beta_1)$$

$$Hv = Cv \cdot \cos(\beta_2)$$

$$Hv = \left[\gamma \cdot \frac{V_2}{\sin(\beta_2)} \right] \cdot \cos(\beta_2)$$

Como se diseñará un fondo tipo Intze o Fuste se debe cumplir que:

$$\mathbf{Hc = Hv,}$$

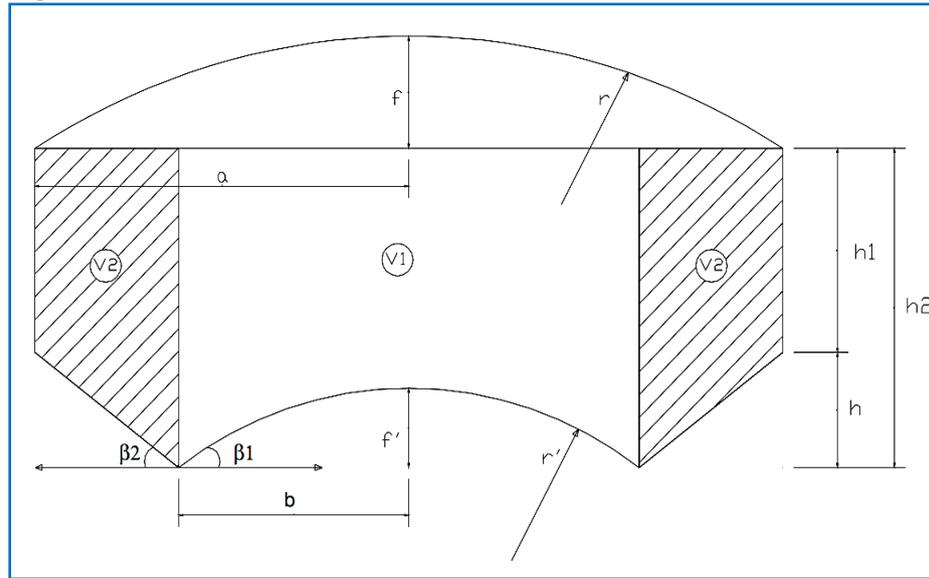
reemplazando y simplificando:

$$\frac{V_1}{\tan(\beta_1)} = \frac{V_2}{\tan(\beta_2)}$$

Seguidamente se procede a calcular las medidas requeridas del reservorio para un volumen de 350 m³.

Cálculo de las Dimensiones

Fig. 28: Dimensiones del Reservorio



Fuente: J. Salinas S.

Cálculo de V1 en función de las variables que se muestran en la figura:

$$V1 = \pi b^2 \cdot h2 - \pi \cdot f'^2 \cdot \left(r' - \frac{f'}{3} \right) \quad (a)$$

$$V2 = \frac{a-b}{3} \cdot \pi [h1 \cdot (2a + b) + h2 \cdot (2b + a)] \quad (b)$$

$$\tan(\beta1) = b / \sqrt{r'^2 - b^2} \quad (c)$$

$$\tan(\beta2) = h2 - h1 / (a - b) \quad (d)$$

Del Teorema del producto de los segmentos de cuerda en la cúpula

$$2rf = a^2 + f^2 \quad (e)$$

Del Teorema del producto de los segmentos de cuerda en la losa de fondo

$$2rf = b^2 + f'^2 \quad (f)$$

Consideraciones:

Una primera aproximación es considerar los volúmenes V1 y V2 a nivel de h1; iguales.

$$V1 = \pi \cdot h1 \cdot b^2$$

$$V2 = \pi \cdot h1 \cdot (a^2 - b^2)$$

Igualando ambas expresiones y despejando "a":

$$a = b \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

Considerando que $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$ y de la expresión (c):

$$\sqrt{r'^2 - b^2} = b, \text{ despejando } r': r' = b\sqrt{2} \quad (2)$$

De la expresión (d):

$$a - b = h_2 - h_1$$

Haciendo:

$$h_2 = a \quad (3)$$

$$h_1 = b \quad (4)$$

Se sabe que:

$$f' = r' - \sqrt{r'^2 - b^2} \quad (\alpha)$$

Reemplazando (1), (2) y (α) en (f) y reduciendo:

$$f' = a - b \quad (5)$$

Remplazando las expresiones del (1) al (5) que se obtuvieron en (a) y (b)

para obtener los volúmenes en función de (α):

Para V1:

$$V1 = \pi \left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot a - \pi \cdot \left(a - \frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot \left(a - \frac{\left(a - \frac{a}{\sqrt{2}}\right)}{3}\right)$$

$$V1 = 1.327602 \cdot a^3$$

Para V2:

$$V2 = \left(\frac{a - \frac{a}{\sqrt{2}}}{3}\right) \cdot \pi \left[a \left(2 \cdot \frac{a}{\sqrt{2}} + a \right) + \left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right) \left(2 \cdot a + \frac{a}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

$$V2 = 1.327602 \cdot a^3$$

Por lo tanto, el volumen será:

$$VA = V1 + V2$$

$$VA = 2.655205 \cdot a^3$$

“a” en función del volumen de almacenamiento:

$$a = 0.722160926(VA)^{1/3} \quad (6)$$

Para la cobertura F. Moral sugiere valores de f de 1/2.a - 1/5.a, tomando un valor intermedio:

$$f = \frac{a}{3} \quad (7)$$

Reemplazando (7) en (e):

$$2r \cdot f = a^2 + f^2$$

$$2r\left(\frac{a}{3}\right) = a^2 + \left(\frac{a}{3}\right)^2$$

$$r = \frac{5}{3}a \quad (8)$$

Criterios de Dimensionamiento

Se considera la chimenea de acceso, por lo tanto, el V1 será reducido por el volumen de chimenea (Vch):

$$\frac{V1 - Vch}{\tan(\beta1)} = \frac{V2}{\tan(\beta2)}$$

Entonces el V.A será:

$$V.A = V1 - Vch + V2$$

Se sabe:

$$Vch = \pi D^2 \frac{(h^2 - f^2)}{4}, \quad D = \text{Diámetro de la Chimenea}$$

Obteniendo de la primera aproximación, valores para el volumen de almacenamiento, que son menores al volumen útil, vemos que se puede aumentar el volumen obtenido, reduciendo f', con la variación de r', de los ángulos $\beta1$, $\beta2$ y h1; conservando los demás valores constantes.

Despejando r' de (f):

$$r' = \frac{(b^2 + f'^2)}{2f'} \quad (9)$$

Igualando $\beta_1 = \beta_2$

$$\tan(\beta_1) = \tan(\beta_2)$$

$$h_1 = h_2 - \frac{b(a-b)}{\sqrt{r'^2 - b^2}} \quad (10)$$

Cálculo de las Dimensiones del Depósito de Almacenamiento

Para la primera aproximación se utilizan los valores obtenidos del (1) al (8)

y luego se hace variar f' hasta obtener el volumen deseado.

Reemplazando valores en la expresión (6) se tiene:

$$V.A = 350.00 \text{ m}^3$$

$$a = 5.09 \text{ m}$$

Reemplazando en (1) se tiene:

$$b = 3.60 \text{ m}$$

Reemplazando en (2) se tiene:

$$r' = 5.09 \text{ m}$$

Reemplazando en (3) se tiene:

$$h_2 = 5.09 \text{ m}$$

Reemplazando en (4) se tiene:

$$h_1 = 3.60 \text{ m}$$

Reemplazando en (5) se tiene:

$$f' = 1.49 \text{ m}$$

Para el dimensionado de la cobertura se usan las expresiones (7) y (8)

Reemplazando en (7) se tiene:

$$f = 1.70 \text{ m}$$

Reemplazando en (8) se tiene:

$$r = 8.48 \text{ m}$$

Con los valores iniciales se realiza el siguiente cuadro, haciendo variar f' , hasta encontrar los valores para el volumen requerido.

Cuadro 01: Iteraciones para Volumen requerido

ITERAC	a	b	h2	D Ext	f'	r'	h1	V1	V2	V CH	V. ALM
1	5.09	3.60	5.09	1.8	1.49	5.09	3.60	175.00	175.00	9.16	340.84
2	5.09	3.60	5.09	1.8	1.4	5.33	3.72	177.14	177.67	9.39	345.42
3	5.09	3.60	5.09	1.8	1.3	5.63	3.85	179.46	180.42	9.64	350.24
4	5.09	3.60	5.09	1.8	1.2	6.00	3.97	181.74	183.00	9.90	354.85
5	5.09	3.60	5.09	1.8	1.1	6.44	4.08	183.98	185.44	10.15	359.27
6	5.09	3.60	5.09	1.8	1.0	6.98	4.19	186.19	187.75	10.41	363.54
7	5.09	3.60	5.09	1.8	0.9	7.64	4.29	188.37	189.95	10.66	367.66
8	5.09	3.60	5.09	1.8	0.8	8.49	4.39	190.52	192.06	10.91	371.66

Fuente: Diseño Propio

Luego de realizar las iteraciones se tienen las dimensiones finales del reservorio:

$$a = 5.09 \text{ m}$$

$$b = 3.60 \text{ m}$$

$$r' = 5.63 \text{ m}$$

$$h2 = 5.09 \text{ m}$$

$$h1 = 3.85 \text{ m}$$

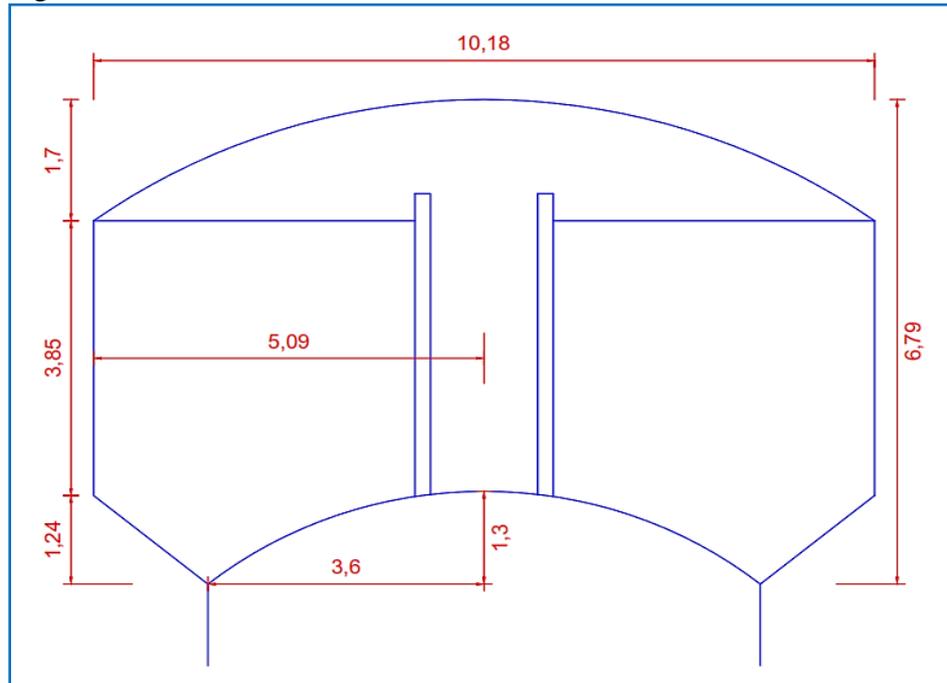
$$f' = 1.30 \text{ m}$$

Cobertura:

$$f = 1.70 \text{ m}$$

$$r = 8.48 \text{ m}$$

Fig. 29: Dimensiones Finales del Reservorio



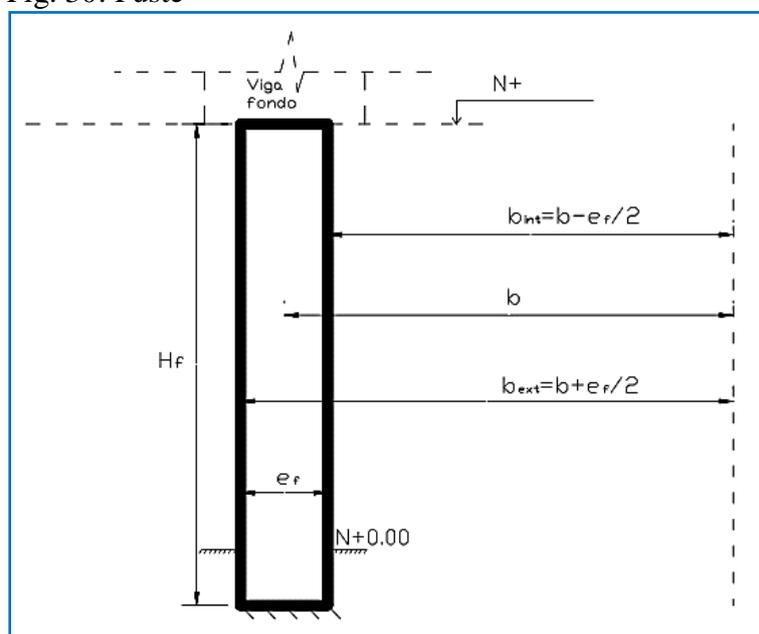
Fuente: Diseño Propio

4.2.5 Metrado de Cargas

Para el metrado de cargas se asumen las dimensiones de los elementos estructurales del reservorio (espesores de fuste, cuba, cúpula, vigas de arrioste, etc.), las cuales serán comprobadas en el análisis.

a) Peso del Fuste

Fig. 30: Fuste



Fuente: J. Salinas S.

$$P1 = H_f \cdot e_f \cdot 2\pi \cdot b \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$H_f = 25.00 \text{ m}$$

$$e_f = 0.40 \text{ m}$$

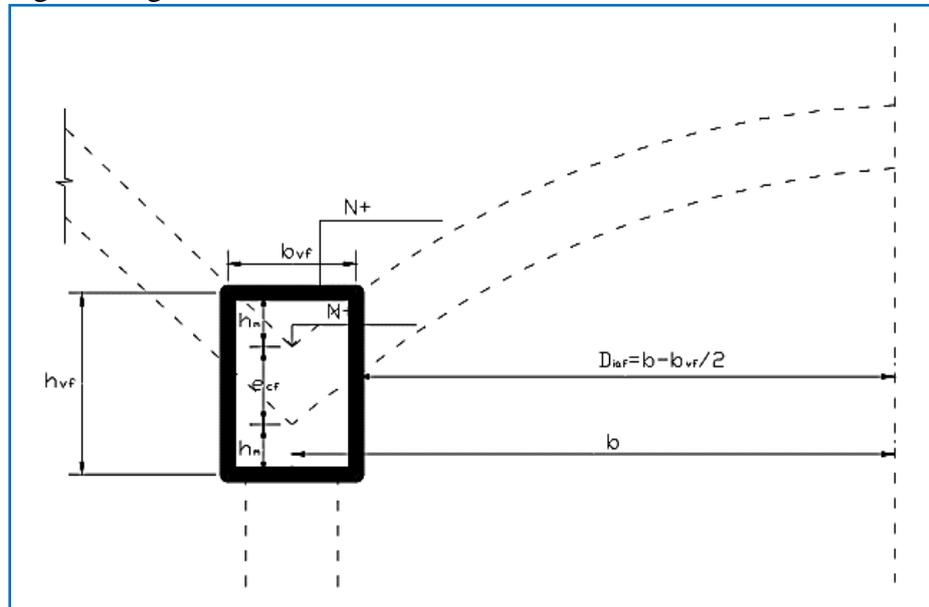
$$b = 3.60 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 2400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P1 = 542.87 \text{ Tn}$$

b) Peso de Viga Circular de Fondo

Fig. 31: Viga de Fondo



Fuente: J. Salinas S.

$$P2 = h_{vf} \cdot b_{vf} \cdot 2\pi \cdot b \cdot \gamma_c$$

Datos:

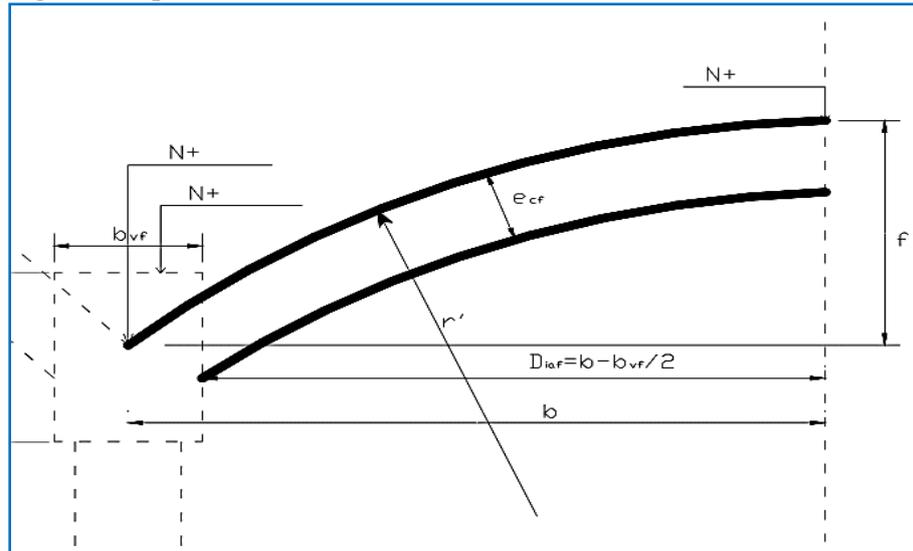
$$h_{vf} = 0.60 \text{ m}$$

$$b_{vf} = 0.50 \text{ m}$$

$$P2 = 16.29 \text{ Tn}$$

c) Peso de Cúpula de Fondo

Fig. 32: Cúpula de Fondo



Fuente: J. Salinas S.

$$P3 = e_{cf} \cdot f' \cdot 2\pi \cdot r' \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$e_{cf} = 0.25 \text{ m}$$

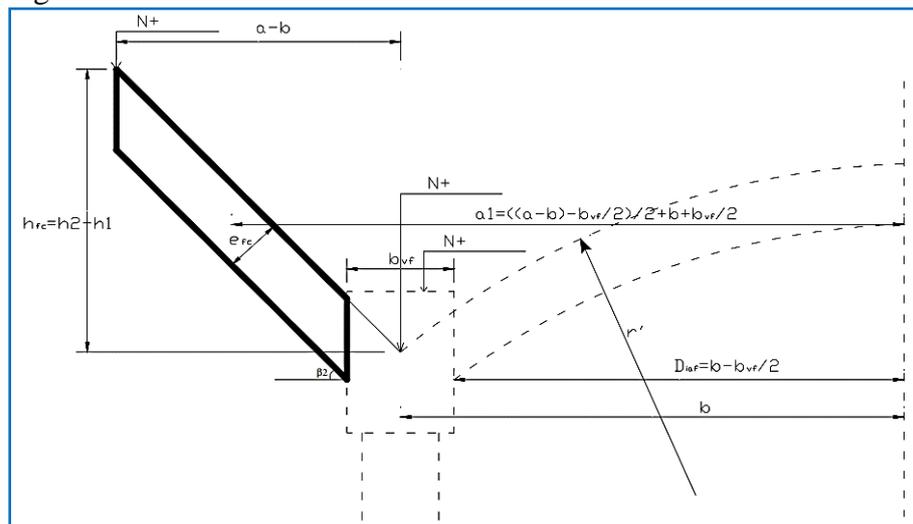
$$f' = 1.30 \text{ m}$$

$$r' = 5.63 \text{ m}$$

$$P3 = 27.59 \text{ Tn}$$

d) Peso de Fondo Cónico

Fig. 33: Fondo Cónico



Fuente: J. Salinas S.

$$P4 = e_{fc} \cdot \left[\sqrt{(h2 - h1)^2 + (a - b)^2} - \frac{b_{vf}}{2} \cdot \sec(\beta2) \right] \cdot 2\pi \cdot a1 \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$\tan\beta2 = \frac{h2-h1}{a-b} = 0.832$$

$$\sec\beta2 = \frac{\sqrt{(h2-h1)^2 + (a-b)^2}}{a-b} = 1.301$$

$$h1 = 3.85 \text{ m}$$

$$h2 = 5.09 \text{ m}$$

$$a = 5.09 \text{ m}$$

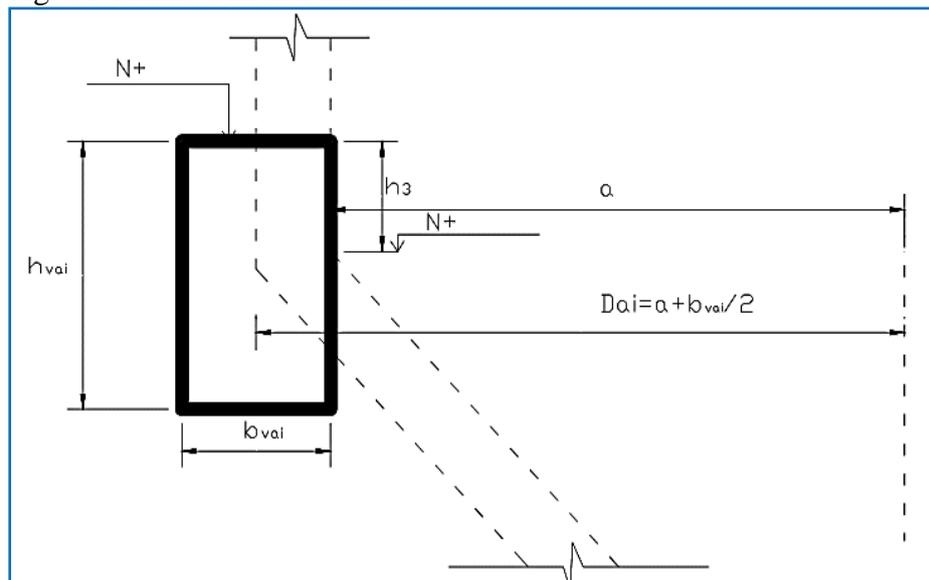
$$e_{fc} = 0.25 \text{ m}$$

$$a1 = 4.47 \text{ m}$$

$$P4 = 32.67 \text{ Tn}$$

e) Peso de Anillo Circular Inferior

Fig. 34: Anillo Circular Inferior



Fuente: J. Salinas S.

$$P5 = h_{vai} \cdot b_{vai} \cdot 2\pi \cdot D_{ai} \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$h_{vai} = 0.50 \text{ m}$$

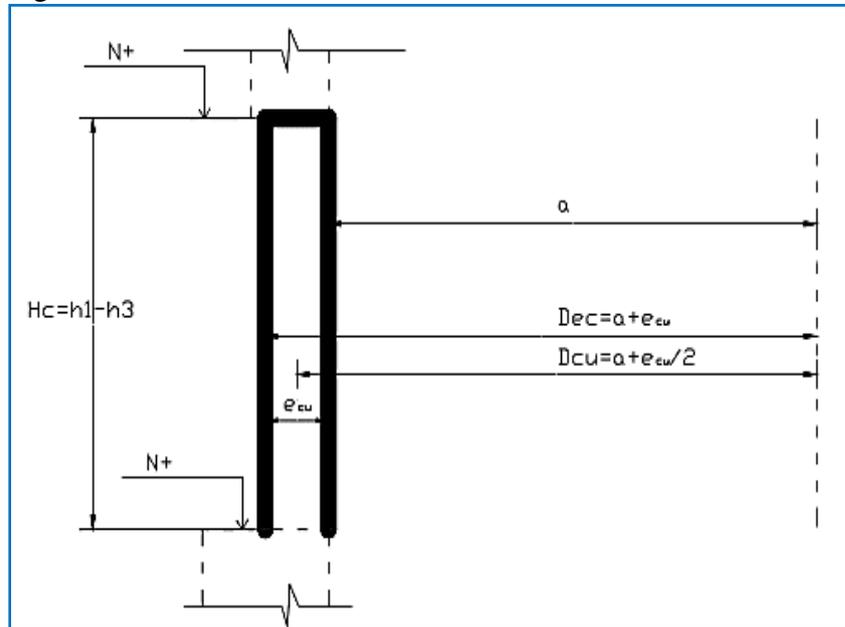
$$b_{vai} = 0.50 \text{ m}$$

$$D_{ai} = 5.34 \text{ m}$$

$$P5 = 20.13 \text{ Tn}$$

f) Peso de la Pared Cilíndrica

Fig. 35: Pared Cilíndrica



Fuente: J. Salinas S.

$$P6 = H_c \cdot e_{cu} \cdot 2\pi \cdot D_{cu} \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$H_c = 3.40 \text{ m}$$

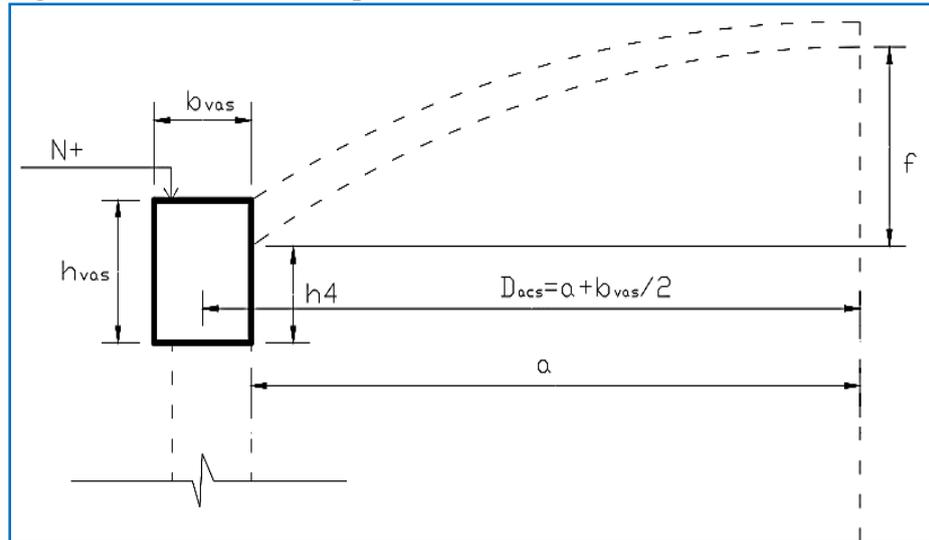
$$e_{cu} = 0.25 \text{ m}$$

$$D_{cu} = 5.215 \text{ m}$$

$$P6 = 66.84 \text{ Tn}$$

g) Peso de Anillo Circular Superior

Fig. 36: Anillo Circular Superior



Fuente: J. Salinas S.

$$P7 = h_{vas} \cdot b_{vas} \cdot 2\pi \cdot D_{acs} \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$h_{vas} = 0.40 \text{ m}$$

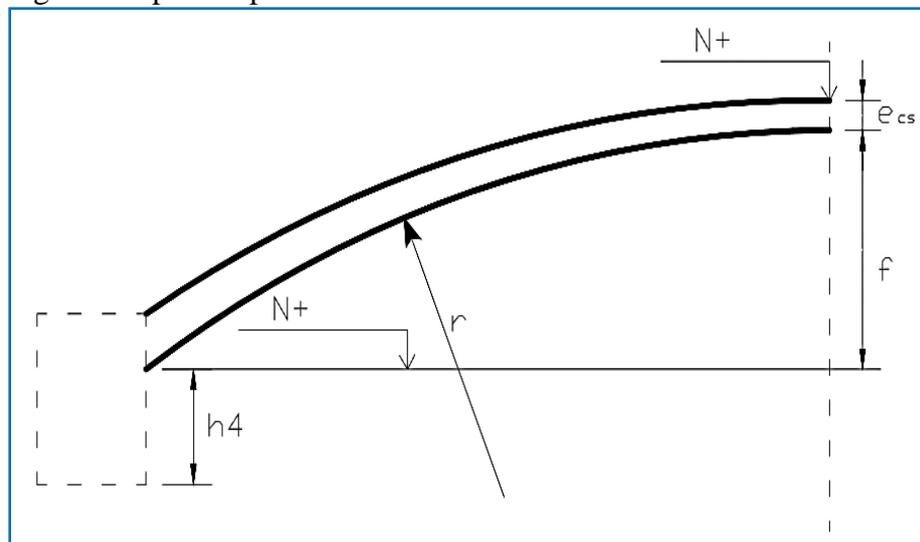
$$b_{vas} = 0.30 \text{ m}$$

$$D_{acs} = 5.24 \text{ m}$$

$$P7 = 9.48 \text{ Tn}$$

h) Peso de Cúpula Superior – Cobertura

Fig. 37: Cúpula Superior



Fuente: J. Salinas S.

$$P8 = r \cdot f \cdot 2\pi \cdot e_{cs} \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$r = 8.48 \text{ m}$$

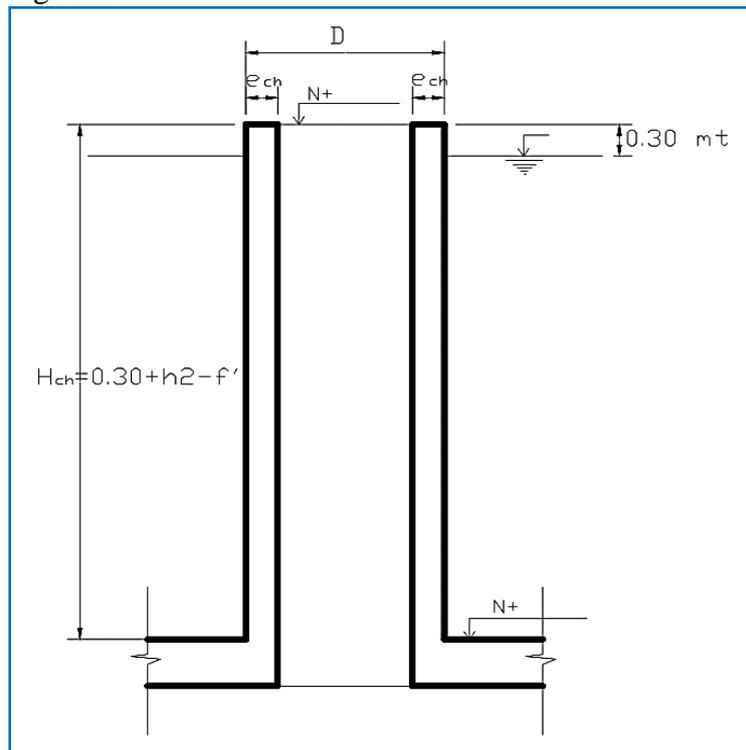
$$f = 1.70 \text{ m}$$

$$e_{cs} = 0.10 \text{ m}$$

$$P8 = 21.74 \text{ Tn}$$

i) Peso de Chimenea de Acceso

Fig. 38 Chimenea de Acceso



Fuente: J. Salinas S.

$$P9 = H_{ch} \cdot e_{ch} \cdot 2\pi \cdot (D - e_{ch}) / 2 \cdot \gamma_c$$

Datos:

$$D = 1.80 \text{ m} \text{ (Diámetro Exterior de Chimenea)}$$

$$H_{ch} = 4.09 \text{ m}$$

$$e_{ch} = 0.20 \text{ m}$$

$$P9 = 9.87 \text{ Tn}$$

Síntesis de Cargas

Cuadro 02: Resumen de Cargas

DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	PESO (TN)
Fuste	Fuste	542.87
Reservorio	Viga Circular de Fondo	16.29
	Cúpula de Fondo	27.59
	Fondo Cónico	32.67
	Anillo Circular Inferior	20.13
	Cuba	66.84
	Anillo Circular Superior	9.48
	Cúpula Esférica - Cobertura	21.74
	Chimenea de Acceso	9.87
PESO DE ESTRUCTURA		747.48

Fuente: Diseño Propio

Peso Total

Cuadro 03: Carga Total

DESCRIPCION	PESO (TN)
Peso de la Estructura	747.48
Peso del Agua	350.00
TOTAL	1097.48

Fuente: Diseño Propio

4.2.6 Análisis de la Estructura Empotrada

Para el análisis estructural del reservorio con base empotrada se aplica lo indicado en la **Norma de Diseño Sismorresistente E.030** modificada con **Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda**, aplicando su Filosofía y Principios.

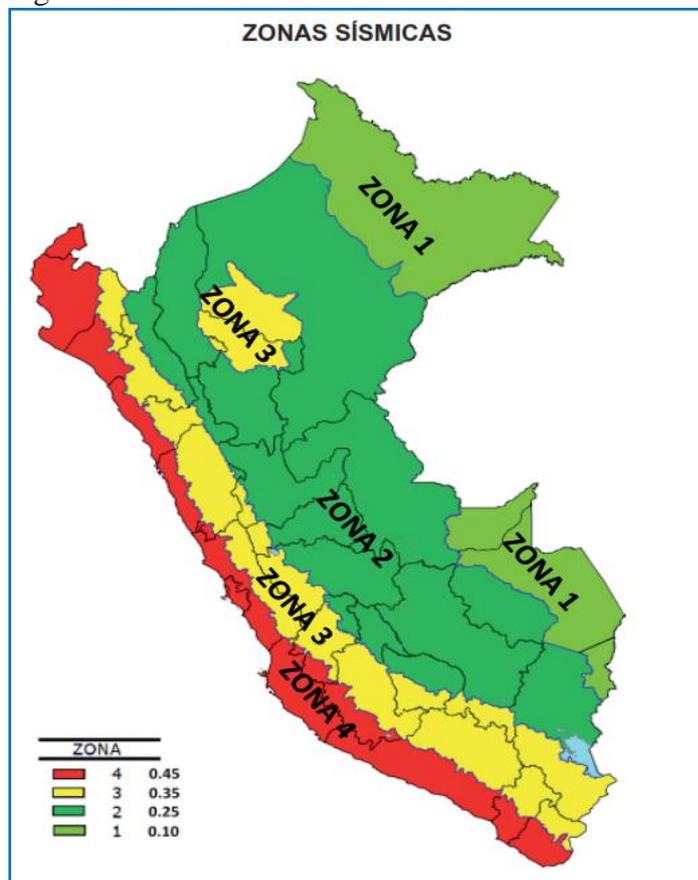
Filosofía

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Principios

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Fig. 39: Zonas Sísmicas



Fuente: Norma E.030

Zonificación, El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, la cual 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, por lo tanto, la estructura del reservorio se ubica en la zona 4.

Factor de Zona “Z”, Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z para la estructura es **Z = 0.45**

Cuadro 04:

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030

Condiciones Geotécnicas, Se clasifica los suelos de acuerdo a la velocidad promedio de propagación de la onda de corte, propiedades mecánicas, espesor de estrato, y el periodo fundamental de vibración. La estructura se ubica en un **Suelo tipo S₂**.

Parámetros de Sitio, A cada tipo de perfil de suelo le corresponde un valor del factor de amplificación del suelo “S”, y de los períodos *TP* y *TL*. De acuerdo al Perfil de Suelo Tipo S2 se tiene $S=1.05$, $TP=0.6$ y $TL=2.0$

Cuadro 05: Factores de Suelo

FACTOR DE SUELO “S”				
SUELO \ ZONA	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030

Cuadro 06: Periodos

PERIODOS "TP" Y "TL"				
	PERFIL DE SUELO			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E.030

Categoría de las Edificaciones y el Factor de Uso "U", El factor de uso depende de la categoría de la edificación. El reservorio pertenece a la categoría A (edificaciones esenciales), por lo tanto, el factor de uso es igual a 1.5

Cuadro 07: Categoría de las Edificaciones

CATEGORIA	U
A: EDIFICACIONES ESENCIALES	1.5
B: EDIFICACIONES IMPORTANTES	1.3
C: EDIFICACIONES COMUNES	1.0
D: EDIFICACIONES TEMPORALES	VER NOTA 2

Fuente: Norma E.030

Sistema Estructural y Coeficiente Básico de Reducción Sísmica "Ro",

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y según el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis. El sistema estructural del reservorio es de Muros Estructurales, $R_o=6$

Cuadro 08:

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE BASICO DE REDUCCION R_0
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	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De Muros Estructurales	6
Muros de Ductilidad Limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por Esfuerzos Admisibles)	7

Fuente: Norma E.030

Factor de Irregularidad (I_a): $I_a = 0.90$

Factor de Irregularidad (I_p): $I_p = 0.85$

Por lo tanto:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

$$R = 4.59$$

Periodo Fundamental, El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

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

$CT = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$CT = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero arriostrados.

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

Por lo tanto:

$$h_n = 31.79 \quad (\text{Altura Total de la Estructura})$$

$$C_T = 60$$

$$T = 0.53 \text{ s}$$

Factor de Amplificación Sísmica “C”, es el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto al suelo, de acuerdo al periodo de la estructura “T”, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$$

Por lo tanto:

$$T_p = 0.6$$

$$T = 0.53 \quad \text{entonces} \quad C = 2.5$$

Peso Sísmico:

$$P = CM + 0.5CV$$

$$CM = 1098 Tn$$

$$CV = 9.28 Tn$$

$$P = 1102.64 Tn$$

Análisis Estático

De acuerdo a la Norma E-030 2016 el Análisis Estático se aplica a edificaciones regulares o irregulares pertenecientes a la zona sísmica 1, para el caso del reservorio elevado no es aplicable, pero se necesita conocer la Fuerza Cortante en la Base.

Fuerza Cortante en la Base

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

$$Z = 0.45 \quad U = 1.5 \quad C = 2.5 \quad S = 1.05 \quad R = 4.59$$

$$V = 425.65 Tn$$

Análisis Dinámico

Análisis Modal

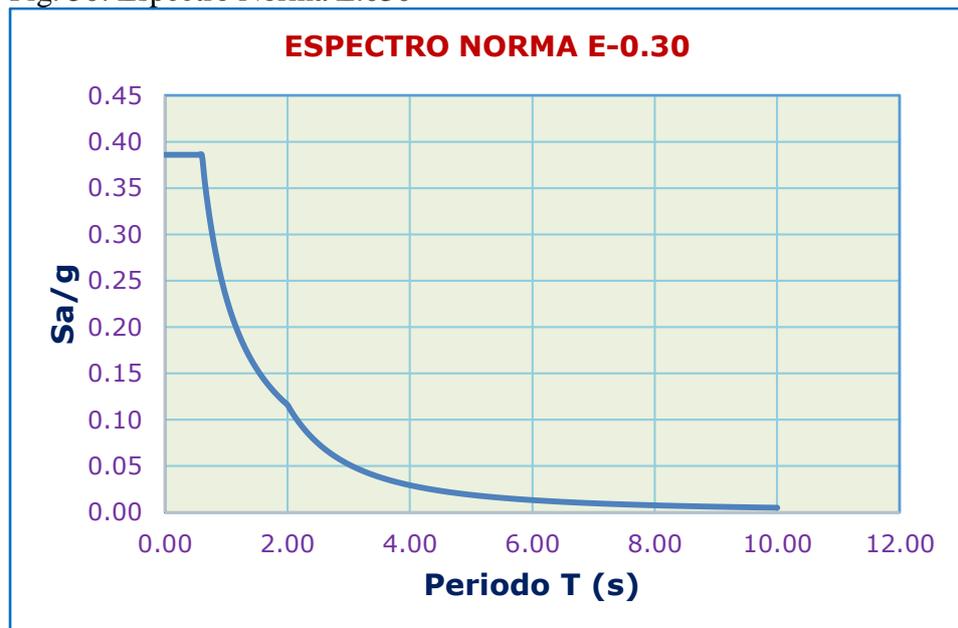
El Análisis Modal sirve para verificar si el edificio presenta o No torsión, el reservorio tiene una altura de 30 m, por lo tanto para obtener una respuesta más acorde a la realidad se realiza el análisis con 100 modos, se observa que la participación de la masa en el primer y segundo modo son mayores al 70%, en consecuencia, no se produce torsión.

Análisis Espectral

Para efectuar el análisis espectral se construye el Espectro de Pseudo aceleraciones con los parámetros establecidos para cada una de las direcciones de análisis,

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

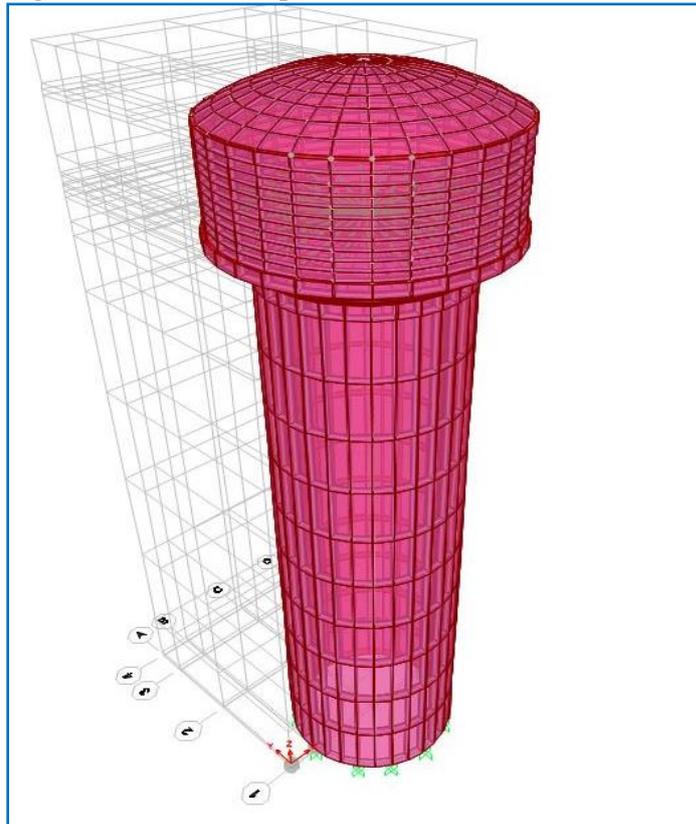
Fig. 50: Espectro Norma E.030



Fuente: Diseño Propio

4.2.7 Análisis de la Estructura Aislada

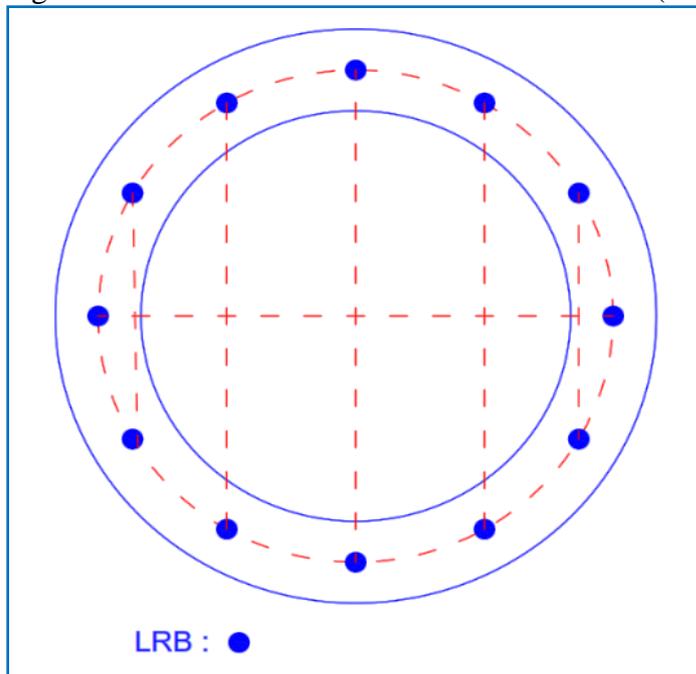
Fig. 51: Reservorio tipo Fuste



Fuente: Diseño Propio

Distribución de Aisladores

Fig. 52 Reservorio con distribución de Aisladores (Planta)



Fuente: Diseño Propio

En el sistema de aislación se usan **Aisladores con Núcleo de Plomo (LRB)**, para el diseño se distribuye la carga total en cada aislador asociado al peso sísmico.

Cuadro 09: Carga de Servicio y Carga Última:

AISLADOR	CANTIDAD	CARGA DE SERVICIO - TN (CM + 50%CV)	CARGA ULTIMA - TN (1.55CM + 1.25CV)
LRB	12	97.95	159.12

Fuente: Diseño Propio

El factor de reducción sísmica “ R_1 ”, debe estar entre valores de 1 y 2, se determina como $3/8$ de R , para nuestro edificio de acuerdo al tipo de sistema estructural $R=6$, por lo tanto, R_1 para la superestructura será igual a 2, y para el sistema de aislación $R=1$, el factor de importancia que se debe considerar para el reservorio con sistema de aislación sísmica es $U=1.5$,

La verificación de irregularidad del Reservorio es similar al de la Base Empotrada dando como resultado una estructura regular en planta e Irregular en altura por lo tanto $I_a=0.9$, $I_p=0.85$, entonces el factor de reducción sísmica es $R=2$.

Análisis Estático

El Peso de la Superestructura, es tomado del peso que esta sobre cada aislador.

Cuadro 10: Peso sobre el Sistema de Aislamiento

AISLADOR	CM (TN)	CV (TN)	CARGA ULTIMA (TN) (CM + 0.5CV)
LRB	1,170.76	9.28	1,175.40

Fuente: Diseño Propio

Periodo Objetivo

El periodo objetivo es de $T_{obj} = 2.5 \text{ seg}$ y se asume un periodo máximo de $T_{max} = 3.00 \text{ seg}$

Amortiguamiento Efectivo

Para el diseño se asume un Amortiguamiento Efectivo de **17 %** por lo tanto interpolando del cuadro 11, se tiene **$BD = 1.41$**

Cuadro 11:

COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO, BD O BM	
Amortiguamiento Efectivo βD o βM (Porcentaje Crítico)	Factor BD o BM
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

Fuente: ASCE 7-10 (Table 17.5-1)

Cálculo de la Pseudoaceleración

$$Z = 0.45 \quad U = 1.5 \quad C = 0.48 \quad S = 1.05 \quad R = 1$$

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g = \frac{0.45 \times 1.5 \times 0.48 \times 1.05}{1} \times 9.81 = 3.337 m/s^2$$

Cálculo de Desplazamiento de Diseño y Desplazamiento Máximo

$$D_D = \frac{S_a T^2}{4\pi^2 B_D}$$

$$D_D = \frac{3.337 \times 2.5^2}{4\pi^2 \times 1.41} = 0.3747 m$$

$$D_M = \frac{1.5 S_a T^2}{4\pi^2 B_M}$$

$$D_M = \frac{1.5 \times 3.337 \times 3^2}{4\pi^2 \times 1.41} = 0.8094 m$$

El Desplazamiento Total de Diseño y el Desplazamiento Máximo No pueden ser menores a 1.1DD y 1.1DM:

$$D_{TD} = 1.1D_D = 1.1 \times 0.3747 = 0.4122 m$$

$$D_{TM} = 1.1D_M = 1.1 \times 0.8094 = 0.8903 m$$

Cálculo de la Rigidez de la Estructura

De las ecuaciones se tiene:

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2 W}{gT^2} = \frac{4x\pi^2 x 1,175.40}{9.81x2.5^2} = 756.83 \text{ Tn/m}$$

$$K_{Mmin} = \frac{4\pi^2 W}{gT^2} = \frac{4x\pi^2 x 1,175.40}{9.81x3^2} = 525.58 \text{ Tn/m}$$

Cálculo de KDmax y KMmax

$$K_{Dmax} = 1.1K_{Dmin} = 832.51 \text{ Tn/m}$$

$$K_{Mmax} = 1.1K_{Dmin} = 578.13 \text{ Tn/m}$$

Cálculo de la Fuerza Lateral Mínima de la Subestructura y Sistema de Aislamiento (Vb)

$$V_b = K_{Dmax} D_D = 832.51x0.3747 = 311.96 \text{ Tn}$$

Cálculo de la Fuerza Estática de Corte para la Superestructura (Vs)

Donde R = 2:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} D_D}{R_1} = \frac{832.51x0.3747}{2} = 155.98 \text{ Tn}$$

La Fuerza Estática de Corte (Vs), No debe ser menor que la Fuerza Lateral Sísmica para la misma estructura con base fija, y con el periodo de la estructura aislada (TD):

$$V_s \geq \frac{ZUC_{TD}S}{R} W = \frac{0.45x1.5x0.48x1.05}{4.59} x 1,175.40 = 87.12 \text{ Tn}$$

Diseño de los Aisladores

De acuerdo al diseño, se tiene los Aisladores con Núcleo de Plomo, asimismo se tiene el Periodo Objetivo. La estructura cuenta con 12 aisladores LRB, distribuidos perimetralmente y simétricamente, de manera que el Centro de Rigidez coincide con el Centro de Masa con la finalidad de evitar la torsión.

El diseño se realizó tomando en consideración las Propiedades de los Aisladores que presenta el Catálogo de Dynamic Isolation Systems, el diseño último se obtiene a partir de una serie de iteraciones hasta alcanzar el periodo objetivo y los resultados se muestran en el cuadro 12:

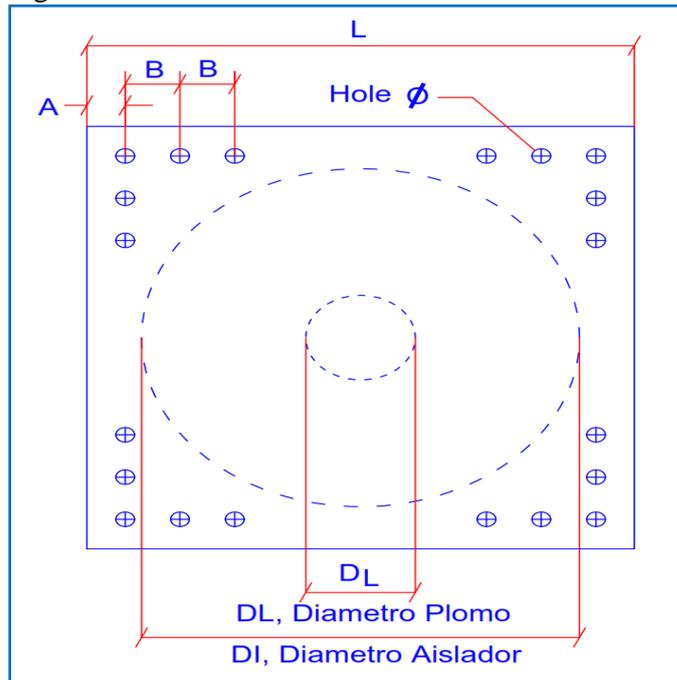
Cuadro 12: Propiedades del Aislador LRB

PROPIEDADES	UND	LRB
Rig. Vertical	Tn/m	205,096.15
Rig. Efect. Lineal	Tn/m	139.003
Rig. Inicial	Tn/m	1,243.63
Fuerza Fluencia	Tn/m	15.86
Rel. Rig PF/Rig. Inic		0.09
Amort. Efectivo	Tn.seg/m	12.33
Energía Disipada	Tn.m	20.29

Fuente: Diseño Propio

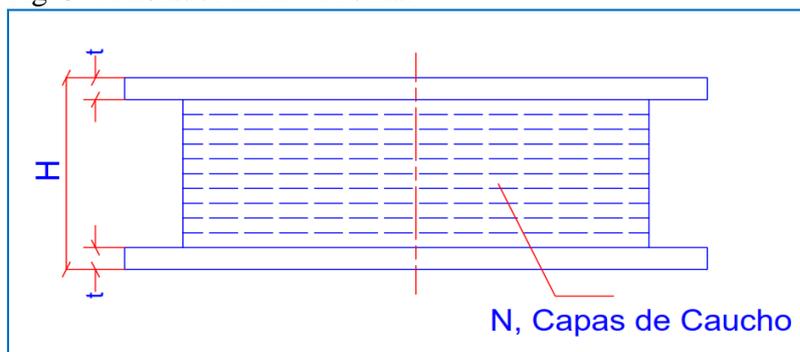
A continuación, se muestran las características del Aislador con núcleo de Plomo LRB:

Fig. 53: Aislador LRB - Planta



Fuente: Dynamic Isolation Systems

Fig. 54: Aislador LRB - Frontal



Fuente: Dynamic Isolation Systems

Cuadro 13: Dimensiones del Aislador LRB

DIMENSIONES DEL AISLADOR			
Diámetro Aislador DI (mm)	Altura Aislador H (mm)	Numero de Capas de Caucho, N	Diámetro del Plomo DL (mm)
900	390	26	140

Fuente: Diseño Propio

Cuadro 14: Dimensiones de la Placa

DIMENSIONES DE LA PLACA SOPORTE					
L (mm)	t (mm)	Cantidad de Orificios	Orificio ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
955	38	12	33	65	95

Fuente: Diseño Propio

Análisis Dinámico

El Análisis Dinámico se ha realizado haciendo uso del Programa **SAP 2000 V19.1**, en el cual se ingresan los datos mostrados en el cuadro 12, para el Análisis Dinámico.

Análisis Espectral

Para este Análisis se hace uso del Espectro de Diseño que se indica en la Norma E.030-2016 afectado por el Factor de Amortiguamiento $BD= 1.41$, se calcula el Espectro de Diseño para el Sistema Aislado y el Espectro de Sismo Máximo Esperado se obtiene multiplicando por el factor de 1.5 al espectro de diseño.

$$S_a = \frac{ZUCS}{RB_D} g \qquad S_m = 1.5S_a$$

El Analisis Espectral del Sistema de Aislacion se realiza utilizando el Espectro de la figura 55, donde el Factor de Reduccion $R=1$ y es el mismo para ambas direcciones.

$$S_a = \frac{ZUCS}{RB_D} g$$

Fig. 55: Espectro Norma E.030 – Sismo de Diseño



Fuente: Diseño Propio

Fig. 56: Espectro Norma E.030 – Máximo Sismo



Fuente: Diseño Propio

Para el Espectro de Diseño de la Superestructura, los parámetros utilizados son los mismos, excepto el Factor de Reducción $R=2$, y es el que se muestra en la figura 57.

Fig. 57: Espectro Norma E.030 - Superestructura



Fuente. Diseño Propio

Análisis de Respuesta de la Estructura Aislada

Desplazamientos Máximos

La Norma E-030 2016, indica que, en Estructuras Regulares, los desplazamientos últimos laterales, se calculan multiplicando por $0.75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal elástico y en Estructuras Irregulares los desplazamientos últimos laterales se calculan multiplicando por R , los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Para la Estructura de Base Fija los desplazamientos se calculan multiplicando por R y para la Estructura de Base Aislada los desplazamientos se calcularán multiplicándolo por R , sea ésta, Regular o Irregular.

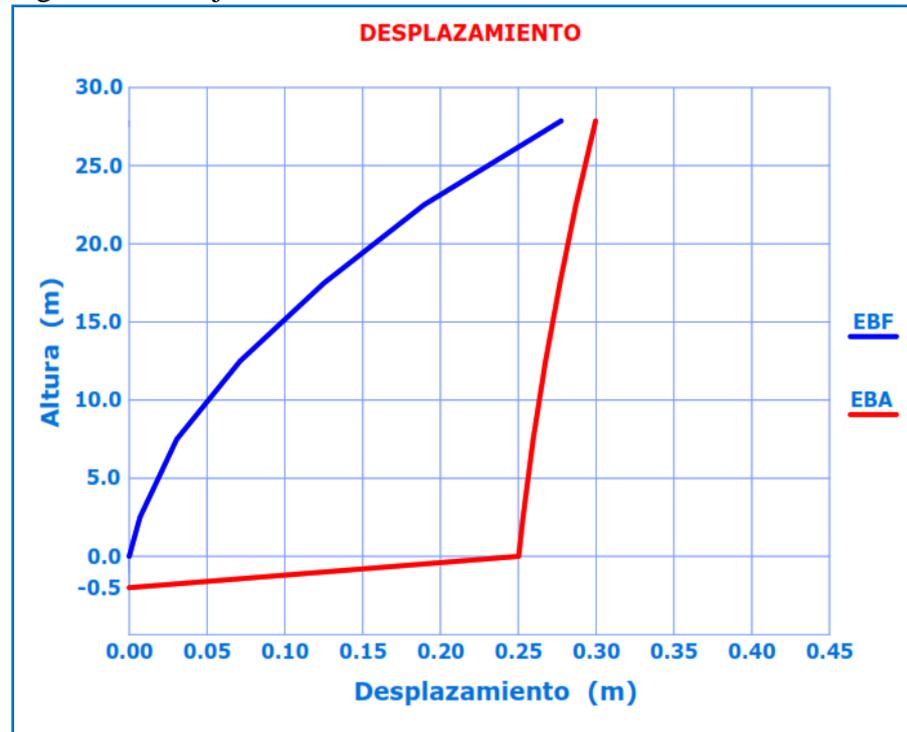
Desplazamientos Últimos de la Estructura de Base Fija y Base Aislada

Cuadro 15: Desplazamientos

DESPLAZAMIENTO			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m)	ESTRUCTURA AISLADA (m)
1	2.5	0.0069	0.2531
2	7.5	0.0305	0.2595
3	12.5	0.0713	0.2675
4	17.5	0.1253	0.2768
5	22.5	0.1894	0.2870
RESERV	27.86	0.2775	0.2996

Fuente: Diseño Propio

Fig. 58: Base Fija vs Base Aislada



Fuente: Diseño Propio

Derivas

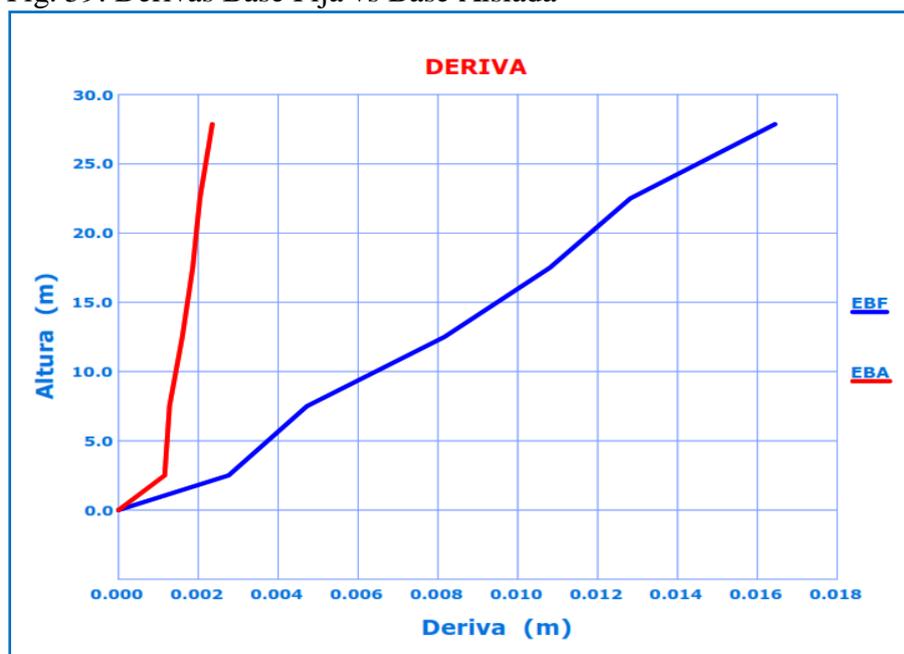
La Norma E-030 2016 indica que para Estructuras de Concreto Armado con base fija el desplazamiento relativo de entrepiso no debe ser mayor de 0.007, para Estructuras de Base Aislada de acuerdo al ASCE el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no debe exceder de 0.003, los cuales se muestran en el cuadro 16.

Cuadro 16: Derivas

DERIVAS			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m)	ESTRUCTURA AISLADA (m)
1	2.5	0.00276	0.00116
2	7.5	0.00472	0.00128
3	12.5	0.00816	0.00160
4	17.5	0.01080	0.00186
5	22.5	0.01282	0.00204
RESERV	27.86	0.01644	0.00235

Fuente: Diseño Propio

Fig. 59: Derivas Base Fija vs Base Aislada



Fuente: Diseño Propio

Cortantes

La Norma E-030 indica que para Estructuras de Base Fija la fuerza cortante mínima para cada una de las direcciones consideradas en el Análisis Dinámico No podrá ser menor que el 80% de las fuerzas estáticas equivalentes para Estructuras Regulares, ni menor que el 90% para Estructuras Irregulares.

Para Estructuras de Base Aislada se toman los mínimos establecidos, en caso de que no se cumpla con lo mínimo, se debe escalar proporcionalmente los resultados obtenidos.

Cuadro 17: Cortantes Basales

V. ESTÁTICA (Tn)	V. DINÁMICA (Tn)	90 % V. ESTÁTICA (Tn)	FACTOR "f"
311.96	88.78	280.76	3.162

Fuente. Diseño Propio

Los factores de escala se aplican al espectro y se verifica que la fuerza cortante este dentro de los límites de la norma E-030 2016.

Cuadro 18: Cortante Escalada

V. ESTÁTICA (Tn)	V. DINÁMICA (Tn)	% V. ESTÁTICA (Tn)	CONDICION
311.96	280.77	90.00	OK

Fuente. Diseño Propio

Distribución de la Fuerza Cortante en la Estructura de Base Fija y Base Aislada:

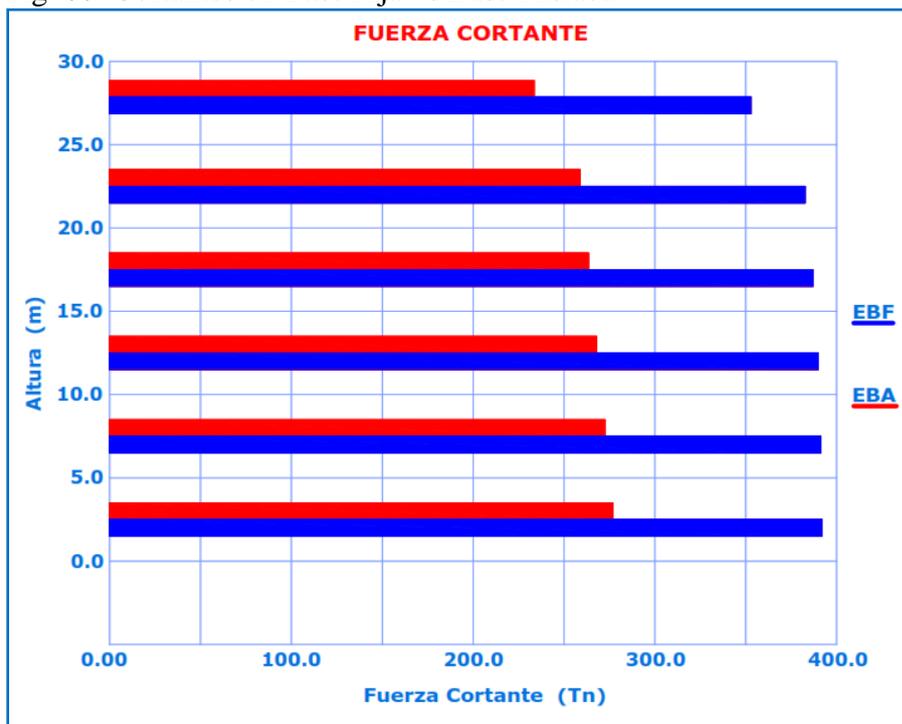
Cuadro 19: Distribución de Cortantes en Altura

CORTANTES			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (Tn)	ESTRUCTURA AISLADA (Tn)
RESERV	27.86	352.84	233.57
5	22.5	382.56	258.69
4	17.5	386.93	263.40
3	12.5	389.79	267.91
2	7.5	391.36	272.37
1	2.5	391.97	276.94

Fuente: Diseño Propio

Se observa que la Fuerza Cortante en la Estructura de Base Aislada es menor al de la Estructura de Base Empotrada, y cuya grafica se muestra en la figura 60.

Fig. 60: Cortantes en Base Fija vs Base Aislada



Fuente. Diseño Propio

Aceleraciones

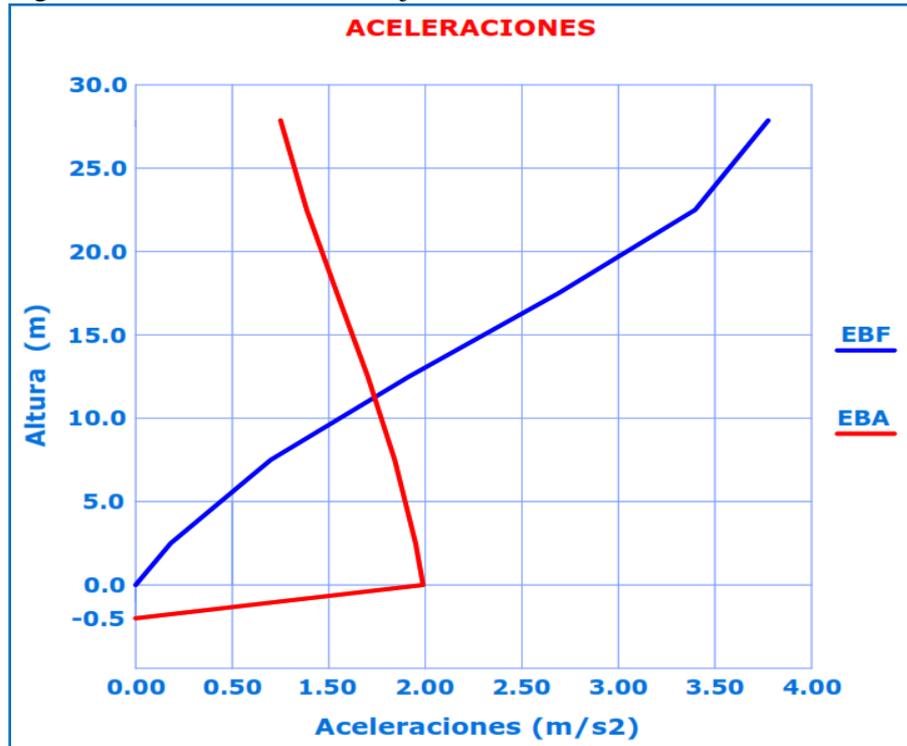
Las Aceleraciones de los niveles en la Estructura de Base Fija y en la de Base Aislada, difieren de acuerdo al nivel, se observa que la aceleración en la estructura de base aislada es prácticamente constante en todos los niveles de la estructura.

Cuadro 20: Aceleraciones de los Niveles del Reservorio

ACELERACIONES			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m/s ²)	ESTRUCTURA AISLADA (m/s ²)
BASE	0.0	0.00	1.488
1	2.5	0.18129	1.44979
2	7.5	0.69902	1.34123
3	12.5	1.41543	1.20156
4	17.5	2.18896	1.04255
5	22.5	3.89751	0.88509
RESERV	27.86	3.77562	0.75062

Fuente: Diseño Propio

Fig. 61: Aceleraciones Base Fija vs Base Aislada



Fuente: Diseño Propio

Análisis Tiempo - Historia

La norma ASCE 7-2010 indica que se requieren de siete (07) señales sísmicas (en sus dos direcciones ortogonales) para un realizar el análisis Tiempo Historia No Lineal, asimismo los valores de las Fuerzas Cortantes, Desplazamientos, Derivas, y Aceleraciones deberán calcularse con los promedios de los valores obtenidos de las siete 07 señales.

Asimismo, la ASCE 7-2010, señala un método alternativo que indica utilizar 03 señales que tengan valores más altos de respuesta (los más desfavorables) para realizar el análisis, siendo este último método el utilizado en el análisis de Tiempo - Historia de la estructura.

Previamente se realiza la preparación o tratamiento de las señales sísmicas tal como lo establece el capítulo 12 del FEMA 750 (2010), los cuales se resumen a continuación:

1. Corrección de la línea base de señal. Mediante el cual los puntos que tienen valor cero de la señal que no están alineados, se mueven al eje del cero.

Esto se realizó con el uso del software Seismo Signal.

2. Corrección por filtrado de señal. Proceso mediante el cual se limpia la señal sísmica de las señales ajenas a las señales del sismo registrado, la corrección se realizó con el software Seismo Signal.

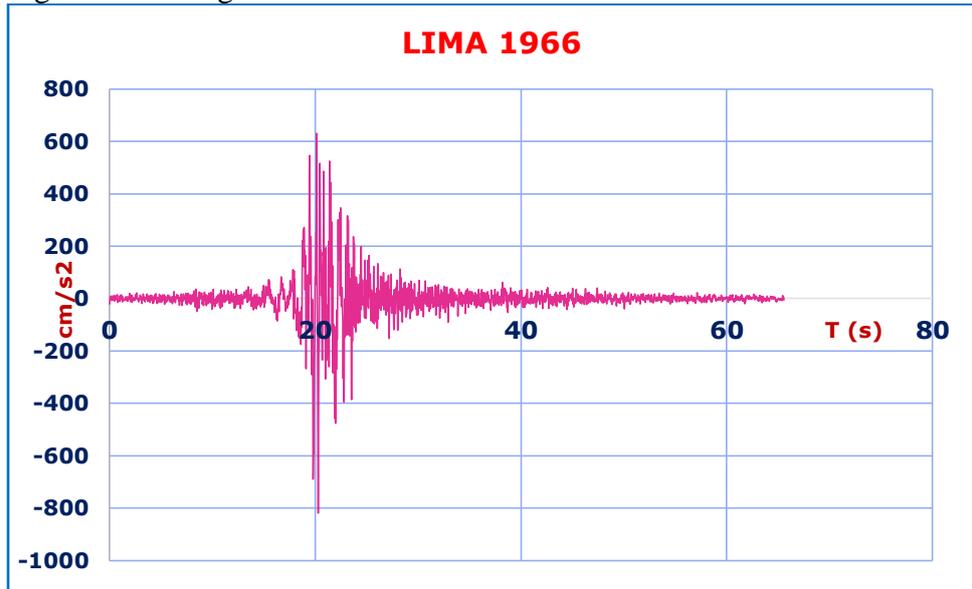
3. Análisis unidimensional de la propagación de onda. Mediante el cual se obtiene la respuesta sísmica al nivel de la superficie.

4. Escalado y match de la señal. Proceso por el cual cada señal se escala y se realiza el match al sismo de diseño establecido en la norma E.030 o sismo máximo, en el rango de $0.5TD$ hasta $1.25TM$, esto se realizó con el uso del software Seísmo Match.

Las señales utilizadas para el análisis Tiempo – Historia, se indican a continuación, previamente los acelerogramas fueron corregidos, escalados y realizados el match respectivo:

- **Sismo de Lima 1966**, Ocurrido el 17 de Octubre de 1966, aceleración máxima de 269.34 cm/seg², (0.27g).

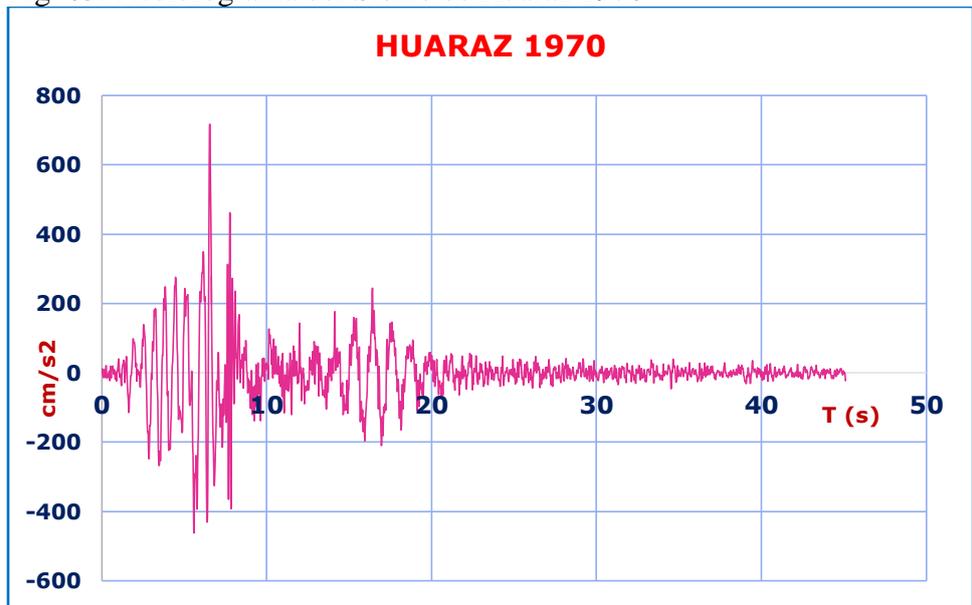
Fig. 62: Acelerograma del Sismo de Lima 1966



Fuente: Diseño Propio

- **Sismo de Huaraz 1970**, Ocurrido el 31 de Mayo de 1970, aceleración máxima de 104.82 cm/seg², (0.11g).

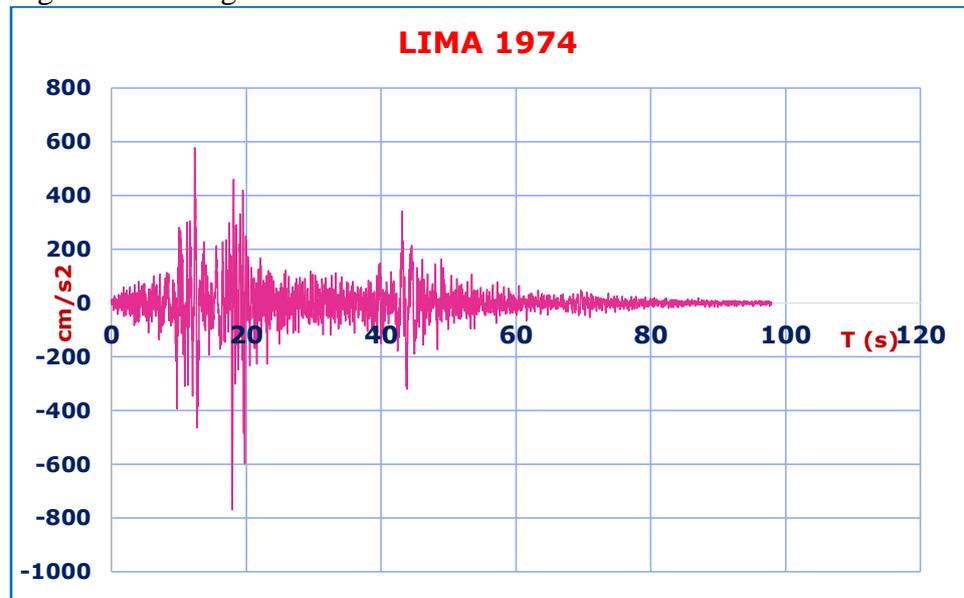
Fig. 63: Acelerograma del Sismo de Huaraz 1970



Fuente: Diseño Propio

- **Sismo de Lima 1974**, Ocurrido el 03 de Octubre de 1974, aceleración máxima de 192.49 cm/seg², (0.20g).

Fig. 63: Acelerograma del Sismo de Lima 1974



Fuente: Diseño Propio

El siguiente cuadro muestra los resultados del análisis Tiempo Historia:

Cuadro 21: Desplazamientos

DESPLAZAMIENTO					
ALTURA (m)	SISMO DE DISEÑO	SISMO MAXIMO	LIMA 1974	LIMA 1966	HUARAZ 1970
0.0	0.2502	0.3753	0.1389	0.1515	0.1645
2.5	0.2531	0.3797	0.1407	0.1532	0.1665
7.5	0.2595	0.3893	0.1450	0.1571	0.1709
12.5	0.2675	0.4013	0.1504	0.1619	0.1764
17.5	0.2768	0.4152	0.1567	0.1675	0.1827
22.5	0.2870	0.4304	0.1636	0.1736	0.1897
27.86	0.2996	0.4494	0.1725	0.1812	0.1984

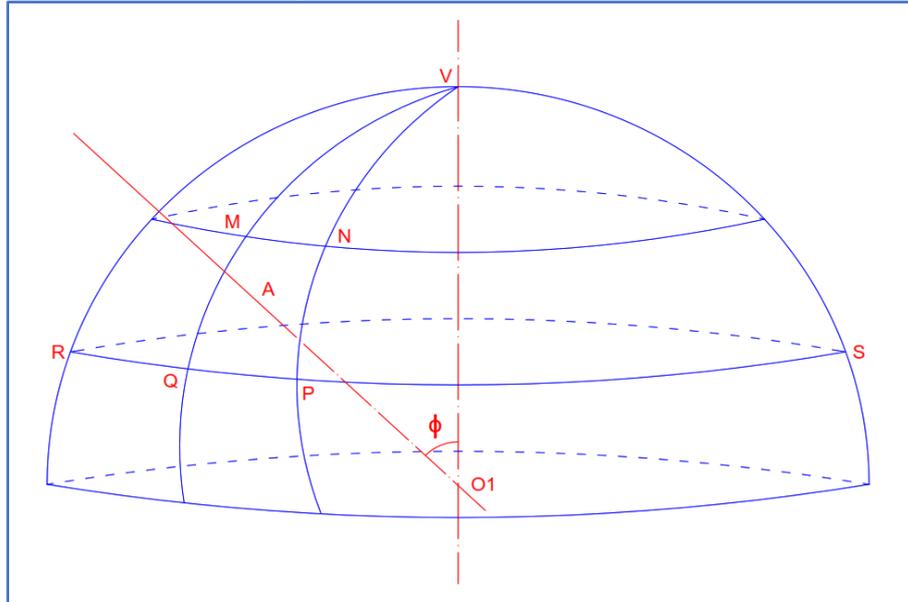
Fuente: Diseño Propio

4.2.8 Diseño de los Elementos Estructurales

Generalidades

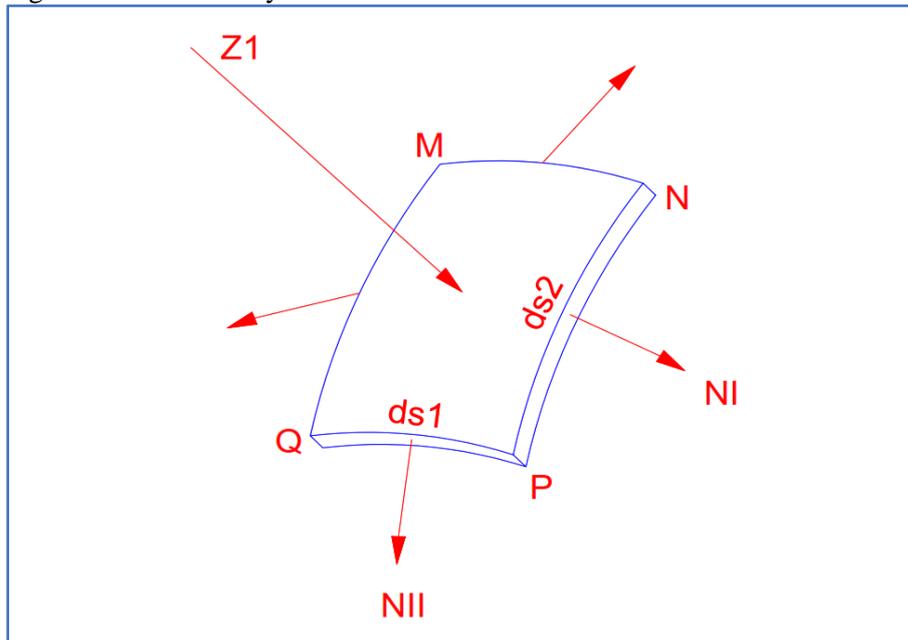
El diseño de los elementos estructurales se realiza aplicando la **Teoría de Membranas de Revolución**, en el que se determinan los esfuerzos meridionales (NI) y anulares (NII).

Fig. 64: Esfuerzos en Cúpula



Fuente: J. Salinas S.

Fig. 65: Esfuerzos NI y NII en elemento de área



Fuente: J. Salinas S.

a) Diseño de Linterna de Iluminación

Datos:

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma c = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

$$E_c = 15000 \sqrt{f'c} \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 6 \text{ cm}$$

$$rec = 4 \text{ cm}$$

$$h = 0.10 \text{ m}$$

$$\text{Para } f'c \leq 280 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_1 = 0.850$$

Cuantía Balanceada

$$\rho_b = \frac{0.85f'c\beta_1}{f_y} \times \frac{0.003E_s}{(0.003E_s + f_y)}$$

$$\rho_b = 0.021675$$

Cuantía Máxima

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b \quad \rho_{max} = 0.016256$$

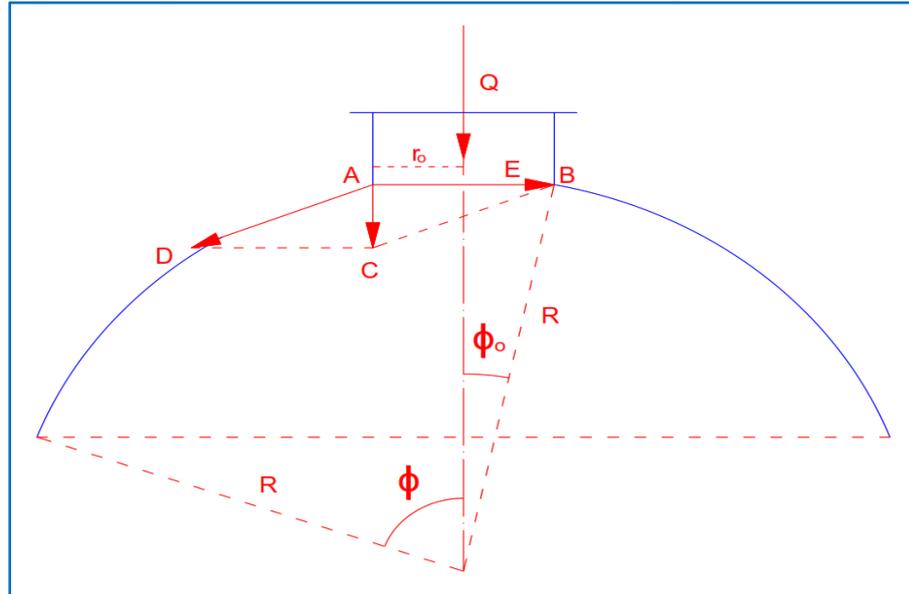
Diseño de Anillo de Soporte

$$\text{Peso Propio} = 2\pi r b h \cdot \gamma_c = 361.91 \text{ Kg}$$

$$\text{Sobrecarga} = 100 \times 2\pi r b = 7,540 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{Q = 634.85 \text{ Kg}}$$

Fig. 66: Carga de Linterna de Iluminación sobre Cúpula



Fuente: J. Salinas S.

$$AC = Q / (2\pi R \text{sen} \phi_0) \quad \dots (1)$$

$$AD = Q / (2\pi R \text{sen}^2 \phi_0) \quad \dots (2)$$

$$AC = Q * \text{ctg} \phi_0 / (2\pi R \text{sen} \phi_0) \quad \dots (3)$$

Calculo de ϕ_0

$$r_0 = 0.60 \text{ m}$$

$$R = 8.48 \text{ m}$$

$$\text{sen} \phi_0 = 0.60 / 8.48 = 0.0707547$$

$$\phi_0 = 4.0573^\circ$$

Carga de Compresión (Ca)

De la ecuacion (3)

$$Ca = 2,374.09 \text{ kg}$$

Carga de Colapso (Pc)

Se asume una viga de 0.20 x 0.20 m

$$Ac = 400 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} = 0.01 * 400 \text{ cm}^2 = 4 \text{ cm}^2$$

Usando $4 \phi 1/2"$:

$$A_s = 4 * 1.27 \text{ cm}^2 = 5.08 \text{ cm}^2$$

$$P_c = 0.80(0.85f'_c(A_g - A_s) + f_y * A_s)$$

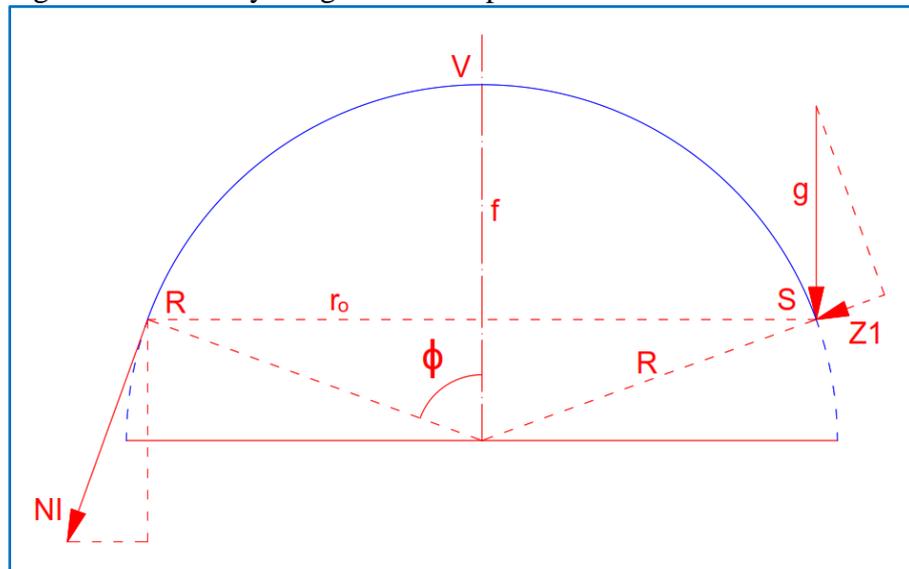
$$P_c = 73,463.38 \text{ kg}$$

$$C_a < P_c \quad \text{OK}$$

Usar $4 \phi 1/2"$ y estribos de $3/8"$ @ 25 cm

b) Diseño de Cobertura en Cúpula Esférica

Fig. 67: Esfuerzos y Cargas sobre Cúpula



Fuente. J. Salinas S.

Donde:

g = Peso propio de la cúpula por unidad de superficie

P = Peso total del casquete

R = Radio de curvatura de la cúpula

f = flecha de cúpula

$$\text{Area de casquete} = 2\pi \cdot R \cdot f$$

$$P = 2\pi \cdot R \cdot f \cdot g$$

$$f = R - R \cos \phi$$

entonces:

$$P = 2\pi \cdot R^2(1 - \cos\phi) \cdot g$$

Estableciendo el equilibrio de fuerzas verticales:

$$NI \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \sin^2\phi + 2 \cdot \pi \cdot R^2(1 - \cos\phi) \cdot g = 0$$

$$NI = -r \cdot g / (1 + \cos\phi)$$

El esfuerzo normal NII, se obtiene de:

$$NI/R + NII/R + Z1 = 0$$

$$Z1 = g \cos\phi$$

entonces:

$$NII = R \cdot g \cdot (1 - \cos\phi - \cos^2\phi) / (1 + \cos\phi)$$

Haciendo $NII = 0$, se halla el punto en el cual se produce el cambio de signo,

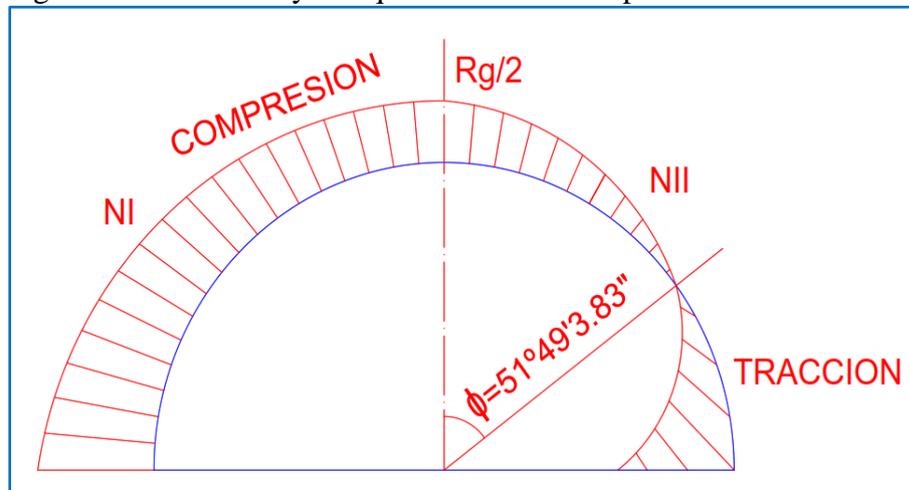
se tiene:

$$(\cos^2\phi + \cos\phi - 1) = 0$$

$$\text{De donde } \phi = 51.8273^\circ$$

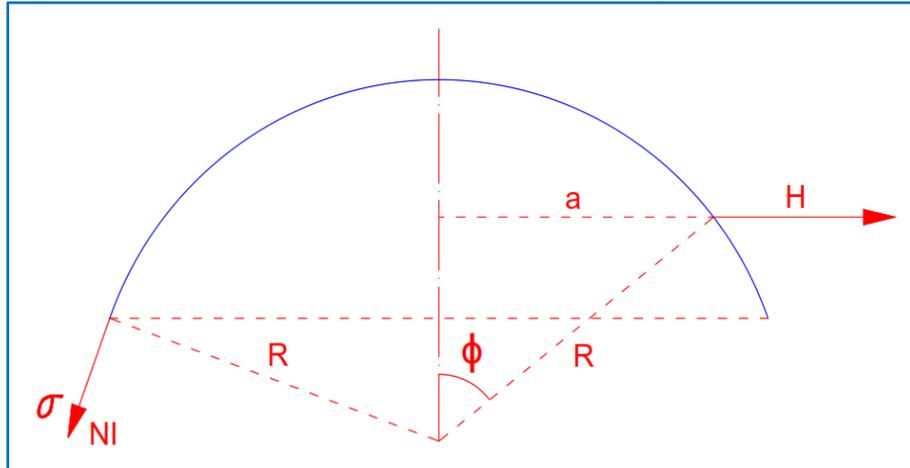
Por lo tanto para $\phi = 51.8273^\circ$, los esfuerzos anulares NII cambian de signo.

Fig. 68: Esfuerzos NI y NII que actúan en la Cúpula:



Fuente. J. Salinas S.

Fig. 69: Esfuerzos Horizontales en el cambio de signo.



Fuente. J. Salinas S.

$H = \text{Suma total de esfuerzos horizontales}$

$$H = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot NI \cdot \cos\phi \cdot \text{sen}\phi$$

El máximo valor de H , se obtiene de

$$H' = 0, \text{ es decir:}$$

$$d(2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot \cos\phi \text{sen}\phi / (1 + \cos\phi)) / d\phi = 0$$

De donde:

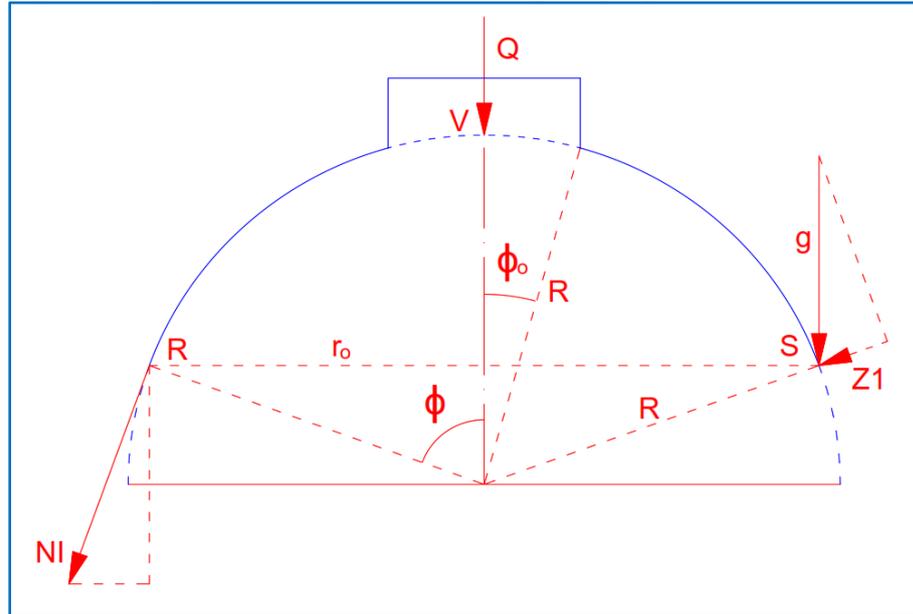
$$(\cos^2\phi + \cos\phi - 1) = 0$$

Entonces

$$\phi = 51.8273^\circ$$

De acuerdo a esto el paralelo de tensión nula ($\phi = 51.8273^\circ$), es una zona de peligro, porque ahí se produce el empuje horizontal máximo.

Fig. 70: Cúpula con Linterna sometida a peso propio



Fuente. J. Salinas S.

Donde:

$g =$ Peso de cúpula por unidad de superficie

$Q =$ Peso total de linterna

El peso P correspondiente del casquete VRS es:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R^2 (1 - \cos \phi) \cdot g - 2 \cdot \pi \cdot R^2 (1 - \cos \phi_0) \cdot g + Q$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R^2 (\cos \phi_0 - \cos \phi) \cdot g + Q$$

Equilibrio de las fuerzas que actúan en la cúpula:

$$NI \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2 \phi + P = 0$$

De donde:

$$NI = -R \cdot g \cdot (\cos \phi_0 - \cos \phi) / \sin^2 \phi - Q / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2 \phi)$$

El esfuerzo NII perpendicular al meridiano es obtenido de:

$$NI/R + NII/R + Z = 0$$

Se tiene que:

$$Z = g \cdot \cos \phi$$

Por lo tanto:

$$NII = R \cdot g \cdot ((\cos\phi_0 - \cos\phi)/\sin^2\phi - \cos\phi) + Q/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin^2\phi)$$

Espesor de Cúpula (h)

$$R = 8.48 \text{ m}$$

$$h_{min} = 8.48/500 = 1.69 \text{ cm}$$

$$h_{min} \geq 6.00 \text{ cm}$$

$$h \geq 10.00 \text{ cm (asumido)}$$

Angulo de Abertura

$$a = 5.09 \text{ m}$$

$$r = 8.48 \text{ m}$$

$$\sin\phi = 5.09/8.48 = 0.600235$$

De donde:

$$\phi = 36.88679 = 36^{\circ}52'12.44''$$

$$\phi < 51^{\circ}49'38.28'' \text{ (fuera de la zona de tracciones) OK}$$

Metrado de Cargas

$$\text{Peso Propio} = 0.10 \times 2400 = 240 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Sobrecarga} = 100 \text{ Kg/m}^2$$

$$g = 591 \text{ Kg/m}^2$$

Esfuerzos NI y NII

$$r = 8.48 \text{ m}$$

$$\phi_0 = 4^{\circ}03'28''$$

$$\phi = 36^{\circ}52'12.44''$$

$$g = 591 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 634.85 \text{ kg}$$

A continuación se muestran los esfuerzos NI y NII que actúan en la cúpula:

Cuadro 22: Esfuerzos NI y NII

α	NI	NII
4.0573368	-2,380.05	-2,619.07
6.00	-2,453.65	-2,530.58
8.00	-2,484.77	-2,478.14
10.00	-2,503.61	-2,431.93
12.00	-2,518.59	-2,383.57
14.00	-2,532.59	-2,330.22
16.00	-2,546.84	-2,270.70
18.00	-2,561.94	-2,204.45
20.00	-2,578.23	-2,131.21
22.00	-2,595.92	-2,050.83
24.00	-2,615.15	-1,963.24
26.00	-2,636.04	-1,868.43
28.00	-2,658.69	-1,766.37
30.00	-2,683.17	-1,657.07
32.00	-2,709.58	-1,540.57
34.00	-2,738.00	-1,416.87
36.00	-2,768.52	-1,286.01
36.886791	-2,782.75	-1,225.71

Fuente: Diseño Propio

Diseño por Meridiano

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = 0.9\sqrt{f'c} = 15.06 \text{ kg/cm}^2$$

$$NI = 2,782.75 \text{ kg/m}$$

$$h = 0.10 \text{ m}$$

$$\sigma_c = 27.83/10 = 2.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c < \sigma_{ct} = 15.06 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Debido a que el esfuerzo σ_c es menor al esfuerzo de tracción del concreto

σ_{ct} , se considera armadura mínima:

$$A_{s \text{ min}} = 0.0035 \cdot b \cdot t = 3.50 \text{ cm}^2$$

Usar ϕ 1/2" @ 0.30 m

$$A_s = 3.81 \text{ cm}^2$$

Diseño por Paralelo

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = 0.9\sqrt{f'c} = 15.06 \text{ kg/cm}^2$$

$$NI = 2,619.07 \text{ kg/m}$$

$$h = 0.10 \text{ m}$$

$$\sigma_c = 26.19/10 = 2.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c < \sigma_{ct} = 15.06 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.0035 \cdot b \cdot t = 3.50 \text{ cm}^2$$

Con ϕ 1/2"

$$A_s = 3.81 \text{ cm}^2$$

Usar ϕ 1/2" @ 0.30 m

Ensanche de cobertura

L = Longitud de ensanche

e = ensanche

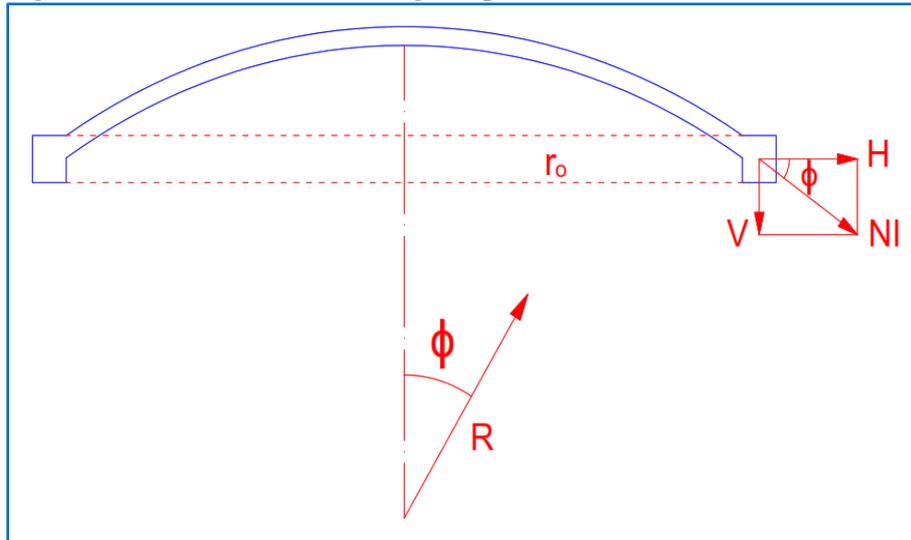
$$L = 16 \cdot h = 16 \times 0.10 = 16 \text{ m}$$

$$e = 2 \cdot h = 2 \times 10 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Cobertura de 10cm de espesor, con ensanche en el borde de 20 cm a una longitud de 1.60 m

c) Diseño de Viga Superior

Fig.71: Fuerzas actuantes en Viga Superior



Fuente: J. Salinas S.

Consideraciones

De la figura se tiene la fuerza horizontal (H):

$$H = NI \cdot \cos\phi$$

La fuerza horizontal H, produce una tracción T en el anillo, la cual según la teoría de tubos es:

$$T = H \cdot D/2 = 2r_0 \cdot H/2$$

Entonces:

$$T = r_0 \cdot H$$

$$T = r_0 \cdot NI \cdot \cos\phi$$

$$T = R \cdot \sin\phi \cdot NI \cdot \cos\phi$$

Por lo tanto:

$$T = (R \cdot NI \cdot \sin 2\phi)/2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = 8.48 \text{ m}$$

$$\phi = 36^{\circ}52'12.44''$$

Fuerza de Tracción sobre la Viga

$$T = (8.48 \times 2,782.75 \sin^2(36^{\circ}52'12.44''))/2$$

$$T = 11,328.85 \text{ kg}$$

Área de Acero

$$\sigma_{at} < f_y/2 < 2100 \text{ kg/cm}^2$$

Se considera:

$$\sigma_{at} = 1050 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = 1,138.85/1,050$$

$$A_s = 10.79 \text{ cm}^2$$

Usando 6 ϕ 5/8"

$$A_s = 6 \times 1.98$$

$$A_s = 11.88 \text{ cm}^2$$

Esfuerzo de Tracción en el Concreto

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$recub = 6 \text{ cm}$$

$$d = 34 \text{ cm}$$

$$E_s = 2'100,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 15,000 \sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$$

$$n = E_s/E_c = 8$$

$$\sigma_{ct_{max}} = 1.2 \sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct_{max}} = 20.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = T/(A_c + (n - 1)A_s) \text{ kg/cm}^2$$

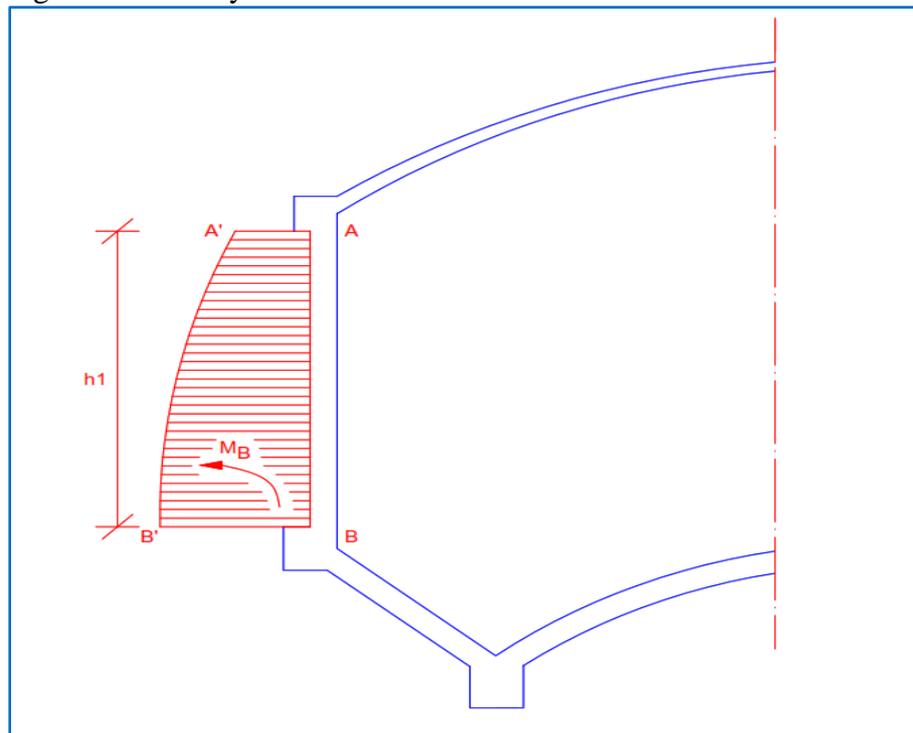
$$\sigma_{ct} = 11,328.85 / ((30 \times 40) + (8 - 1) \times 11.88) \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = 8.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = 8.88 < 20.08 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{OK}$$

d) Diseño de Pared Cilíndrica

Fig.72: Esfuerzo y Momento sobre Pared Cilíndrica



Fuente: J. Salinas S.

Consideraciones

- La pared cilíndrica se encuentra empotrada a las vigas superior (A) e inferior (B).
- Los anillos superior e inferior están sometidos a esfuerzos de tracción que originan desplazamientos de A a A' y de B a B'.
- La deformación de la base de la pared será la misma para los elementos concurrentes (pared cilíndrica, anillo y pared cónica).
- La presión hidrostática actúa en su totalidad sobre el sistema anular.

Datos:

$h_1 = \text{altura de la pared cilíndrica (m)}$

$a = \text{radio del cilindro (m)}$

$h_1 = 3.40 \text{ m}$

$a = 5.09 \text{ m}$

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$E_s = 2'100,000 \text{ kg/cm}^2$

$E_s = 15,000\sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$

$n = E_s/E_c=8$

$\sigma_{at} = 980 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{ct} = 0.9\sqrt{f'_c} = 15.06 \text{ kg/cm}^2$

Calculo de tensiones en anillos de 1m de alto, a partir de la parte superior:

Cuadro 23: Tensiones y Acero de Refuerzo

Xi	Ti	AsTi	Barras
0.40	2,036.00	2.08	∅ 1/2" @ 0.20 m
1.40	7,126.00	7.27	∅ 5/8" @ 0.25 m
2.40	12,216.00	12.47	∅ 3/4" @ 0.20 m
3.40	17,306.00	17.66	∅ 3/4" @ 0.15 m

Fuente: Diseño Propio

Momento Flector

$$MB = 0.2123 \cdot \gamma \cdot (a \cdot e)^{3/2}$$

$$MB = 314.79 \text{ kg.m}$$

$$r = 1.316h_1\sqrt{a \cdot e}$$

$$r = 1.316 \times 3.4 / \sqrt{5.09 \times 0.25}$$

$$r = 3.97$$

Profundidad a la que se anula el momento flector:

$$x = h_1 \cdot (1 - 1.57/r)$$

$$x = 3.4(1 - 1.57/3.97)$$

$$x = 2.06 \text{ m}$$

Acero de Repartición

$$A_s = MB / (f_{se} \cdot j \cdot d)$$

$$f_{se} = 1547 \text{ kg/cm}^2$$

$$j = 1 - k/3$$

$$k = 1 / (1 + f_s / (n \cdot f_c))$$

$$f_s = f_y / 2.5 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 0.45 f'_c = 126 \text{ kg/cm}^2$$

$$k = 1 / (1 + 1680 / (8 \times 126)) = 0.375$$

$$j = 1 - 0.375/3 = 0.875$$

De donde:

$$A_s = 1.22 \text{ cm}^2$$

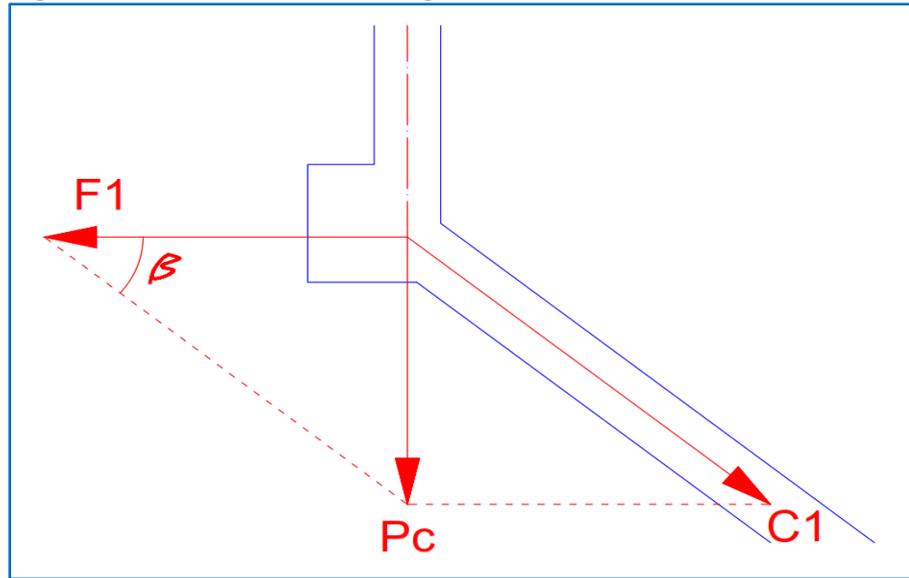
Cuadro 24: Tensiones y Acero de Repartición

Xi	AsTi	Barras
0.40	1.22	∅ 1/2" @ 0.40 m
1.40	3.64	∅ 1/2" @ 0.30 m
2.40	6.23	∅ 5/8" @ 0.30 m
3.40	8.83	∅ 5/8" @ 0.20 m

Fuente: Diseño Propio

e) Diseño de Viga Inferior

Fig. 73: Fuerzas actuantes en Viga Inferior



Fuente: J. Salinas S.

Las cargas que actúan sobre la viga inferior son: peso de la cúpula (W_c), peso de la viga superior (W_s), peso de la pared cilíndrica (W_p).

$$P_c = W_c + W_s + W_p$$

De la fig. 73:

$$F_1 = P_c \cdot \operatorname{ctg} \beta$$

$$C_1 = P_c / \operatorname{sen} \beta$$

Se observa en la viga circular que la fuerza F_1 produce solamente tracción del anillo (T_a).

$$T_a = p_c \cdot \operatorname{ctg} \beta \cdot a$$

Donde:

$$p_c = \text{carga por unidad de longitud} = P_c / (2 \cdot \pi \cdot a)$$

a = radio de pared cilíndrica

$$a = 5.09 \text{ m}$$

$$\beta = 39^\circ 46' 3.72''$$

$$W_c = 21.74 \text{ Tn}$$

$$W_s = 9.48 \text{ Tn}$$

$$W_p = 66.84 \text{ Tn}$$

$$P_c = 98.06 \text{ Tn} = 98,060.00 \text{ kg}$$

Traccion en el Anillo

$$p_c = 98,060.00 / (2 \cdot \pi \cdot 5.09) = 3,066.14 \text{ kg/m}$$

$$T_a = 3,066.14 \times (\text{ctg} 39^\circ 46' 3.72") \times 5.09$$

$$T_a = 18,753.23 \text{ kg}$$

Acero de Refuerzo

$$A_s = T_a / \sigma_{at}$$

σ_{at} = esfuerzo a la traccion del acero

$$\sigma_{at} = 1,500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (evita formacion de grietas)}$$

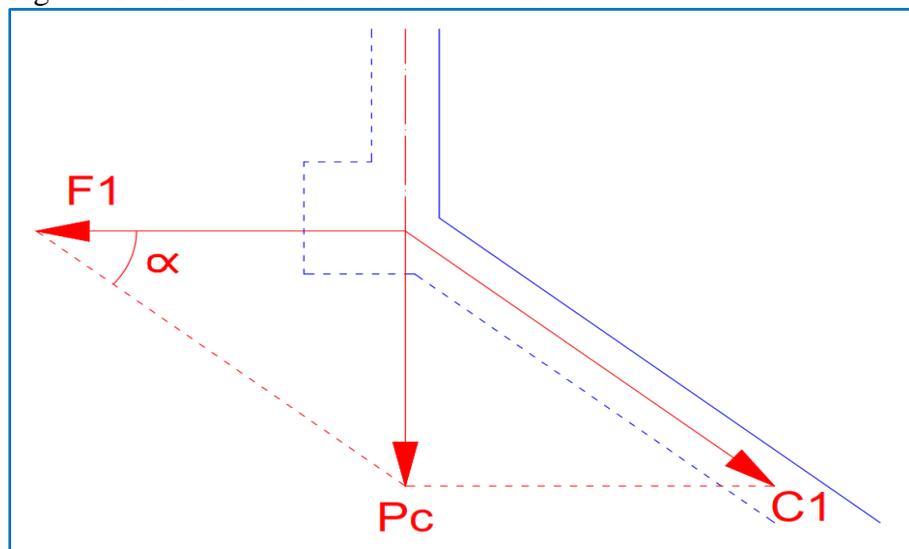
$$A_s = 18,753.23 / 1500$$

$$A_s = 12.50 \text{ cm}^2$$

Usar 5 ϕ 3/4" y estribos de 1/2" @ 0.15 m

f) Diseño de Fondo Cónico

Fig. 74: Fuerzas actuantes en Fondo Cónico



Fuente. J. Salinas S.

Consideraciones

- En el fondo cónico se observan esfuerzos de membrana (NI y NII) y esfuerzos de flexión
- El fondo cónico está bajo la acción de 03 tipos de carga; cargas externas (cúpula (W_c), viga superior (W_s), pared cilíndrica (W_c) y viga inferior (W_i)), peso propio y presión hidrostática.

Cargas Externas que actúan en el Fondo Cónico

De la fig. 74:

$$C1 = Pc / \text{sen}\alpha$$

Donde:

$$Pc = Wc + Ws + Wp + Wi$$

Esfuerzo Meridiano (NI)

$$NI \cdot 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \text{sen}\alpha + Pc = 0$$

$$NI = -pc \cdot a / (x \cdot \text{sen}\alpha)$$

$$pc = \text{peso por unidad de longitud} = Pc / (2 \cdot \pi \cdot a)$$

Esfuerzo Anular (NII)

$$NI/r1 + NII/r2 + Z1 = 0$$

$$r1 = \infty$$

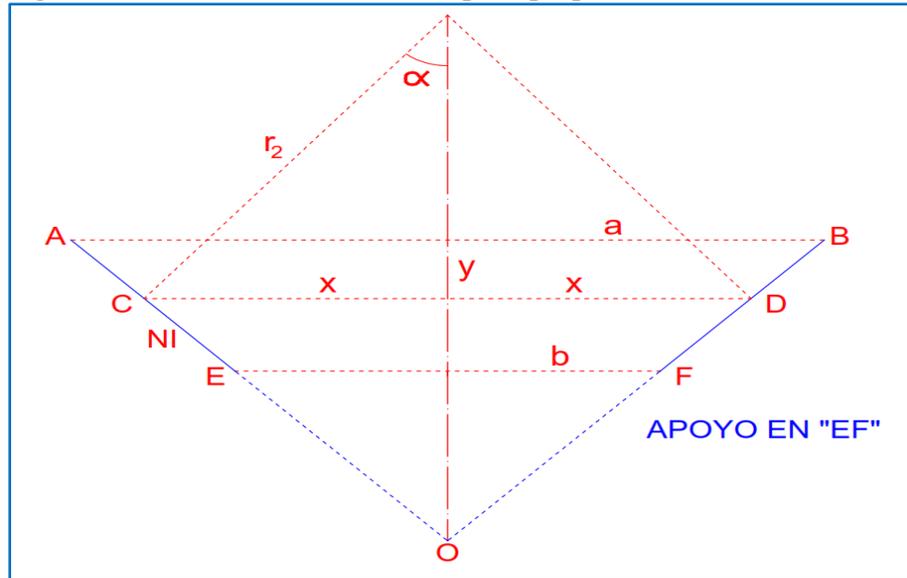
$$r2 = x / \text{sen}\alpha$$

$$Z1 = 0$$

$$NII = 0$$

Peso Propio del Fondo Cónico

Fig. 75: Fondo Cónico sometido a peso propio



Fuente: J. Salinas S.

$g =$ peso de membrana por unidad de superficie

Peso de ABCD

$$P = (\pi \cdot a \cdot OA - \pi \cdot x \cdot OC) \cdot g$$

$$P = \pi \cdot (a^2 - x^2) \cdot \frac{g}{\cos \alpha}$$

Equilibrio de esfuerzos verticales:

$$NI \cdot 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \sin \alpha + P = 0$$

$$NI = -(a^2 - x^2) \cdot \frac{g}{x \cdot \sin 2\alpha}$$

El esfuerzo anular NII es:

$$\frac{NI}{r_1} + \frac{NII}{r_2} + Z_1 = 0$$

$$r_1 = \infty$$

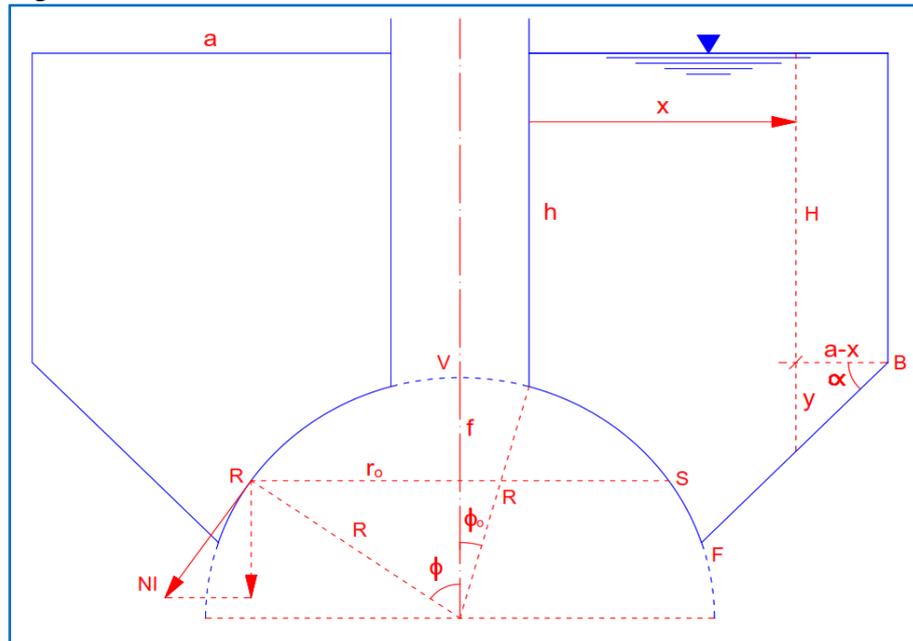
$$r_2 = \frac{x}{\sin \alpha}$$

$$Z_1 = -g \cdot \cos \alpha$$

$$NII = g \cdot x \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

Presion Hidrostatica que actua sobre Fondo Conico

Fig. 76: Fondo Conico sometido a Presion Hidrostatica



Fuente: J. Salinas S.

$$\gamma = p.e. \text{ agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$H =$ altura de agua sobre el borde superior del fondo conico

$$P = \int 2 \cdot \pi \cdot x \cdot (y + H) \cdot \gamma \cdot ds = \int_x^a 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \cdot \gamma \cdot ds + \int_x^a 2 \cdot \pi \cdot x \cdot H \cdot \gamma \cdot ds$$

$$\text{tg} \alpha = y / (a - x)$$

$$ds = dx / \text{cos} \alpha$$

Obteniendose

$$P = \frac{\pi \gamma \text{tg} \alpha}{3 \text{cos} \alpha (a - x)^2 (a + 2x)} + \frac{\pi H \gamma}{\text{cos} \alpha (a^2 - x^2)}$$

Equilibrio de fuerzas verticales:

$$NI \cdot 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \text{sen} \alpha + P \cdot \text{cos} \alpha = 0$$

$$ds = dx / \text{cos} \alpha$$

$$NI = - \frac{\gamma (a - x)^2 (a + 2x)}{6x \text{cos} \alpha} - \frac{\gamma H (a^2 - x^2)}{2x \text{sen} \alpha}$$

El esfuerzo NII es:

$$NI/r1 + NII/r2 + Z1 = 0$$

$$r1 = \infty$$

$$r2 = x/sen\alpha$$

$$Z1 = -\gamma(y + H)$$

$$NII = \frac{\gamma x((a - x)tg\alpha + H)}{sen\alpha}$$

Calculos

$$Wc = 21.74 \text{ tn}$$

$$Ws = 9.48 \text{ tn}$$

$$Wp = 66.84 \text{ tn}$$

$$Wi = 20.13 \text{ tn}$$

$$Pc = 118.19 \text{ tn}$$

$$pc = 118.19/(2\pi * 5.09)$$

$$pc = 3,695.58 \text{ kg/m}$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$a = 5.09 \text{ tn}$$

$$b = 3.60 \text{ tn}$$

$$\beta = 39^\circ 46' 3.72''$$

$$h = 0.25 \text{ m}$$

$$g = 600 \text{ kg/m}^2$$

$$H = 3.85 \text{ m}$$

Cuadro 25: Esfuerzos Meridianos NI

S	X	NI ce	NI pp	NI ph	NI
0.00	5.09	-5,777.26	0.00	0.00	-5,777.26
0.50	4.706	-6,248.67	-487.71	-2,503.99	-9,240.37
1.00	4.321	-6,805.42	-1,021.91	-5,447.70	-13,275.04
1.50	3.937	-7,469.20	-1,613.03	-8,904.88	-17,987.11
1.94	3.599	-8,170.67	-2,196.35	-12,478.48	-22,845.50

Fuente. Diseño Propio

Cuadro 26: Esfuerzos Anulares NII:

S	X	NII ce	NII pp	NII ph	NII
0.00	5.09	0.00	3,669.73	30,635.02	34,304.75
0.50	4.706	0.00	3,392.88	30,674.88	34,067.75
1.00	4.321	0.00	3,115.30	30,329.66	33,444.97
1.50	3.937	0.00	2,838.45	29,601.17	32,439.62
1.94	3.599	0.00	2,594.77	28,642.45	31,237.21

Fuente. Diseño Propio

Armadura Meridional

$$Ac = 100 * 25 = 2,500 \text{ cm}^2$$

$$As = 0.01 * 2,500 = 25.00 \text{ cm}^2$$

$$Pc = 0.70 * 0.80 * (0.85 * 280 * (2,500 - 25) + 28 * 4200)$$

$$Pc = 395,724.00 \text{ kg} > NI \quad \text{OK}$$

Usando ϕ 3/4"

$$As = 25.65 \text{ cm}^2$$

Usar ϕ 3/4" @ 10 cm

Armadura Anular

- Borde Superior:

$$NII = 34,304.75 \text{ kg}$$

$$As = 22.87 \text{ cm}^2$$

Usar ϕ 3/4" @ 12.5 cm

- Borde Inferior:

$$NII = 31,237.21 \text{ kg}$$

$$As = 20.82 \text{ cm}^2$$

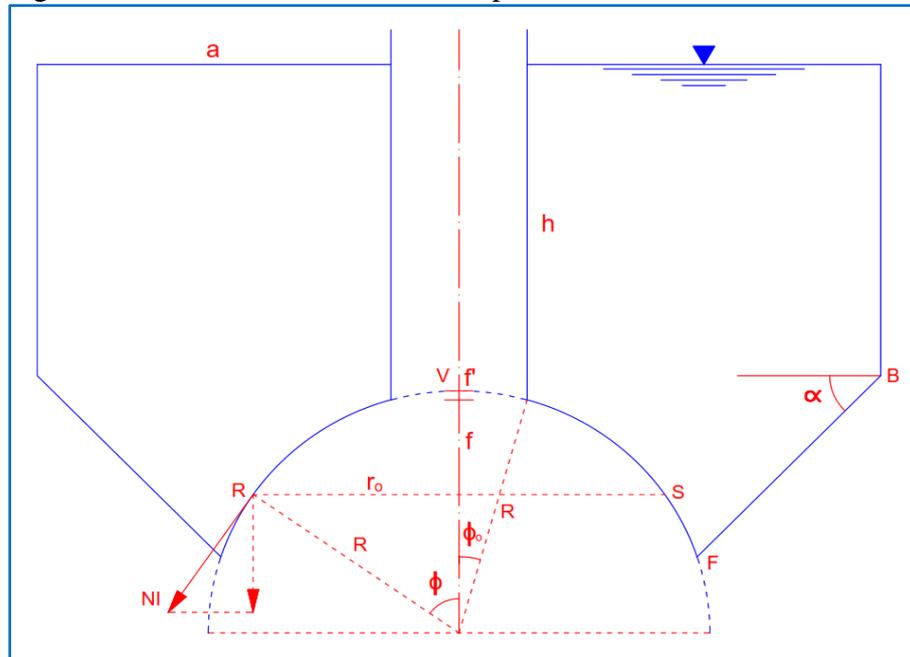
Usar ϕ 3/4" @ 12.5 cm

g) Diseño de Cúpula de Fondo

La cúpula de fondo está sometida a la acción de su peso propio, peso del líquido y el peso de la chimenea de acceso.

Cúpula de Fondo sometida a la Presión Hidrostática

Fig.77: Presión Hidrostática sobre Cúpula de Fondo



Fuente: J Salinas S.

$R =$ Radio de la cúpula

$\gamma =$ P. e. agua = $1000\text{kg}/\text{m}^3$

$h =$ altura de agua de la cresta de la cúpula a la superficie

$$P = \left(\pi R^2 \text{sen}^2 \phi (h + f) \gamma - \pi f^2 \left(R - \frac{f}{3} \right) \gamma \right) - \left(\pi R^2 \text{sen}^2 \phi_0 (h + f') \gamma - \pi f'^2 \left(R - \frac{f'}{3} \right) \gamma \right)$$

Se tiene:

$$f = R(1 - \cos \phi)$$

$$f' = R(1 - \cos \phi_0)$$

Asimismo:

$$H = h + R$$

Entonces:

$$P = -\frac{2\pi R^3 \gamma (\cos^3 \phi_0 - \cos^3 \phi)}{3} + \pi R^2 H \gamma \sin^2 \phi \left(1 - \frac{\sin^2 \phi_0}{\sin^2 \phi}\right)$$

Equilibrio de esfuerzos verticales sobre el casquete VRS:

$$NI. 2\pi R \sin^2 \phi + P = 0$$

Por lo tanto:

$$NI = \frac{R^2 \gamma (\cos^3 \phi_0 - \cos^3 \phi)}{3 \sin^2 \phi} - \frac{RH \gamma}{2} \left(1 - \frac{\sin^2 \phi_0}{\sin^2 \phi}\right)$$

Esfuerzo normal NII:

$$NI/R + NII/R + Z1 = 0$$

Se tiene:

$$Z1 = (h + f)\gamma = (h + R(1 - \cos \phi))$$

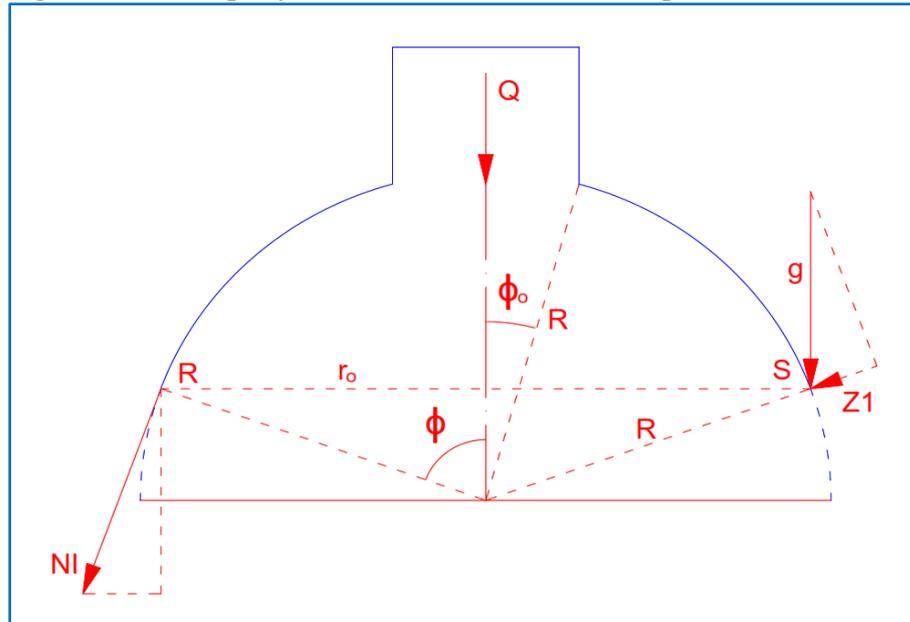
$$Z1 = (H - R \cos \phi)\gamma$$

Entonces:

$$NII = \frac{RH \gamma}{2} \left(1 - \frac{\sin^2 \phi_0}{\sin^2 \phi}\right) - \frac{R^2 \gamma}{3} \left(\frac{\cos^3 \phi_0 - \cos^3 \phi}{\sin^2 \phi} - 3 \cos \phi + \frac{3H}{R}\right)$$

Cúpula de Fondo sometida a Peso Propio y al Peso de la Chimenea

Fig. 78: Peso Propio y Peso de Chimenea sobre Cúpula



Fuente: J. Salinas S.

$Q =$ Peso total de chimenea de acceso

$g =$ Peso de cúpula por unidad de superficie

Esfuerzo Meridiano NI:

$$NI = -\frac{Rg(\cos\phi_0 - \cos\phi)}{\text{sen}^2\phi} - \frac{Q}{2\pi R \text{sen}^2\phi}$$

Esfuerzo Anular NII:

$$NII = Rg \left(\frac{\cos\phi_0 - \cos\phi}{\text{sen}^2\phi} - \cos\phi \right) + \frac{Q}{2\pi R \text{sen}^2\phi}$$

Datos:

$$b = 3.60 \text{ m}$$

$$R = 5.09 \text{ m}$$

$$f = 1.24 \text{ m}$$

$$r = 0.90 \text{ m}$$

$$h = 3.85 \text{ m}$$

$$H = R + h = 8.94 \text{ m}$$

$$\gamma = P. e. agua = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$Q = \text{Peso total de chimenea de acceso}$

$$\text{sen}\phi = b/R = 0.7072692$$

$$\phi = 45.0131584$$

$$\text{sen}\phi_0 = r/R = 0.1768173$$

$$\phi_0 = 10.1844305$$

$$g = 600.00 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 9,870.00 \text{ kg}$$

Cuadro 27: Esfuerzos Meridianos NI

α	PP + PCH	P-AGUA	NI
10.18443	-9,871.18	0.00	-9,871.18
12	-7,570.07	-2,779.02	-10,349.09
14	-6,000.96	-4,701.14	-10,702.09
16	-4,985.83	-5,973.61	-10,959.44
18	-4,293.26	-6,871.29	-11,164.55
20	-3,801.36	-7,538.86	-11,340.22
22	-3,441.01	-8,058.30	-11,499.31
24	-3,170.61	-8,478.85	-11,649.45
26	-2,963.95	-8,831.46	-11,795.41
28	-2,803.83	-9,136.37	-11,940.20
30	-2,678.62	-9,407.17	-12,085.79
32	-2,580.20	-9,653.26	-12,233.46
34	-2,502.79	-9,881.24	-12,384.04
36	-2,442.20	-10,095.84	-12,538.04
38	-2,395.30	-10,300.46	-12,695.76
40	-2,359.76	-10,497.55	-12,857.31
42	-2,333.81	-10,688.90	-13,022.71
44	-2,316.10	-10,875.76	-13,191.85
45.013158	-2,309.92	-10,969.00	-13,278.92

Fuente: Diseño Propio

Cuadro 28: Esfuerzos Anulares NII:

α	PP + PCH	P-AGUA	NII
10.18443	6,865.30	-20,004.72	-13,139.42
12	4,582.81	-17,383.64	-12,800.83
14	3,037.67	-15,664.94	-12,627.27
16	2,050.14	-14,626.53	-12,576.39
18	1,388.73	-13,993.24	-12,604.51
20	931.54	-13,620.09	-12,688.55

22	609.39	-13,424.73	-12,815.34
24	380.64	-13,357.53	-12,976.89
26	219.03	-13,387.09	-13,168.06
28	107.31	-13,492.74	-13,385.43
30	33.78	-13,660.36	-13,626.58
32	-9.74	-13,880.03	-13,889.77
34	-29.09	-14,144.57	-14,173.66
36	-28.54	-14,448.66	-14,477.20
38	-11.29	-14,788.28	-14,799.57
40	20.26	-15,160.29	-15,140.03
42	64.25	-15,562.23	-15,497.98
44	119.23	-15,992.11	-15,872.88
45.013158	150.91	-16,220.01	-16,069.11

Fuente: Diseño Propio

Armadura Meridional:

$$A_c = 100 * 25 = 2500 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.01 * 2500 = 25.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con } \phi 3/4" \quad A_s = 25.65 \text{ cm}^2$$

Verificación:

$$P_u = 0.70 * 0.80 * (0.85 * 280 * (2500 - 25.65) + 25 * 4200) \text{ cm}^2$$

$$P_u = 364,781.37 \text{ kg} > NII \quad OK$$

Usar $\phi 3/4"$ @ 20 cm a doble malla

Armadura Anular:

$$NII = 16,069.11 \text{ kg}$$

$$A_c = 10.71 \text{ cm}^2$$

Usar $\phi 3/4"$ @ 30 cm

h) Diseño de Chimenea de Acceso

Consideraciones

- El conducto de chimenea se haya sometido a una presión exterior que es igual a la presión hidrostática.

$$P = \gamma \cdot x$$

- Esto origina compresión por unidad de altura en las paredes de la chimenea.

$$C = p \cdot r1$$

- Asimismo se debe verificar la compresión por pandeo

$$C < Cp = 3 \cdot E \cdot I / K \cdot r1^2$$

Donde:

$$I = 100 \cdot t^3 / 12$$

$$E = 15000 \sqrt{f'c}$$

$$K = 10 \text{ (factor de seguridad)}$$

$$r1 = \text{radio promedio}$$

$$t = \text{espesor de cimenea}$$

Consideraciones de Diseño

$$As_{min} = \rho_{min} b \cdot t$$

Verificación de esbeltez:

$$\epsilon = L/P < 50$$

Siendo:

$$L = \text{longitud de la chimenea}$$

$$P = \sqrt{It/A}$$

Donde:

$$It = \pi(r_e^4 - r_i^4)/4$$

$$A = \pi(r_e^2 - r_i^2)$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 4.09 \text{ m}$$

$$r1 = 0.80 \text{ m}$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = 20 \text{ cm}$$

Verificación por Pandeo

$$P = 1000 * 4.09 = 4,090.00 \text{ kg/m}^2$$

$$C = 4090 * 0.80 = 3272.00 \text{ kg/m}$$

$$I = \frac{100 * 20^3}{12} = 66,667 \text{ cm}^4$$

$$Ec = 15000 \sqrt{280} = 250,988.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cp = 3 * 250,988.01 * 66,667 / (10 * 80^2)$$

$$Cp = 7,843.69 \text{ kg/m}$$

$$C < Cp \quad \text{OK}$$

Armadura Principal

$$As_{min} = 0.008 * 100 * 200$$

$$As_{min} = 16.00 \text{ cm}^2$$

Usar ϕ 3/4" @ 15 cm

Chequeo de Esbeltez

$$L = 4.09 \text{ m}$$

$$It = \pi(90^4 - 70^4)/4$$

$$It = 32'672,640.00 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi(90^2 - 70^2)$$

$$A = 10,053.12 \text{ cm}^2$$

$$P = \sqrt{It/A}$$

$$P = 57.01 \text{ cm}$$

$$\epsilon = 409/57.01$$

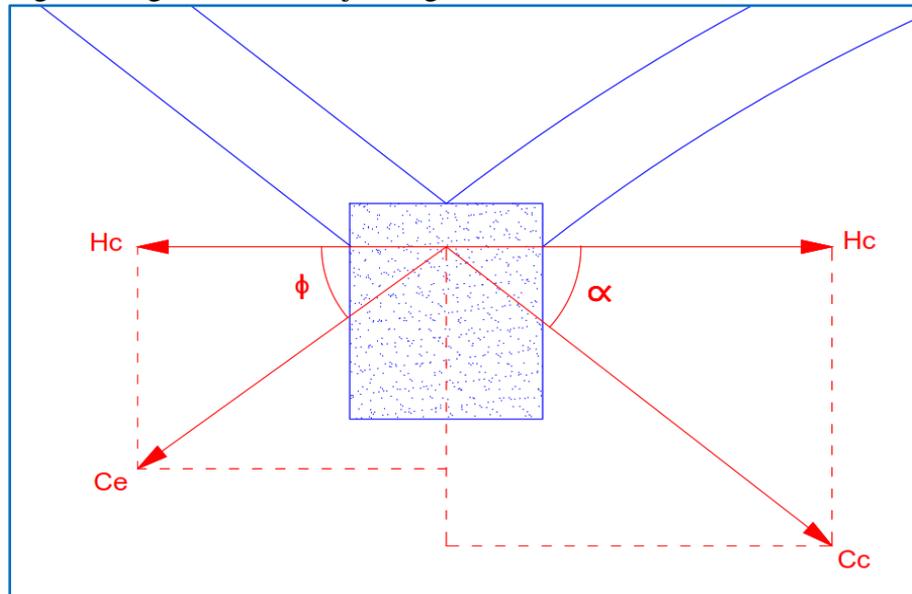
$$\epsilon = 7.17 < 50 \quad \text{OK}$$

i) Diseño de Viga de Fondo

Consideraciones

- La viga de fondo está sometida a cargas de compresión provenientes del fondo cónico y la cúpula de fondo a causa que los esfuerzos NI en los extremos de los elementos en mención, asimismo no son verticales.

Fig. 79: Viga de Fondo bajo Cargas Externas



Fuente. J. Salinas S.

Siendo:

$C_c =$ Compresion del fondo conico

$C_e =$ Compresion del fondo esferico

$H_c = C_c \cdot \cos\alpha$

$H_e = C_e \cdot \cos\phi$

Fuerza Resultante:

$H = H_e - H_c$

La fuerza Horizontal H, origina un esfuerzo P en el anillo (calculado por la teoría de tubos):

$P = H \cdot D/2 = H \cdot 2r_0/2$

$$P = H \cdot r_0$$

$r_0 = \text{radio del anillo}$

Entonces:

$$P = r_0(Ce \cdot \cos\phi - Cc \cdot \cos\alpha)$$

Asimismo:

$$P = (+) \text{ Traccion}$$

$$P = (-) \text{ Compresion}$$

Datos:

$$r_0 = 3.60 \text{ m}$$

$$N_{Ie} = C_e = 13,278.92 \text{ kg/m}$$

$$N_{Ic} = C_c = 22,845.50 \text{ kg/m}$$

$$\phi = 39.71^\circ$$

$$\alpha = 39.80^\circ$$

Fuerza "P" sobre la viga

$$P = 3.6 * (13,278.92 \cos(39.71) - 22,845.50 \cos(39.80))$$

$$P = -26,441.37 \text{ kg (compresion)}$$

Acero de Refuerzo

$$b = 0.5 \text{ m}$$

$$h = 0.6 \text{ m}$$

$$A_c = 50 * 60 = 3,000 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.01 A_c$$

$$A_s = 0.01 * 3000 \text{ m}$$

$$A_s = 30.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con } 11 \phi \frac{3}{4}'' \quad A_s = 31.35 \text{ cm}^2$$

Verificación

$$Pu = 0.70 * 0.80 * (0.85 * 280 * (3000 - 31.35) + 31.35 * 4200)$$

$$Pu = 469,396.87 \text{ kg} > P \quad \text{OK}$$

j) Diseño del Fuste

$$Di = 6.80 \text{ m (diámetro interior del fuste)}$$

$$De = 7.60 \text{ m (diámetro exterior del fuste)}$$

$$Dir = 10.0 \text{ m (diámetro interior del reservorio)}$$

$$Der = 10.5 \text{ m (diámetro exterior del reservorio)}$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma c = 2400 \text{ kg/m}^3$$

Del metrado de cargas:

$$\text{Peso del reservorio} = 204,610.00 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del fuste} = 542,870.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Peso de acabados} = 27,154.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = 774,634.60 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del agua} = 350,000.00 \text{ kg}$$

$$s/c = 9,804.24 \text{ kg}$$

$$L = 359,804.24 \text{ kg}$$

$$Wu = 1.5D + 1.8L \text{ kg,}$$

$$Wu = 1'809,599.52 \text{ kg}$$

Peso Perimetral

$$Pp = P/(\pi(De + Di)/2)$$

$$Pp = 80,004.24 \text{ kg/m}$$

Calculo del Acero Vertical

$$As = Pp/Fs,$$

$$Fs = 0.5fy$$

$$As = 38.10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As \text{ min} = 0.003b.d$$

$$As \text{ min} = 6.93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Usar } As = 38.10 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset = 3/4", \quad \text{Area} = 2.85 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sep} = 14.96 \text{ cm}, \quad S_{\text{max}} = 0.40 \text{ m}$$

Usar 02 anillos de \emptyset 3/4" cada 15 cm

Calculo del Acero Horizontal

$$As \text{ min} = 0.003b.d$$

$$As \text{ min} = 6.93 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset = 1/2",$$

$$\text{Area } \emptyset 1/2" = 1.27 \text{ cm}^2$$

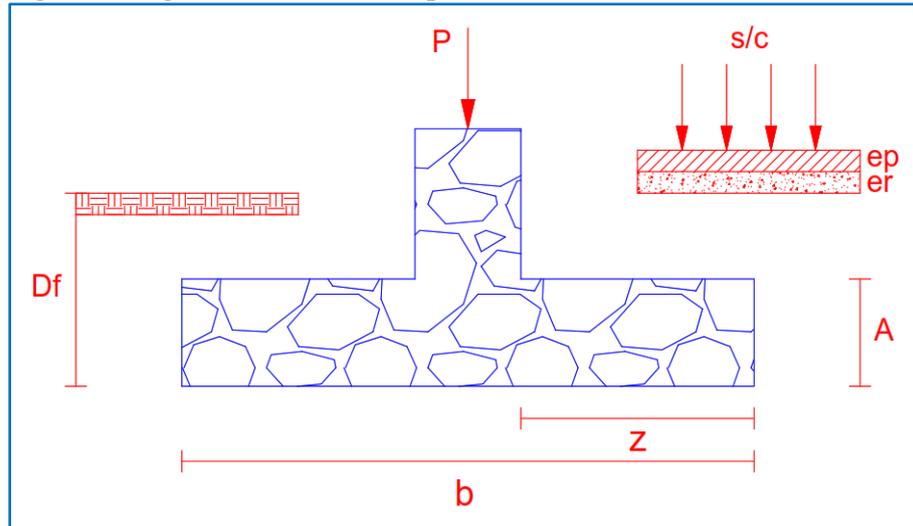
$$\text{Sep} = 36.64 \text{ cm},$$

$$S_{\text{max}} = 0.40 \text{ m}$$

Usar 02 anillos de \emptyset 1/2" cada 30 cm.

k) Diseño de la Zapata de Cimentación

Fig. 80: Carga actuante sobre Zapata



Fuente: Diseño Propio

Datos:

$$D_i = 6.80 \text{ m (diámetro interior del fuste)}$$

$$D_e = 7.60 \text{ m (diámetro exterior del fuste)}$$

$$s/c = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$ep = 0.1 \text{ m}$$

$$er = 0.1 \text{ m}$$

$$\gamma_{ca} = 2.4 \text{ tn/m}^3$$

$$\gamma_{cs} = 2.1 \text{ tn/m}^3$$

$$\gamma_s = 1.8 \text{ tn/m}^3$$

$$\gamma_{sr} = 1.3 \text{ tn/m}^3$$

$$D_f = 5.5 \text{ m}$$

$$\sigma_t = 2.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 1.00 \text{ m}$$

$$P_p = 80.00 \text{ tn/m (sin mayorar)}$$

$$P_{pr} = 2.02 \text{ tn/m}$$

$$P. Aislada = 14.40 \text{ tn/m}$$

$$P_{pu} = 163.91 \text{ tn/m (mayorado)}$$

Dimensionamiento

$$P = 1.25P_p \text{ (considerando el peso propio de la zapata)}$$

$$A = P/\sigma_t \quad b = 482.10 \text{ cm}$$

$$\text{Asumimos: } b = 500 \text{ cm} \quad z = 230 \text{ cm}$$

Calculo de la Altura de Zapata necesaria por Flexión

$$\rho_{min} = 0.0018$$

$$\sigma_u = P_{pu}/(b \cdot 100) = 3.28 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$W_u = \sigma_u \cdot L = 327.83 \text{ kg/cm}$$

$$M_u = \frac{W_u \cdot z^2}{2} = 8'671,070.66 \text{ kg.cm}$$

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{(\phi \cdot b \cdot f_y \cdot \rho(1 - 0.59f_y/f'_c))}} = 82.96 \text{ cm}$$

$$H = d + \frac{f}{2} + r = 90.91 \text{ cm}$$

$$\text{Asumiendo } H = 100 \text{ cm}$$

Calculo de la Altura de Zapata necesaria por Corte

$$V_u = W_u \cdot Z = 75,400.61 \text{ kg}$$

$$\phi V_u = 0.85(0.53\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d) = 270,785.58 \text{ kg}$$

" V_u " menor que " ϕV_u "OK

Acero Principal

$$M_u = W_u \cdot z^2/2 = 8'671,070.70 \text{ kg.cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}, \quad \phi = 0.9$$

$$a = A_s \cdot \frac{f_y}{0.85 f'_c \cdot b}, \quad f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Asumiendo: } a = 0.28 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 27.70 \text{ cm}^2$$

$$a = A_s \cdot \frac{f_y}{0.85 f'_c \cdot b} = 0.26 \text{ cm}$$

$$\mathbf{A_s = 27.70 \text{ cm}^2}$$

$$A_s \text{ min} = 0.0018b \cdot d$$

$$A_s \text{ min} = 14.93 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 5/8",$$

$$\text{Area} = 1.97 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sep} = 13.19 \text{ cm},$$

$$S_{\text{max}} = 0.40 \text{ m}$$

Usar 1 de ϕ 5/8" cada 10 cm

Acero de Repartición

$$A_s \text{ min} = 0.0018b \cdot d = 14.93 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 5/8", \quad \text{Area} = 1.97 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sep} = 9.33 \text{ cm},$$

$$S_{\text{max}} = 0.40 \text{ m}$$

Usar 1 de ϕ 5/8" cada 10 cm

4.2.9 Presupuesto para Construcción del Reservorio Elevado tipo Fuste

A continuación se muestra el presupuesto de la construcción del Reservorio

Elevado tipo Fuste:

a) Presupuesto Reservorio con Sistema de Aislamiento

Cuadro 30: Presupuesto Reservorio con Aisladores

ITEM	DESCRIPCION	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial
01	OBRAS PROVISIONALES				4,859.70
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	1,800.00	1,800.00
01.02	CASETA DE GUARDIANA - ALMACEN PROVISIONAL	glb	1.00	1,800.00	1,800.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA	und	1.00	1,259.70	1,259.70
02	TRABAJOS PRELIMINARES				927.69
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	201.06	2.16	434.29
02.02	TRAZO Y REPLANTEO EN TERRENO CON PENDIENTE	m2	201.06	2.45	493.40
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				57,172.73
03.01	CORTE DE TERRENO EN MATERIAL C/MAQUINARIA	m3	602.70	88.31	53,224.44
03.02	RELLENO MATERIAL PROPIO	m3	123.50	31.97	3,948.30
04	RESERVORIO ELEVADO				734,635.36
04.01	AISLADORES LRB				
04.01.01	AISLADORES LRB E INSTALACION	und	12.00	27,453.82	329,445.84
04.02	CONCRETO CICLOPEO				
04.02.01	CONCRETO CICLOPEO 1:10 + 30% P.G PARA SOLADO (e=10 cm)	m3	11.70	220.41	2,578.80
04.03	CONCRETO ARMADO				
04.03.01	LINTERNA DE ILUMINACION				353.05
04.03.01.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	3.31	61.62	203.96
04.03.01.02	CONCRETO EN LINTERNA Fc = 210 kg/cm2	m3	0.15	344.56	52.03
04.03.01.03	ACERO EN LINTERNA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	27.97	3.47	97.06
04.03.02	LOSA DE CUPULA SUPERIOR				11,919.06
04.03.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	98.09	61.62	6,044.31
04.03.02.02	CONCRETO EN CUPULA SUPERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	9.10	386.32	3,515.51
04.03.02.03	ACERO EN CUPULA SUPERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	679.90	3.47	2,359.24
04.03.03	VIGA DE ANILLO SUPERIOR				6,100.50
04.03.03.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	42.50	61.62	2,618.85
04.03.03.02	CONCRETO EN ANILLO SUPERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	3.95	386.32	1,525.96
04.03.03.03	ACERO EN ANILLO SUPERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	563.60	3.47	1,955.69
04.03.04	PARED CILINDRICA				35,634.33

04.03.04.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	243.00	61.62	14,973.66
04.03.04.02	CONCRETO EN PARED CILINDRICA Fc = 280 kg/cm2	m3	27.85	386.32	10,759.01
04.03.04.03	ACERO EN PARED CILINDRICA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	2,853.50	3.47	9,901.66
04.03.05	VIGA DE ANILLO INFERIOR				10,043.78
04.03.05.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	56.76	61.62	3,497.55
04.03.05.02	CONCRETO EN ANILLO INFERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	8.39	386.32	3,241.22
04.03.05.03	ACERO EN ANILLO INFERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	952.45	3.47	3,305.01
04.03.06	FONDO CONICO				23,202.11
04.03.06.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	112.22	61.62	6,915.00
04.03.06.02	CONCRETO EN FONDO CONICO Fc = 280 kg/cm2	m3	14.03	386.32	5,420.07
04.03.06.03	ACERO EN FONDO CONICO Fy = 4200 Kg/cm2	kg	3,131.71	3.47	10,867.04
04.03.07	LOSA DE CUPULA INFERIOR				14,338.70
04.03.07.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	54.72	61.62	3,371.85
04.03.07.02	CONCRETO EN CUPULA INFERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	11.52	386.32	4,450.41
04.03.07.03	ACERO EN CUPULA INFERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	1,877.94	3.47	6,516.45
04.03.08	CHIMENEA				6,729.96
04.03.08.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	54.00	61.62	3,327.48
04.03.08.02	CONCRETO EN CHIMENEA Fc = 280 kg/cm2	m3	4.45	386.32	1,719.12
04.03.08.03	ACERO EN CHIMENEA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	485.12	3.47	1,683.36
04.03.09	VIGA CIRCULAR DE FONDO				8,030.48
04.03.09.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	35.26	61.62	2,172.72
04.03.09.02	CONCRETO EN VIGA DE FONDO Fc = 280 kg/cm2	m3	6.79	386.32	2,623.11
04.03.09.03	ACERO EN VIGA DE FONDO Fy = 4200 Kg/cm2	kg	932.18	3.47	3,234.65
04.03.10	FUSTE CILINDRICO				211,677.49
04.03.10.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	626.70	61.62	38,617.25
04.03.10.02	CONCRETO EN FUSTE Fc = 210 kg/cm2	m3	226.19	344.56	77,936.03
04.03.10.03	ACERO EN FUSTE Fy = 4200 Kg/cm2	kg	27,413.32	3.47	95,124.21
04.03.11	PEDESTAL DE AISLADORES				19,166.88
04.03.11.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	44.16	61.62	2,721.14
04.03.11.02	CONCRETO EN PEDESTAL Fc = 210 kg/cm2	m3	19.00	344.56	6,546.64
04.03.11.03	ACERO EN PEDESTAL Fy = 4200 Kg/cm2	kg	2,852.77	3.47	9,899.10
04.03.12	ZAPATA				55,414.38
04.03.12.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL - ZAPATA	m2	77.28	61.12	4,723.35
04.03.12.02	CONCRETO EN ZAPATA Fc = 210 kg/cm2	m3	116.90	344.56	40,279.06
04.03.12.03	ACERO EN ZAPATA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	2,769.07	3.47	9,608.66
04.03.12.04	JUNTA DE DILATAACION DE TECNOPOR (e = 1")	m2	46.22	17.38	803.30
05	VARIOS				2,716.72
05.01	TUB PVC SAP 4"	m	52.40	22.10	1,158.04

05.02	BARANDA DE SEGURIDAD C/MADERA EUCALIPTO (3" Diámetro)	m	45.35	34.37	1,558.68
	COSTO DIRECTO				800,312.20
	GASTOS GENERALES				80,031.22
	SUB TOTAL				880,343.43
	I.G.V. 18%				158,461.82
	TOTAL PRESUPUESTO				1,038,805.24
	SON: UN MILLON TREINTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS CINCO CON 24/100 SOLES				

Fuente: Diseño Propio

b) Presupuesto Reservoirio de Tipo Convencional (Sin Aislamiento)

Cuadro 31: Presupuesto Reservoirio Convencional

ITEM	DESCRIPCION	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial
01	OBRAS PROVISIONALES				4,859.70
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	1,800.00	1,800.00
01.02	CASETA DE GUARDIANA - ALMACEN PROVISIONAL	glb	1.00	1,800.00	1,800.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA	und	1.00	1,259.70	1,259.70
02	TRABAJOS PRELIMINARES				927.69
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	201.06	2.16	434.29
02.02	TRAZO Y REPLANTEO EN TERRENO CON PENDIENTE	m2	201.06	2.45	493.40
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				57,172.73
03.01	CORTE DE TERRENO EN MATERIAL C/MAQUINARIA	m3	602.70	88.31	53,224.44
03.02	RELLENO MATERIAL PROPIO	m3	123.50	31.97	3,948.30
04	RESERVIORIO ELEVADO				386,022.64
04.02	CONCRETO CICLOPEO				
04.02.01	CONCRETO CICLOPEO 1:10 + 30% P.G PARA SOLADO (e=10 cm)	m3	11.70	220.41	2,578.80
04.03	CONCRETO ARMADO				
04.03.01	LINTERNA DE ILUMINACION				353.05
04.03.01.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	3.31	61.62	203.96
04.03.01.02	CONCRETO EN LINTERNA Fc = 210 kg/cm2	m3	0.15	344.56	52.03
04.03.01.03	ACERO EN LINTERNA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	27.97	3.47	97.06
04.03.02	LOSA DE CUPULA SUPERIOR				11,919.06
04.03.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	98.09	61.62	6,044.31
04.03.02.02	CONCRETO EN CUPULA SUPERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	9.10	386.32	3,515.51
04.03.02.03	ACERO EN CUPULA SUPERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	679.90	3.47	2,359.24
04.03.03	VIGA DE ANILLO SUPERIOR				6,100.50
04.03.03.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	42.50	61.62	2,618.85

04.03.03.02	CONCRETO EN ANILLO SUPERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	3.95	386.32	1,525.96
04.03.03.03	ACERO EN ANILLO SUPERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	563.60	3.47	1,955.69
04.03.04	PARED CILINDRICA				35,634.33
04.03.04.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	243.00	61.62	14,973.66
04.03.04.02	CONCRETO EN PARED CILINDRICA Fc = 280 kg/cm2	m3	27.85	386.32	10,759.01
04.03.04.03	ACERO EN PARED CILINDRICA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	2,853.50	3.47	9,901.66
04.03.05	VIGA DE ANILLO INFERIOR				10,043.78
04.03.05.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	56.76	61.62	3,497.55
04.03.05.02	CONCRETO EN ANILLO INFERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	8.39	386.32	3,241.22
04.03.05.03	ACERO EN ANILLO INFERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	952.45	3.47	3,305.01
04.03.06	FONDO CONICO				23,202.11
04.03.06.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	112.22	61.62	6,915.00
04.03.06.02	CONCRETO EN FONDO CONICO Fc = 280 kg/cm2	m3	14.03	386.32	5,420.07
04.03.06.03	ACERO EN FONDO CONICO Fy = 4200 Kg/cm2	kg	3,131.71	3.47	10,867.04
04.03.07	LOSA DE CUPULA INFERIOR				14,338.70
04.03.07.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	54.72	61.62	3,371.85
04.03.07.02	CONCRETO EN CUPULA INFERIOR Fc = 280 kg/cm2	m3	11.52	386.32	4,450.41
04.03.07.03	ACERO EN CUPULA INFERIOR Fy = 4200 Kg/cm2	kg	1,877.94	3.47	6,516.45
04.03.08	CHIMENEA				6,729.96
04.03.08.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	54.00	61.62	3,327.48
04.03.08.02	CONCRETO EN CHIMENEA Fc = 280 kg/cm2	m3	4.45	386.32	1,719.12
04.03.08.03	ACERO EN CHIMENEA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	485.12	3.47	1,683.36
04.03.09	VIGA CIRCULAR DE FONDO				8,030.48
04.03.09.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	35.26	61.62	2,172.72
04.03.09.02	CONCRETO EN VIGA DE FONDO Fc = 280 kg/cm2	m3	6.79	386.32	2,623.11
04.03.09.03	ACERO EN VIGA DE FONDO Fy = 4200 Kg/cm2	kg	932.18	3.47	3,234.65
04.03.10	FUSTE CILINDRICO				211,677.49
04.03.10.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	626.70	61.62	38,617.25
04.03.10.02	CONCRETO EN FUSTE Fc = 210 kg/cm2	m3	226.19	344.56	77,936.03
04.03.10.03	ACERO EN FUSTE Fy = 4200 Kg/cm2	kg	27,413.32	3.47	95,124.21
04.03.12	ZAPATA				55,414.38
04.03.12.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL - ZAPATA	m2	77.28	61.12	4,723.35
04.03.12.02	CONCRETO EN ZAPATA Fc = 210 kg/cm2	m3	116.90	344.56	40,279.06
04.03.12.03	ACERO EN ZAPATA Fy = 4200 Kg/cm2	kg	2,769.07	3.47	9,608.66
04.03.12.04	JUNTA DE DILATACION DE TECNOPOR (e = 1")	m2	46.22	17.38	803.30
05	VARIOS				2,716.72
05.01	TUB PVC SAP 4"	m	52.40	22.10	1,158.04
05.02	BARANDA DE SEGURIDAD C/MADERA EUCALIPTO (3" Diametro)	m	45.35	34.37	1,558.68

	COSTO DIRECTO				451,699.49
	GASTOS GENERALES				45,169.95
	SUB TOTAL				496,869.44
	I.G.V. 18%				89,436.50
	TOTAL PRESUPUESTO				586,305.93
	SON: QUINIENTOS OCHENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCO CON 93/100 SOLES				

Fuente: Diseño Propio

De los cuadros anteriores se resume que:

- El presupuesto de Inversión del Reservorio elevado con sistema de aislamiento es mayor al del tipo convencional debido a que el primero utiliza aisladores sísmicos lo que eleva el costo de inversión.
- El alto costo de inversión del Reservorio elevado con sistema de aislamiento es favorable en el tiempo, esto debido a que frente a un evento sísmico severo, el de tipo convencional sufre daños considerables pudiendo llegar al colapso causando pérdidas materiales y posiblemente pérdida de vidas, esto trae como consecuencia la interrupción del servicio de dotación de agua a la población, así también se tiene que reconstruir y/o construir nuevamente el reservorio de tipo convencional, lo cual significa un nuevo monto de inversión, por el contrario el reservorio con sistema de aislamiento prácticamente se mantiene sin daños estructurales y sigue brindando el servicio de dotación de agua a la población y que es de vital importancia luego de sucedido el evento sísmico.

4.3 Prueba de Hipótesis

Al haberse diseñado y evaluado el reservorio de 350 m³ tipo fuste con aisladores sísmicos, se obtuvo los resultados siguientes:

a) Desplazamientos

Cuadro 32: Desplazamientos

DESPLAZAMIENTO EN ALTURA			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m)	ESTRUCTURA AISLADA (m)
1	2.5	0.0069	0.2531
2	7.5	0.0305	0.2595
3	12.5	0.0713	0.2675
4	17.5	0.1253	0.2768
5	22.5	0.1894	0.2870
RESERV	27.86	0.2775	0.2996

Fuente: Diseño Propio

Se observa que el desplazamiento del reservorio es tomado en su totalidad por los aisladores sísmicos instalados en la base del mismo.

b) Derivas

Cuadro 33: Derivas de los Componentes del Reservorio

DERIVAS			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m)	ESTRUCTURA AISLADA (m)
1	2.5	0.00276	0.00116
2	7.5	0.00472	0.00128
3	12.5	0.00816	0.00160
4	17.5	0.01080	0.00186
5	22.5	0.01282	0.00204
RESERV	27.86	0.01644	0.00235

Fuente: Diseño Propio

El cuadro anterior nos indica que la deriva a diferentes niveles de altura del reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos, cumple lo que indica la norma E.030:

“*Deriva Máxima = 0.007*”, para estructuras de concreto armado.

c) Fuerza Cortante

Cuadro 34: Distribución de Fuerza Cortante en Altura

CORTANTES			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (Tn)	ESTRUCTURA AISLADA (Tn)
RESERV	27.86	352.84	233.57
5	22.5	382.56	258.69
4	17.5	386.93	263.40
3	12.5	389.79	267.91
2	7.5	391.36	272.37
1	2.5	391.97	276.94

Fuente: Diseño Propio

El cuadro 34 nos indica que la distribución de fuerzas cortantes en altura, del reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos, es menor debido a que parte de la fuerza cortante es amortiguada por los aisladores sísmicos.

d) Aceleraciones

Cuadro 35: Aceleraciones en Altura

ACELERACIONES EN ALTURA			
COMPONENTE	ALTURA (m)	ESTRUCTURA EMPOTRADA (m/s ²)	ESTRUCTURA AISLADA (m/s ²)
BASE	0.0	0.00	1.488
1	2.5	0.18129	1.44979
2	7.5	0.69902	1.34123
3	12.5	1.41543	1.20156
4	17.5	2.18896	1.04255
5	22.5	2.89751	0.88509
RESERV	27.86	3.27562	0.75062

Fuente: Diseño Propio

Las aceleraciones a diferentes niveles de altura del reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos es uniforme, en comparación con el reservorio tipo fuste de base empotrada.

Asimismo al haberse conocido los requerimientos mínimos de diseño de un reservorio tipo fuste con aisladores sísmicos, tales como:

- Periodo Objetivo: $T_{obj} = 2.5 \text{ seg}$
- Amortiguamiento Efectivo: 17%

- Desplazamiento de Diseño: 0.3747 m
- Rigidez: $KD_{min} = 756.83\text{ Tn/m}$ $KD_{max} = 832.51\text{ Tn/m}$

Se logró mejorar el comportamiento estructural del reservorio ante eventos sísmicos.

Al aplicar la Norma de Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquidos (ACI 350.3-01), se logró conocer que la masa convectiva y masa impulsiva del agua contenida en el reservorio presentan un comportamiento uniforme con el uso del aislador sísmico lo cual mejora su respuesta ante movimientos sísmicos, presentando menor aceleración del conjunto Fluido - Estructura.

Se realizó la verificación de los resultados obtenidos mediante el programa de modelación estructural SAP2000, en el cual al compararse los desplazamientos del sismo de diseño con los sismos de gran intensidad ocurridos en el Perú, se verifico que el desplazamiento del reservorio tipo fuste, presenta un margen de seguridad con el uso de aisladores sísmicos.

Cuadro 36: Desplazamientos del Análisis Tiempo - Historia

DESPLAZAMIENTO					
ALTURA (m)	SISMO DE DISEÑO	SISMO MAXIMO	LIMA 1974	LIMA 1966	HUARAZ 1970
0.0	0.2502	0.3753	0.1389	0.1515	0.1645
2.5	0.2531	0.3797	0.1407	0.1532	0.1665
7.5	0.2595	0.3893	0.1450	0.1571	0.1709
12.5	0.2675	0.4013	0.1504	0.1619	0.1764
17.5	0.2768	0.4152	0.1567	0.1675	0.1827
22.5	0.2870	0.4304	0.1636	0.1736	0.1897
27.86	0.2996	0.4494	0.1725	0.1812	0.1984

Fuente. Diseño Propio

Según los resultados indicados se comprueba la afirmación de la hipótesis planteada, por lo tanto se mejora el comportamiento estructural del reservorio elevado tipo fuste con aisladores sísmicos, ante eventos sísmicos.

4.4 Discusión de Resultados

Según los resultados obtenidos, se encontró que la utilización de aisladores sísmicos en estructuras esenciales es de suma importancia debido a que estas estructuras deben seguir en funcionamiento luego de ocurrido un sismo severo y que de acuerdo a los antecedentes de sismos de gran intensidad ocurridos en el Perú es necesario el uso de estos dispositivos para evitar pérdidas materiales y de vidas humanas durante eventos sísmicos de gran intensidad.

El uso de aisladores sísmicos en el reservorio elevado tipo fuste ha contribuido en aumentar el desplazamiento del reservorio evitando daños en su estructura, asimismo la deriva es uniforme por lo que se disminuye la diferencia de distorsión de los niveles del reservorio, a la vez que la fuerza cortante que se produce durante un evento sísmico disminuye en un 63.35 % de 425.65 tn de la estructura empotrada a 155.98 tn en la estructura con aisladores sísmicos.

En base a los resultados obtenidos se ha logrado el objetivo de mejorar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos del reservorio de 350 m³ tipo fuste con el uso aisladores sísmicos.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los análisis realizados al reservorio elevado tipo Fuste con aisladores sísmicos en su base, según lo indicado en la norma E. 030 y ASCE 07-2010, se ha obtenido resultados favorables en el uso de aisladores con núcleo de plomo (LRB). Los aisladores LRB tiene un diámetro de 0.90 m y el núcleo de plomo posee un diámetro de 0.14m.
2. Según los Análisis Estático y Modal Espectral, el desplazamiento de los niveles del reservorio presenta un comportamiento uniforme, variando solo en un 15.52 % del desplazamiento del primer nivel con respecto al último nivel.
3. Las fuerzas cortantes en la estructura aislada representa en promedio el 36.65 % de las fuerzas cortantes producidas en la estructura con base fija, lo que indica una reducción del 63.35 % en la cortante basal.
4. La deriva máxima de la estructura aislada es de 0.00235 y la de base fija presenta una deriva de 0.01644, lo que indica una reducción del 85.7% de la deriva con respecto a la estructura de base fija.
5. La aceleración de la estructura aislada presenta un comportamiento uniforme, que varía de 1.49 m/s² en el primer nivel a 0.75 m/s² en el último nivel, lo que indica una reducción del 54.57% con respecto a la estructura de base fija.

6. En el análisis Tiempo – Historia y de acuerdo a lo indicado en el numeral 4.4 de la Norma E. 030, se verifica que el desplazamiento de diseño del sistema aislado cubre los máximos desplazamientos obtenidos de cada registro sísmico utilizado en el análisis dinámico Tiempo – Historia.

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (m)			
SISMO DE DISEÑO	LIMA 1974	LIMA 1966	HUARAZ 1970
0.2996	0.1725	0.1812	0.1984

7. El uso de aisladores sísmicos de base en el reservorio tipo fuste y otras estructuras esenciales, es de primordial importancia debido a que reduce notablemente los daños causados por eventos sísmicos severos, lo que permite su operatividad luego de ocurrido el sismo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda usar solo máximo dos tipos de aisladores para esta clase de estructuras, con capacidades de recentrado similares para evitar que los desplazamientos residuales alteren la capacidad de servicio de la estructura.
2. Es recomendable que el periodo objetivo del sistema aislado se encuentre en el rango de 2 a 5 seg, para que la operatividad del sistema aislado sea lo más eficiente posible.
3. Se recomienda que los aisladores sísmicos aparte de proporcionar suficiente flexibilidad tengan la rigidez necesaria para evitar efectos de torsión frente a eventos sísmicos.
4. A falta de normatividad en el reglamento nacional de edificaciones referente al diseño de estructuras con aislamiento sísmico, se recomienda seguir los lineamientos y consideraciones que se indican en la Norma ASCE 07 – 2010 y adaptarlo lo más posible a nuestra realidad.
5. Se recomienda analizar el efecto de los límites de variación de las propiedades de los diferentes tipos de aisladores en el comportamiento de la interfaz estructura – sistema aislado

BIBLIOGRAFIA

- Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01), American Concrete Institute, 2001.
- American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE Standard ASCE/SEI 7-10. Reston, Virginia 2010.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318S-14) American Concrete Institute, 2014.
- Housner GW, Earthquake Pressures on Fluid Containers. California, 1954
- Housner GW, Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of Seismological Society of America, 1957.
- Housner GW, Dynamic Behavior of Water Tanks. Bulletin of Seismological Society of America, Institute of Technology. Pasadena, CA, USA, 1963.
- Federal Emergency Management Agency – FEMA, “FEMA P-1050-1 – NEHRP, Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Washington D.C. United States of America, 2015.
- Aguiar R., Almazán J., Dechent P., Suarez V. “Aisladores de Base Elastoméricos y FPS”, Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejército, Quito - Ecuador, 2016.
- Uniform Building Code UBC–Chapter 16. División IV – Earthquake Regulations for Seismic - Isolated Structures, 1997.
- Korswagen P., Arias J., Huaranga P., “Análisis y Diseño de Estructuras con Aisladores Sísmicos en el Perú”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú, 2012.

- Morales L., Contreras J, “Protección de una Edificación Existente con Disipadores de Energía”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
- Ruiz P., “Análisis y Diseño de Edificios con Aisladores Sísmicos de Péndulo Friccional Doble y Triple”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- Arriagada J. “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)”, Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile, 2005.
- Bonilla L. “Teoría del Aislamiento Sísmico para Edificaciones”, Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM, 2013.
- Lema E., “Análisis y Diseño de un Edificio con Aisladores Sísmicos, Modelamiento en el Etabs”, Universidad Central del Ecuador, Quito – Ecuador, 2013.
- Hernández H., “Comportamiento Sísmico de Edificios Aislados en la Base en Distintas Etapas del Proceso Constructivo”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 2016.
- Salinas J., “Análisis y Diseño Sísmico Resistente de un Reservorio Elevado con Estructura Cilíndrica de Soporte”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 1996.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones.

ANEXOS



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Isolator Engineering Properties

Metric Units

DEVICE SIZE				MOUNTING PLATE DIMENSIONS					
Isolator Diameter, D_1 (mm)	Isolator Height, H (mm)	Number of Rubber Layers, N	Lead Diameter D_L (mm)	L (mm)	t (mm)	Hole Qty.	Hole ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

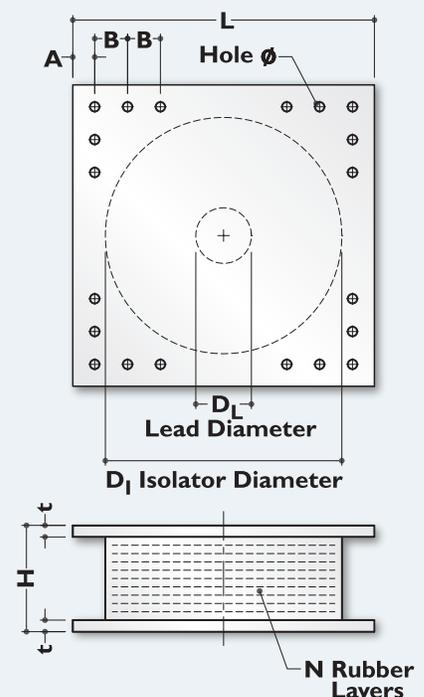
(1) The axial load capacities provided correspond to maximum displacements based on design limits of 250% rubber shear strain or 2/3 the isolator diameter. An isolator's actual displacement and load capacity are dependent on the rubber modulus and number of rubber layers.

(2) Rubber Shear Moduli (G) are available from 0.38 N/mm² to 0.70 N/mm².

(3) Elastic Stiffness (Ke) for analytical modeling may be taken as 10-times the yielded stiffness (Kd).

(4) Kd range shown in table is typical for most projects. If needed for specific projects, Kd values up to three times the maximum shown in the range can be achieved by limiting the displacement capacity to 2/3 of the shown value.

Isolator Diameter, D_1 (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D_{max} (mm)	Axial Load Capacity P_{max} (kN)
	Yielded Stiffness, K_d (kN/mm)	Characteristic Strength Q_d (kN)	Compression Stiffness, K_v (kN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.3-0.7	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-0.7	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-0.9	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-1.1	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-1.4	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-1.6	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-1.8	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-1.9	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-2.0	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-2.0	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-2.1	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-2.1	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-2.3	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-2.5	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-2.5	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-2.5	0-1,025	>6,500	910	40,000





DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Isolator Engineering Properties

U. S. Units

DEVICE SIZE				MOUNTING PLATE DIMENSIONS					
Isolator Diameter, D_1 (in)	Isolator Height, H (in)	Number of Rubber Layers, N	Lead Diameter D_L (in)	L (in)	t (in)	Hole Qty.	Hole ϕ (in)	A (in)	B (in)
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2	-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5

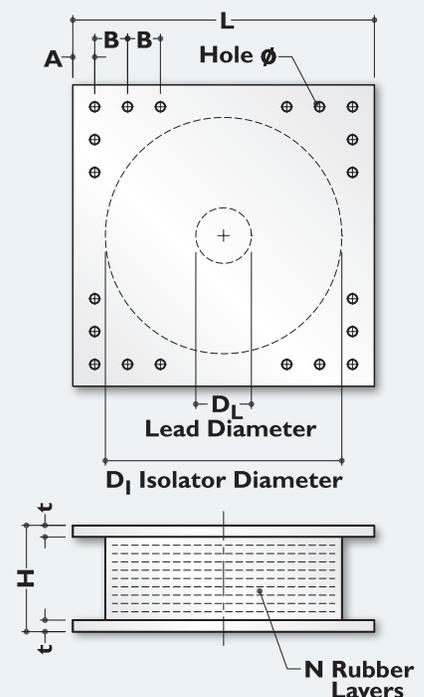
(1) The axial load capacities provided correspond to maximum displacements based on design limits of 250% rubber shear strain or 2/3 the isolator diameter. An isolator's actual displacement and load capacity are dependent on the rubber modulus and number of rubber layers.

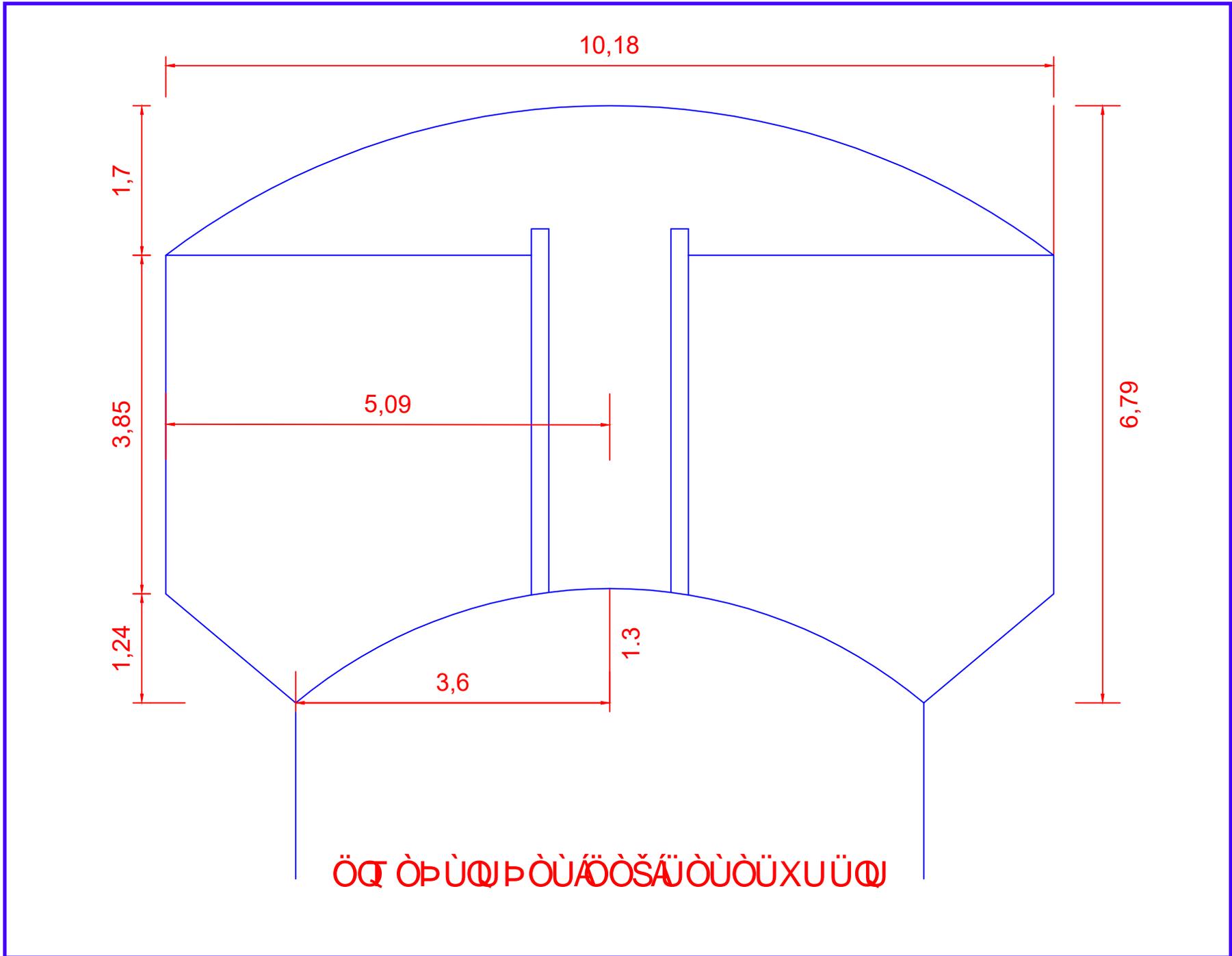
(2) Rubber Shear Moduli (G) are available from 55 psi to 100 psi.

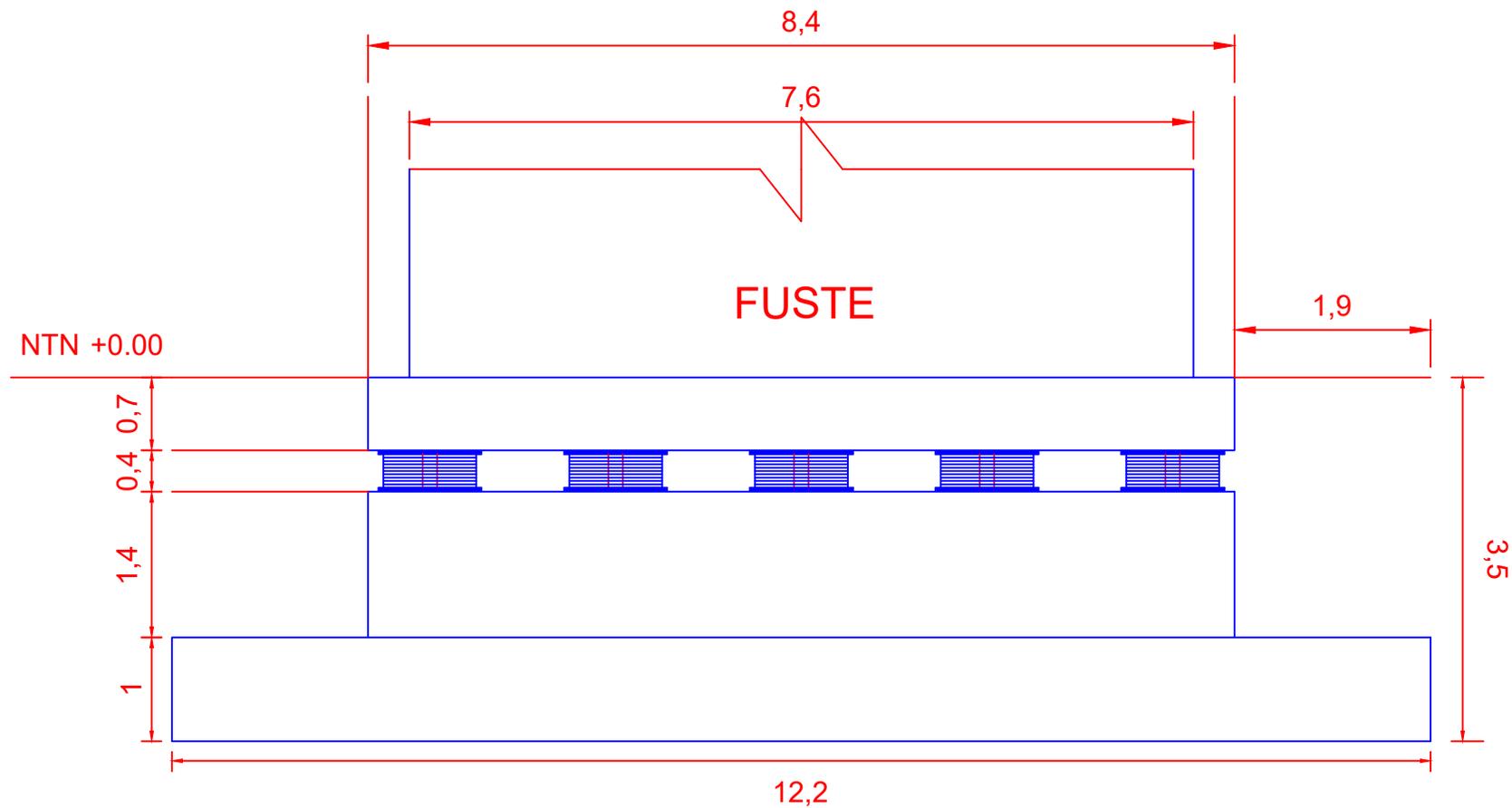
(3) Elastic Stiffness (K_e) for analytical modeling may be taken as 10-times the yielded stiffness (K_d).

(4) K_d range shown in table is typical for most projects. If needed for specific projects, K_d values up to three times the maximum shown in the range can be achieved by limiting the displacement capacity to 2/3 of the shown value.

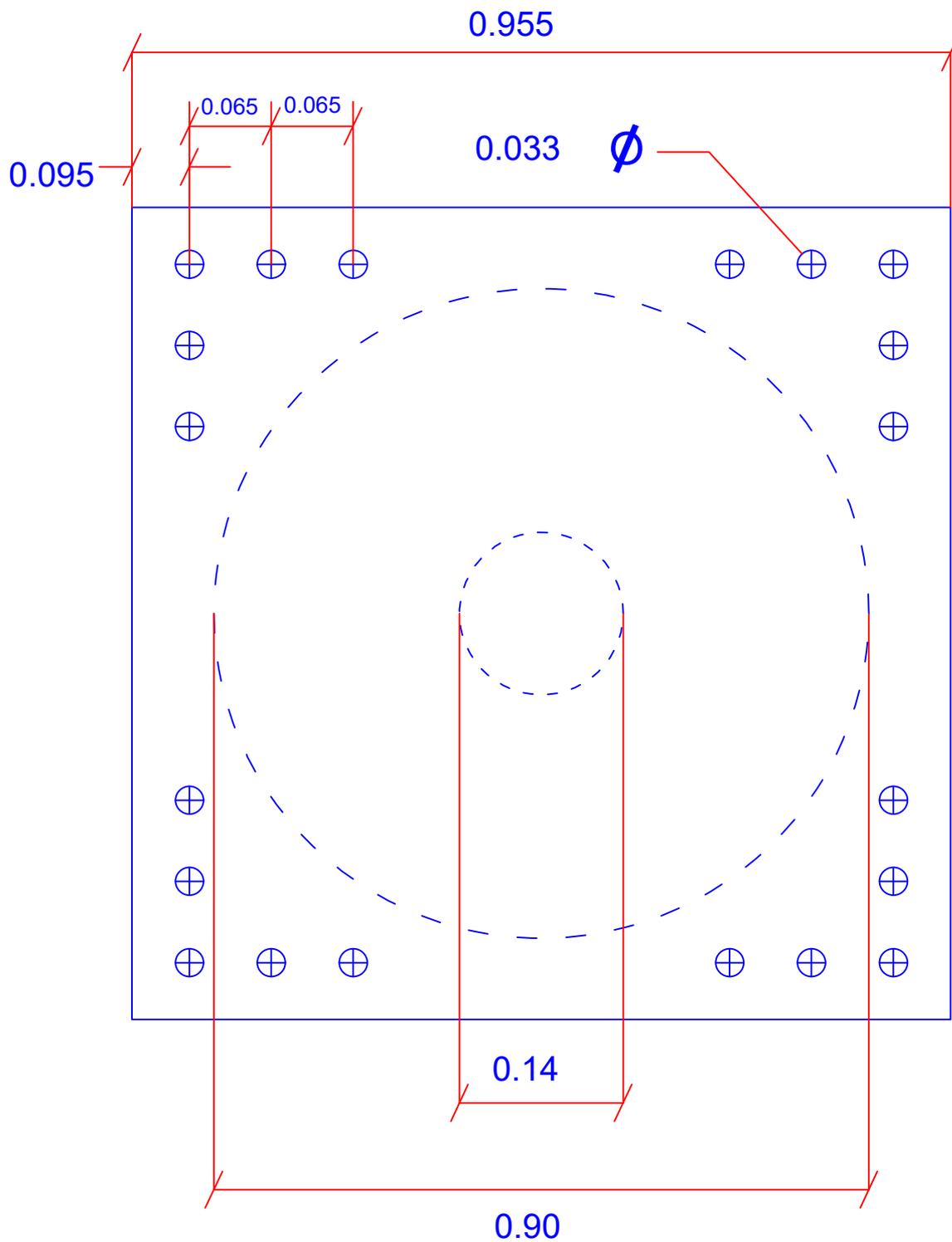
Isolator Diameter, D_1 (in)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D_{max} (in)	Axial Load Capacity, P_{max} (kips)
	Yielded Stiffness, K_d (k/in)	Characteristic Strength, Q_d (kips)	Compression Stiffness, K_v (k/in)		
12.0	1-2	0-15	>250	6	100
14.0	1-2	0-15	>500	6	150
16.0	2-3	0-25	>500	8	200
18.0	2-4	0-25	>500	10	250
20.5	2-4	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-5	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-6	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-8	0-50	>4,500	18	700
29.5	4-9	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-9	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-10	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-11	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-12	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-12	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-12	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-12	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-13	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-14	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-14	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-14	0-230	>37,000	36	9,000



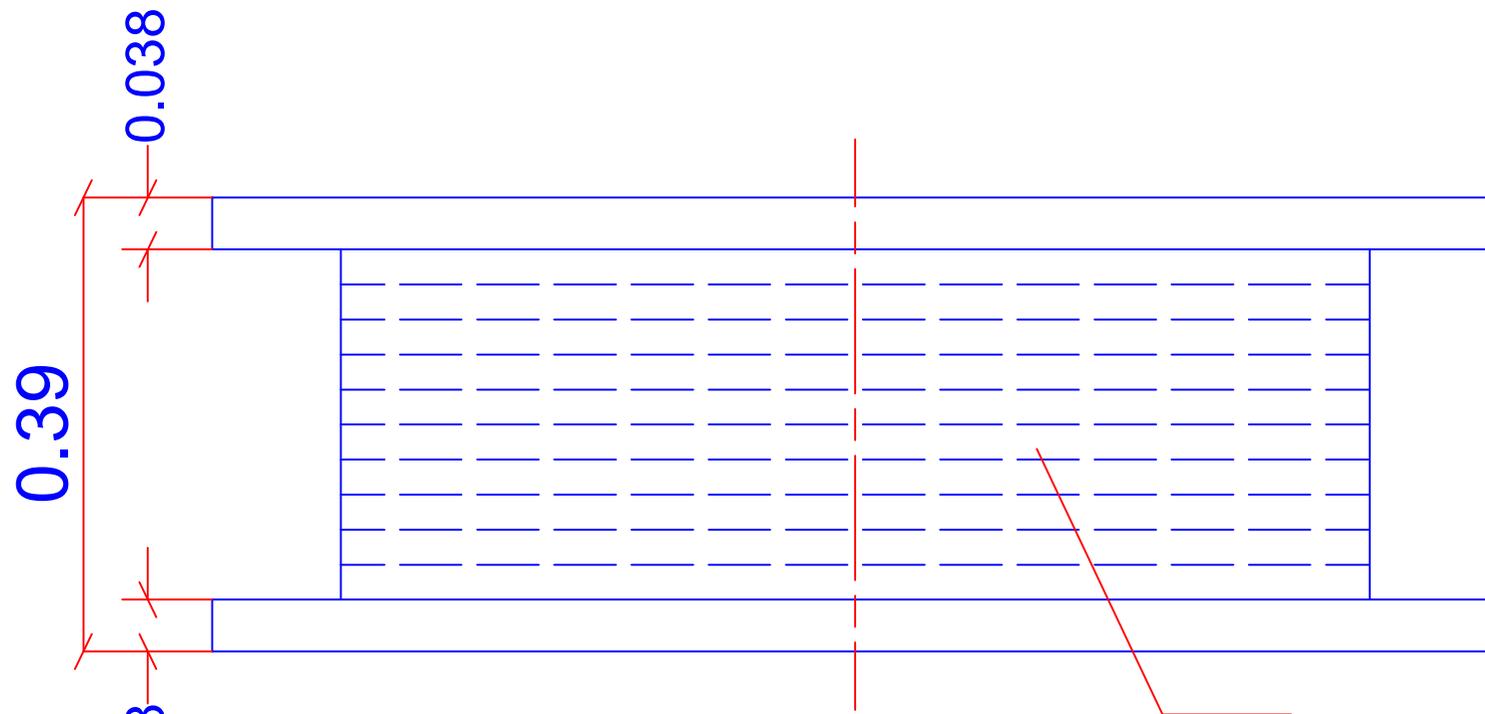




ZAPATA ELEVACION

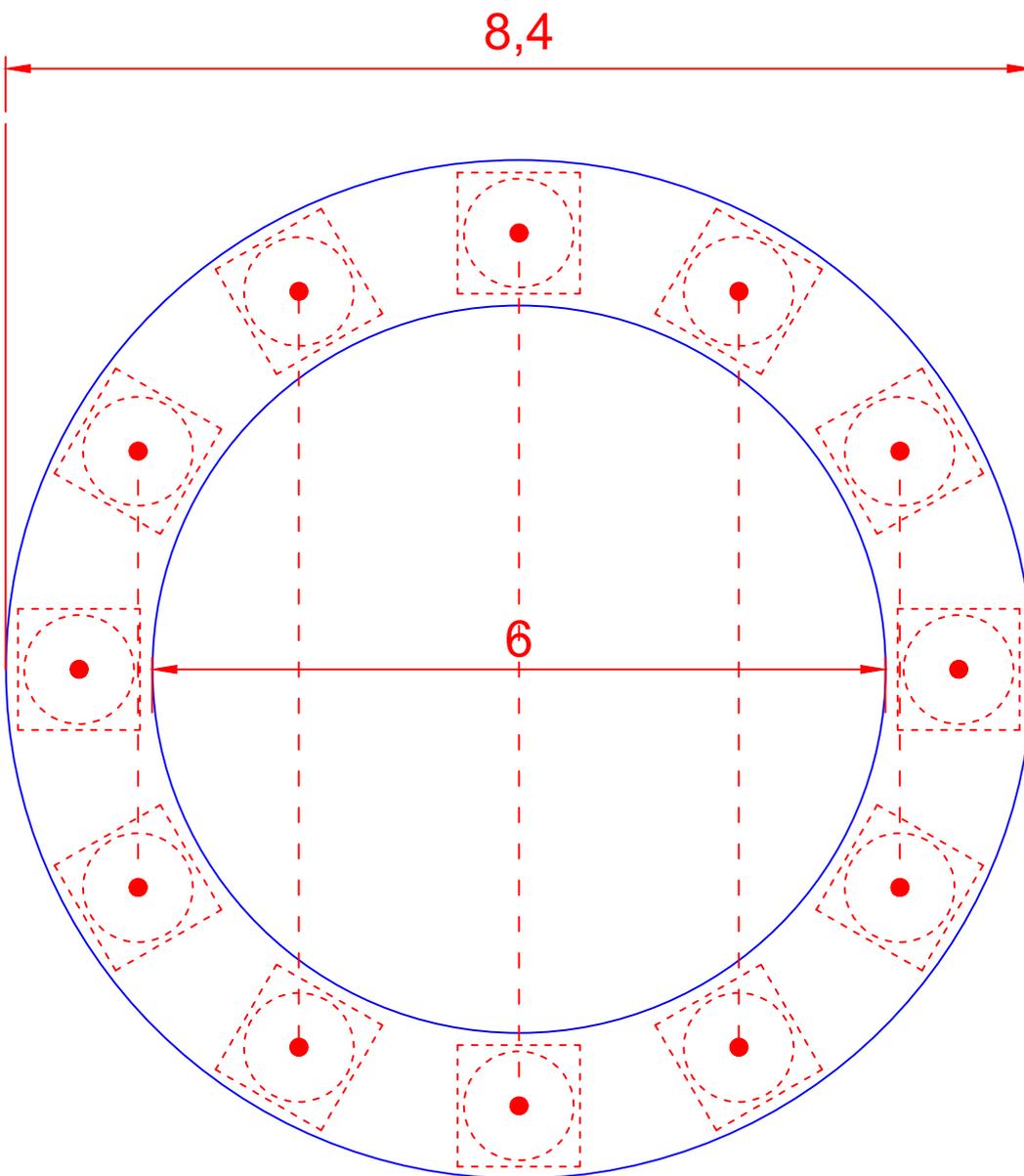


010 ŠOĚÖU Ü ĀŠÜ Ó ĀŮ ŠOĚ VOĚ



26, Capas de Caucho

000Š000UÜÄŠÜÓÄÖÜUÞVOŠ



AISLADORES LRB - PLANTA