



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

RESPUESTA SÍSMICA DEL MODELO DINÁMICO DE
HOUSNER UTILIZANDO LOS PARÁMETROS DE LA NORMA
E.030 PARA EL ANÁLISIS DEL TANQUE IMHOFF DE
HUAMBOY, LIMA 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Yonathan Smith Tiliria Mory

Asesor:

MBA. Ing. Alejandro Vildoso Flores

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

Con mucho amor, a mi madre Filomena, mi padre Ceferino, mis hermanos y familiares por confiar en mí, además que se encuentran felices por cada uno de mis logros y éxitos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a mis padres por guiarme, apoyarme con mucho amor y confianza, y
compartir conmigo cada alegría por mis logros y éxitos.

A mis hermanos y familiares por su cariño, apoyo y confianza brindada.

Y al Dr. Ing. Omart Tello, por su apoyo incondicional en el desarrollo durante mi etapa
universitaria, profesional y personal.

Tabla de contenidos

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema	46
1.2.1. Pregunta general	46
1.2.2. Problemas específicos.....	46
1.2.2.1. Problema específico 1	46
1.2.2.2. Problema específico 2	46
1.2.2.3. Problema específico 3	46
1.3. Objetivos	49
1.3.1. Objetivo general.....	49
1.3.2. Objetivos específicos	49
1.3.2.1. Objetivo específico 1.....	49
1.3.2.2. Objetivo específico 2.....	49
1.3.2.3. Objetivo específico 3.....	49
1.4. Hipótesis	49
1.4.1. Hipótesis General.....	49
1.4.2. Hipótesis Específicos	50
1.4.2.1. Hipótesis específica 1	50

1.4.2.2. Hipótesis específica 2	50
1.4.2.3. Hipótesis específica 3	50
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	51
2.1. Tipo de investigación	51
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	52
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	55
2.4. Procedimiento	57
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	97
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	111
4.1. Discusión	111
4.2. Conclusiones y recomendaciones.....	112
4.2.1. Conclusiones	112
4.2.2. Recomendaciones	113
REFERENCIAS.....	116
ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	24
Tabla 2.....	25
Tabla 3.....	25
Tabla 4.....	26
Tabla 5.....	43
Tabla 6.....	55
Tabla 7.....	62
Tabla 9.....	78
Tabla 10.....	102
Tabla 11.....	102
Tabla 12.....	107
Tabla 13.....	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Peso impulsivo	29
<i>Ecuación 2.</i> Peso convectivo	29
<i>Ecuación 3.</i> Altura impulsiva Excluyendo la Presión en la Base.....	29
<i>Ecuación 4.</i> Altura impulsiva Excluyendo la Presión en la Base.....	29
<i>Ecuación 5.</i> Altura convectiva Excluyendo la Presión en la Base	30
<i>Ecuación 6.</i> Altura impulsiva Incluyendo la Presión en la Base.....	30
<i>Ecuación 7.</i> Altura impulsiva Incluyendo la Presión en la Base.....	30
<i>Ecuación 8.</i> Altura convectiva Incluyendo la Presión en la Base	31
<i>Ecuación 9.</i> Frecuencia angular del modo impulsivo de vibración.....	31
<i>Ecuación 10.</i> Masa total por unidad de ancho de una pared rectangular	31
<i>Ecuación 11.</i> Periodo fundamental de vibración del tanque (más el componente impulsivo del contenido).....	31
<i>Ecuación 12.</i> Masa por unidad de ancho de un tanque rectangular pared	32
<i>Ecuación 13.</i> Masa impulsiva de líquido contenido por unidad ancho de una pared rectangular del tanque	32
<i>Ecuación 14.</i> Valor que se emplea en la Ecuación 12	33
<i>Ecuación 15.</i> Valor que se emplea en la Ecuación 13	33
<i>Ecuación 16.</i> Altura sobre la base de la pared del centro de gravedad de la fuerza sísmica horizontal convectiva o impulsiva	33
<i>Ecuación 17.</i> Deflexión de una viga en voladizo	34
<i>Ecuación 18.</i> Inercia de una sección rectangular.....	34
<i>Ecuación 19.</i> Inercia de una sección rectangular de un ancho unitario	34

<i>Ecuación 20.</i> Rigidez para una viga simplemente reforzada para un ancho unitario	35
<i>Ecuación 21.</i> Frecuencia angular convectivo del primer modo de chapoteo	35
<i>Ecuación 22.</i> Valor que se emplea en la Ecuación 21	35
<i>Ecuación 23.</i> Periodo de vibración convectivo del chapoteo.....	35
<i>Ecuación 24.</i> Coeficiente de masa efectivo.....	36
<i>Ecuación 25.</i> Fuerza de inercia lateral del muro de aceleración	36
<i>Ecuación 26.</i> Fuerza impulsiva lateral total asociada con peso impulsivo	36
<i>Ecuación 27.</i> Fuerza convectiva lateral total asociada con peso convectivo	37
<i>Ecuación 28.</i> Fuerza de inercia lateral debido al peso del muro por unidad de altura de la pared del tanque	38
<i>Ecuación 29.</i> Fuerza de inercia de la componente impulsiva por unidad de altura de la pared del tanque	38
<i>Ecuación 30.</i> Fuerza de inercia de la componente convectiva por unidad de altura de la pared del tanque	38
<i>Ecuación 31.</i> Presión dinámica de los muros para 1 m	38
<i>Ecuación 32.</i> Presión impulsiva para 1 m.....	38
<i>Ecuación 33.</i> Presión convectiva para 1 m.....	38
<i>Ecuación 34.</i> Empuje activo total del suelo	39
<i>Ecuación 35.</i> Empuje activo estático del suelo	39
<i>Ecuación 36.</i> Coeficiente activo estático del suelo.....	39
<i>Ecuación 37.</i> Empuje activo total del suelo	40
<i>Ecuación 38.</i> Empuje pasivo total del suelo.....	40
<i>Ecuación 39.</i> Coeficiente activo dinámico del suelo	40

<i>Ecuación 40. Coeficiente pasivo dinámico del suelo</i>	40
<i>Ecuación 41. Angulo sísmico de inercia.....</i>	40
<i>Ecuación 42. Aceleración sísmico horizontal</i>	41
<i>Ecuación 43. Aceleración sísmico vertical</i>	41
<i>Ecuación 44: Vector de deformaciones</i>	44
<i>Ecuación 45: Rigidez de tubería.....</i>	44
<i>Ecuación 46: Esfuerzo axial.....</i>	44
<i>Ecuación 47. Inercia de la sección fisurada</i>	45
<i>Ecuación 48. Calculo de esfuerzo en tubería debido a deformación.....</i>	114
<i>Ecuación 49. Longitud mínima de tubería para evitar fallas por deformación axial</i>	114

RESUMEN

En la presente investigación se tuvo como objetivo, determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

En tal sentido, se empleó un diseño no experimental, debido a que no se manipulo libremente la variable independiente, también se empleó una muestra no probabilística o dirigida, ya que la elección del elemento de investigación no lo requería, en tal sentido, se obtuvo como elemento de estudio el tanque imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Localidad Huambo.

Después de todo, se determinó que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 no genera un efecto perjudicial en la respuesta sísmica del tanque imhoff, ya que el esfuerzo calculado en su tubería de ingreso, no llego a superar su esfuerzo admisible.

Igualmente, se observó que la deformación calculada en el muro del tanque imhoff en la unión con la tubería de ingreso de PVC-U, no supero la deflexión máxima admisible. Por otro lado, se observó que las propiedades dinámicas, no dependen de los parámetros de la norma E.030.

Palabras clave: Modelo dinamido de Housner, parametros dinamicos, tanque imhoff.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the effect of the dynamic Housner model using the parameters of the E.030 standard in the seismic response in the Imhoff tank in the town of Huambo, Lima 2020.

In this sense, a non-experimental design was used, because the independent variable was not freely manipulated, a non-probabilistic or directed sample was also used, since the choice of the research element did not require it, in that sense, it was obtained as an element of study the imhoff tank of the Huambo locality wastewater treatment plant.

After all, it was determined that the dynamic Housner model using the parameters of the E.030 standard does not generate a detrimental effect on the seismic response of the imhoff tank, since the calculated stress in its inlet pipe did not exceed its allowable stress.

Likewise, it was observed that the deformation calculated in the wall of the imhoff tank at the junction with the PVC-U inlet pipe did not exceed the maximum admissible deflection. On the other hand, it was observed that the dynamic properties do not depend on the parameters of the E.030 standard.

Key words: Housner dynamid model, dynamic parameters, imhoff tank.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- B** : dimensión interior (largo o ancho) de un tanque rectangular, perpendicular a la dirección del movimiento de tierra siendo investigado,
- L** : dimensión interior de un tanque rectangular, paralela a la dirección del movimiento del suelo siendo investigado.
- H_L** : profundidad de diseño del líquido almacenado
- H_w** : Altura de la pared
- t_w** : Espesor del muro
- f_c** : Resistencia a la compresión del concreto
- E_c** : Módulo de elasticidad del concreto
- E_s** : Módulo de elasticidad del acero
- E_{PVC}** : Módulo de elasticidad del PVC
- Z** : Factor de zona
- S** : Factor de suelo
- I** : Factor de importancia
- R_i** : Factor de modificación de respuesta para la componente impulsiva
- R_c** : Factor de modificación de respuesta para la componente convectiva
- h** : la altura sobre la base de la pared del centro de gravedad de la fuerza sísmica horizontal convectiva o impulsiva ejercida por el líquido contenido
- h_i** : Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad del lateral impulsivo fuerza para el caso excluyendo presión base (EPB)
- h_c** : Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad del lateral convectivo fuerza para el caso excluyendo presión base (EPB)
- h_i'** : Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad del lateral impulsivo fuerza para el caso incluyendo presión base (IPB)
- h_c'** : Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad del lateral convectivo fuerza para el caso incluyendo presión base (IPB)
- W_L** : peso equivalente total del líquido almacenado
- W_w** : peso equivalente de la pared del tanque
- W_i** : peso equivalente del componente impulsivo del líquido almacenado

- W_c : peso equivalente de la componente convectiva del líquido almacenado
- ω_i : Frecuencia angular del modo impulsivo de Vibración.
- ω_c : Frecuencia angular convectivo del primer modo de chapoteo.
- T_c : Periodo de vibración convectivo del chapoteo
- T_i : Periodo fundamental de vibración del tanque (más el componente impulsivo del contenido).
- k : rigidez a la flexión de una unidad de ancho del tanque rectilíneo.
- m : masa total por unidad de ancho de una pared rectangular = $m_i + m_w$
- m_i : masa impulsiva de líquido contenido por unidad ancho de una pared rectangular del tanque.
- m_w : masa por unidad de ancho de un tanque rectangular pared.
- EPB : Excluyendo la presión base (línea de referencia solo sobre la base de la pared del tanque)
- IPB : Incluyendo la presión en la base (línea de referencia en la base del tanque incluyendo los efectos del fondo del tanque y estructura de soporte)
- λ : coeficiente como se define en la ecuación 22
- C_i : coeficientes de respuesta sísmica dependientes del período
- C_c : definido en la página 42
- ε : coeficiente de masa efectivo (relación de la masa dinámica equivalente de la carcasa (cuerpo) del tanque a su masa total real).
- P_w : fuerza de inercia lateral del muro de aceleración W_w
- P_c : Fuerza convectiva lateral total asociada con W_c
- P_i : Fuerza impulsiva lateral total asociada con W_i
- P_{wy} : fuerza de inercia lateral debido a W_w , por unidad de altura de la pared del tanque, que se produce en el nivel y por encima de la base del tanque, l_b por pie de altura de la pared (kN / m)
- P_y : fuerza horizontal combinada (debido a los componentes impulsivo y convectivo del líquido acelerador; la inercia de la pared y la presión hidrodinámica debido a

la aceleración vertical) a una altura y por encima de la base del tanque, lb por pie
de altura de la pared (kN / m)

E_{AT} : Empuje activo total del suelo

Notaciones y símbolos empleado en el cálculo de las presiones del suelo

E_{EA} : Empuje activo estático del suelo

E_{AD} : Empuje activo dinámico del suelo

E_{PT} : Empuje pasivo total (estático más dinámico):

K_A : Coeficiente activo estático

K_{AD} : Coeficiente activo dinámico

k_v : Coeficiente sísmico de aceleración vertical

k_H : Coeficiente sísmico de aceleración horizontal

K_{PD} : Coeficiente pasivo dinámico

\emptyset : Angulo de fricción interno del suelo.

δ : Angulo de fricción de la estructura-suelo

β : Inclinación de la pendiente del terreno.

ω : Inclinación de la cara posterior de la estructura.

Notaciones considerado de acuerdo al ACI 318S-18

U : Resistencia requerida para resistir las cargas mayoradas y fuerzas internas correspondientes.

D : Cargas muertas, o momentos y fuerzas internas correspondientes

F : Cargas debidas al peso y presión de fluidos con densidades bien definidas y alturas máximas controlables, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

T : Efectos acumulados de variación de temperatura, flujo plástico, retracción, asentamientos diferenciales, y retención del concreto de retracción compensada

L : Cargas vivas, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

H : Cargas debidas al peso y empuje del suelo, del agua en el suelo, u otros materiales, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

L_r : Cargas vivas de cubierta, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

- S : Carga por nieve, o momentos y fuerzas internas correspondientes.
- R : Cargas por lluvia, o momentos y fuerzas internas correspondientes.
- W : Cargas por viento, o momentos y fuerzas internas correspondientes.
- E : Efectos de carga producidos por el sismo o momentos y fuerzas internas correspondientes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las estructuras que contienen líquidos se podrán encontrar sobre el nivel del suelo o bajo el nivel el suelo, la cual dependerá de su disposición, y estos sufrirán diferentes daños debido a un evento sísmico, en ese sentido la (Organización Panamericana de la Salud, 1998), en la Guías para el análisis de vulnerabilidad, señala que “en las estructuras semienterradas el cual es un tipo de estructura que se encuentra sobre el nivel del suelo, se pueden llegar a generar grietas en la estructura de concreto amarado en las zonas donde se encuentran ubicadas las cañerías de la entrada o salida, la cual variara desde ser fácilmente reparable o requerir la reconstrucción parcial o total de la estructura, asimismo, señala que en las estructuras que se encuentren bajo el nivel del suelo o enterradas, presentan diferencias significativas con respecto a las estructuras que se encuentran sobre el nivel del suelo, ya que los daños que causen los sismos no serán visibles, debido a que se encuentran enterradas, el cual generalmente será más lenta y complicada la identificación de los daños causados; entre los que se pueden encontrar a las tuberías dañadas en sus uniones rígidas.”

Adicionalmente según la (Organización Panamericana de la Salud, 2003) señala “que las tuberías enterradas son vulnerables cuando estas se encuentran en contacto con una estructura rígida”, como se observó en el Sismo de Londers, California del 1992, donde la tubería que salía del tanque y se dirigía al suelo se rompió como se aprecia en la siguiente Figura 1.



Figura 1. Falla de tubería que sale del tanque
debido al Sismo de Londers, California del 1992
Fuente: Foto: M.J. O'Rourke

También se observó que Según lo señalado por la EPA (United States Environmental Protection Agency, 2018) en su guía indica que “En el terremoto de Northridge de 1994, el movimiento de un tanque de agua de servicio público de Los Ángeles, en este se provocó la rotura de la tubería de salida del reservorio, determinando que las uniones de tuberías en tanques son sensibles a los efectos sísmicos, presentando como respuesta desplazamientos, que generan fallas en la tubería de ingreso o salida producto del movimiento del suelo”; también estos daños se pueden esperar en las tuberías que tienen gran diámetro y que se dirigen dentro de la tierra con una longitud corta, como se puede apreciar en la siguiente Figura 2.

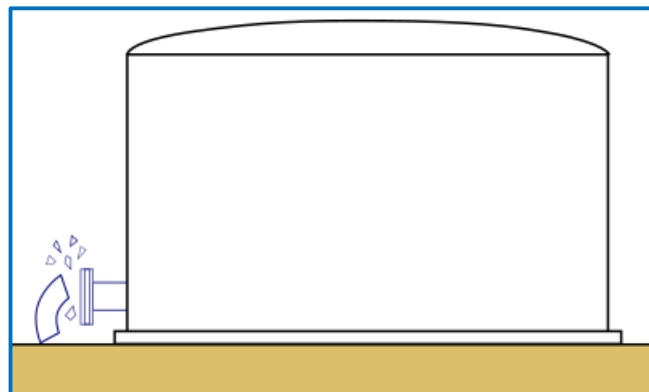


Figura 2. Vista de falla en tubería de salida de reservorio
Fuente: Autoría propia

De la misma forma, en el sismo de Christchurch del 2011 en la ciudad de Christchurch de Nueva Zelanda Según lo señalado por (Macuil Robles, 2016) indica que “debido al sismo las líneas vitales resultaron severamente dañadas; y en las estaciones de bombeo en los sótanos, sufrieron daños en las tuberías las cuales se rompieron en las conexiones con dichos sótanos”.

Asimismo, en el sismo del 15 de agosto de 2007 en la Provincia de Pisco se observó que el Reservorio Apoyado RA-02 ubicado en Pisco, que tiene una capacidad de 4500 m³ el cual resistió al sismo, pero sufrió daño en el dado de anclaje de la línea de ingreso, y también presentó la rotura de la tubería de ingreso a la cuba; con relación a ello (Alcántara Toribio, 2013), señala que los “daños más comunes en los reservorios fueron la rotura o deformación de la tubería de entrada y salida de agua” debido a la acción del sismo.

Por otra parte, Según el (El Peruano, 2017) señala que “el Gobierno del Perú tiene como objetivo principal, en el sector saneamiento lograr el acceso al servicio de saneamiento a la totalidad de los habitantes en las zonas urbanas al año 2021 y lograr la universalización de estos servicios antes del año 2030. Al respecto en la Figura 3 se observa que la cobertura de sistema de alcantarillado en las zonas rurales se encuentra al 79% y en las zonas rurales al 29%”.



Figura 3. Brechas en el sistema de Agua Potable y Alcantarillado en el Perú
 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Por lo antes mencionado, es de vital importancia la evaluación de las conexiones de tuberías, de las estructuras que contienen líquidos ante un evento sísmico, como es el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que actualmente existe una brecha importante por cubrir, y esto involucrara la construcción de diferentes estructuras rígidas que cuentan con tubería que ingreso o salida, las cuales a su vez se encuentran sensibles a sufrir daños.

Para poder entender con mayor exactitud la presente investigación, nombraremos algunos **antecedentes**.

Investigaciones relacionadas en el ámbito nacional.

Según (Huisa Chura & Velasquez Vargas, 2017), en su tesis, titulada “Formulacion de una Guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua”, plantea como objetivo general la formulación de una guía para que contribuya a mejorar la respuesta sísmica en un

reservorio de concreto armado, para lo cual tiene como uno de sus objetivos específicos, determinar los parámetros que se utilizarán para que se realice el análisis sísmico de los reservorios, para lo cual empleará el código ACI-350.3 y la norma peruana E.030. El diseño de la investigación es de carácter teórico. El autor llega a la conclusión que, en la guía presentada; para mejorar la respuesta sísmica de los reservorios de concreto armado se sigue la metodología del ACI 350 para que se obtenga las propiedades dinámicas y se usa la norma peruana E.030 para obtener los parámetros sísmicos.

Según (Cusihuallpa Mamani, 2016), en su tesis, titulada, “Análisis de las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio zona sur de concreto armado de la ciudad del cusco según la norma ACI 350.3-01 y consideraciones de la Norma Peruana E.030 diseño sismorresistente”, plantea como objetivo general organizar un procedimiento claro y repetible, empleando el Código ACI 350.3-01 y las consideraciones de la norma peruana E.030, para que se determine los parámetros de respuesta, y como dos de sus objetivos específicos considerables son, “determinar los parámetros sísmicos según las consideraciones del código ACI 350.3-01 y la norma peruana E.030”, y “determinar para que normativa se obtienen los mayores parámetros dinámicos”. El tipo de investigación es de carácter cuantitativa debido a que mide las magnitudes de los parámetros de respuesta. Como principal resultado se tiene, que los mayores desplazamientos pertenecen a la masa impulsiva del ACI 350.3, llegando a tener un valor máximo de 3.743 mm a 2 m del muro del reservorio el cual coincide con la ubicación de la masa impulsiva, y el menor valor se presentó para la masa convectiva de acuerdo al análisis con los parámetros de la norma peruana E.030. Se llegó a la conclusión que el mayor periodo de vibración fue obtenido empleando la norma E.030

que es de 0.1867 s para la masa impulsiva y de 0.1861 con el ACI 350.3, y con respecto a la masa convectiva se obtuvo el periodo de vibración con la norma E.030 de 7.8946 s y 7.8945 s con el ACI 305.3, la cuales son debido a que se encontró diferencias en los valores de los parámetros de sitio y de zona, que se emplearon para la evaluación dinámica del reservorio.

Según (Vargas Hallasi, 2015), en su tesis titulada “Estudio sísmico en el diseño del reservorio circular apoyado R-8 Capacidad 3000 m³ para la ciudad de Juliaca”, plantea como objetivo general, realizar el diseño sismorresistente de un reservorio circular apoyado de 3,000 m³ de capacidad; en sus conclusiones señala que la interacción liquido-estructura puede fácilmente contemplar en el modelo utilizado en el Código ACI 350, el cual se encuentra basado en el modelo propuesto por George W. Housner, que considera un sistema de masa y resorte, donde la masa se encuentra dividida en dos tipos, la masa impulsiva la que representa el líquido quieto durante un sismo y la masa convectiva que representa el chapoteo del líquido contra la pared de la estructura que lo contiene, el cual tiene un modo de vibración diferente al de la estructura y la masa impulsiva.

Investigaciones relacionadas en el ámbito internacional.

Según (Kanpur, 2007), en la guía de diseño sísmico de tanques de almacenamientos de líquidos, titulada “Itk-gsdma Guidelines for Seismic Design of Liquid Storage Tanks”, en India, señala que cuando un tanque contiene líquidos que vibran, estos ejercen presiones hidrodinámicas impulsivas y convectivas sobre sus paredes, y para poder incluir esos efectos en el análisis del tanque, se tiene que realizar una idealización a un modelo equivalente que consiste en un sistema de masa-resorte, el

cual tiene que incluir la iteración pared-liquido, las cuales dependerán de la geometría de la estructura. Al respecto el Código NZS 3106:1986 de Nueva Zelanda en su Anexo B, asume el modelo del muro de reservorio rectangular como una viga en voladizo con una masa agrupada, que son la masa impulsiva y la masa convectiva.

Según (Yépez , 2013), en su tesis doctoral de la Universidad San Francisco de Quito, titulado “Análisis de la interacción fluido – estructura en el diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero según las normas: americana, neozelandesa, ecuatoriana y métodos simplificados”, plantea como objetivo general analizar la interacción del fluido-estructura en el diseño sísmico de los tranque cilíndricos de acero, empleando diferentes normas, el método simplificado y los modelos computacionales, y como uno de los objetivos específico tiene, comparar los resultados obtenidos de los estudios realizados con los modelos computacionales. Como resultado principal tiene que los resultados globales de respuesta calculados, llegan a obtener que existen coherencia entre los métodos analíticos y los modelos computacionales en Sap2000; también indica que los resultados obtenidos son aceptables, ya que se mostró una variación entre los resultados como máximo 27% y un mínimo de 2%.

Según (Sánchez , 2009), en su tesis de maestría del Instituto Politécnico Nacional, titulada “Comportamiento mecánico de tanques atmosféricos de almacenamiento”, en México, tiene como objetivo estudiar el comportamiento estructural y la distribución de las presiones hidrodinámicas en los muros de los tranque que se encuentran apoyados sobre el suelo, las cuales se encuentran sometidos a aceleraciones horizontales en la base, para el cual se emplea el Método de Elementos Finitos y los planteamientos analíticos. Como resultado en el caso de tanques de geometría rectangular se evalúan los efectos

hidrodinámicos empleando un modelo en dos dimensiones basados en la hipótesis de paredes rígidas, y por otra parte también se emplea los Elementos Finitos, donde se obtienen las presiones en los nodos de las mallas generadas; donde los resultados comparados entre ellos tienen una buena aproximación.

Según (Moreno Reyna, 2015), en su tesis de titulación de la Universidad De Sevilla, titulada “Análisis Sísmico de Depósitos Elevados y Estudio sobre la Interacción Suelo-Estructura”, en España, tiene como objetivo, que en el estudio se modelara los depósitos de agua para que se comporte con mayor exactitud ante el modelo propuesto por Housner y Haroun. Como conclusión se tiene que el modelo que mejor se aproxima es el que incluye en efecto del agua en el modelo dinámico propuesto por Housner, siendo el que se acerca más a los resultados de los modelos reales.

Según (Compagnoni, Curadelli, & Martinez, 2013, pág. 5), en la publicación realizada por la Asociación de Mecánica Computacional, titulada “Evaluación de modelos de tanques rectangulares contenedores de líquido bajo excitación sísmica”, en Argentina, tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento dinámico de tanque de geometría rectangular bajo excitación sísmica, y también tiene como un segundo objetivo, evaluar el grado de precisión de los diferentes modelos que han sido desarrollados para el análisis y diseño; al respecto concluye que los resultados del análisis modal, se mostraron que la frecuencia de vibración del primer modo del sistema obtenido de forma experimental, con el modelo equivalente Housner, y el Método de Elementos Finitos, presentan una diferencia máxima de 1%, el cual tiene una buena correlación entre los modelos considerados.

Por otra parte, para conceptualizar la investigación, mencionaremos algunas

definiciones conceptuales:

Respuesta Sísmica: “La respuesta sísmica consiste en calcular el desplazamiento de la masa en cualquier instante con respecto a su posición inicial” (Oviedo & Duque, 2006).

Modelo dinámico de Housner: “El Modelo dinámico de Housner, viene a ser un modelo equivalente el cual representa a las fuerzas hidrodinámicas ejercidas por el agua sobre la pared del contenedor, la que también incluye el efecto dinámico de la interacción pared-liquido” (Martos Salas, 2018).

Ahora, presentaremos las **nociones teóricas:**

Iniciaremos con el **paramento sísmico del sitio y factores de modificación** de respuesta, el cual será de acuerdo a la norma E.030, el cual tiene, como **consideraciones generales**, indicar ciertos lineamientos para el diseño sismorresistente de la estructura, con la finalidad de garantizar que cada componente soporte las solicitaciones que generen los sismos, entre la que encontramos, el **Factores de zona (Z)** que se encuentra dividida en 4 zonas para Perú, como se muestra en la siguiente Figura 4.



Figura 4. Zonas sísmicas.
 Fuente: Norma E.030

De la Figura 4 a cada zona se le asigna un factor de zona “Z”, como se muestra de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1
 Factores de zona

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Norma E.030

De igual importancia también tenemos el **Factores del suelo (S)** el cual considerará el tipo de perfil de suelo y la zona para obtener el valor de S, de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2
Factores de suelo "S"

ZONA	SUELO			
	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

Por otra parte, tenemos el **Factor de importación de acuerdo al ACI 350.03-06**, ya que este código es empleado para el diseño sísmico de contenedores de líquidos, la que se determina en función de la importancia de uso de la estructura, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
Factor de importancia

Categoría	Uso del tanque	Factor I
III	Tanques que contienen materiales peligrosos *	1.50
II	Tanques que están destinados a permanecer utilizables para fines de emergencia después de un terremoto, o tanques que son parte de los sistemas de línea de vida	1.25
I	Tanques no incluidos en las Categorías II o III	1.0

Fuente: ACI 350.3-06

* En algunos casos, para tanques que contienen materiales peligrosos, el criterio de ingeniería puede requerir un factor $I > 1.5$. Fuente: ACI 350.3-06 – Capítulo 4.

Igualmente tenemos que el **Factor de modificación de respuesta de acuerdo al ACI 350**, para la componente impulsiva y convectiva, el que se determinara como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Factores de modificación de respuesta

Tipo de estructura	Ri		Rc
	Apoyado	Enterrado*	
Tanques anclados de base flexible	3.25†	3.25†	1.0
Tanques de base fija o con bisagras	2.0	3.0	1.0
Sin anclar, contenido, o tanques no contenidos ‡	1.5	2.0	1.0
Tanques montados en pedestal	2.0	–	1.0

Fuente: ACI 350.3-06

* El tanque enterrado se define como un tanque cuya superficie de agua máxima en reposo está en o debajo del nivel del suelo. Para tanques parcialmente enterrados, el valor de Ri puede ser linealmente interpolado entre el que se muestra para tanques en pendiente y para tanques enterrados.

† Ri = 3.25 es el valor máximo de Ri permitido para cualquier líquido que contenga estructura de hormigón.

‡ No se construirán tanques sin anclar ni contener en lugares donde $SS \geq 0,75$.

Ahora, con respecto al **Modelo dinámico de Housner**, este representa el líquido contenido en una estructura durante un evento sísmicos, donde la estructura actuara como una sola masa, cuando estos se encuentren vacíos, pero si este contiene agua y tiene un borde libre, existirá un chapoteo del agua durante la actividad sísmica.

Al respecto, el modelo propuesto por Housner, considera que el líquido contenido por la estructura se encuentra dividido en dos masas, la masa impulsiva (w_i) la que actúa a una altura (h_i) y la masa convectiva (w_c) la que se encuentra a una altura (h_c), como puede apreciar en la Figura 5.

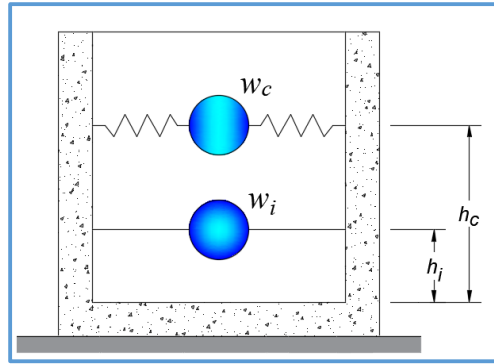


Figura 5. Modelo dinámico de Housner
Fuente: Autoría propia

En la Figura 5, se observa que la masa impulsiva (w_i) se encuentra unida rígidamente a las paredes del contenedor, debido a que durante un evento sísmico esta se moverá simultáneamente con la estructura, mientras que la masa convectiva (w_c) se encuentra unida por medio de resortes, debido a que esto representa los oleajes y chapoteos del líquido

Con respecto a las **consideraciones de diseño sísmico de contenedores de líquidos de acuerdo al (ACI 350.3-06)** para la evaluación dinámica de las estructuras que contienen líquidos, este consiste en simplificar la estructura en un sistema de masa y resorte, el cual se encuentra basada de acuerdo al modelo dinámico propuesto por Housner (1963a).

En la Figura 6 se representa el comportamiento del líquido que es contenido por el tanque durante un evento sísmico, y en la Figura 7 se aprecia el equilibrio dinámico de las fuerzas horizontales la cual se encuentra de acuerdo al modelo dinámico de Housner.

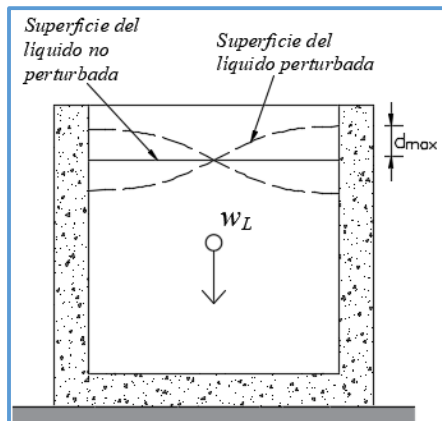


Figura 6. Movimiento del fluido en el tanque
 Fuente: Autoría propia

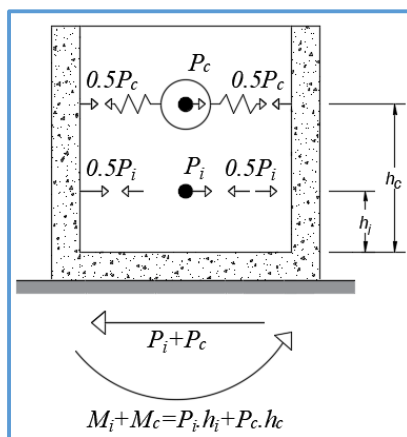


Figura 7. Equilibrio dinámico de fuerzas horizontales
 Fuente: Autoría propia

Para poder calcular las fuerzas dinámicas del líquido, primero se inicia determinando los **Pesos de las paredes del depósito**, el que consiste en determinar el peso de las paredes del depósito (W_w).

Por otro lado, con respecto a los **Pesos equivalentes del líquido acelerado**, donde tenemos el peso impulsivo y convectivo, para obtener los valores para depósitos rectangulares, se emplea la Ecuación 1 y la Ecuación 2 respectivamente, las cuales dependerán del peso del líquido contenido (W_L), altura del líquido (H_L), y la longitud interior del contenedor paralelo a la dirección del sismo (L).

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

Ecuación 1. Peso impulsivo

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

Ecuación 2. Peso convectivo

Después de lo anterior, se determina las **Alturas de los centros de gravedad Excluyendo la Presión en la Base (EPB)**, la que se emplea cuando se desea calcular el momento flector en la cara superior de la losa del contenedor excluyendo la presión en la base (EPB), para lo cual se tiene que considerar los centros de gravedad de la masa convectiva (W_c) y la masa impulsiva (W_i). Entonces para determinar la altura impulsiva se tiene la siguiente condición:

Para tanques con: $\frac{L}{H_L} < 1.333$

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

Ecuación 3. Altura impulsiva Excluyendo la Presión en la Base

Para tanques con: $\frac{L}{H_L} \geq 1.333$

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

Ecuación 4. Altura impulsiva Excluyendo la Presión en la Base

Y para determinar la altura convectiva, se emplea la Ecuación 5, para todos los tanques rectangulares.

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

Ecuación 5. Altura convectiva Excluyendo la Presión en la Base

Por otra parte, se tiene las **Alturas de los centros de gravedad Incluyendo la Presión en la Base (IPB)**, la que se emplea cuando se desea calcular el momento flector en la cara superior de la losa del contenedor incluyendo la presión en la base (IPB), en el caso de la altura impulsiva se calculan de acuerdo a las siguientes condiciones.

Para tanques con: $\frac{L}{H_L} < 0.75$

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

Ecuación 6. Altura impulsiva Incluyendo la Presión en la Base

Para tanques con: $\frac{L}{H_L} \geq 0.75$

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

Ecuación 7. Altura impulsiva Incluyendo la Presión en la Base

Para el caso de la altura convectiva, para todos los tanques rectangulares, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Ecuación 8. Altura convectiva Incluyendo la Presión en la Base

Ahora, para determinar las **propiedades dinámicas** se requiere de la rigidez (k) de la estructura, la que se tiene que calcular de acuerdo a las condiciones de contorno de correctas. Con las siguientes ecuaciones se determinan las propiedades dinámicas para la componente impulsiva.

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Ecuación 9. Frecuencia angular del modo impulsivo de vibración

$$m = m_w + m_i$$

Ecuación 10. Masa total por unidad de ancho de una pared rectangular

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

Ecuación 11. Periodo fundamental de vibración del tanque (más el componente impulsivo del contenido).

Entonces, para poder determinar las propiedades dinámicas impulsivas se requiere de la masa impulsiva y de la rigidez (k) de la estructura la que se tiene que determinar de acuerdo a las condiciones de contorno de correctas, como lo señala el Código ACI 350.3-6, en tal sentido, de acuerdo al Código NZS 3106: 1986 de New Zealand proporciona un método para el cálculo del periodo fundamental.

De lo antes indicado, se tiene que el modelo aproximado para determinar la rigidez un tanque rectangular consiste en considerar un ancho de 1.00 m del muro del tanque, como se muestra en la Figura 8, y así poder obtener el modelo de una viga en

voladizo con una altura (h), la que viene a ser la altura en la que se encuentra la masa concentrada por unidad de ancho (m).

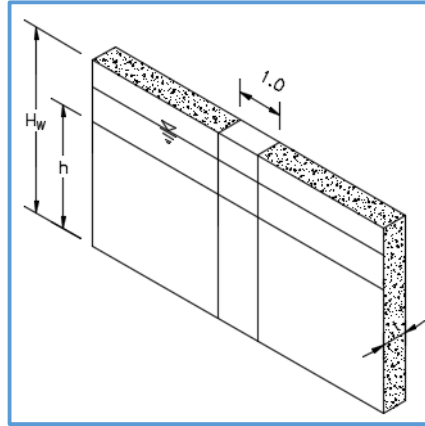


Figura 8. Ancho unitario del muro
Fuente: Autoría propia

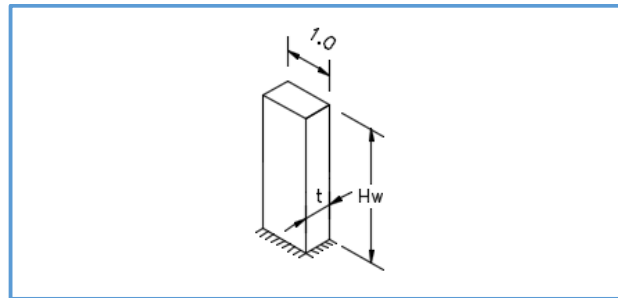


Figura 9. Modelo del muro como viga en voladizo con ancho 1.00 m
Fuente: Autoría propia

Entonces, para determinar las propiedades impulsivas también se requiere de la masa, la que depende de la masa del muro y la masa impulsiva, las que se determinan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$m_w = H_w t_w \rho_c$$

Ecuación 12. Masa por unidad de ancho de un tanque rectangular pared

$$m_i = \left(\frac{w_i}{w_L} \right) \frac{L}{2} H_L \rho_L$$

Ecuación 13. Masa impulsiva de líquido contenido por unidad ancho de una pared rectangular del tanque

$$\rho_c = \frac{\gamma_c}{g}$$

Ecuación 14. Valor que se emplea en la Ecuación 12

$$\rho_L = \frac{\gamma_L}{g}$$

Ecuación 15. Valor que se emplea en la Ecuación 13

Después de obtener las masas anteriormente descritas, se puede determinar la altura de su centro de gravedad, la que se determina con la siguiente ecuación.

$$h = \frac{h_w m_w + h_i w_i}{m}$$

Ecuación 16. Altura sobre la base de la pared del centro de gravedad de la fuerza sísmica horizontal convectiva o impulsiva

Ahora, se presenta el cálculo de la rigidez (k) de la viga en voladizo de acuerdo al Código NZS 3106: 1986 de New Zealand, donde primero se tiene la representación del modelo como se muestra a en la Figura 10.

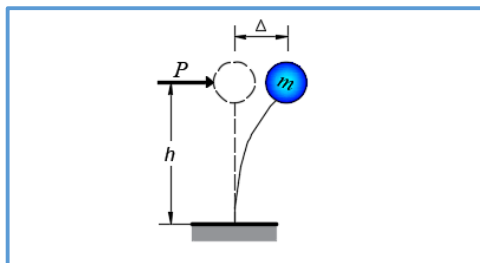


Figura 10. Modelo hipotético columna/masa
Fuente: Autoría propia

Del modelo presentado en la Figura 10, donde se observa que debido a la fuerza P , se genera una deformación horizontal (Δ), la cual se determina con la Ecuación 17, asimismo, este depende del módulo de elasticidad (E), inercia de la sección (I) y la altura (h) donde es aplicada la fuerza.

$$\Delta = \frac{Ph^3}{3EI}$$

Ecuación 17. Deflexión de una viga en voladizo

Donde:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación 18. Inercia de una sección rectangular

Ahora, para obtener el coeficiente de rigidez (k) del modelo, se tiene que lograr una deformación unitaria $\Delta = 1.00$, y así el valor de (P) pasaría a ser la rigidez (k) del elemento.

Para determinar la inercia de la sección, nos basamos de acuerdo a la Figura 9, donde el valor de $b=1.00$ y $h=t$, las que se remplazarán en la Ecuación 18, y así poder obtener el valor de (I), como se aprecia en la Ecuación 19.

$$I = \frac{t^3}{12}$$

Ecuación 19. Inercia de una sección rectangular de un ancho unitario

Ahora, obtenemos la rigidez del modelo remplazando $\Delta=1.00$ y la inercia (I) en la Ecuación 17, como se muestra a continuación:

$$\Delta = \frac{Ph^3}{3EI}$$

$$1.00 = \frac{k \cdot h^3}{3E \left(\frac{t^3}{12} \right)}$$

Despejando (k), se obtiene la siguiente expresión, la que se emplea para determinar la rigidez del modelo.

$$k = \frac{E}{4} \left(\frac{t}{h} \right)^3$$

Ecuación 20. Rigidez para una viga simplemente reforzada para un ancho unitario

Con respecto a las **propiedades dinámicas convectivas** de contenedores de líquidos rectangulares, dependerá de la longitud interior del tanque (L) paralelo a la dirección del sismo, la que se determina con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 21. Frecuencia angular convectivo del primer modo de chapoteo

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

Ecuación 22. Valor que se emplea en la Ecuación 21

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

Ecuación 23. Periodo de vibración convectivo del chapoteo

Factores de amplificación espectral C_i , se emplea para el movimiento horizontal de la componente impulsiva, y el C_c es para el movimiento horizontal de la componente convectiva, los que son determinados para un amortiguamiento crítico de 5%, como se muestra a continuación:

El valore de C_i se determina de acuerdo a las siguientes condiciones.

Para $T_i \leq 0.31$ Segundos

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

Para $T_i > 0.31$ Segundos

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

De igual manera se determinan el valor de C_c .

Para $T_c \geq 2.4$ Segundos

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

Para $T_c < 2.4$ Segundos

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

El **Coefficiente de masa efectiva** ε , representa la masa dinámica equivalente del cuerpo del depósito, con respecto a su masa total, para el caso de un tanque rectangular se determina con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 24. Coeficiente de masa efectivo

Las **Fuerzas dinámicas laterales** se determinan de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$P_w = ZSIC_i \left[\frac{\varepsilon W_w}{R_i} \right]$$

Ecuación 25. Fuerza de inercia lateral del muro de aceleración

$$P_i = ZSIC_i \left[\frac{W_i}{R_i} \right]$$

Ecuación 26. Fuerza impulsiva lateral total asociada con peso impulsivo

$$P_c = ZSIC_c \left[\frac{W_c}{R_c} \right]$$

Ecuación 27. Fuerza convectiva lateral total asociada con peso convectivo

Distribución de las fuerzas dinámicas convectivas e impulsivas que se presentan en los muros rectangulares, se representan en planta, como se muestra en la Figura 11.

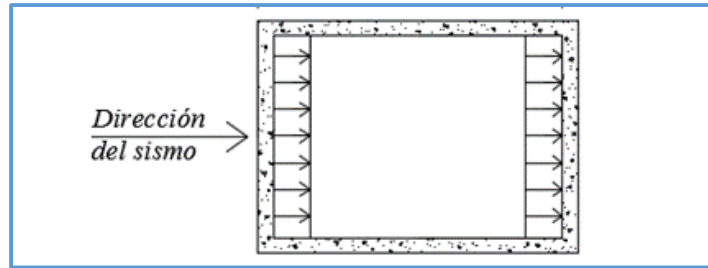


Figura 11. Distribución de las fuerzas hidrodinámicas en las paredes del tanque rectangular (Adaptado Housner)
Fuente: Autoría propia

Las presiones hidrodinámicas se pueden representar también en una distribución en toda la altura de muro de manera perpendicular, como se muestra en la Figura 12.

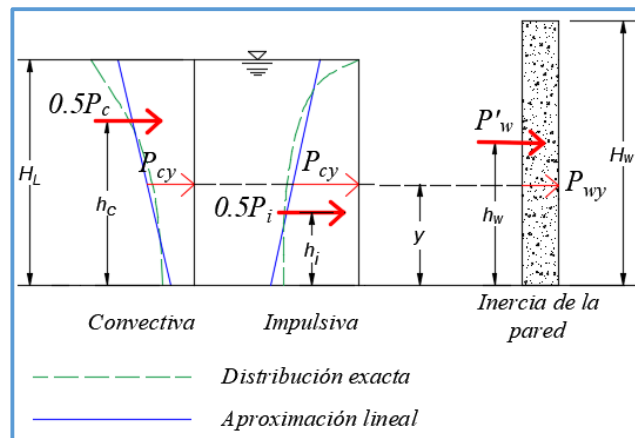


Figura 12. Distribución vertical de las fuerzas sísmicas en tanques rectangulares
Fuente: Autoría propia

Pero si se tienen depósitos enterrados o semienterrados, se tiene que adicionar los efectos dinámicos del suelo con la porción del tanque enterrado.

La distribución de las fuerzas en una aproximación lineal, las cuales se calculan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$P_{wy} = ZSI \frac{C_i}{R_{wi}} [\varepsilon(\gamma_c B t_w)]$$

Ecuación 28. Fuerza de inercia lateral debido al peso del muro por unidad de altura de la pared del tanque

$$P_{iy} = \frac{\frac{P_i}{2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

Ecuación 29. Fuerza de inercia de la componente impulsiva por unidad de altura de la pared del tanque

$$P_{cy} = \frac{\frac{P_c}{2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

Ecuación 30. Fuerza de inercia de la componente convectiva por unidad de altura de la pared del tanque

Quando se desea las presiones por 1.00 m a lo largo del ancho (B) de un tanque rectangular, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$P_{wy} = \frac{P_{wy}}{B}$$

Ecuación 31. Presión dinámica de los muros para 1 m

$$P_{iy} = \frac{P_{iy}}{B}$$

Ecuación 32. Presión impulsiva para 1 m

$$P_{cy} = \frac{P_{cy}}{B}$$

Ecuación 33. Presión convectiva para 1 m

De igual importancia es tener la consideración del **Empuje de la tierra** en los muros de las estructuras enterradas, ya que estas se encuentran sometidos a presiones del

terreno, por lo que se tiene que tener en consideración de la evaluación dinámica de las presiones del suelo sobre la estructura que lo soporta.

En tal sentido, para elegir el método de análisis del empuje del suelo dinámico consideramos lo señalado según (Torres Belandria, 2008) donde indica que “cuando se tienen suelos mixtos que se encuentren conformados por arena y arcilla, es conveniente despreciar la cohesión del material, y así únicamente utilizar el ángulo de fricción interna”, por lo que se consideraría un material no cohesivo, asimismo, no se considera la cohesión del material, para realizar una evaluación conservadora.

Por lo expuesto en el párrafo anterior se considera idóneo el método de Monobe-Okabe, para la evaluación de las presiones dinámica de suelos friccionantes o suelos no cohesivos, debido a que este método no considera la cohesión en el cálculo de las presiones ejercidas por el suelo.

En tal sentido se tiene que, el empuje activo total del suelo se determina con la suma de las presiones estáticas y dinámicas, de acuerdo a la Ecuación 34.

$$E_{AT} = E_{EA} + E_{AD}$$

Ecuación 34. Empuje activo total del suelo

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

Ecuación 35. Empuje activo estático del suelo

$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Ecuación 36. Coeficiente activo estático del suelo

Ahora, empleando la Ecuación 37, se determina el empuje activo total, que es la suma del (empuje estático más dinámico)

$$E_{AT} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AD}$$

Ecuación 37. Empuje activo total del suelo

Con la Ecuación 38, se determina el empuje pasivo total, que es la suma del (empuje estático más dinámico)

$$E_{PT} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{PD}$$

Ecuación 38. Empuje pasivo total del suelo

Por otro lado, el coeficiente activo y pasivo dinámico, se determina con la Ecuación 39 y Ecuación 40 respectivamente.

$$K_{AD} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \omega)}{\cos^2 \omega \cos \theta \cos(\delta + \theta - \omega) \left[1 + \left(\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \theta - \beta)}{\cos(\delta + \omega + \theta) \cos(\omega - \beta)} \right)^{1/2} \right]^2}$$

Ecuación 39. Coeficiente activo dinámico del suelo

$$K_{PD} = \frac{\cos^2(\phi - \theta + \omega)}{\cos^2 \omega \cos \theta \cos(\delta + \theta - \omega) \left[1 - \left(\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi + \theta - \beta)}{\cos(\delta - \omega + \theta) \cos(\omega - \beta)} \right)^{1/2} \right]^2}$$

Ecuación 40. Coeficiente pasivo dinámico del suelo

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

Ecuación 41. Angulo sísmico de inercia

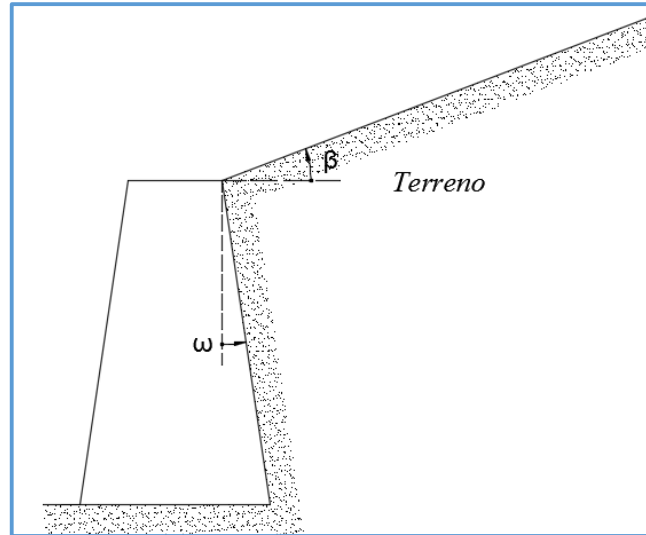


Figura 13. Representación de los ángulos empleados en la
 Ecuación 39 y Ecuación 40
Fuente: Autoría propia

Con la Ecuación 42 y Ecuación 43, se determina el coeficiente de aceleración
 sísmico horizontal y vertical respectivamente, las cuales se emplean en la Ecuación 41.

$$k_H = \frac{\text{componente horizontal de la aceleración sísmica}}{g(\text{aceleración de la gravedad})}$$

Ecuación 42. Aceleración sísmico horizontal

$$k_V = \frac{\text{componente vertical de la aceleración sísmica}}{g(\text{aceleración de la gravedad})}$$

Ecuación 43. Aceleración sísmico vertical

La aceleración horizontal de acuerdo a la norma peruana E.030, es el factor Z que
 se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad, y la aceleración vertical se
 considera el 2/3 de la aceleración horizontal.

Por otra parte, la **Tubería PVC-U** (poli cloruro de Vinilo) son bastante conocido
 por estar compuesta de un excelente material, la facilidad de uso y la gran variedad de

alternativas existentes, cuando estas tuberías se desean usar como conductos enterrados, se tiene que definir la clase de tubería adecuada, el cual se encuentra en función a la profundidad de uso y a las cargas que se someterá en su vida útil; a continuación, se muestra las diferentes clases de tuberías y su profundidad de uso recomendado de acuerdo al Proyecto “Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa - Área de Drenaje Oquendo, Sinchi Roca, Puente Piedra y Sectores 84, 83, 85 y 212) – Lima-Lote 2”, que señala en sus Especificaciones Técnicas – Conducciones de Alcantarillado.

- Para profundidades de hasta 3.00 m: Clase SN2 (Rigidez de 2 kN/m²), SDR 51
- Para coberturas entre 3.01 m y 5.00 m: Clase SN 4 (Rigidez de 4 kN/m²), SDR 41

Con respecto a las Especificaciones **Técnicas de Tubería PVC de Alcantarillado**, de acuerdo a la Ficha Técnica de Nicoll Perú, se muestran los siguientes datos técnicos:

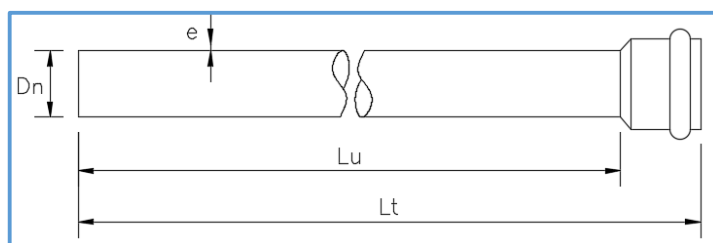


Figura 14. Esquema de tubería PVC
Fuente: Autoría propia

Tabla 5
Diametros nominales de tubería PVC de alcantarillado

Diametro nominal Dn (mm)	Longitud total Lt (m)	Longitud util Lu (m)	Espesor mínimo e (mm)		
			S-25 SDR= 51 SN 2	S-20 SDR= 41 SN4	S-16.7 SDR= 34 SN8
110	6	5.85	---	3.2	3.2
160	6	5.82	3.2	4.0	4.7
200	6	5.80	3.9	4.9	5.9
250	6	5.76	4.9	6.2	7.3
315	6	5.74	6.2	7.7	9.2
355	6	5.72	7.0	8.7	10.4

Fuente: Ficha Técnica Nicoll Perú

También se tiene las siguientes propiedades físicas y las características mecánicas:

- Propiedades físicas

Peso específico: 1.44 g/cm³ a 25°C

- Características mecánicas

E: 3,000 ton/m²

Tensión de diseño: 1,000 ton/m²

Por otra parte, para **amplificar las cargas de acuerdo a las consideraciones del**

ACI 318S-18 se tiene las siguientes combinaciones de carga.

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H$$

$$U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$$

Ahora, con el vector de fuerzas y la matriz de rigidez, se determina las deformaciones empleando la Ecuación 44.

$$P_{\alpha} = K_{\alpha} D_{\alpha}$$

Ecuación 44: Vector de deformaciones

La rigidez de la tubería de longitud 2.00 m se calcula con la Ecuación 45.

$$k_{pvc} = \frac{EA}{L}$$

Ecuación 45: Rigidez de tubería

Con la rigidez de la tubería y la deformación axial, se determinará el esfuerzo axial con la ecuación 46.

$$Q = \frac{KD}{\text{area tubería}}$$

Ecuación 46: Esfuerzo axial

Finalmente, para el **control de deflexiones de acuerdo a la E.060** en el numeral 9.6.2.2 señala que cuando se realice el cálculo de las deflexiones, aquellas que ocurran inmediatamente con la aplicación de la carga, se tienen que calcular empleando los métodos o fórmulas que permiten calcular las deflexiones elásticas, donde se tiene que tener la consideración de los efectos de fisuración y del refuerzo para determinar la rigidez.

En tal sentido, se emplea la Ecuación 47 para el cálculo de la inercia de la sección fisurada (I_{cr}) de una sección rectangular, la que considera la sección fisurada y el acero de refuerzo.

$$I_{cr} = \frac{b \cdot c^3}{3} + n \cdot A_s (d - c)^2 (2n - 1) A'_s (c - d')^2$$

Ecuación 47. Inercia de la sección fisurada

Donde:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

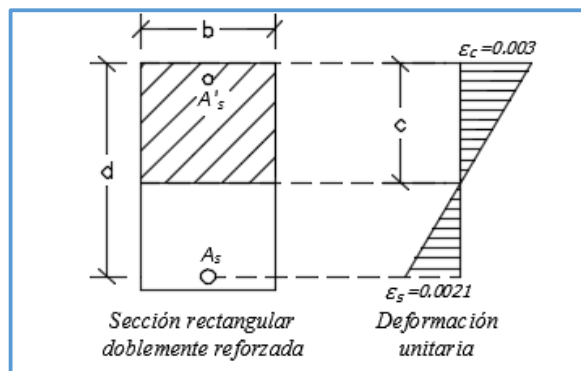


Figura 15. Sección doblemente reforzada y deformaciones unitarias.
 Fuente: Autoría propia

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de Huambo, Lima 2020?

1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema específico 1

¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las propiedades dinámicas en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?

1.2.2.2. Problema específico 2

¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las conexiones de PVC-U en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?

1.2.2.3. Problema específico 3

¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las deformaciones en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?

Como justificación, podemos mencionar, desde tres enfoques:

Dentro de la **justificación teórica**, podemos señalar que actualmente en los servicios de saneamiento básico tanto en el ámbito urbano y rural, existen diferentes tipos de estructuras de concreto armado que contienen líquidos, como las plantas de tratamiento de aguas residuales donde se podría encontrar un tanque Imhoff, el cual cumple la función de

realizar el tratamiento primario de las aguas residuales, por lo que se tiene que garantizar el funcionamiento sin interrupciones posterior a un evento sísmico. Por consiguiente, en la presente investigación, para la variable “respuesta sísmica” se utilizará la Norma Técnica Peruana E.030 para determinar los parámetros de diseño sísmico, y para la variable 2 “modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030” se usarán las expresiones que se encuentran definidas en el código ACI 350-3-06.

Como **Justificación práctica**, podemos señalar que los resultados de la presente investigación, permitan garantizar el constante funcionamiento del tanque Imhoff de la Localidad de Huambo después de un sismo, debido a que la estructura corresponde a los servicios de saneamiento básico.

Asimismo, se está planteando el modelo dinámico de Housner (Martos Salas, 2018), relacionados a las conexiones, en tal sentido se está aportando la validez de un modelo para evaluar el comportamiento de las conexiones disminuyendo de esta manera la brecha del conocimiento de este comportamiento

También tenemos como **Justificación metodológica**, en la presente investigación se llevará una metodología con enfoque cuantitativo, donde se aplicarán metodologías establecidas por la Norma APA Secta Edición, y con el apoyo del Software GNU Octave de versión libre, para realizar los cálculos matriciales que se presentara en el desarrollo de la investigación.

Al respecto se señala que “El enfoque cuantitativo, emplea la recolección de datos para que se prueben las hipótesis, en base a la medición numérica, para que se prueben las teorías” según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

Finalmente, la **Justificación social**, de la presente investigación realizada tendrá gran impacto social, debido a que garantizara el constante funcionamiento de Tanque Imhoff después de un sismo, la cual beneficiara a la Localidad de Huambo el cual tiene una población de 320 habitantes de acuerdo al Censo del 2017 – INEI.

Y como **Limitaciones del estudio**, tenemos la **Limitación Temática**, debido a que solo se estudiará el tanque tipo Imhoff, por ser la estructura de saneamiento rural utilizada comúnmente por facilidad constructiva y económica.

También tenemos la **Limitación Tecnológica**, debido a que se aplicará los parámetros de diseño relacionada a nuestra realidad, por ello se utiliza los parámetros de la norma E.030.

Finalmente tenemos la **Limitación Económica**, debido a que la presente investigación, se llegó a presentar en el estudio de suelos, por lo que se considera el estudio de mecánica de suelos realizado en el Expediente Técnico “Rehabilitación de los servicios de agua potable, alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima” el cual se encuentra de manera general y no cuenta con el ensayo de penetración estándar (STP), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos, la cual se emplea para determinar el tipo de suelo de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.030.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Objetivo específico 1

Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las propiedades dinámicas en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.3.2.2. Objetivo específico 2

Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las conexiones de PVC-U en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.3.2.3. Objetivo específico 3

Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las deformaciones en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 afecta la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.4.2. Hipótesis Específicos

1.4.2.1. Hipótesis específica 1

El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afecta las propiedades dinámicas del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.4.2.2. Hipótesis específica 2

El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica perjudicará las conexiones de PVC-U del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

1.4.2.3. Hipótesis específica 3

El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica generará deformaciones sin superar la deflexión máxima admisible por el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según el propósito

“El interés de la investigación aplicada es práctico, donde sus resultados se emplean inmediatamente en la solución de problemas de la realidad” (Vara Horna, 2015, pág. 235), entonces la presente investigación es **aplicada**, ya que se empleará teorías aplicadas y los resultados que obtendremos servirán para la solución de un problema.

Según enfoque

“El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para que se pruebe la hipótesis, con base a una medición numérica y el análisis estadístico” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010), en tal sentido la presente investigación tiene un enfoque **cuantitativo**, ya que se tiene la necesidad de determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 y medir numéricamente la respuesta sísmica en el análisis del tanque imhoff de la Localidad de Huambo.

Según el diseño

“La investigación no experimental, son estudios que se realizan sin la manipulación deliberadamente de las variables. Es decir que no se hace variar de forma intencionada las variables independientes para que se vea su efecto sobre las otras variables” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 149), en tal sentido a la presente investigación le corresponde la metodología según su diseño **no experimental** debido a que no se manipulara libremente la variable independiente

“Modelo dinámico simplificado de Housner utilizando los parámetros de la Norma E.030”.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

“La población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 174).

En tal sentido, en la población se contempla las estructuras de concreto armado que contienen líquidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Localidad de Huambo; como se muestra el esquema general de la Figura 16.

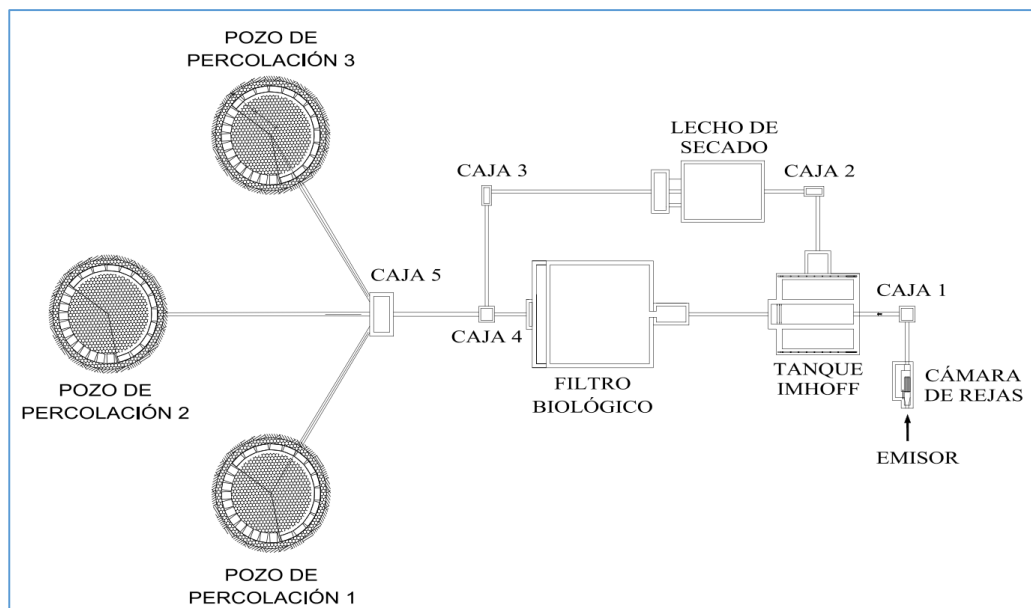


Figura 16. Planta general de la planta de tratamiento de aguas residuales
Fuente: Autoría propia

Ahora se presentan las vistas de las estructuras de concreto armado que contienen líquidos.

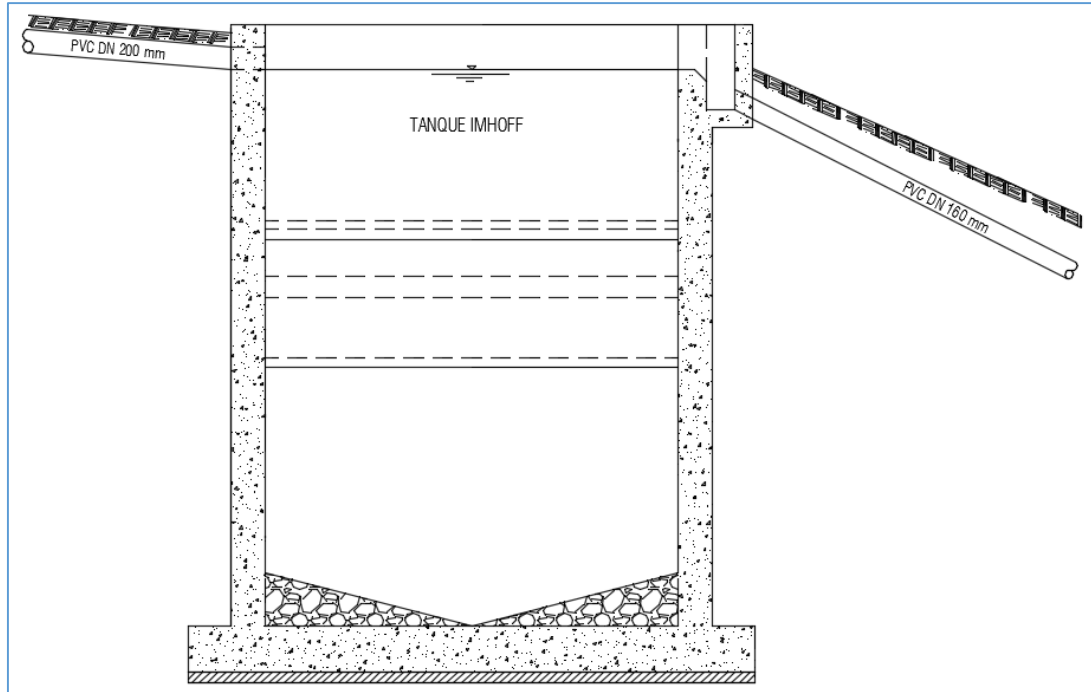


Figura 17. Vista del tanque imhoff de la Localidad de Huambo
Fuente: Autoría propia

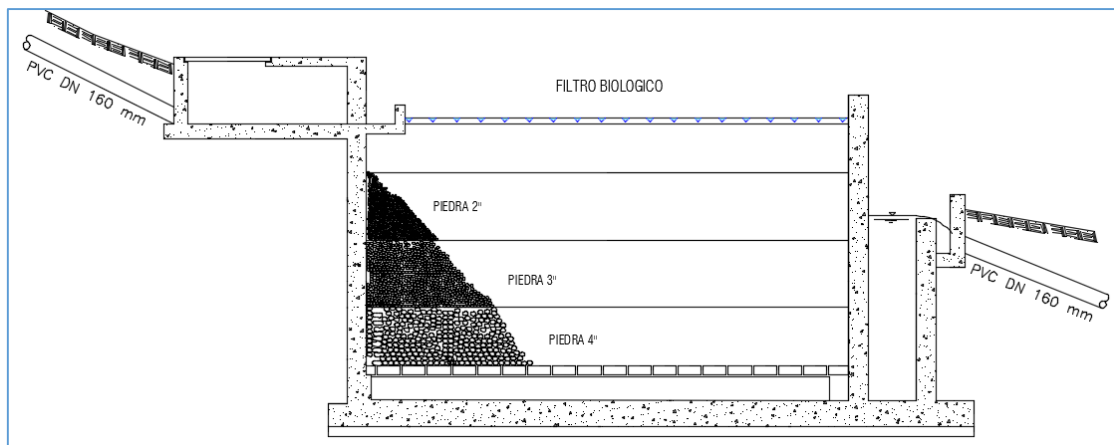


Figura 18. Vista del filtro biológico de la Localidad de Huambo
Fuente: Autoría propia

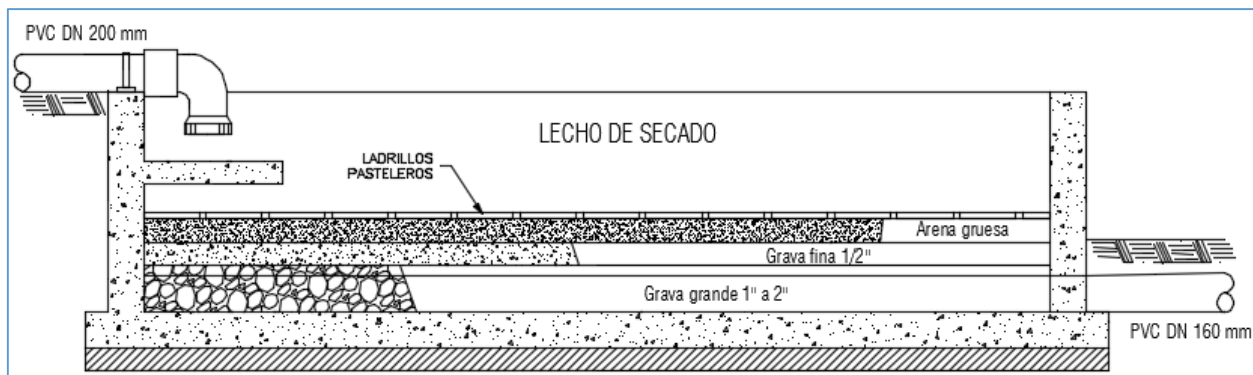


Figura 19. Vista del lecho de secado de la Localidad de Huambo
Fuente: Autoría propia

Muestra

“La muestra no probabilística o dirigida es subgrupo de la población, en la que la elección de los elementos de investigación no depende de un análisis de probabilidad, sino de las características de la investigación” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 176)

Al respecto, se observa en la población que la estructura con la condición más crítica es el tanque imhoff, debido a que se encuentra enterrada y contiene líquido al 100% de su capacidad, por lo que se descarta el filtro biológico debido a que este se encuentra enterrada y contiene líquido al 27% de su capacidad, y el lecho de secado la cual se encuentra semienterrada y contiene líquido al 42% de su capacidad.

En tal sentido, en la presente investigación se consideró una **muestra no probabilística**, el cual tiene como elemento de estudio el tanque Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Localidad Huambo, debido a que es la estructura más crítica, ya que el análisis dinámico de Housner se realiza a estructuras que contienen líquidos.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

“La recolección de datos con la observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamiento y situaciones observables” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 260)

Por lo que en la presente investigación se emplearán la **observación** como técnica de recolección de datos para la recolección de resultados.

Instrumentos

“Instrumento de medición, es el recurso que se utiliza en la investigación, para registrar la información o datos sobre las variables” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 200).

En tal sentido, el instrumento que se empleará será **ficha de recolección de datos**, las que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6
Lista de fichas de recolección de datos

Descripción	Anexo
Ficha de recolección de datos para las propiedades dinámicas	Anexo 1
Ficha de recolección para la conexión PVC-U	Anexo 2
Ficha de recolección para datos de las deformaciones	Anexo 3

Fuente: Autoría propia

Análisis de datos

“La estadística descriptiva permite realizar el análisis de datos de todo un conjunto, de las cuales se extraerán conclusiones analizadas, solo para ese conjunto” (Salazar & Castillo, 2018, pág. 14)

Entonces, con los resultados que se obtengan de las fichas técnicas se tabularán cuadros y gráficos que permitirán mediante estadística descriptiva obtener las conclusiones.

Por otra parte, con respecto al **procedimiento de desarrollo de la investigación**, se describe primero el procedimiento del **modelado**.

Al respecto, el Código NZS 3106:1986 de Nueva Zelanda en su Anexo B, presenta un modelo de un contenedor de líquido; en tal sentido en la presente investigación se considera dicho modelo para el tanque imhoff.

Parámetros de diseño

Los factores de sitio se determinaron de acuerdo a la Norma Peruana E.030 y el estudio de suelos que se encuentran en el Proyecto “Rehabilitación de los servicios de agua potable, alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima”.

Con respecto a los factores de respuesta se determinaron de acuerdo a las consideraciones del Código 350.03-06, ya que presenta un procedimiento para la evaluación dinámica de estructuras que contienen líquidos.

Evaluación

La evaluación dinámica del tanque imhoff, se realiza con los parámetros de diseño de acuerdo al procedimiento y consideraciones del Código 350.03-06.

2.4. Procedimiento

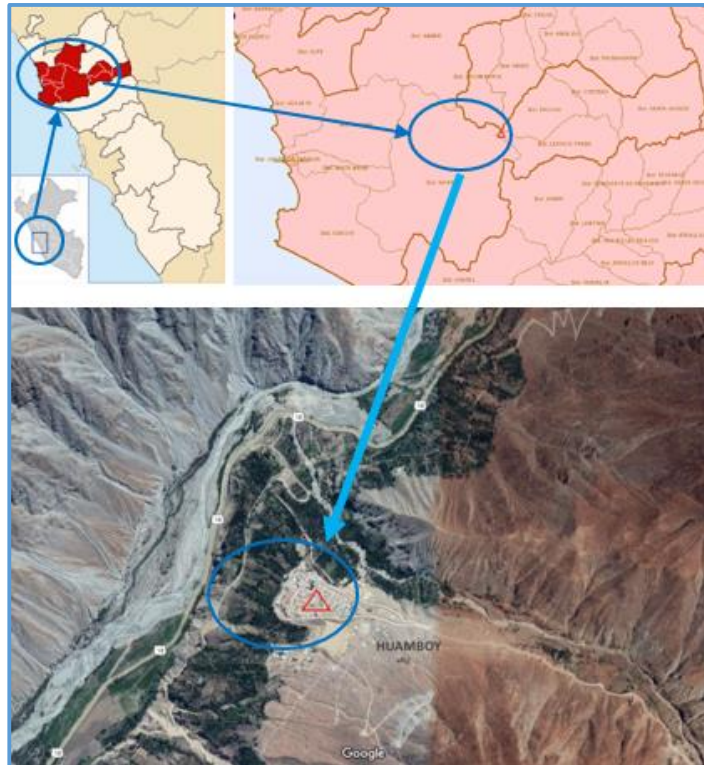
Ubicación Política del Proyecto “Rehabilitación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima”.

Departamento : Lima

Provincia : Huaura

Distrito : Leoncio Prado

Centro Poblado : Huambo



*Figura 20. Mapa Departamental, Provincial, Distrital y Local del Proyecto
Fuente: Expediente Técnico (Rehabilitación de los Servicios de Agua Potable,
Alcantarillado y Planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad
Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima)*

La estructura de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Localidad de Huambo fue afectada por deslizamiento de tierra y rocas, que origino que se colmatara y

colapsara, los cuales fueron causados por el Fenómeno del Niño. Se aprecia el estrado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Localidad de Huambo en la siguiente foto.



*Fotografía 1. Caja de ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales
Fuente: Expediente Técnico (Rehabilitación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima)*

Con respecto a la **solución propuesta para el sistema de saneamiento** para restablecer el servicio, consiste en la construcción de planta de tratamiento de aguas residuales, la que estará compuesta de 01 tanque imhoff, 01 filtro biológico, 01 lecho de secado y 03 pozos de percolación, como se muestra en la Figura 21.

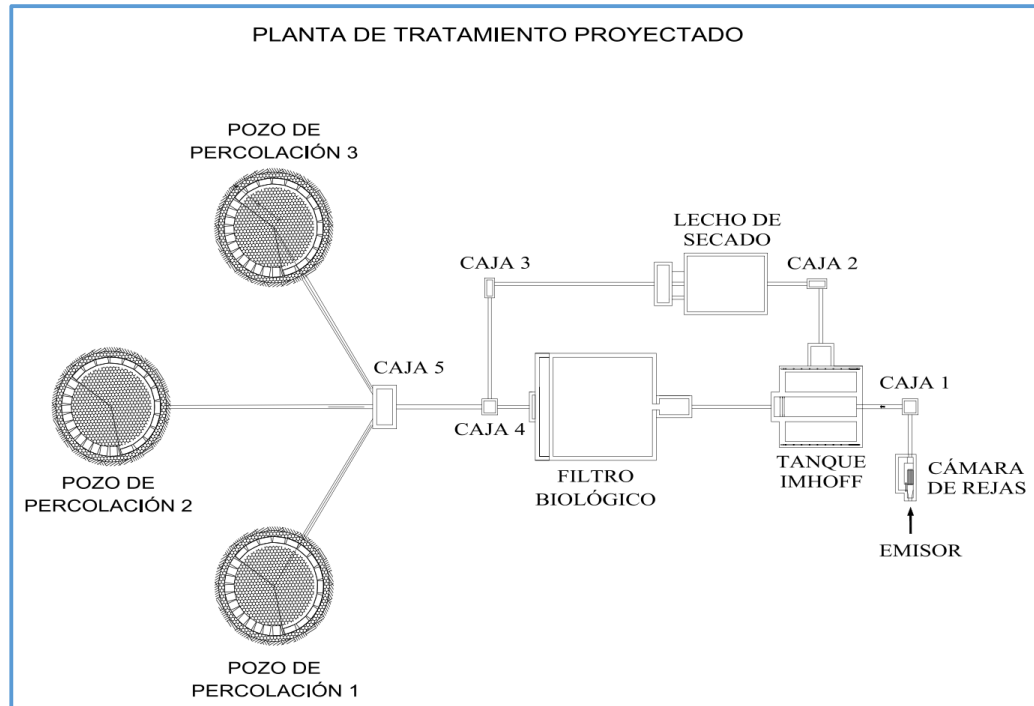


Figura 21. Planta general de la planta de tratamiento de aguas residuales
Fuente: Autoría propia

En la presente investigación se considerará el tanque Imhoff, para realizar el análisis dinámico.

Con respecto al **Procedimiento de modelado**, para determinar las propiedades dinámicas de un contenedor de líquido el Cogido ACI 350.03-06, señala que para determinar la rigidez k de la estructura, se debe calcular en base a las condiciones correctas de contorno.

Al respecto, de acuerdo al Código NZS 3106:1986 de Nueva Zelanda en su Anexo B, asume el modelo del muro, como una viga en voladiza, con una masa concentrada y una rigidez k .

En tal sentido, para realizar el modelo de la estructura del tanque Imhoff, se considera el modelo simplificado de acuerdo a la consideración del Código NZS

3106:1986, en tal sentido, primero se presenta la planta del Tanque Imhoff con sus respectivas vistas, como se muestra en la Figura 22, 23 y 24.

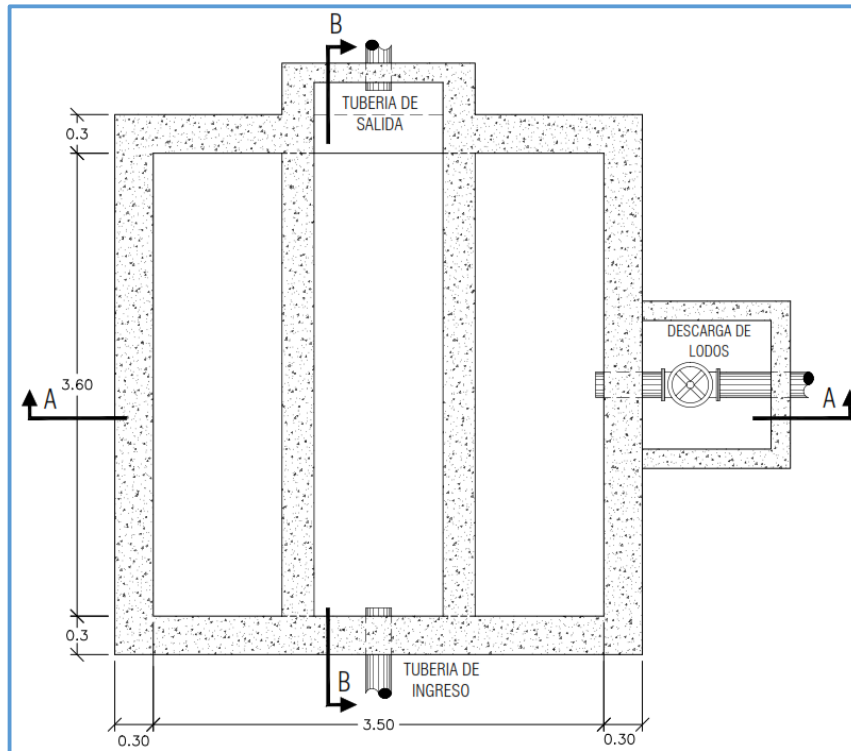


Figura 22. Vista en planta del Tanque Imhoff de la Localidad de Huambo
Fuente: Autoría propia

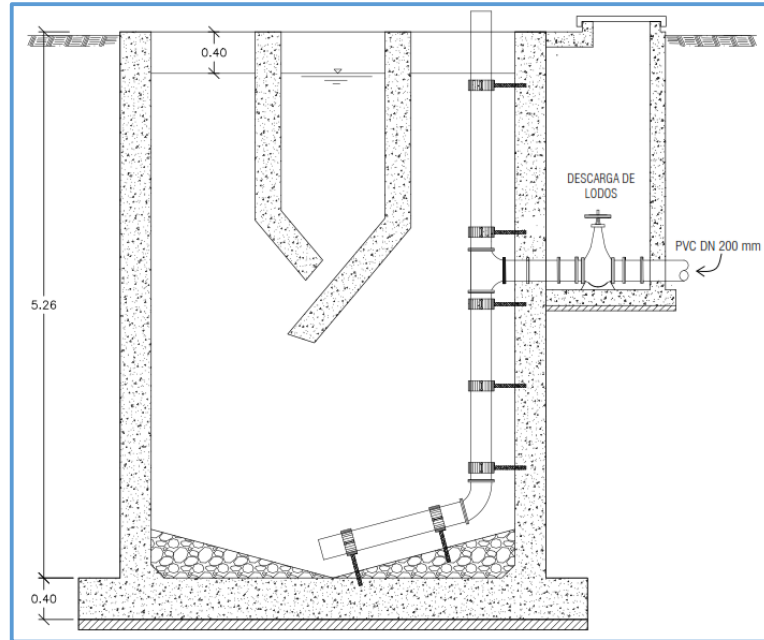


Figura 23. Vista del corte A-A del Tanque Imhoff de la Localidad de Huambo
 Fuente: Autoría propia

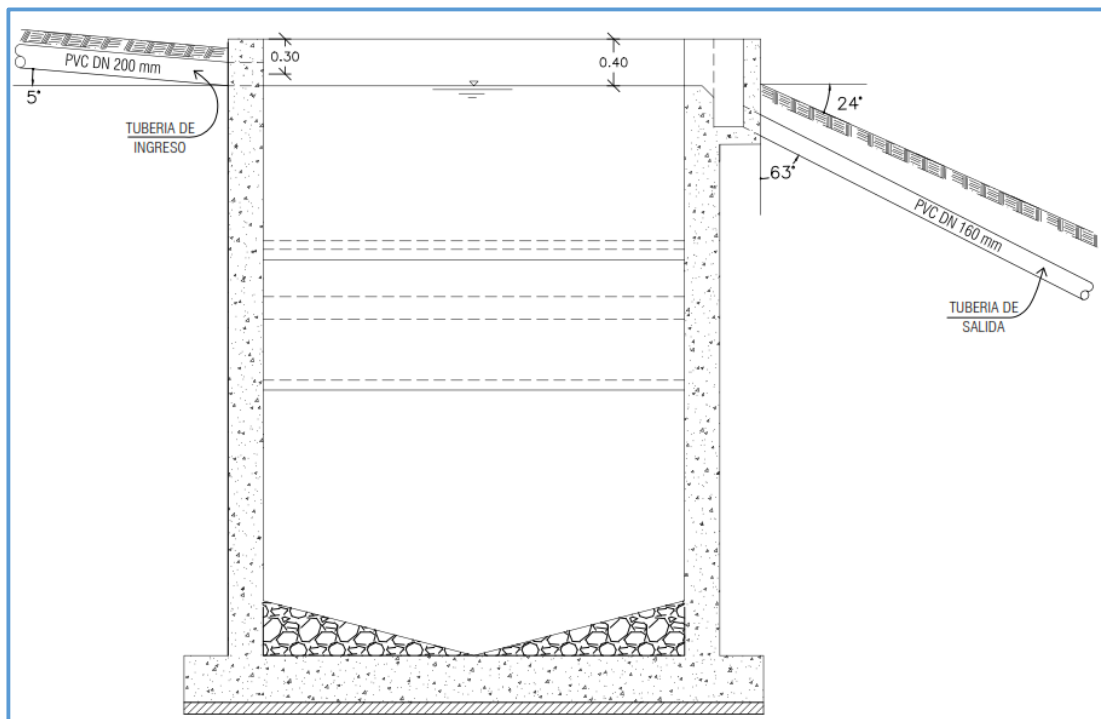


Figura 24. Vista del corte B-B del Tanque Imhoff de la Localidad de Huambo
 Fuente: Autoría propia

Para determinar las **características geométricas del modelo**, se realizó un esquema simplificado del tanque Imhoff como se muestra en la Figura 25, obteniendo los datos de la Tabla 7.

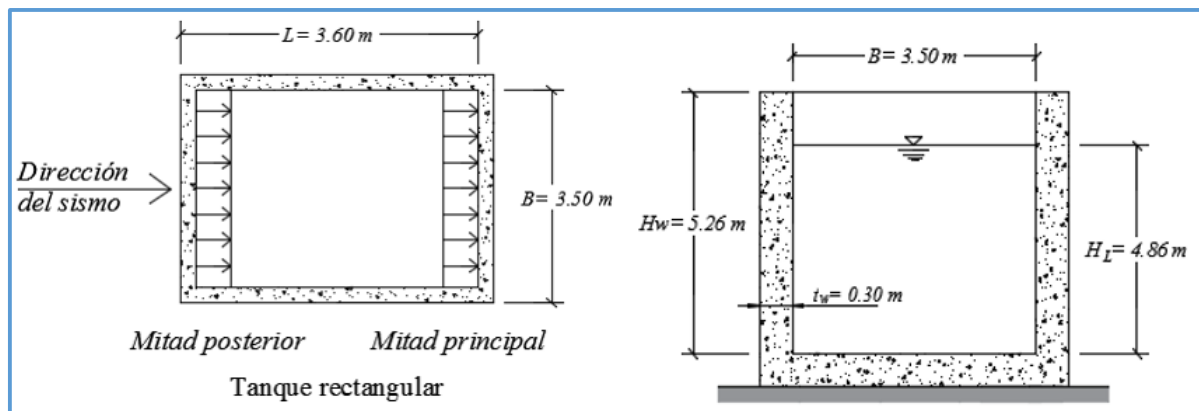


Figura 25. Vista simplificada del tanque Imhoff
Fuente: Autoría propia

Tabla 7
Datos geométricos del tanque Imhoff

Descripción	Valor	Unidad
B	3.50	m
L	3.60	m
H_L	4.86	m
H_w	5.26	m
t_w	0.30	m

Fuente: Autoría propia

También, se determinó las **características mecánicas del modelo** teniendo en consideración la resistencia del concreto f'_c 280 kg/cm² del tanque Imhoff, para determinar el módulo de elasticidad E del concreto como se detalla a continuación.

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

$$E_c: 15000\sqrt{f'_c} \text{ en kg/cm}^2$$

$$E_c: 250,998.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c: 2,509,980.10 \text{ ton/m}^2$$

Con respecto a los **Parámetros Sísmico del sitio y factores de modificación de respuesta**; se determinó el **Factor de Zona** de 0.45 y **Factor de Suelo** de 1.05 empleando la Tabla 1 y Tabla 2 respectivamente, las cuales están según la E.030.

Asimismo, el tanque imhoff al ser componente de un sistema vital, el que debe encontrarse en funcionamiento después de un evento sísmico, le corresponde un **Factor de Importancia** de 1.15, de acuerdo a la Tabla 3 que esta según el código ACI.03-06. Se detalla el resumen los parámetros sísmicos en la Tabla 8.

Tabla 8
Factores de sitio

Descripcion	Factor
Z	0.45
S	1.05
I	1.25

Fuente: Autoría propia

Ahora, para determinar las **masas de acuerdo al modelo de Housner**, nos basaremos de acuerdo al Código ACI 350.3-06, donde primero determinaremos **Los Pesos de las paredes del depósito** como se muestra a continuación.

$$W_w = \gamma c.H_w.tw.(2(B+tw)+2(L+tw))$$

$$W_w = 2.4 \times 5.26 \times 0.30 \times (2 \times (3.60 + 0.30) + 2 \times (3.50 + 0.30))$$

$$W_w = 58.32 \text{ ton}$$

Ahora, para determinar los **Pesos equivalentes del líquido acelerado**, que es el peso impulsivo y convectivo se emplea la Ecuación 1 y la Ecuación 2 respectivamente; pero inicialmente se tiene que determinar el peso del líquido, como se muestra a continuación.

Los valores de B, L y H_L se obtienen de la Tabla 7.

$$W_L = B \times L \times H_L = 3.50 \times 3.60 \times 4.86$$

$$W_L = 61.24 \text{ ton}$$

Se tiene que:

$$\frac{L}{H_L} = \frac{3.60}{4.86} = 0.74$$

$$\frac{H_L}{L} = \frac{4.86}{3.60} = 1.35$$

Empleando la Ecuación 1 se tiene:

$$\frac{W_i}{61.24} = \frac{\tanh[0.866(0.74)]}{0.866(0.74)}$$

$$W_i = 54.03 \text{ ton}$$

Empleando la Ecuación 2 se tiene:

$$\frac{W_c}{61.24} = 0.264(0.74) \tanh[3.16(1.35)]$$

$$W_c = 11.97 \text{ ton}$$

Ahora, mostramos los valores de las masas en la Figura 26.

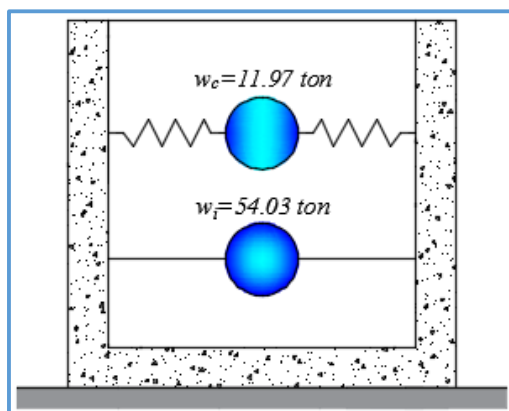


Figura 26. Peso impulsivo y peso convectivo
 Fuente: Autoría propia

Ahora, determinaremos las **alturas de centro de gravedad de la masa impulsiva y convectiva**, donde existen dos casos, la primera Excluyendo la Presión en la Base y la segunda Incluyendo la Presión en la Base.

Al respecto, primero consideraremos el primer caso donde se calculará las **Alturas Excluyendo la Presión en la Base**, la que se detalla a continuación:

Para determinar la altura impulsiva y convectiva se emplean los siguientes datos.

$$L: \quad 3.60 \text{ m}$$

$$H_L: \quad 4.86 \text{ m}$$

Se tiene que:

$$\frac{L}{H_L} = \frac{3.60}{4.86} = 0.74$$

Entonces, para calcular la altura impulsiva se empleará la Ecuación 3.

$$\frac{h_i}{4.86} = 0.5 - 0.09375(0.74)$$

$$h_i = 2.09 \text{ m}$$

Se tiene que:

$$\frac{H_L}{L} = \frac{4.86}{3.60} = 1.35$$

Entonces, para calcular la altura convectiva se emplea la Ecuación 5.

$$\frac{h_c}{4.86} = 1 - \frac{\cosh[3.16(1.35)] - 1}{3.16(1.35) \times \sinh[3.16(1.35)]}$$

$$h_c = 3.75 \text{ m}$$

En la Figura 27, se representa la ubicación de la altura impulsiva y convectiva Excluyendo la Presión en la Base, con sus respectivas masas.

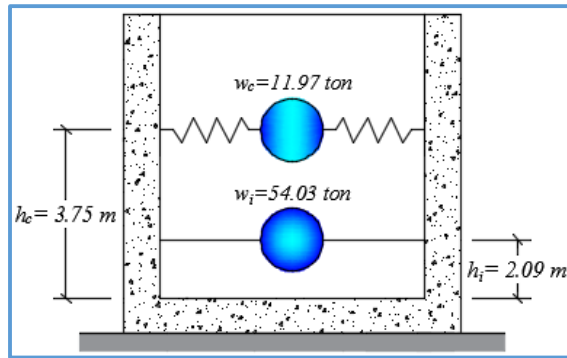


Figura 27. Altura convectiva e impulsiva
 Excluyendo la Presión en la Base
 Fuente: Autoría propia

Ahora, determinaremos las **Alturas Incluyendo la Presión en la Base**, como se detalla a continuación:

Se tiene que:

$$\frac{L}{H_L} = \frac{3.60}{4.86} = 0.74$$

Entonces, empleamos la ecuación 6, para determinar la altura impulsiva.

$$\frac{h_i'}{4.86} = 0.45$$

$$h_i' = 2.19 \text{ m}$$

Empleando la ecuación 8, determinamos la altura convectiva.

$$\frac{h_c'}{4.86} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right)\right] - 2.01}{3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right) \times \sinh\left[3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right)\right]}$$

$$h_c' = 3.78 \text{ m}$$

En la Figura 28 se representa las alturas de la masa impulsiva y convectiva, las cuales se determinaron Incluyendo la Presión en la Base

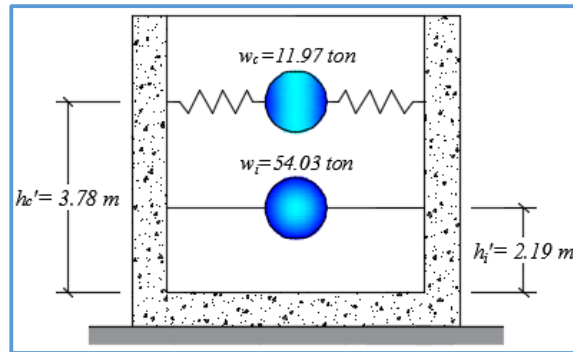


Figura 28. Altura convectiva e impulsiva
 Incluyendo la Presión en la Base
 Fuente: Autoría propia

Ahora, determinaremos las **masas por unidad de longitud**, como se detalla a continuación:

Determinamos la masa por unidad de longitud del muro, empleando la Ecuación 12 y Ecuación 14, como se muestra a continuación.:

$$m_w = 5.26 \times 0.30 \times \frac{2.40}{9.81} = 0.39 \text{ ton.s}^2/\text{m}$$

Empleando la Ecuación 13 y Ecuación 15 se obtiene:

$$m_i = \left(\frac{54.37}{61.24} \right) \left(\frac{3.60}{2} \right) (4.86) \left(\frac{1}{9.81} \right)$$

$$m_i = 0.79 \text{ ton.s}^2/\text{m}$$

La masa del modelo se determina con la Ecuación 10, como se muestra a continuación:

$$m = m_w + m_i = 0.39 + 0.79$$

$$m = 1.18 \text{ ton.s}^2/\text{m}$$

Ahora determinaremos la altura en la que se encuentra ubicada la masa,
 empleando la Ecuación 16. Como primer caso se determina la **altura excluyendo la
 presión en la base.**

$$h = \frac{h_w m_w + h_i w_i}{m} = \frac{\frac{5.26}{2} \times 0.39 + 2.09 \times 0.79}{1.18}$$

$$h = 2.27 \text{ m}$$

De la misma forma, tenemos como segundo la **altura incluyendo la presión en la
 base.**

$$h = \frac{h_w m_w + h_i' w_i}{m} = \frac{\frac{5.26}{2} \times 0.39 + 2.19 \times 0.79}{1.18}$$

$$h = 2.33 \text{ m}$$

Entonces, ahora consideramos el mayor valor que es $h = 2.33$, la que se determinó
 incluyendo la presión en la base. La representación de los valores de m y h , se observa en
 la Figura 29.

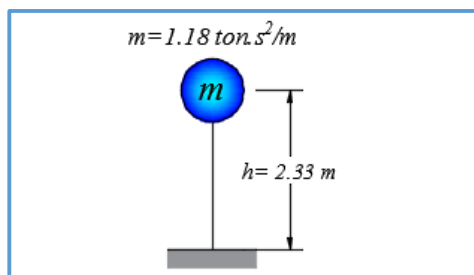


Figura 29. Modelo hipotético columna/masa
 Fuente: Autoría propia

Después de esto se determina la rigidez del modelo, donde reemplazando los
 valores de E , h y t en la Ecuación 20, se obtiene la rigidez del muro del tanque Imhoff
 para un ancho unitario.

La rigidez excluyendo la presión en la base

$$k = \frac{E}{4} \left(\frac{t}{h} \right)^3 = \frac{2,509,980.10}{4} \left(\frac{0.30}{2.27} \right)^3$$

$$k = 1,448.43 \text{ ton/m}$$

La rigidez incluyendo la presión en la base

$$k = \frac{E}{4} \left(\frac{t}{h} \right)^3 = \frac{2,509,980.10}{4} \left(\frac{0.30}{2.33} \right)^3$$

$$k = 1,339.39 \text{ ton/m}$$

Se considera la rigidez del modelo incluyendo la presión en la base, debido a que, al ser la menor, se tendrá mayores deformaciones.

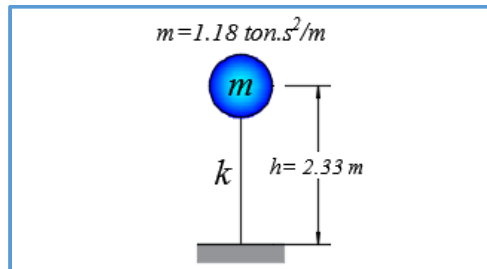


Figura 30. Modelo hipotético columna/masa
Fuente: Autoría propia

Con los datos obtenidos, se pueden determinar las **propiedades dinámicas impulsivas**, como se detalla a continuación:

Empleando la Ecuación 9, se obtiene la frecuencia angular impulsiva.

Frecuencia angular excluyendo la presión en la base

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1,448.43}{1.18}}$$

$$\omega_i = 35.04 \text{ rad/s}$$

Frecuencia angular incluyendo la presión en la base

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1,339.39}{1.18}}$$

$$\omega_i = 33.69 \text{ rad/s}$$

Empleando la Ecuación 11, se obtiene el periodo de vibración impulsiva.

Periodo de vibración excluyendo la presión en la base

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1.18}{1,448.43}}$$

$$T_i = 0.18 \text{ s}$$

Periodo de vibración incluyendo la presión en la base

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1.18}{1,339.39}}$$

$$T_i = 0.19 \text{ s}$$

Ahora, se determinará las Propiedades dinámica convectivas, como se detalla a continuación:

Empleando la Ecuación 21 y Ecuación 22, se obtiene **frecuencia angular convectiva**.

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh\left[3.16\left(\frac{H_L}{L}\right)\right]} = \sqrt{3.16 \times 9.81 \times \tanh[3.16(1.39)]}$$

$$\lambda = 5.57$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} = \frac{5.57}{\sqrt{3.60}}$$

$$\omega_c = 2.93 \text{ rad/s}$$

Empleando la Ecuación 23, se obtiene el **periodo de vibración convectiva**.

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\sqrt{L} = \left(\frac{2\pi}{5.57}\right)\sqrt{3.60}$$

$$T_c = 2.14 \text{ s}$$

Los **Factores de amplificación espectral**, para el movimiento horizontal de la componente impulsiva le corresponde el C_i y para la componente convectiva le corresponde C_c , las cuales se determina como se muestra a continuación:

Entonces si tenemos que $T_i \leq 0.31 \text{ S}$

$$C_i = \frac{2.75}{S} = \frac{2.75}{1.05}$$

$$C_i = 2.62$$

Entonces si tenemos que $T_c < 2.4 \text{ S}$

$$C_c = 1.5 \frac{1.25}{T_c^{2/3}} = \frac{1.875}{2.14^{2/3}} = 1.14 \leq \frac{2.75}{S}$$

$$C_c = 1.13$$

Se tienen los siguientes valores, para los factores de amplificación espectral.

C_i : 2.62

C_c : 1.13

Para el cálculo del **Coefficiente de masa efectiva** ε , se emplea la Ecuación 24, se como se muestra a continuación:

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{3.60}{4.86}\right)^2 - 0.1908 \left(\frac{3.60}{4.86}\right) + 1.021 \right] \leq 1.0$$

$$\varepsilon = 0.89$$

El cálculo de las **Fuerzas dinámicas laterales**, se detallan a continuación:

Empleando la Ecuación 25 se obtiene:

$$P_w = ZSIC_i \left[\frac{\varepsilon W_w}{R_i} \right] = 0.45 \times 1.05 \times 1.25 \times 2.62 \left[\frac{0.89 \times 58.32}{3} \right]$$

$$P_w = 26.77 \text{ ton}$$

Empleando la Ecuación 26 se obtiene:

$$P_i = ZSIC_i \left[\frac{W_i}{R_i} \right] = 0.45 \times 1.05 \times 1.25 \times 2.62 \left[\frac{54.03}{3} \right]$$

$$P_i = 27.87 \text{ ton}$$

Empleando la Ecuación 27 se obtiene:

$$P_c = ZSIC_c \left[\frac{W_c}{R_c} \right] = 0.45 \times 1.05 \times 1.25 \times 1.13 \left[\frac{11.97}{1.00} \right]$$

$$P_c = 7.97 \text{ ton}$$

Ahora, se calculará la **Distribución horizontal de las fuerzas dinámicas**, a lo largo de la pared del tanque imhoff.

Para el cálculo de presiones de inercia debido al peso de los muros del tanque imhoff se empleando la Ecuación 28:

$$P_{wy} = ZSI \frac{C_i}{R_{wi}} \left[\varepsilon (\gamma_c B t_w) \right] = 0.45 \times 1.05 \times 1.25 \left(\frac{2.62}{3} \right) \left[0.89 (2.40 \times 3.50 \times 0.30) \right]$$

$$P_{wy} = 1.16 \text{ ton}$$

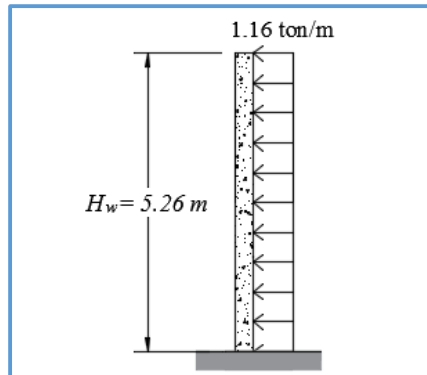


Figura 31: Distribución de fuerza de Pw
Fuente: Autoría propia

Antes, de calcular la distribución de las presiones convectivas e impulsivas que se ejercen sobre la pared del contenedor, presentaremos el tanque Imhoff en un eje de sistemas cartesianos, como se muestra en la Figura 32, la cual nos permitirá obtener las ordenadas, las que se emplearán en el cálculo de la Ecuación 26 y Ecuación 27.

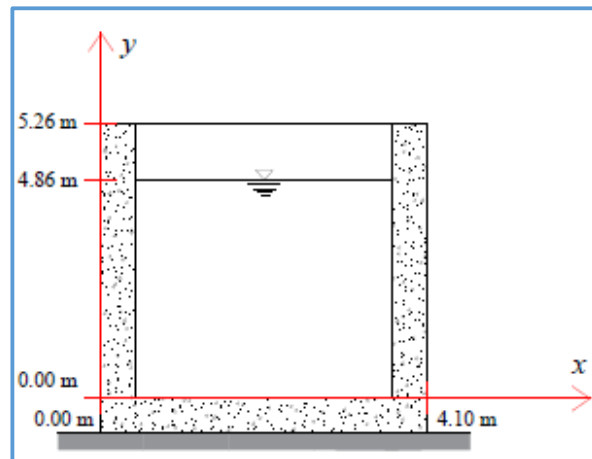


Figura 32: Tanque Imhoff en sistema de ejes cartesianos
Fuente: Autoría propia

Empleando la Ecuación 29:

Primero calcularemos la presión en la base, para lo que el valor de $y = 0.00$ m

$$P_{i(0)} = \frac{\frac{P_i}{2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} = \frac{\frac{27.87}{2} \left[4 \times 4.86 - 6 \times 2.19 - (6 \times 4.86 - 12 \times 2.19) \left(\frac{0.00}{4.86} \right) \right]}{4.86^2}$$

$$P_{i(0)} = 3.73 \text{ ton/m}$$

Ahora, calcularemos la presión en la superficie del líquido, donde el valor de $y=$

4.86 m

$$P_{i(4.86)} = \frac{\frac{P_i}{2} \left[4H_L - 6h_i - (6H_L - 12h_i) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} = \frac{\frac{27.87}{2} \left[4 \times 4.86 - 6 \times 2.19 - (6 \times 4.86 - 12 \times 2.19) \left(\frac{4.86}{4.86} \right) \right]}{4.86^2}$$

$$P_{i(4.86)} = 2.01 \text{ ton/m}$$

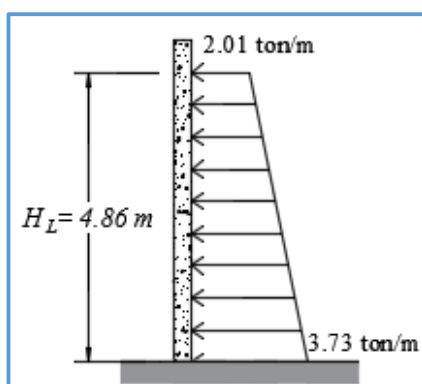


Figura 33: Distribución de fuerza de Pi
Fuente: Autoría propia

Empleando la Ecuación 30:

Primero calcularemos la presión en la base, para lo que el valor de $y= 0.00$ m

$$P_{c(0)} = \frac{\frac{P_c}{2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} = \frac{\frac{7.97}{2} \left[4 \times 4.86 - 6 \times 3.78 - (6 \times 4.86 - 12 \times 3.78) \left(\frac{0.00}{4.86} \right) \right]}{4.86^2}$$

$$P_{c(0)} = -0.55 \text{ ton/m}$$

Ahora, calcularemos la presión en la superficie del líquido, donde el valor de $y=$

4.86 m

$$P_{c(4.86)} = \frac{\frac{P_c}{2} \left[4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left(\frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} = \frac{\frac{7.97}{2} \left[4 \times 4.86 - 6 \times 3.78 - (6 \times 4.86 - 12 \times 3.78) \left(\frac{4.86}{4.86} \right) \right]}{4.86^2}$$

$$P_{c(4.86)} = 2.19 \text{ ton/m}$$

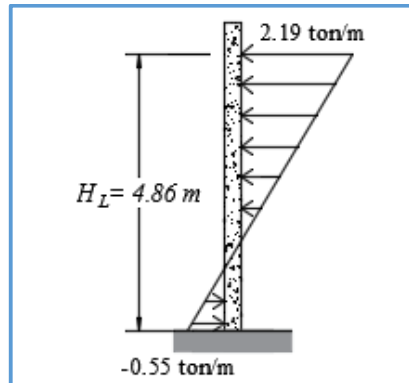


Figura 34: Distribución de fuerza de Pc
 Fuente: Autoría propia

Se observa en la Figura 34 que existe un tramo de presión negativa que inicia en la base con un valor de -0.54 ton/m ; al respecto, de manera conservadora, se considerará una presión de 0.00 ton/m en la base, obteniendo así la nueva distribución de presiones como se muestra en la Figura 35.

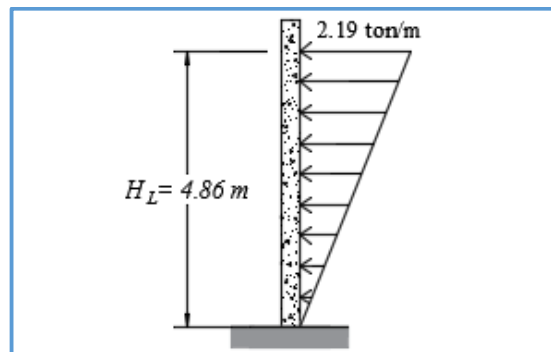


Figura 35: Distribución conservadora de la fuerza Pc.
 Fuente: Autoría propia

Se tiene el resumen de las distribuciones de fuerzas dinámicas en la Figura 36.

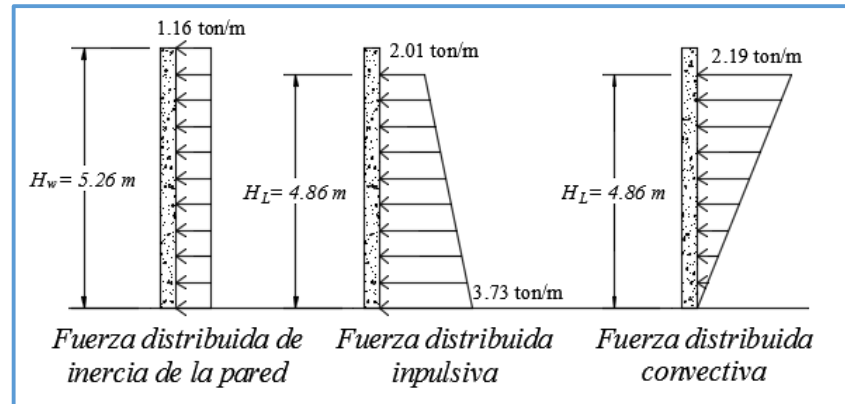


Figura 36: Distribución de fuerzas dinámicas a lo largo de ancho (B), del Tanque Imhoff
Fuente: Autoría propia

Ahora, determinaremos las fuerzas por 1.00 m a lo largo del ancho (B), del tanque Imhoff.

Empleando la Ecuación 31.

$$P_{wy} = \frac{P_{wy}}{B} = \frac{1.16}{3.50}$$

$$P_{wy} = 0.33 \text{ ton} / \text{m}^2$$

Empleando la Ecuación 32.

$$P_{i(0)} = \frac{P_{iy}}{B} = \frac{3.73}{3.50}$$

$$P_{i(0)} = 1.06 \text{ ton}$$

$$P_{i(4.86)} = \frac{P_{i(4.06)}}{B} = \frac{2.01}{3.50}$$

$$P_{i(4.86)} = 0.57 \text{ ton} / \text{m}^2$$

Empleando la Ecuación 32.

$$P_{c(0)} = \frac{P_{c(0)}}{B} = \frac{0.00}{3.50}$$

$$P_{c(0)} = 0.00 \text{ ton} / \text{m}^2$$

$$P_{c(4.86)} = \frac{P_{c(4.86)}}{B} = \frac{2.19}{3.50}$$

$$P_{c(4.86)} = 0.63 \text{ ton} / \text{m}^2$$

Ahora, en la Figura 37 se tiene el **resumen de la distribución de fuerzas dinámicas para un ancho 1.00 m.**

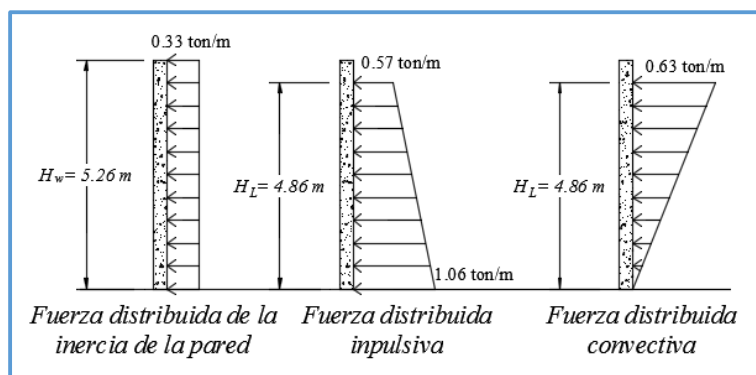


Figura 37. Distribución de fuerzas dinámicas por un ancho de 1.00 m del Tanque Imhoff
Fuente: Autoría propia

También se tiene que considerar el **Empuje de la tierra**, para el cual se emplea al método de Monobe-Okabe.

Iniciamos, calculando la aceleración horizontal de acuerdo a la norma peruana E.030, es el factor Z la que se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad, y la aceleración vertical se considera el 2/3 de la aceleración horizontal.

Coefficiente sísmico de la aceleración horizontal y vertical, se determina empleando la ecuación 42 y ecuación 43 respectivamente, como es muestra continuación.

$$k_H = \frac{Z}{g} = \frac{0.45g}{g}$$

$$k_H = 0.45$$

$$k_v = \frac{\frac{2}{3}(Z)}{g} = \frac{\frac{2}{3}(0.45g)}{g}$$

$$k_v = 0.30$$

Con los valores determinados anteriormente calculamos θ .

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.45}{1+0.30}\right)$$

$$\theta = 19.09^\circ$$

Para determinar la presión del suelo se tienen los siguientes datos del suelo donde se ubicará la estructura del Tanque Imhoff. las cuales son:

- Angulo de fricción interna $\phi = 28.7^\circ$
- Densidad 1.97 (gr/cm³)

Los datos necesarios para determinar el coeficiente activo total de detallan en la

Tabla 9.

Tabla 9
Datos del suelo

Dato	Valor	Unidad
γ	1.97	ton/m ³
H	5.26	m
ϕ	28.70	°
ω	0.00	°
δ	19.13	°
β	5.00	°
k_v	0.30	-
k_H	0.45	-
θ	19.09	°

Fuente: Autoría propia

Con los datos de la tabla 9, se calculará el valor del coeficiente activo, empleando la ecuación 39.

$$K_{AD} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \omega)}{\cos^2 \omega \cos \theta \cos(\delta + \theta - \omega) \left[1 + \left(\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - \beta)}{\cos(\delta + \omega + \theta) \cos(\omega - \beta)} \right)^{1/2} \right]^2}$$

$$K_{AD} = 0.80$$

Con el valor del **coeficiente activo de la presión dinámica total** del suelo la que incluye la fuerza estática y dinámica, se determina empleando la ecuación 37.

$$E_{AT} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AD} = \frac{1}{2} \times 1.97 \times (5.26)^2 \times (1 - 0.3) \times 0.80$$

$$E_{AT} = 15.26 \text{ ton/m}$$

Para determinar el **coeficiente activo estático** empleamos la ecuación 36, y para la fuerza activa estática la ecuación 35.

Empleando la ecuación 38

$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{28.70}{2} \right)$$

$$K_A = 0.35$$

Empleando la ecuación 35

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A = \frac{1}{2} \times 1.97 \times (5.26)^2 \times 0.35$$

$$E_{AE} = 9.54 \text{ ton/m}$$

Ahora, para poder **determinar la fuerza dinámica activa** (EAD) empleamos la ecuación 34.

$$E_{AT} = E_{AE} + E_{AD}$$

$$15.26 = 9.54 + E_{AD}$$

$$E_{AD} = 5.72 \text{ ton/m}$$

Finalmente, tenemos la **fuerza activa estática del suelo** y la **fuerza activa dinámica del suelo**, como se muestra en la Figura 38.

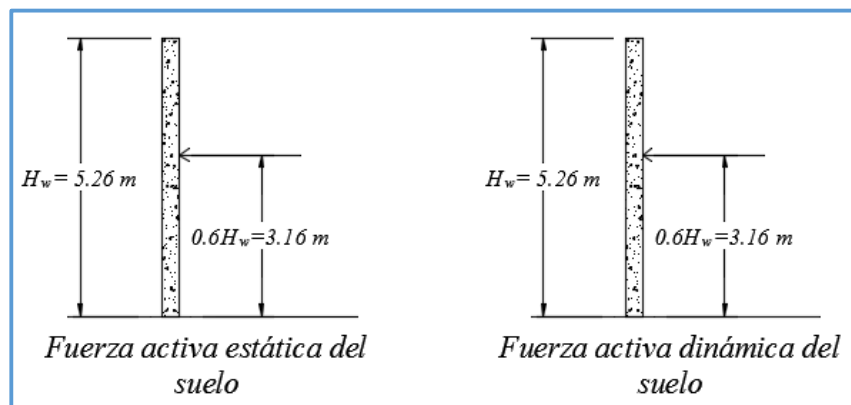


Figura 38: Representación de la fuerza del suelo activo estático y dinámico
 Fuente: Autoría propia

Por otra parte, se realizará el **Modelo tanque Imhoff – Tubería PVC-U**, la que se usará para realizar el análisis estructural de la interacción del Tanque Imhoff y la Tubería PVC-U diámetro nominal 200 mm, para el cual no basamos en la vista en planta del Tanque Imhoff y la tubería que va hacia la Caja 1 de la planta de tratamiento de la Localidad de Huambo, como se aprecia en la Figura 39.

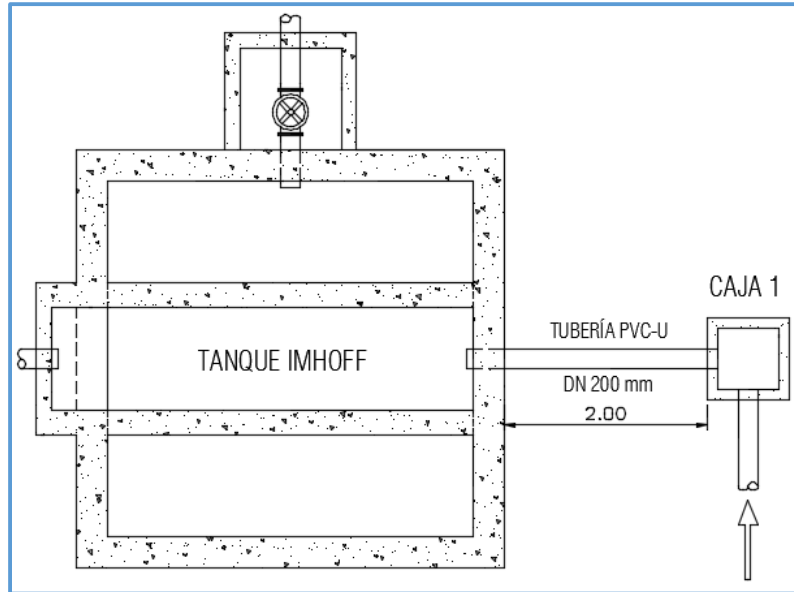


Figura 39: Vista en planta del tanque Imhoff y tubería PVC DN 200 mm
Fuente: Autoría propia

Ahora, se presentará el modelo simplificado del tanque Imhoff y la tubería PVC-U DN 200 mm, en la figura 37, el cual se usará para realizar el análisis estructural.

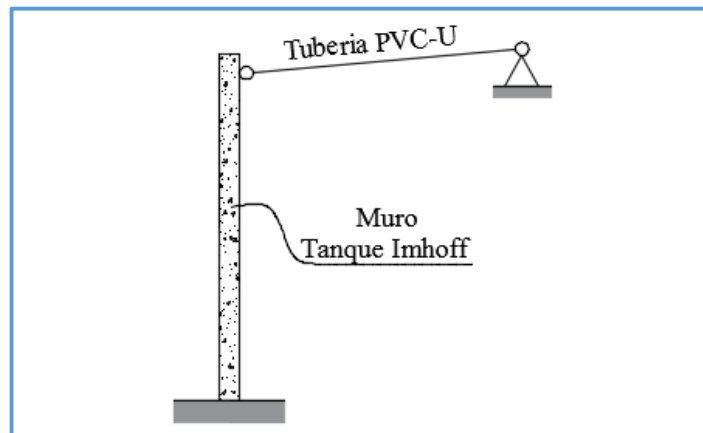


Figura 40: Modelo simplificado Tanque Imhoff – Tubería PVC-U
Fuente: Autoría propia

Los datos que le correspondientes a la tubería PVC DN 200 mm mostrada en la Figura 40, son las siguientes.

- Área total: 0.0327 m²
- Área interior: 0.0314 m²

- Área de la sección de tubería: Área total - Área interior
- Área de la sección de tubería: 0.0013 m²
- E_{pvc}: 3,000 ton/m²

Para el cálculo de la **Matriz de rigidez de la estructura**, se realizará el modelo de la estructura debidamente representada como se muestra en la Figura 41.

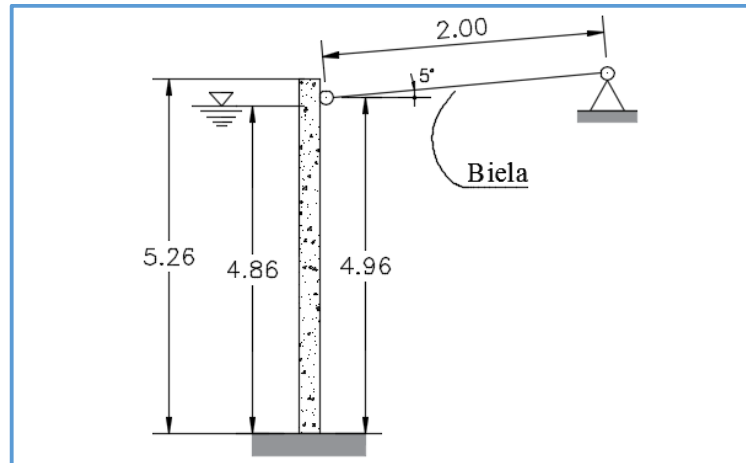


Figura 41: Modelo estructural del Tanque Imhoff – Tubería PVC-U
Fuente: Autoría propia

Ahora identificaremos los nudos principales del modelo presentado en la Figura 41.

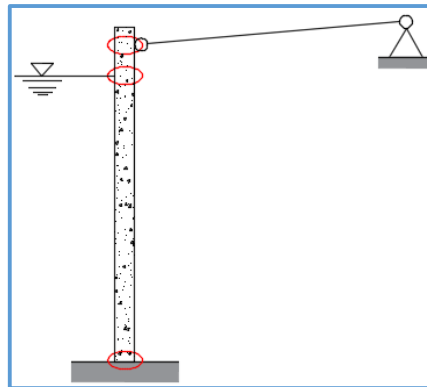


Figura 42: Nudos principales de la estructura
Fuente: Autoría propia

Se observa en que en la Figura 42, que se están considerando dos nudos principales, primero en la unión de la tubería PVC, debido a que se requiere determinar la

deformación lateral en ese punto, y el segundo nudo principal es en el punto de la superficie del agua con la finalidad de facilitar los cálculos.

Ahora, mostramos los grados de libertad de la estructura en la Figura 43.

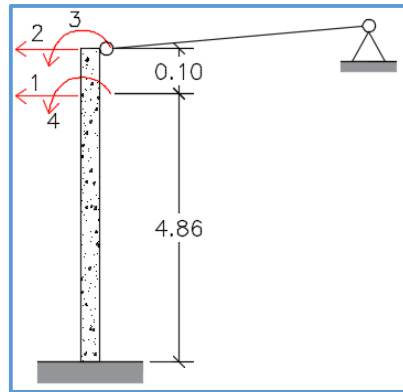


Figura 43: Grados de libertad del modelo
Fuente: Autoría propia

La **matriz de rigidez del modelo** simplificado del tanque imhoff mostrado en la Figura 43, se muestra a continuación:

$$\tilde{K} = \begin{bmatrix} 53426.18 & -50916.20 & 28003.91 & 24238.94 \\ -50916.20 & 50918.14 & -28003.91 & -28003.91 \\ 28003.91 & -28003.91 & 20536.20 & 10268.10 \\ 24238.94 & -28003.91 & 10268.10 & 28066.14 \end{bmatrix}$$

Para el **Cálculo de vectores de fuerzas**, se empleará la siguiente distribución de cargas mostrada en la Figura 44.

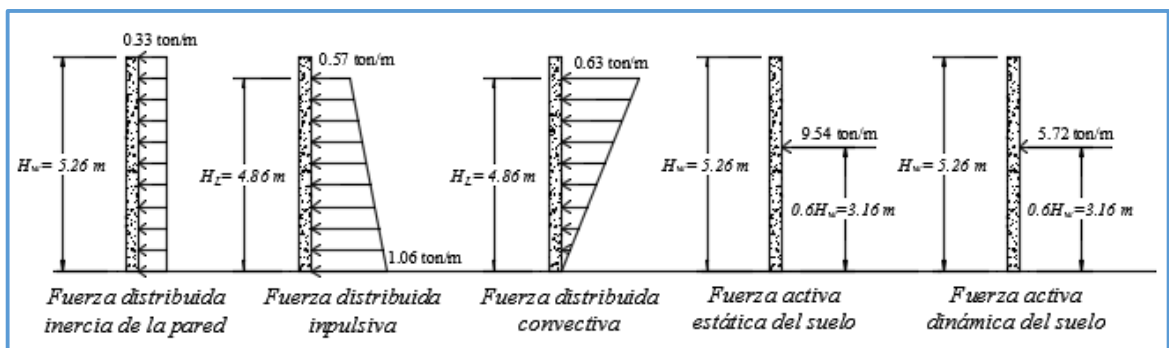


Figura 44. Cargas distribuidas para un ancho de 1 m del muro del tanque imhoff
Fuente: Autoría propia

Fuerzas aplicadas directamente en el nudo

Primero calcularemos el vector de fuerzas que son aplicados directamente en los nudos, el cual denominaremos F_{0z} .

Se observa que la carga dinámica de la pared del Tanque Imhoff (P_w) presenta el vector de fuerzas.

Fuerzas de inercia de la pared

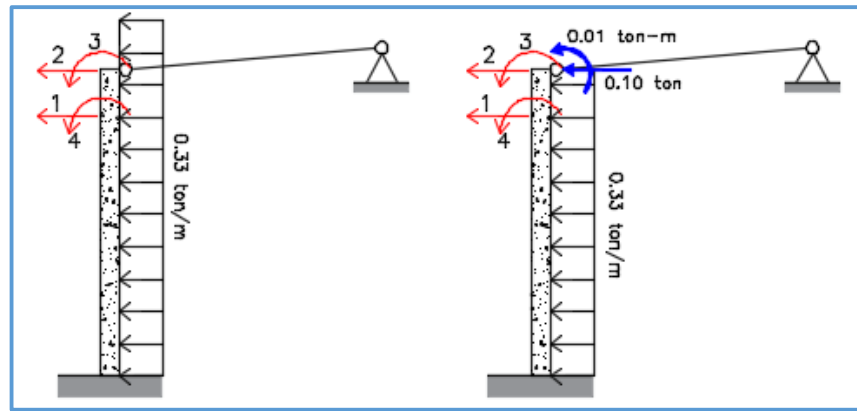


Figura 45: Fuerzas dinámicas de la pared del tanque aplicado directamente en el nudo
Fuente: Autoría propia

De la Figura 45, se obtiene el vector de fuerzas directamente aplicado en los nudos debido a las fuerzas de inercia de la pared, la que se muestra a continuación.

$$F_{Fw} = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.10 \\ 0.01 \\ 0.00 \end{pmatrix}$$

Fuerzas de fijación

Ahora, determinamos el vector de fuerzas equivalente en los nudos, debido a cargas en el elemento, la que denominamos F_{0z}^f .

Fuerzas de inercia de la pared

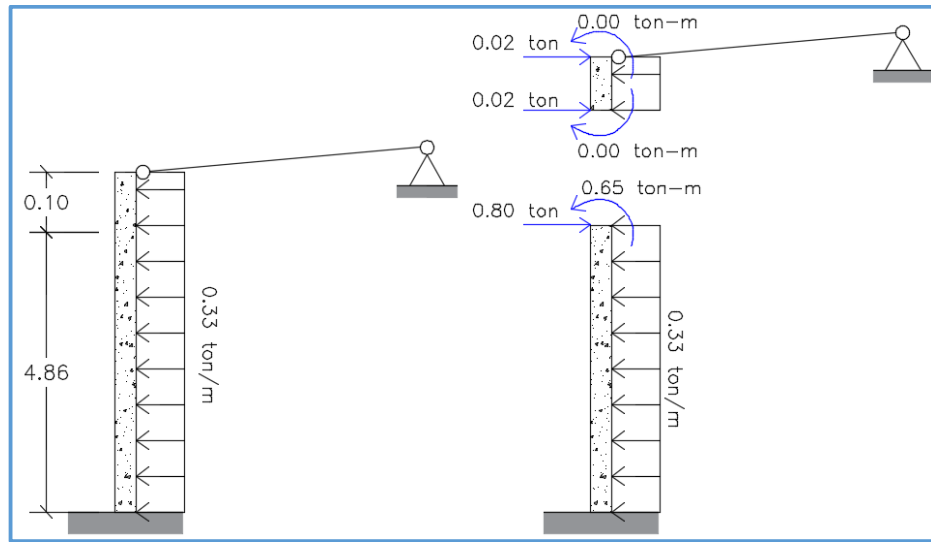


Figura 46: Fuerzas de inercia de la pared del Tanque Imhoff equivalente en los nudos, debido a cargas en el elemento.

Fuente: Autoría propia

De la Figura 46, se obtiene el siguiente vector de cargas:

$$\frac{F^f}{\%F^w} = \begin{pmatrix} -0.80 & -0.02 \\ -0.02 \\ 0.00 \\ 0.65 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.82 \\ -0.02 \\ 0.00 \\ 0.65 \end{pmatrix}$$

Fuerzas impulsivas

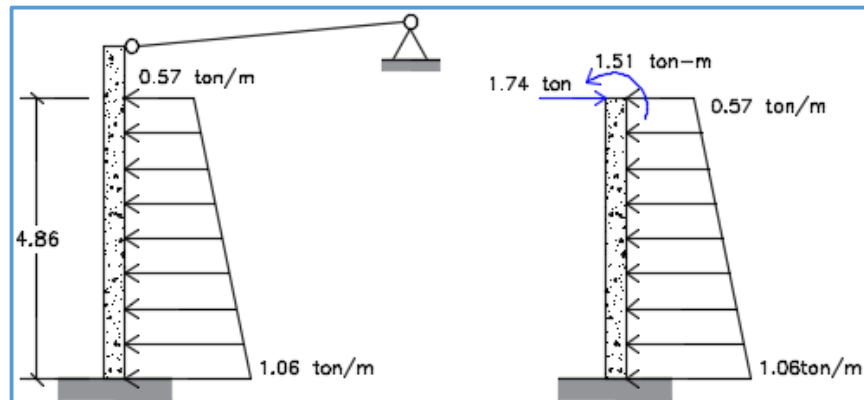


Figura 47: Fuerzas impulsivas equivalente en los nudos, debido a cargas en el elemento.

Fuente: Autoría propia

De la Figura 47, se obtiene el siguiente vector de cargas:

$$F_{\%i}^f = \begin{pmatrix} -1.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 1.51 \end{pmatrix}$$

Fuerzas convectivas

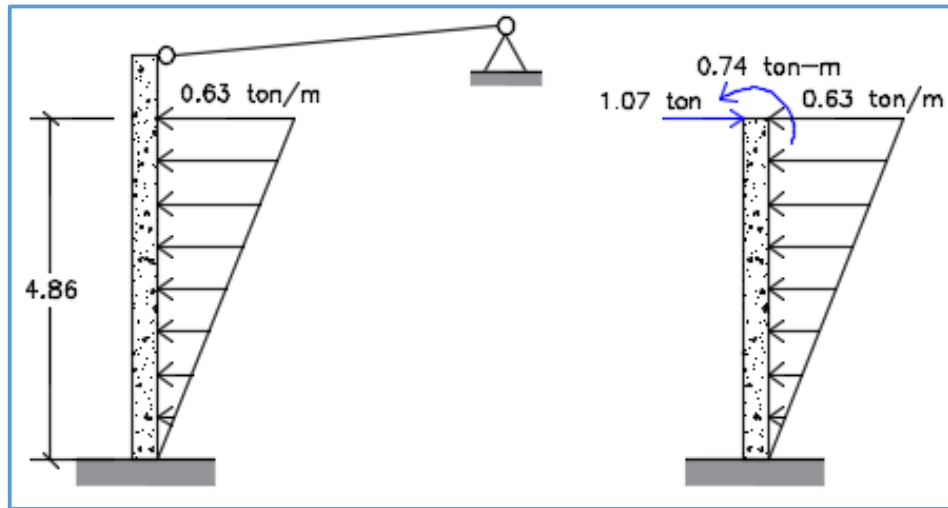


Figura 48: Fuerzas impulsivas convectiva en los nudos, debido a cargas en el elemento.
 Fuente: Autoría propia

De la Figura 48, se obtiene el siguiente vector de cargas:

$$F_{\%c}^f = \begin{pmatrix} -1.07 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.74 \end{pmatrix}$$

Fuerza activa estática del suelo

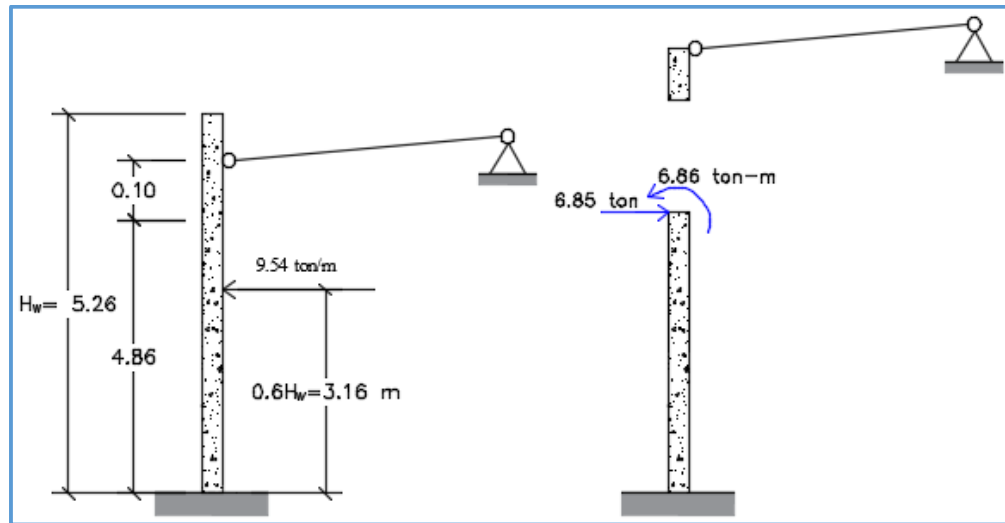


Figura 49: Fuerzas activas estática del suelo en los nudos, debido a cargas en el elemento.
 Fuente: Autoría propia

De la Figura 49, se obtiene el siguiente vector de cargas:

$$\begin{matrix} F \\ \%AE \end{matrix} = \begin{pmatrix} -6.85 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 6.86 \end{pmatrix}$$

Fuerza activa dinámica del suelo

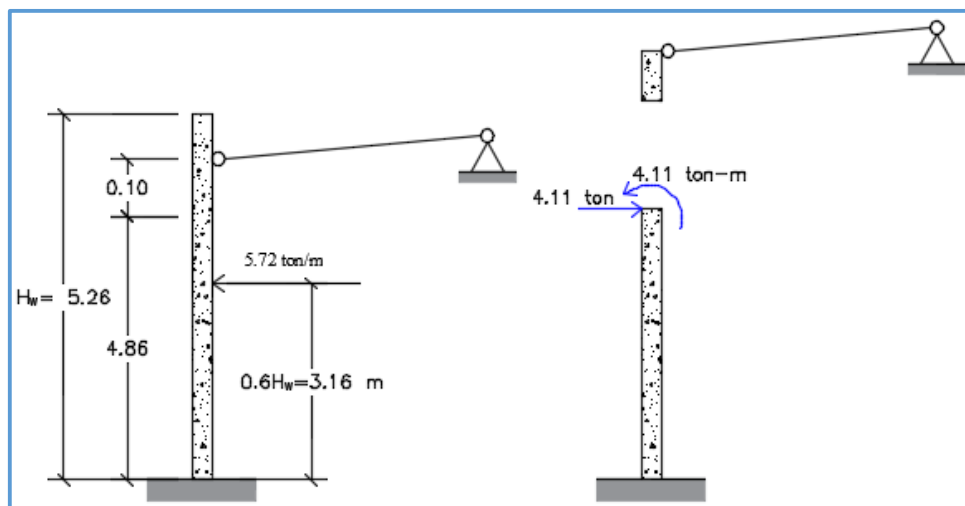


Figura 50: Fuerzas activas dinámicas del suelo en los nudos, debido a cargas en el elemento.
 Fuente: Autoría propia

De la Figura 50, se obtiene el siguiente vector de cargas:

$$F_{\%AD}^f = \begin{pmatrix} -4.11 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 4.11 \end{pmatrix}$$

Entonces ahora, se procede a determinar el **vector de fuerzas** $P_{\%}$, como se muestra a continuación:

$$P_{\%} = F_{\%} - F_{\%}^f$$

Vector de fuerzas de inercia de la pared

$$P_{\%Fw} = F_{\%Fw} - F_{\%Fw}^f = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.10 \\ 0.01 \\ 0.00 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -0.82 \\ -0.02 \\ 0.00 \\ 0.65 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.82 \\ 0.12 \\ 0.01 \\ -0.65 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas impulsivas

$$P_{\%Fi} = F_{\%Fi} - F_{\%Fi}^f = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -1.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 1.51 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -1.51 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas convectivas

$$P_{\%Fc} = F_{\%Fc} - F_{\%Fc}^f = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -1.07 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.74 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.07 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.74 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas estáticas del suelo

$$P_{\%AE} = F_{\%AE} - F_{\%AE}^f = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -6.85 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 6.86 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.85 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -6.86 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas dinámicas del suelo

$$P_{\%AD} = F_{\%AD} - F_{\%AD}^f = \begin{pmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -4.11 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 4.11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.11 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -4.11 \end{pmatrix}$$

Ahora, primero se realizará la amplificación de cargas empleando la combinación $U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$ del ACI 318S-18 con el que se obtiene la mayor amplificación de cargas, como se muestra a continuación.

Vector de fuerzas de inercia de la pared amplificadas

$$P_{\%Fw} = 0.9x \begin{pmatrix} 0.82 \\ 0.12 \\ 0.01 \\ -0.65 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.74 \\ 0.11 \\ 0.01 \\ -0.59 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas impulsivas amplificadas

$$P_{\%Fi} = \begin{pmatrix} 1.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -1.51 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas convectivas amplificadas

$$P_{\%Fc} = \begin{pmatrix} 1.07 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.74 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas estáticas del suelo amplificadas

$$P_{\%AE} = 1.6x \begin{pmatrix} 6.85 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -6.86 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10.96 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -10.98 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas dinámicas del suelo amplificadas

$$P_{\%AD} = \begin{pmatrix} 4.11 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -4.11 \end{pmatrix}$$

Determinaremos el **vector de fuerzas total**, sumando todas las combinaciones de vectores de fuerzas.

Vector de fuerzas amplificado Total

$$P_{\%} = \begin{pmatrix} 18.62 \\ 0.11 \\ 0.01 \\ -17.93 \end{pmatrix}$$

Ahora, con el vector de fuerzas y la matriz de rigidez, **determinaremos las deformaciones**, usando el software GNU OCTAVE para realizar la operación de la ecuación 44, como se muestra en la Figura 51.

```

Command Window
K =

    67770052.53000   -67769462.16000    3388473.11000    3387038.51000
   -67769462.16000    67769464.10000   -3388473.11000   -3388473.11000
    3388473.11000   -3388473.11000    225898.21000    112949.10000
    3387038.51000   -3388473.11000    112949.10000    230546.32000

P =

    18.620000
     0.110000
     0.010000
   -17.920000

>> D=(K^-1)*P
D =

    0.088246
    0.090584
    0.023382
    0.023382
  
```

Figura 51: Cálculo de las deformaciones del modelo del tanque imhoff empleando el Software GNU Octave

Fuente: Autoría propia

Después, de realizar el cálculo, se obtiene el siguiente vector de deformaciones.

$$D = \begin{pmatrix} 0.0882 \\ 0.0906 \\ 0.0234 \\ 0.0234 \end{pmatrix} \%$$

Ahora, se procederá a determinar la rigidez de la tubería de longitud 2.00 m empleando la Ecuación 45.

$$k_{PVC} = \frac{EA}{L} = \frac{3,000.00 \times 0.0013}{2.00} = 1.95 \text{ ton/m}$$

Con el valor de la rigidez de la tubería y la deformación axial, se **determinará el esfuerzo axial**, haciendo uso de la Ecuación 46.

$$Q = \frac{1.95 \times 0.0906}{0.0013} = 135.9 \text{ ton/m}^2$$

El esfuerzo de tensión máximo de la tubería es de 1,000 ton/m², la que es superior a la tensión generada por la evaluación sísmica que es 135.9 ton/m².

Por otra parte, para el **control de deflexiones de acuerdo a la E.060**, se considera el cálculo de la inercia de la sección fisurada, por lo que presentamos la planta y la sección de los muros reforzados del tanque imhoff.

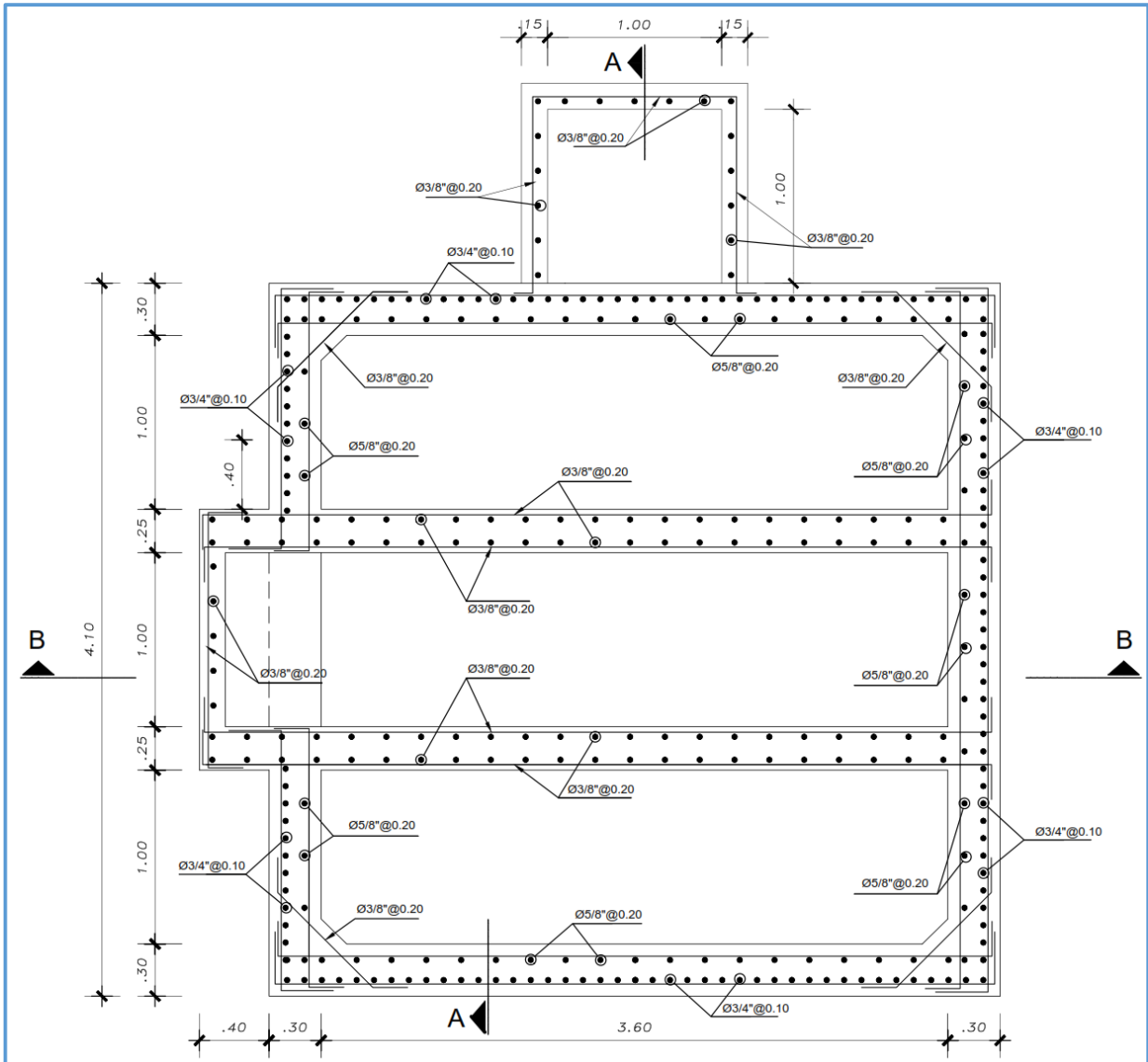


Figura 52. Vista de los muros en planta del tanque imhoff de los reforzamientos
Fuente: Expediente Técnico (Rehabilitación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima)

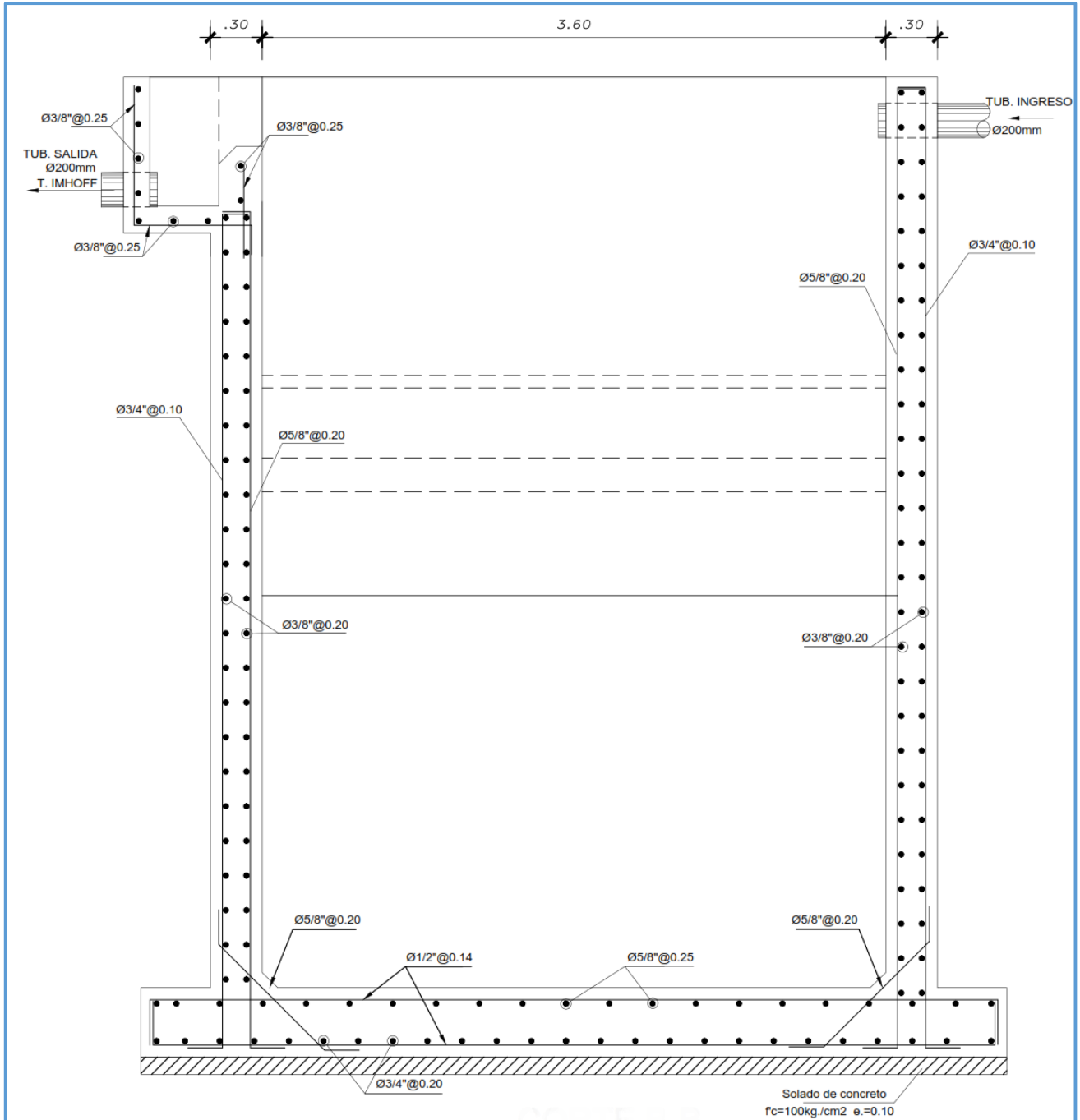


Figura 53. Vistas del corte B-B de los refuerzos del muro
Fuente: Expediente Técnico (Rehabilitación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Planta de tratamiento de aguas residuales en la Localidad Huambo, Distrito Leoncio Prado, Provincia Huaura, Departamento Lima)

Ahora, para emplear la ecuación 47, primero determinaremos el $A's$, A_s , c y n para 1 m de ancho de muro del tanque imhoff.

Calculo $A's$

Se tiene 5 varillas de acero de 5/8" de diámetros en 1 m de ancho.

$$A's = 5(1.99) = 9.95 \text{ cm}^2$$

Calculo A_s

Se tiene 10 varillas de acero de 3/4" de diámetros en 1 m de ancho.

$$A_s = 10(2.84) = 28.40 \text{ cm}^2$$

Cálculo de d y d'

$$d = 30 - (7 + 0.95) = 22.05 \text{ cm}$$

$$d' = 7 + 0.79 = 7.79 \text{ cm}$$

Calculo c

Para al cálculo de c , nos basamos de acuerdo a la Figura 54, como se muestra a continuación.

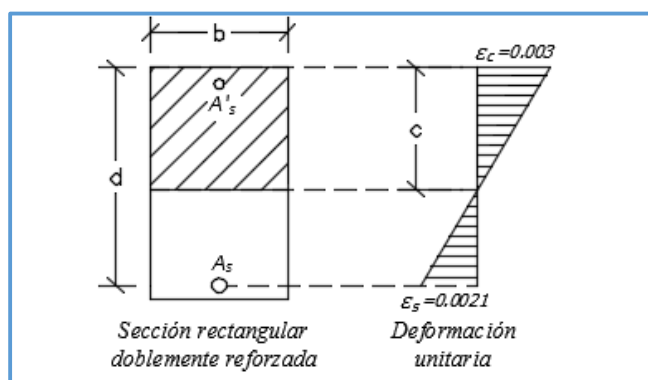


Figura 54. Sección rectangular doblemente reforzada y deformación unitaria
 Fuente: Autoría propia

Ahora haciendo semejanza de triángulos tenemos la siguiente expresión.

$$\frac{c}{0.003} = \frac{d}{0.003 + 0.0021}$$

$$\frac{c}{0.003} = \frac{22.05}{0.0051}$$

$$c = 12.97 \text{ cm}$$

Calculo n

Se tiene que el valor del módulo de elasticidad del concreto (E_c) es 250,998 kg/cm² y el módulo de elasticidad acero (E_s) es 2,000,00 kg/cm².

$$n = 2,000,00 / 250,998 = 7.97$$

Cálculo de la inercia de la sección fisurada (I_{cr})

Para el cálculo de I_{cr} , empleamos la ecuación 47.

$$I_{cr} = \frac{b \cdot c^3}{3} + n \cdot A_s (d - c)^2 (2n - 1) A' s (c - d')^2$$

$$I_{cr} = \frac{100.00 \times 12.97^3}{3} + 7.97 \times 28.40 (22.05 - 12.97)^2 (2 \times 7.97 - 1) (9.95) (12.97 - 7.79)^2$$

$$I_{cr} = 74,508,475.38 \text{ cm}^2$$

$$I_{cr} = 0.75 \text{ m}^4$$

Para el cálculo de la **deflexión de acuerdo a la E.060**, primero se determinó la matriz de rigidez del modelo ahora considerando la inercia de la sección fisurada (I_{cr}), la que se muestra a continuación:

$$\tilde{K} = 10^6 \times \begin{bmatrix} 22590.02 & -22589.82 & 1129.49 & 1129.01 \\ -22589.82 & 22589.82 & -1129.49 & -1129.49 \\ 1129.49 & -1129.49 & 75.3 & 37.65 \\ 1129.01 & -1129.49 & 37.65 & 76.85 \end{bmatrix}$$

Ahora calculamos las deformaciones usando el software GNU OCTAVE.


```

Command Window
K =
    22590020000   -22589820000    1129490000    1129010000
   -22589820000    22589820000   -1129490000   -1129490000
    1129490000    -1129490000     75300000     37650000
    1129010000    -1129490000     37650000     76850000

P =
    18.620000
     0.110000
     0.010000
    -17.920000

>> D=(K^-1)*P
D =
    0.000255887
    0.000262647
    0.000067596
    0.000067599
  
```

Figura 55. Cálculo de las deformaciones del modelo del tanque imhoff considerando la inercia de la sección fisurada (I_{cr}) empleando, el Software GNU Octave
Fuente: Autoría propia

Del cálculo realizado, se tiene el siguiente vector de deformaciones con la consideración de la E.0.60

$$D_{\%} = \begin{pmatrix} 0.0003 \\ 0.0003 \\ 0.0001 \\ 0.0001 \end{pmatrix}$$

Ahora **verificamos la deflexión máxima admisible** de acuerdo a la norma técnica peruana E.060 donde de acuerdo a su Tabla 9.2, señala que en pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales, se tiene que considerar como un límite de flexión máximo de $l/360$ (donde l , es la luz de la viga o losa en una dirección).

Deflexión máxima admisible

Límite de deflexión máximo= $5.26/360$

Límite de deflexión máximo= 0.0146 m

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para demostrar que **el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afecta las propiedades dinámicas (periodos de vibración y frecuencias angulares) en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020**, se verificara que se tenga una hipótesis acertada (H_a) o nula (H_o), para ello se han realizado los siguientes cálculos:

Masas de acuerdo al modelo de Housner

Peso de las paredes del tanque Imhoff

$$W_w = 58.32 \text{ ton}$$

Peso impulsivo

$$W_i = 54.03 \text{ ton}$$

Peso convectivo

$$W_c = 11.97 \text{ ton}$$

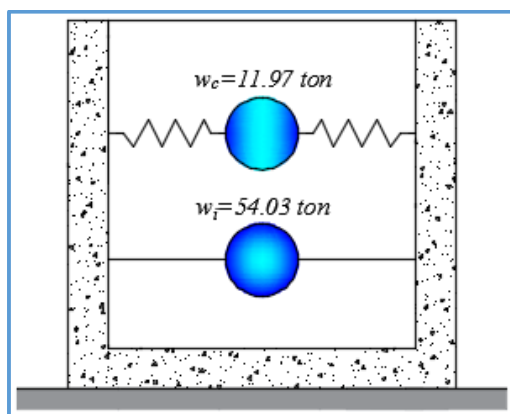


Figura 56. Peso impulsivo y peso convectivo
Fuente: Autoría propia

Alturas de centro de gravedad de masa impulsiva y convectiva

Altura impulsiva Excluyendo la Presión en la Base (EPB)

$$\frac{L}{H_L} = \frac{3.60}{4.86} = 0.74$$

$$\frac{h_i}{4.86} = 0.5 - 0.09375(0.74)$$

$$h_i = 2.09 \text{ m}$$

Altura convectiva Excluyendo la Presión en la Base (EPB)

$$\frac{h_c}{4.86} = 1 - \frac{\cosh[3.16(1.35)] - 1}{3.16(1.35) \times \sinh[3.16(1.35)]}$$

$$h_c = 3.75 \text{ m}$$

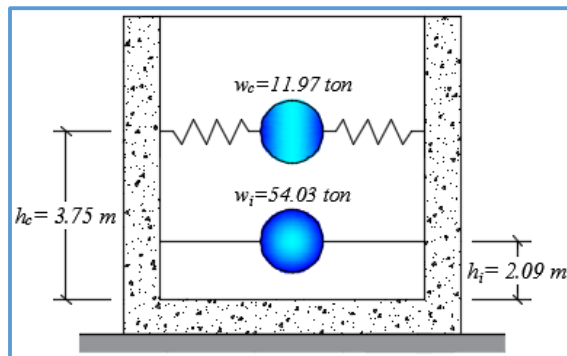


Figura 57. Altura convectiva e impulsiva Excluyendo la Presión en la Base

Fuente: Autoría propia

Altura impulsiva Incluyendo la Presión en la Base (IPB)

$$\frac{h_i'}{4.86} = 0.45$$

$$h_i' = 2.19 \text{ m}$$

Altura convectiva Incluyendo la Presión en la Base (IPB)

$$\frac{h_c'}{4.86} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right)\right] - 2.01}{3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right) \times \sinh\left[3.16\left(\frac{4.86}{3.60}\right)\right]}$$

$$h_c' = 3.78 \text{ m}$$

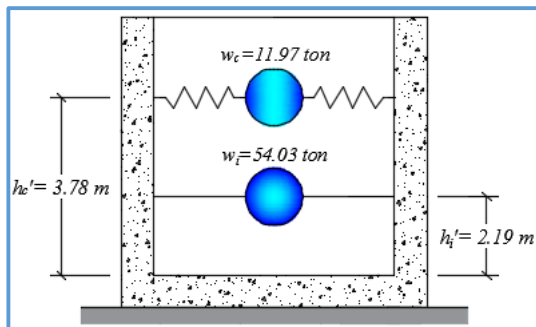


Figura 58. Altura convectiva e impulsiva Incluyendo
 la Presión en la Base

Fuente: Autoría propia

Masas por unidad de longitud

Masa del muro

$$m_w = 5.26 \times 0.30 \times \frac{2.40}{9.81} = 0.39 \text{ ton.s}^2/m$$

Masa impulsiva

$$m_i = \left(\frac{54.37}{61.24} \right) \left(\frac{3.60}{2} \right) (4.86) \left(\frac{1}{9.81} \right)$$

$$m_i = 0.79 \text{ ton.s}^2/m$$

Masa total

$$m = m_w + m_i = 0.39 + 0.79$$

$$m = 1.18 \text{ ton.s}^2/m$$

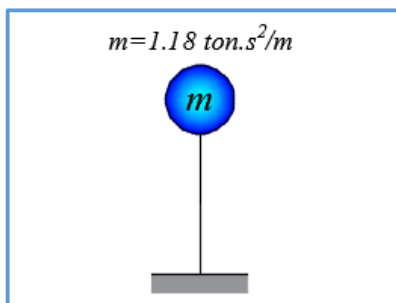


Figura 59. Modelo de la masa total

Fuente: Autoría propia

Altura del centro de gravedad de la masa total

Altura Excluyendo la Presión en la Base (EPB)

$$h = \frac{h_w m_w + h_i w_i}{m} = \frac{5.26}{2} \times 0.39 + 2.09 \times 0.79}{1.18}$$

$$h = 2.27 \text{ m}$$

Altura Incluyendo la Presión en la Base (IPB)

$$h = \frac{h_w m_w + h_i w_i}{m} = \frac{5.26}{2} \times 0.39 + 2.19 \times 0.79}{1.18}$$

$$h = 2.33 \text{ m}$$

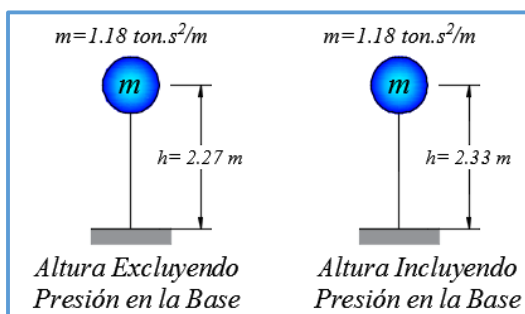


Figura 60. Modelo hipotético columna/masa
Fuente: Autoría propia

Rigidez del modelo

Rigidez con la altura Excluyendo la Presión en la Base

$$k = \frac{E}{4} \left(\frac{t}{h} \right)^3 = \frac{2,509,980.10}{4} \left(\frac{0.30}{2.27} \right)^3$$

$$k = 1,448.43 \text{ ton/m}$$

Rigidez con la altura Incluyendo la Presión en la Base

$$k = \frac{E}{4} \left(\frac{t}{h} \right)^3 = \frac{2,509,980.10}{4} \left(\frac{0.30}{2.33} \right)^3$$

$$k = 1,339.39 \text{ ton/m}$$

Propiedades dinámicas impulsivas

Frecuencia angular Excluyendo la Presión en la Base (EPB)

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1,448.43}{1.18}}$$

$$\omega_i = 35.04 \text{ rad/s}$$

Frecuencia angular Incluyendo la Presión en la Base (IPB)

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1,339.39}{1.18}}$$

$$\omega_i = 33.69 \text{ rad/s}$$

Periodo de vibración Excluyendo la Presión en la Base (EPB)

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{1.18}{1,448.43}}$$

$$T_i = 0.18 \text{ s}$$

Periodo de vibración Incluyendo la Presión en la Base (IPB)

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{1.18}{1,339.39}}$$

$$T_i = 0.19 \text{ s}$$

Propiedades dinámicas convectivas

Frecuencia angular convectiva

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]} = \sqrt{3.16 \times 9.81 \times \tanh [3.16(1.39)]}$$

$$\lambda = 5.57$$

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}} = \frac{5.57}{\sqrt{3.60}}$$

$$\omega_c = 2.93 \text{ rad/s}$$

Periodo de vibración convectiva.

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\sqrt{L} = \left(\frac{2\pi}{5.57}\right)\sqrt{3.60}$$

$$T_c = 2.14 \text{ s}$$

Tabla 10
Frecuencias angulares

Frecuencia angular	Valor EPB	Valor IPB	Unidad
Impulsivo	35.04	33.69	rad/s
Convectivo	2.93	2.93	rad/s

Fuente: Autoría propia

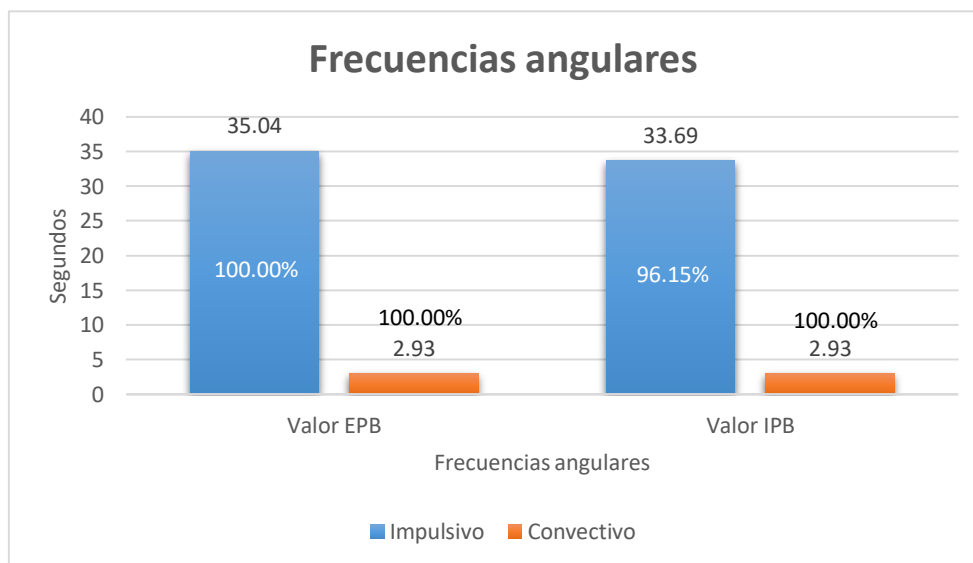


Figura 61. Comparación entre las frecuencias de vibración incluyendo y excluyendo la presión en la base

Fuente: Autoría propia

Tabla 11
Periodos de vibración

Periodo de vibración	Valor EPB	Valor IPB	Unidad
Impulsivo	0.18	0.19	s
Convectivo	2.14	2.14	s

Fuente: Autoría propia

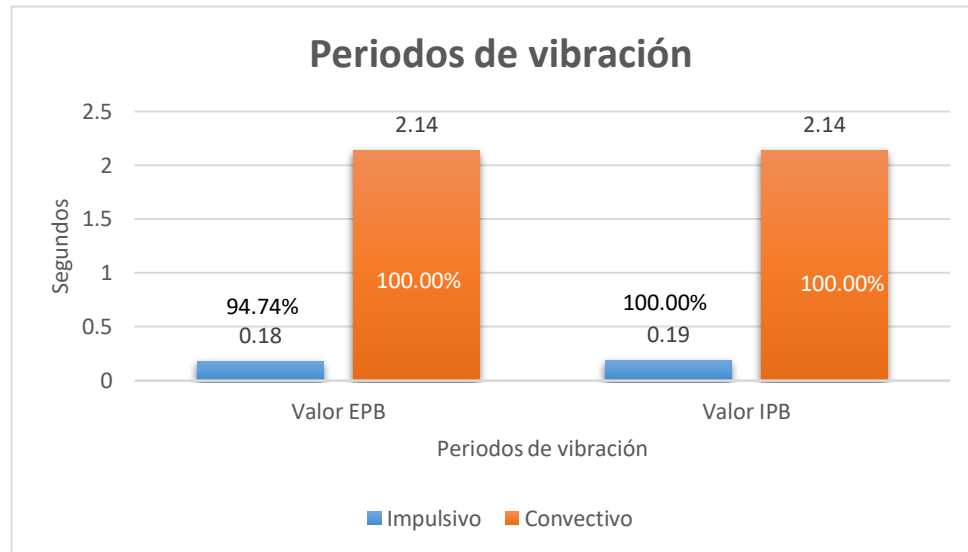


Figura 62. Comparación entre los periodos de vibración incluyendo y excluyendo la presión en la base
Fuente: Autoría propia

Se determinaron las **frecuencias angulares** que se muestran la Tabla 10, donde se observa una frecuencia angular impulsiva excluyendo la presión en la base (EPB) de 35.04 rad/s, donde se observó una reducción del 3.85% con respecto a la frecuencia angular incluyendo la presión en la base (IPB) el cual tiene un valor de 33.69 rad/s, esto se debe a la variación de la rigidez del modelo del tanque imhoff. También se calculó la frecuencia angular convectivo que es 2.93 rad/s como valor único, ya que este no depende de la rigidez del modelo, de la misma forma, se determinaron los **periodos de vibración** presentados en la Tabla 11, donde se observa un periodo de vibración impulsivo excluyendo la presión en la base (EPB) de 0.18 segundos, donde se observa un incremento de 5.56% con respecto al periodo de vibración incluyendo la presión en la base (IPB) el cual tiene un valor de 0.19 segundos, esto se debe a la variación de la rigidez del modelo del tanque imhoff, de la misma forma, se determinó el periodo de vibración convectivo que tiene un valor de 2.14 segundos como valor único, ya que esto no depende de la rigidez del modelo, en tal sentido, **se demuestra que se tiene una hipótesis acertada (Ha),**

debido a que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afecta las propiedades dinámicas (periodos de vibración y frecuencias angulares), ya que los cálculos dependen de las ecuaciones presentados en el Código ACI 350.03-06, la geometría del modelo del tanque imhoff y las consideraciones del Código NZS 3106: 1986 de New Zealand para el cálculo de la rigidez.

Asimismo, se demostrará que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica perjudicará las conexiones de PVC-U en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020, por lo que se verificara que se tenga una hipótesis acertada (H_a) o nula (H_o), en tal sentido, se han realizado los siguientes cálculos:

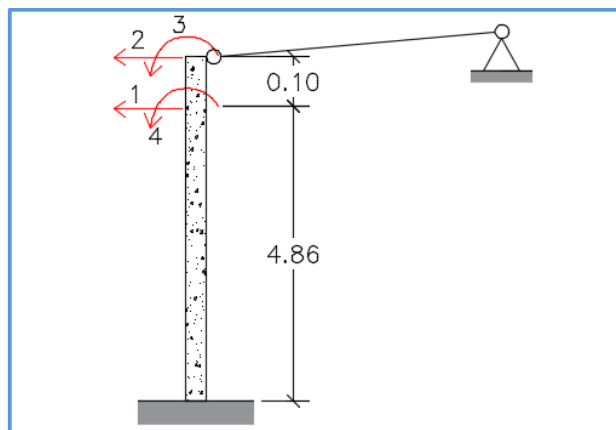


Figura 63: Modelo del tanque imhoff con Grados de libertad
Fuente: Autoría propia

Matriz de rigidez del modelo

$$\tilde{K} = \begin{bmatrix} 53426.18 & -50916.20 & 28003.91 & 24238.94 \\ -50916.20 & 50918.14 & -28003.91 & -28003.91 \\ 28003.91 & -28003.91 & 20536.20 & 10268.10 \\ 24238.94 & -28003.91 & 10268.10 & 28066.14 \end{bmatrix}$$

Cargas en el modelo del tanque imhoff para un ancho de 1 m

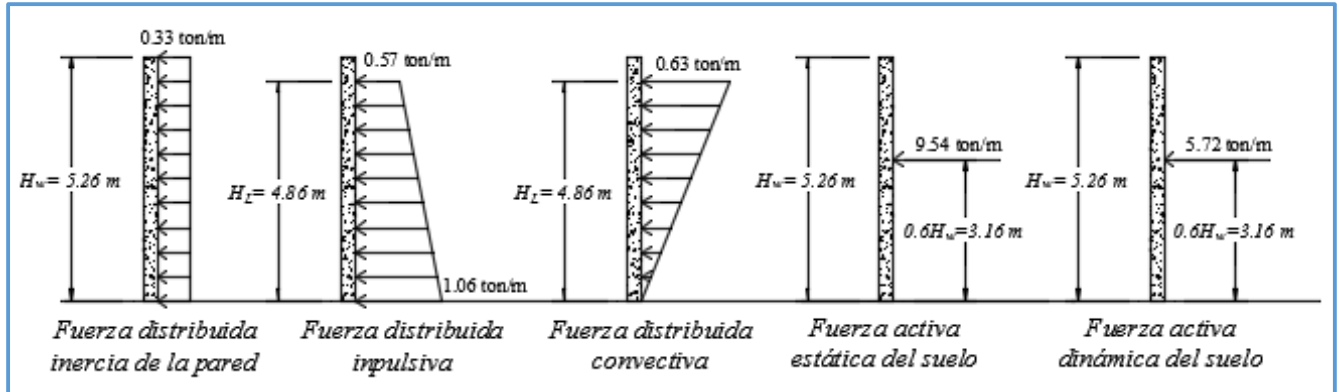


Figura 64. Cargas distribuidas para un ancho de 1 m
Fuente: Autoría propia

Amplificación de los vectores de fuerzas, para el cual se empleará la combinación de cargas $U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$ que está de acuerdo al ACI 318S-18.

Vector de fuerzas de inercia de la pared

$$P_{\%}^{Fw} = 0.9x \begin{pmatrix} 0.82 \\ 0.12 \\ 0.01 \\ -0.65 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.74 \\ 0.11 \\ 0.01 \\ -0.59 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas impulsivas

$$P_{\%}^{Fi} = \begin{pmatrix} 1.74 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -1.51 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas convectivas

$$P_{\%}^{Fc} = \begin{pmatrix} 1.07 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.74 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas estáticas del suelo

$$P_{\%AE} = 1.6x \begin{pmatrix} 6.85 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -6.86 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10.96 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -10.98 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas activas dinámicas del suelo

$$P_{\%AD} = \begin{pmatrix} 4.11 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -4.11 \end{pmatrix}$$

Vector de fuerzas Total

$$P_{\%} = \begin{pmatrix} 18.62 \\ 0.11 \\ 0.01 \\ -17.93 \end{pmatrix}$$

Cálculo del vector de las deformaciones

```

Command Window
K =
    67770052.53000   -67769462.16000    3388473.11000    3387038.51000
   -67769462.16000    67769464.10000   -3388473.11000   -3388473.11000
    3388473.11000   -3388473.11000    225898.21000    112949.10000
    3387038.51000   -3388473.11000    112949.10000    230546.32000

P =
    18.620000
     0.110000
     0.010000
   -17.920000

>> D=(K^-1)*P
D =
    0.088246
    0.090584
    0.023382
    0.023382
  
```

Figura 65: Cálculo de las deformaciones del modelo del tanque imhoff empleando el Software GNU Octave

Fuente: Autoría propia

Vector de deformaciones

$$D = \begin{pmatrix} 0.0882 \\ 0.0906 \\ 0.0234 \\ 0.0234 \end{pmatrix} \%$$

Rigidez de la tubería PVC-U de 2.00 m de longitud

$$k_{PVC} = \frac{EA}{L} = \frac{3,000.00 \times 0.0013}{2.00} = 1.95 \text{ ton/m}$$

Esfuerzo axial de la tubería PVC-U

$$Q = \frac{1.95 \times 0.0906}{0.0013} = 135.9 \text{ ton/m}^2$$

Tabla 12

Esfuerzos en la tubería PVC-U

Esfuerzos	Valor	Unidad
Esfuerzo admisible	1,000.00	ton/m ²
Esfuerzo calculado	135.90	ton/m ²

Fuente: Autoría propia

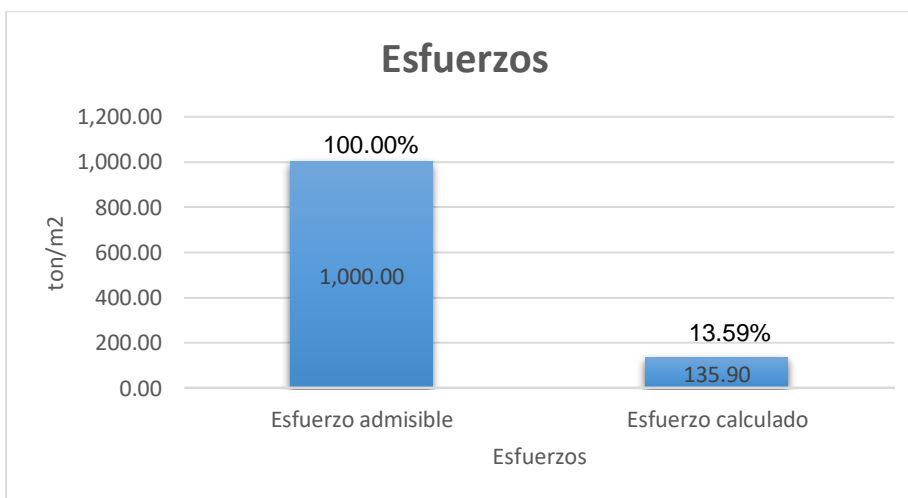


Figura 66. Comparación entre el esfuerzo admisible y calculado

Fuente: Autoría propia

En la tubería PVC-U de ingreso al tanque imhoff de la planta de tratamiento de la Localidad de Huambo, se determinó un esfuerzo debido al efecto dinámico de 135.90 ton/m²,

el que representa el 13.59% del esfuerzo admisible de la tubería PVC-U ya que este tiene un valor de 1,000.00 ton/m², como se observa en la figura 66, en tal sentido, **se demuestra que se tiene una hipótesis nula (H₀)**, debido a que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no perjudica las conexiones de PVC-U en el tanque imhoff de la Localidad de Huambo, debido a que la tubería de ingreso al tanque imhoff llega a tener un esfuerzo debido al efecto sísmico del 13.59% con respecto a su esfuerzo admisible máximo.

Finalmente, se demostrará que **el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica generara deformaciones sin superar la deflexión máxima admisible en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020**, por lo que se verificara que se tenga una hipótesis acertada (H_a) o nula (H₀), en tal sentido, se han realizado los siguientes cálculos:

Cálculo de la inercia de la sección fisurada (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{b \cdot c^3}{3} + n \cdot A_s (d - c)^2 (2n - 1) A'_s (c - d')^2$$

$$I_{cr} = \frac{100.00 \times 12.97^3}{3} + 7.97 \times 28.40 (22.05 - 12.97)^2 (2 \times 7.97 - 1) (9.95) (12.97 - 7.79)^2$$

$$I_{cr} = 74,508,475.38 \text{ cm}^2$$

$$I_{cr} = 0.75 \text{ m}^4$$

Rigidez del modelo con inercia de la sección fisurada (I_{cr}) de acuerdo a la E.060

$$K = 10^6 \times \begin{bmatrix} 22590.02 & -22589.82 & 1129.49 & 1129.01 \\ -22589.82 & 22589.82 & -1129.49 & -1129.49 \\ 1129.49 & -1129.49 & 75.3 & 37.65 \\ 1129.01 & -1129.49 & 37.65 & 76.85 \end{bmatrix}$$

Deformaciones con la consideración de la E.0.60

```

Command Window
K =
    22590020000   -22589820000    1129490000    1129010000
   -22589820000    22589820000   -1129490000   -1129490000
    1129490000    -1129490000    75300000     37650000
    1129010000    -1129490000    37650000     76850000

P =
    18.620000
     0.110000
     0.010000
   -17.920000

>> D=(K^-1)*P
D =
    0.000255887
    0.000262647
    0.000067596
    0.000067599
  
```

Figura 67. Cálculo de las deformaciones del modelo del tanque imhoff considerando la inercia de la sección fisurada (I_{cr}) empleando, el Software GNU Octave

Fuente: Autoría propia

Vector de deformaciones calculados

$$D = \begin{pmatrix} 0.0003 \\ 0.0003 \\ 0.0001 \\ 0.0001 \end{pmatrix}$$

Deformación máxima admisible

Límite de deflexión = 5.26/360

Límite de deflexión = 0.0146 m

Tabla 13
Deformaciones

Deformaciones	Valor	Unidad
Deformación calculada	0.0030	m
Límite de deformación máximo	0.0146	m

Fuente: Autoría propia

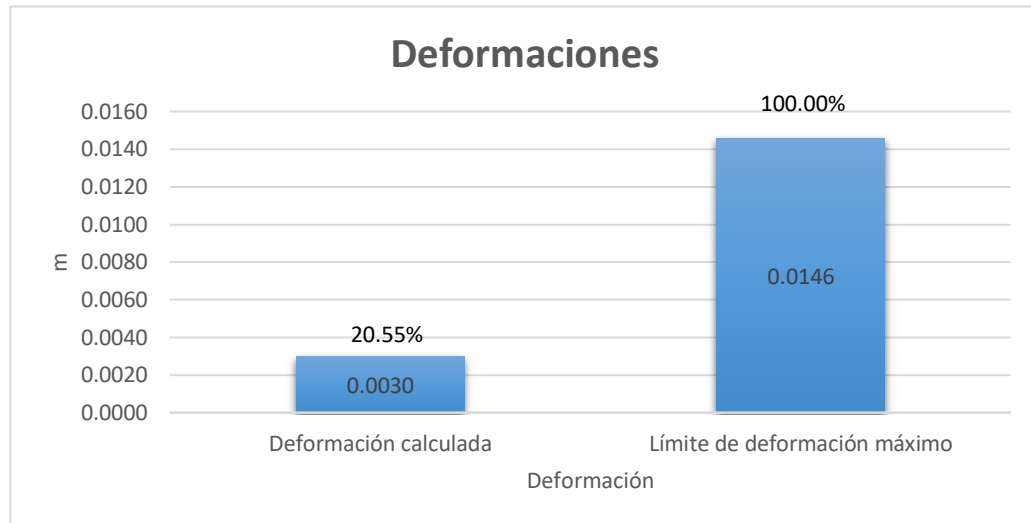


Figura 68. Comparación entre deformación inmediata y límite de deformación máxima
Fuente: Autoría propia

Se determinaron **las deformaciones** presentadas en la Tabla 13 teniendo en consideración la norma E.060; donde se observa una deformación calculada con la consideración del efecto sísmico y la inercia de la sección fisurada en el muro del tanque imhoff con la unión de la tubería de ingreso de PVC-U de 0.0030 m, el que llega a representar el 20.55% del límite de deformación máximo el cual es de 0.0146 m, en tal sentido, **se demuestra que se tiene una hipótesis acertada** (H_a), debido a que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica generó una deformación del 20.55% con respecto a la deflexión máxima admisible por el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, asimismo, se precisa que, para los cálculos realizados, se basaron en las consideraciones de la norma E.060.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Con respecto a las **propiedades dinámicas** (Cusihuallpa Mamani, 2016), determino para un reservorio circular, el mayor periodos de vibración fue obtenido empleando la norma E.030 con respecto al ACI 350.3, donde el periodo de vibración es de 0.1867 segundos para la masa impulsiva, y para la masa convectiva se obtuvo el valor de 7.8946 segundos; en la presente investigación se obtuvo un periodo de vibración impulsivo de 0.19 segundos el cual se aproxima, y el periodo de vibración convectivo de 2.14 segundos el cual difiere, debido a la geometría de la estructura, ya que en la presente investigación el tanque imhoff es de geometría rectangular.

Con respecto a la **Conexión PVC-U**, no se encontró información referente, ya que es un caso atípico, la evaluación dinámica de las conexiones de una estructura de concreto armado enterrada, como es viene a ser el caso del tanque imhoff de la Localidad de Huambo.

Con respecto a las **deformaciones** (Cusihuallpa Mamani, 2016), indica que se determinó que los mayores desplazamientos pertenecen a la masa impulsiva con el ACI 350.3, llegando a tener un valor máximo de 3.743 mm a 2 m del muro del reservorio el cual coincide con la ubicación de la masa impulsiva; pero en la presente evacuación se obtuvo un desplazamiento 3 mm, el cual tiene una aproximación; cabe precisar que en la presente investigación se determinó el desplazamiento del muro en la unión con la tubería de ingreso de PVC-U al tanque imhoff.

4.2. Conclusiones y recomendaciones

4.2.1. Conclusiones

En la presente investigación se determinó que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afectan las **propiedades dinámicas** en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020, ya que estos se calcularon en función de las ecuaciones presentadas en el Código ACI 350.03-06, la geometría del modelo del tanque Imhoff y las consideraciones del Código NZS 3106: 1986 de New Zealand para el cálculo de la rigidez del tanque Imhoff; donde se llegó a obtener un periodo de vibración impulsivo incluyendo la presión en la base es 0.18 segundos y el periodo de vibración impulsivo incluyendo la presión en la base es 0.19 segundos, de la misma forma, se obtuvo la frecuencia angular excluyendo la presión en la base de 35.04 rad/s y la frecuencia angular incluyendo la presión en la base de 33.69 rad/s.

Por otro lado, se determinó también que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afecta negativa a las **conexiones de PVC-U** en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020, ya que este solo llegó a tener un esfuerzo en la tubería de ingreso debido al efecto del sismo de 13.59% con respecto a su esfuerzo admisible, asimismo, cabe precisar que se obtuvo un esfuerzo admisible por la tubería de ingreso al tanque Imhoff de 135.90 ton/m², y el esfuerzo máximo de la tubería PVC-U es de 1,000.00 ton/m².

Por otra parte, se determinó que el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica, si afecta a la **deformación** del muro del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020, pero esta sin llegar a superar su deflexión máxima admisible, cabe resalta, que se obtuvo una deformación de 0.0030 m, el cual representa el 20.55% de su deflexión máxima admisible el cual tiene un valor de 0.0146 m.

Asimismo, se determinó que el modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 no genera un efecto perjudicial en la respuesta sísmica del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020, debido a que el esfuerzo calculado en la tubería de PVC-U de ingreso al tanque Imhoff, no llega a superar su esfuerzo admisible, también se observó que la deformación calculada en el muro del tanque Imhoff en la unión con la tubería de ingreso de PVC-U, no supera su deflexión máxima admisible, por otro lado, se observa que las propiedades dinámicas, no dependen de los parámetros de la norma E.030.

4.2.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar la evaluación comparativa del efecto dinámico del modelo Housner en la respuesta sísmica de las estructuras que contienen líquidos y que se encuentran enterada, realizando un modelo tipo columna, primero sin considerar la interacción suelo/estructura y posteriormente considerándolo, de igual importancia, tener en consideración la influencia en la respuesta sísmica, de la evaluación entre un modelo con elementos finitos y un modelo tipo columna.

Como se indicó en la tesis según el párrafo anterior se propone como futura línea de investigación lo siguiente:

- Evaluar el modelo con considerando la interacción suelo/estructura.
- Evaluar el modelo como elemento línea (frame) y el modelo con elementos área (Shell, elementos finitos).

Asimismo, ante una aparente falla en la tubería de tuberías de ingreso al tanque imhoff, se propone la siguiente solución:

Que consiste en:

- Ampliar la longitud tubería de ingreso del tanque imhoff, de esta manera se reduce el esfuerzo generado en el elemento.

Se tiene que el esfuerzo en la tubería con respecto a la deformación es la siguiente.

$$Q = \frac{E \cdot \Delta}{L}$$

Ecuación 48. Cálculo de esfuerzo en tubería debido a deformación

En tal sentido se propone la siguiente ecuación analítica para verificar la longitud mínima de tubería.

$$L_{min} > \frac{Q_{adm}}{E \cdot \Delta}$$

Ecuación 49. Longitud mínima de tubería para evitar fallas por deformación axial

Done:

L_{min} : Longitud mínima de tubería PVC-U.

Q_{adm} : Esfuerzo admisible por la tubería PVC-U.

E : Módulo de elasticidad de la tubería PVC-U.

Δ : Deformación axial de la tubería PVC-U.

A continuación, se presenta, el esquema comparativo de la solución propuesta.

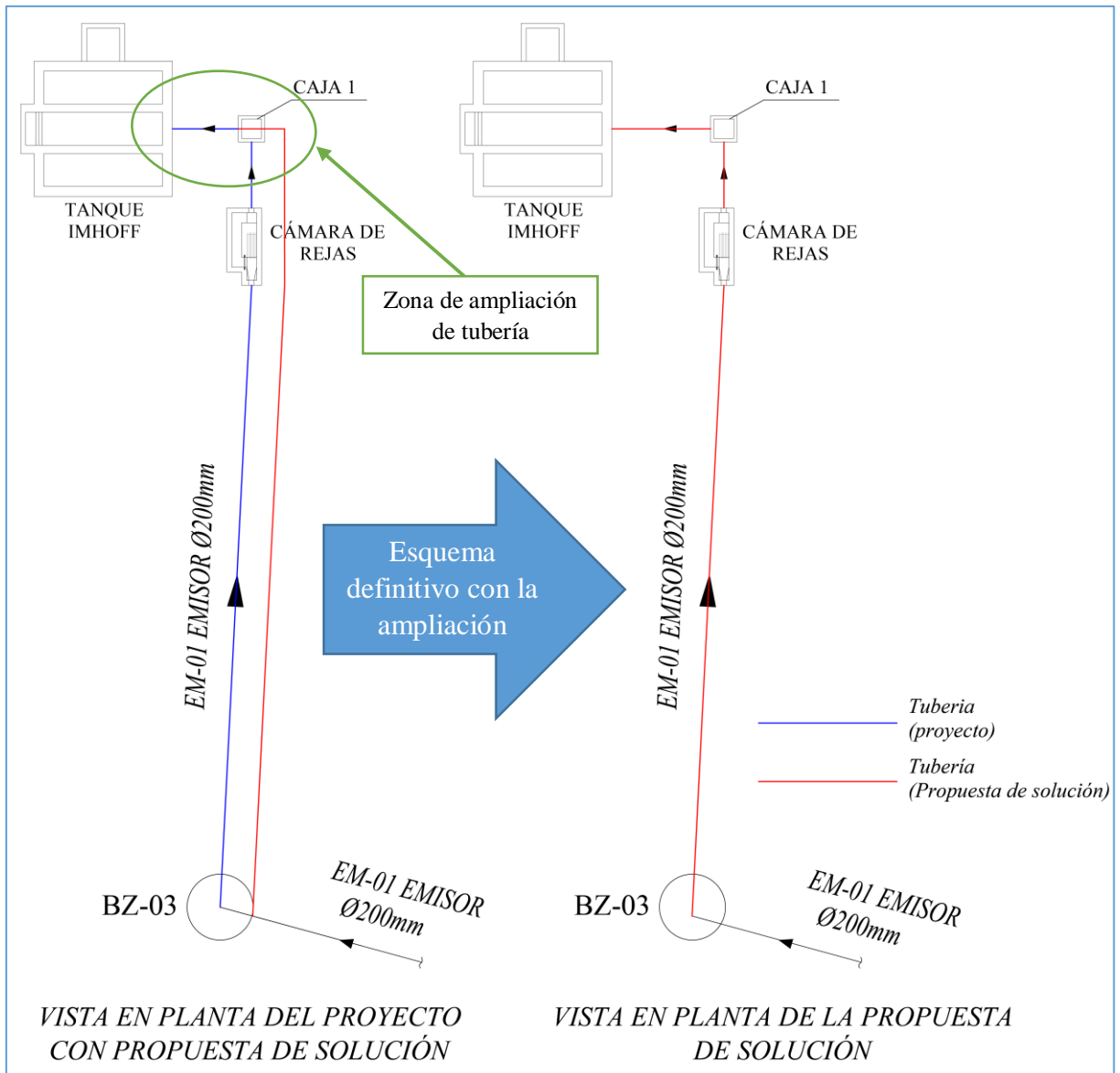


Figura 69. Esquema de propuesta de solución para una aparente falla de tubería.
 Fuente: Autoría propia

REFERENCIAS

- Alcántara Toribio, M. A. (2013). Evaluación de los daños ocasionados en el Sistema de Abastecimiento de Agua debido al Terremoto del 15 de agosto de 2007 en la Provincia de Pisco. Lima, Lima.
- Anconeira Rojas, E. (2017). Importancia de considerar modelos dinámicos de los tanques elevados en el análisis sísmico en edificaciones. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Arequipa, Arequipa, Perú.
- Aquino Carmona, C. M., & Rodríguez Cortez, M. T. (2015). Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo - estructura. *Universidad Privada del Norte*. Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Compagnoni, M., Curadelli, R., & Martinez, C. (2013). Evaluación de modelos de tanques rectangulares contenedores de líquido bajo excitación sísmica. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*. Argentina.
- Cusihualpa Mamani, J. A. (2016). Análisis de las magnitudes de los parámetros de respuesta estructural del reservorio zona sur de concreto armado de la ciudad del Cusco según la norma ACI 350.3-01 y consideraciones de la Norma Peruana E.030 diseño sismorresistente. *Universidad Andina del Cusco*. Cusco, Cusco, Perú.
- El Peruano. (2017). Decreto Supremo N° 007-2017-VIVIENDA . Lima, Lima, Perú.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* . Mexico: McGRAW-HILL.

Huamani Camargo, H. V. (2015). Diseño estructural de un reservorio elevado tipo fuste de concreto armado. *Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima, Lima, Perú.

Huisa Chura, J. C. (2017). Formulación de una guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua. *Universidad Privada de Tacna*. Tacna, Tacna, Perú.

Huisa Chura, J. C., & Velasquez Vargas, J. (2017). Formulación de una Guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua. *Universidad Privada de Tacna*. Tacna, Tacna, Perú.

Kanpur, I. I. (2007). IITK-GSDMA GUIDELINES for SEISMIC DESIGN OF LIQUID STORAGE TANKS. *Indian Institute of Technology Kanpur*. Kanpur, Perú.

Macuil Robles, S. (2016). Impacto Sísmico en Sistemas de Agua Potable Urbanos . México, México.

Martos Salas, F. A. (2018). Comportamiento sísmico en reservorios apoyados circulares y rectangulares de diferentes volúmenes considerando las zonas sísmicas de Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Moreno Reyna, P. (2015). Análisis Sísmico de Depósitos Elevados y Estudio sobre la Interacción Suelo-Estructura. *Universidad D Sevilla*. Sevilla, Andalucía, España.

Organización Panamericana de la Salud. (1998). Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. *Organización Mundial de la Salud*. Washington.

Organización Panamericana de la Salud. (2003). Reducción del Daño Sísmico. Guía para las Empresas de Agua.

- Orihuela Canchari, J., & Sánchez Arévalo, N. A. (2016). Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones. Lima, Lima, Perú.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. Medellín, Colombia.
- Puche Ibañez, A. J., & Quintana Guerrero, I. G. (2016). Análisis comparativo entre el ferrocemento y el hormigón armado como sistema constructivo para proyectos de vivienda de interés prioritario en Colombia. Cartagena de Indias, Colombia.
- Salazar, C., & Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*.
- Sánchez, H. (2009). Comportamiento mecánico de tanques atmosféricos de almacenamiento. *Instituto Politécnico Nacional*. México.
- Torres Belandria, R. A. (2008). Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado. *Universidad de Los Andes*. Merida, Venezuela.
- United States Environmental Protection Agency. (2018). EARTHQUAKE RESILIENCE GUIDE for Water and Wastewater Utilities.
- Vara Horna, A. A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis*. Lima: Empresa Editora Macro EIRL.
- Vargas Hallasi, E. D. (2015). Estudio sísmico en el diseño del reservorio circular apoyado R-8 Capacidad 3000 m³ para la ciudad de Juliaca. *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*. Juliaca, Puno, Perú.
- Yépez, F. (2013). Análisis de la interacción fluido – estructura en el diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero según las normas: americana, neozelandesa, ecuatoriana y métodos simplificados. *Universidad San Francisco de Quito*. Quito, Ecuador.

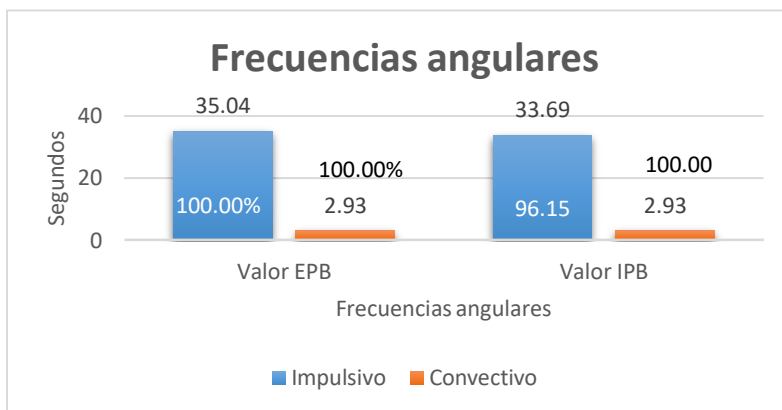
ANEXOS

Anexo 1. Ficha de recolección de datos para las propiedades dinámicas

Dimensión: Propiedades dinámicas

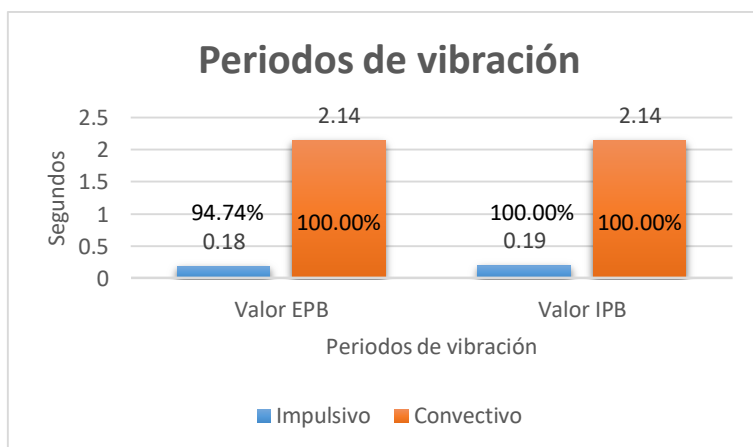
Indicador: Frecuencia angular

Frecuencia angular	Valor EPB	Valor IPB	Unidad
Impulsivo	35.04	33.69	rad/s
Convectivo	2.93	2.93	rad/s



Indicador: Periodo de vibración

Periodos de vibración	Valor EPB	Valor IPB	Unidad
Impulsivo	0.18	0.19	s
Convectivo	2.14	2.14	s



Anexo 2. Ficha de recolección para la conexión PVC-U

Dimensión: Conexiones PVC-U

Indicador: Esfuerzo admisible

Esfuerzos	Valor	Unidad
Esfuerzo admisible	1,000.00	ton/m2
Esfuerzo calculado	135.90	ton/m2

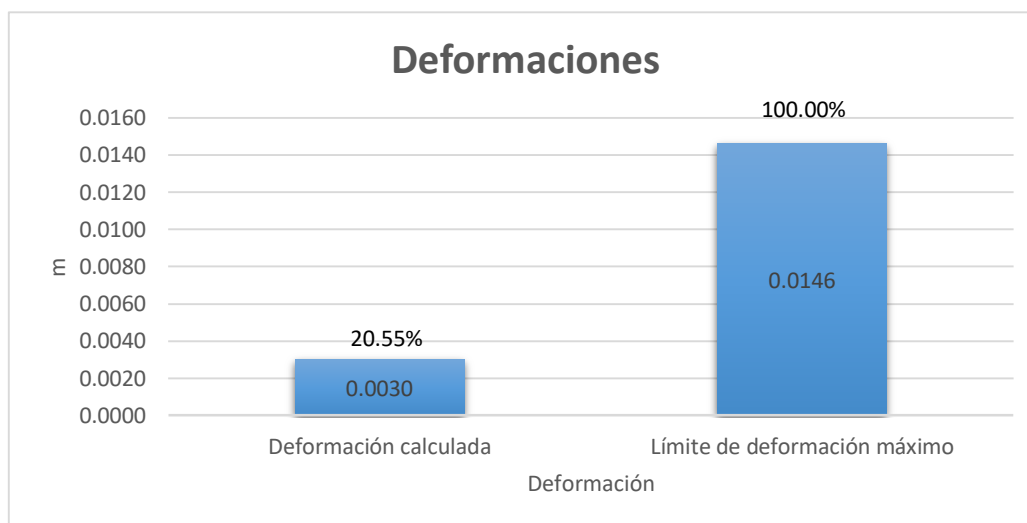


Anexo 3. Ficha de recolección para datos de las deformaciones

Dimensión: Deformaciones

Indicador: Traslacional

Deformación	Valor	Unidad
Deflexiones elásticas	0.0906	m
Deformación calculada	0.0030	m
Límite de deformación máximo	0.0146	m



Anexo 4. Matriz de consistencia

RESPUESTA SÍSMICA DEL MODELO DINÁMICO DE HOUSNER UTILIZANDO LOS PARÁMETROS DE LA NORMA E.030 PARA EL ANÁLISIS DEL TANQUE IMHOFF DE HUAMBOY, LIMA 2020					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de Huambo, Lima 2020?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>GENERAL</p> <p>El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 afecta la respuesta sísmica en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la Norma E.030</p>	<p>Dimensión 1: Fuerzas</p> <p>Dimensión 2: Parámetros Norma. E030</p>	<p>El diseño de la investigación Según su propósito es aplicado, debido a que los resultados que obtendremos servirán para la solución de un problema.</p>
<p>ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las propiedades dinámicas en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las propiedades dinámicas en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>ESPECIFICAS</p> <p>El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica no afecta las propiedades dinámicas del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>Respuesta sísmica</p>	<p>Dimensión 3: Propiedades dinámicas</p> <p>Dimensión4: Conexiones PVC-U</p> <p>Dimensión5: Deformaciones</p>	<p>El diseño de la investigación según su diseño es no experimental, debido a que no se manipulara deliberadamente la variable independiente “modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la Norma E.030”, y la variable dependiente “Respuesta sísmica”</p>
<p>¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las conexiones de PVC-U en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?</p>	<p>Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las conexiones de PVC-U en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica perjudicara las conexiones de PVC-U del tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>			
<p>¿Cuál es el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las deformaciones en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020?</p>	<p>Determinar el efecto del modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica en relación a las deformaciones en el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>	<p>El modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la norma E.030 en la respuesta sísmica generara deformaciones sin superar la deflexión máxima admisible por el tanque Imhoff de la localidad de Huambo, Lima 2020.</p>			

Anexo 5. Matriz de operacionalización de variable

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente modelo dinámico de Housner utilizando los parámetros de la Norma E.030	El Modelo dinámico de Housner, viene a ser un modelo equivalente el cual representa a las fuerzas hidrodinámicas ejercidas por el agua sobre a pared del contenedor, las que también incluyen el efecto dinámico de la interacción pared-liquido” (Martos Salas, 2018).	Fuerzas	Presiones impulsivas	Escala razón
		Parámetros Norma. E030	Presiones convectivas	Escala razón
			Factor de zona	Escala razón
		Factor de suelo		
Variable Dependiente Respuesta sísmica	“La respuesta sísmica consiste en calcular el desplazamiento de la masa en cualquier instante con respecto a su posición inicial” (Oviedo & Duque, 2006).	Propiedades dinámicas	Periodos de vibración	Escala razón
		Conexiones PVC-U	Frecuencia angular	Escala razón
			Esfuerzo admisible	Escala razón
		Deformaciones	Traslacional	Escala razón