



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ESCUELA DE POSTGRADO

**PROGRAMA ACADÉMICO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**Metodología de análisis por desempeño basado en
desplazamientos para el comportamiento sísmico en reservorios
elevados tipo fuste – Chiclayo.**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras**

AUTOR:

Cabanillas Flores, Luis Paul (ORCID: 0000-0002-0212-2285)

ASESORA:

Dra. Hernández Fernández, Bertila (ORCID: 0000-0002-4433-5019)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico estructural

CHICLAYO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedicado a mi esposa, hijos y padres por su apoyo incondicional durante el andar por este camino difícil de superación.

A mis colaboradores, quienes día a día me facilitaron el poder desarrollar este proyecto sin contratiempos.

Y a Dios el creador por darme la oportunidad y las fuerzas para concluir exitosamente este peldaño de mi proyecto de vida.

Agradecimiento

Un agradecimiento especial a mi Asesor por su apoyo incondicional y guía en el desarrollo de este trabajo de investigación. De igual manera agradezco a los miembros del jurado por su continuo apoyo y observaciones que permitieron perfeccionar y mejorar la calidad de este proyecto de investigación.

Finalmente agradezco a mi familia por su comprensión y aliento durante las largas jornadas de investigación, y por estar siempre a mi lado durante todo este tiempo que duro este proyecto.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras.	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	25
3.1. Tipo y diseño de investigación.	25
3.2. Variables, operacionalización.....	26
3.3. Población y muestra.....	26
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.5. Método de análisis de datos.....	28
3.6. Procesos.....	28
3.7. Aspectos éticos.....	28
IV. RESULTADOS	29
V. DISCUSIÓN.....	51
VI. CONCLUSIÓN.....	54
VII. RECOMENDACIONES.....	55
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	60

Índice de Tablas

Tabla 1. Ubicación de reservorios.....	27
Tabla 2. Geometría de reservorio R-04.....	29
Tabla 3. Distribución de refuerzo.....	29
Tabla 4. Factor de modificación de la respuesta sísmica R_w	33
Tabla 5. Resumen de pesos de estructuras.	34
Tabla 6. Distribución de fuerzas en cada centro de gravedad.	37
Tabla 7. Resumen resultado de desplazamiento - análisis estático.....	38
Tabla 8. Parámetros sísmicos según RNE 030 – 2016.	39
Tabla 9. Factor de reducción sísmica.....	40
Tabla 10. Resumen resultado de desplazamientos - analisis dinamico.....	41
Tabla 11. Características de acelerogramas de diseño.....	42
Tabla 12. Resumen de resultados obtenidos en el análisis pushover.	48
Tabla 13. Resumen de fuerzas cortantes - MEI.	49
Tabla 14. Resumen de momentos flectores - MEI.....	49
Tabla 15. Resumen de desplazamientos - MEI.	50
Tabla 16. Comparativo de los análisis realizados.....	51
Tabla 17. Comparativo de fuerzas cortantes en la base.....	52
Tabla 18. Comparativo de desplazamientos finales.	52

Índice de Figuras.

Figura 1. Objetivos de Comportamiento. (Adaptada de Visión 2000)	7
Figura 2. Curvas de capacidad y comportamiento.	11
Figura 3. Curva Esfuerzo - Desplazamiento.	15
Figura 4. Sistema tridimensional de un recipiente con fluido.	16
Figura 5. Sistema bidimensional de un recipiente con fluido.	16
Figura 6. Ecuación del peso impulsivo.	19
Figura 7. Ecuación del peso convectivo.	19
Figura 8. Posición de la masa convectiva.	19
Figura 9. Posición de la masa impulsiva.	19
Figura 10. Posición de la masa convectiva incluyendo la presión en la base.	20
Figura 11. Rigidez del resorte para masa convectiva.	20
Figura 12. Ecuaciones de coeficiente "C".....	21
Figura 13. Forma del espectro sísmico indicado en el ASCE/SEI 07-5.	22
Figura 14. Forma del espectro sísmico del EUROCODIGO-8.	23
Figura 15. Diseño de Investigación.	25
Figura 16. Distribución de refuerzo en fuste de reservorio R-04.....	30
Figura 17. Ecuación de factor de corrección de pesos.	31
Figura 18. Ecuación para cálculo de masa impulsiva.	31
Figura 19. Ecuación para cálculo de masa convectiva.	31
Figura 20. Ecuaciones para cálculo del centro de gravedad de peso impulsivo. ..	32
Figura 21. Ecuación para cálculo de centro de gravedad de peso convectivo.....	32
Figura 22. Ecuación para cálculo de cortante basal.	33
Figura 23. Cálculo de pesos de partes componentes del reservorio.	34
Figura 24. Modelo hidrodinámico de Housner.	34
Figura 25. Distribución de fuerzas sísmicas estáticas.	37
Figura 26. Desplazamiento debido a análisis sísmico estático.	38
Figura 27. Distribución de resortes para masa convectiva.	39
Figura 28. Espectro sísmico RNE 030 - 2016.....	40
Figura 29. Desplazamientos debido a análisis sísmico dinámico.	41
Figura 30. Espectro de respuesta de acelerogramas utilizados – R = 3.	42

Figura 31. Modelo de Mander para concreto no confinado.	43
Figura 32. Modelo de Park para el acero.	44
Figura 33. Propiedades del fuste ingresadas al Section Designer.....	44
Figura 34. Diagrama de Momento de curvatura - programa SAP 2000 V.19.....	45
Figura 35. Discretizacion de masas en 1 GDL.	46
Figura 36. Parámetros usados en el análisis tiempo historia.....	46
Figura 37. Propiedades de la rótula plástica del reservorio.	47
Figura 38. Secuencia de formación de rotulas plásticas en análisis pushover.	47
Figura 39. Cálculo de periodo efectivo de la estructura.....	49

Resumen

Esta investigación corresponde a la validación de la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos para determinar el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste de Chiclayo.

Para ello se empleó un proceso de recolección y análisis de datos por el periodo de un año cronológico; basándose en una investigación Aplicada y descriptiva causal con propuesta.

La población fueron 04 reservorios elevados de la provincia de Chiclayo, con volúmenes de almacenamiento entre 3000 y 4000 m³. La muestra fue tomada por muestreo no probabilístico – intencional, teniendo como objeto de estudio al Reservorio N° 04 –JLO de 3000 m³.

Así mismo las bases de la investigación provienen de la aplicación de los instrumentos establecidos para esta investigación, los cuales fueron validados por expertos del área. Entre estos tenemos: una lista de chequeos y una encuesta; además de los modelos matemáticos computarizados de las estructuras.

Finalmente, se pudo concluir que los diseños de las estructuras esenciales se pueden optimizar utilizando esta metodología y así podemos VALIDAR que la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos es aplicable y confiable para ser usada en el diseño de reservorios tipo fuste.

Palabras Clave: Análisis por Desempeño, desplazamientos, reservorios elevados, fuste, diseño.

Abstract

This research corresponds to the validation of the displacement-based performance analysis methodology to determine the seismic behavior in elevated shaft-type reservoirs of Chiclayo.

For this, a data collection and analysis process was used for a period of one chronological year; based on a causal descriptive and applied research with proposal.

The population was 04 elevated reservoirs in the province of Chiclayo, with storage volumes between 3000 and 4000 m³. The sample was taken by non-probabilistic sampling - intentional, having as object of study the Reservoir N ° 04 -JLO of 3000 m³.

Likewise, the research bases come from the application of the instruments established for this research, which were validated by experts in the area. Among these we have: a checklist and a survey; in addition to the computerized mathematical models of the structures.

Finally, it was possible to conclude that the designs of the essential structures can be optimized using this methodology and thus we can VALIDATE that the displacement-based performance analysis methodology is applicable and reliable to be used in the design of shaft-type reservoirs.

Keywords: Performance Analysis, displacements, elevated reservoirs, shaft, design.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación aparece por la insuficiencia en establecer una metodología de análisis sísmico para estructuras esenciales, específicamente reservorios elevados de agua tipo fuste, esta necesidad se acrecienta cuando en nuestra normativa sismorresistente no se adecua a la realidad de estas estructuras, si a esto le adicionamos que la mayoría de las investigaciones se han abocado a reservorios simplemente apoyados sobre el suelo; obteniendo así una incertidumbre respecto a un correcto análisis del comportamiento sísmico de estructuras de este tipo.

Por ello a nivel mundial se han ejecutado otras, como es el caso de Restrepo Ocampo y Hernández Martínez (2017), quienes realizaron el modelado mediante elementos finitos con el software LARSA 4D para el análisis estático y sísmico de tanques elevados, las mismas que fueron sometidas a diferentes modos y condiciones de trabajo a fin de determinar los esfuerzos de cada elemento estructural, concluyendo que es de importancia el modelado y análisis de estas estructuras a fin de realizar un correcto diseño de la estructura (p. 2083).

De igual forma, Hernández Barrios et al. (2017), proponen un modelo simplificado masa-resorte-masa de acorde al código de India (IITK GSDMA) y modelaron un tanque Intze mediante software, concluyendo que el modelo con el código de India no representa adecuadamente la respuesta sísmica.

De lo revisado líneas arriba se asevera que los códigos de diseños propuestos son conservadores, por lo cual se deberá establecer mediante experiencias científicas cual es el modelo más adecuado para este tipo de estructuras.

Por ello, Hernández Barrios (2018) manifiesta que los tanques elevados se diferencian de los tanques apoyados por que los primeros poseen dos partes: el elemento de apoyo y el contenedor. Por ello el autor plantea una ecuación general de movimiento basado en un modelo simplificado masa-resorte, con lo cual simulara la masa de agua contenida en el contenedor y la posibilidad de que se presente rotación en la base del contenedor. Concluyendo que es importante la necesidad de considerar al menos tres modos convectivos del líquido, sin despreñar la rotación de la base en el cálculo del momento en la cimentación.

En nuestro país, debido a la gran problemática de los diseños de reservorios elevados es fundamental establecer metodologías que permitan establecer de

manera más eficiente y eficaz el comportamiento sísmico de los mismos a fin de que en caso de un evento sísmico estos sigan operando sin ningún riesgo. Por ello en la última década se ha impulsado el estudio del comportamiento sísmico de estas estructuras, encontrándose así trabajos de investigación como el de Diaz Calderon y Meniz Ventocilla (2019), quien realizó la evaluación estructural de 05 reservorios circulares apoyados, ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico en Lima, encontrándose que estos no conservaban un comportamiento estructural adecuado lo cual se traducía en un déficit de refuerzo estructural en muros, vigas collarín y cúpula. Concluyendo que, las estructuras no poseerán un comportamiento sísmico apropiado en cara a un sismo severo, generando un riesgo de inundación.

En la misma línea, la investigación de Mamani Yana (2017) nos establece la importancia de conocer el comportamiento estructural ante eventos sísmicos severos de estructuras esenciales de almacenamiento de agua, por ello se enfocó en un modelo de aislamiento tipo péndulo friccional (FPS, Friction pendulum system) bajo demanda uni y bi direccional. Hacia el estudio sísmico se estableció como punto de inicio un comportamiento elástico lineal del tanque, empleando un modelo de interacción tanque-agua y un modelo histórico biaxial hacia el desempeño inelástico no lineal. Concluyendo que el sistema de aislamiento FPS muestra una seguridad en la disminución del esfuerzo cortante basal en un orden de hasta 73% para $H/R = 0.5$; 83% para $H/R = 1.0$ y 91% para $H/R = 2.0$.

Con lo descrito anteriormente, se establece la importancia de investigar nuevas metodologías para reducir los daños estructurales que puedan devenir de un comportamiento sísmico no controlado, he ahí la importancia de poder predecir y establecer de manera certera el mejor modelo estructural que permita establecer y pronosticar el comportamiento sísmico de una estructura esencial (tanques de agua) ante eventos sísmico leves y severos. A pesar del problema descrito en este acápite en nuestro país actualmente aún no se ha implementado una metodología de análisis y diseño sismorresistente para los reservorios elevados tipo fuste construidos, en proceso de construcción y proyectados. Por ello, frente a este panorama es que se encuentra enfocada la presente investigación, cuya finalidad es establecer una metodología de análisis por desempeño basado en desplazamiento en el comportamiento sísmico de reservorios elevados tipo fuste

en la ciudad de Chiclayo, con lo cual se desea reducir la incertidumbre existente referente al análisis sísmico de este tipo de estructuras.

Para este fin, esta investigación ha formulado el siguiente problema: ¿De qué manera la Metodología de Análisis por desempeño basado en desplazamientos nos permite cuantificar la ductilidad y el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste en Chiclayo?

Es así que, la presente investigación se justifica al pretender implementar una nueva metodología que ayudará al análisis de estructuras esenciales contenedoras de agua, basada en una nueva filosofía de diseño. Con esta metodología se pretende conseguir establecer un criterio unificado de diseño el cual sea el más realista y seguro posible, consiguiendo así obtener estructuras con un buen comportamiento y desempeño sísmico aceptable. Socialmente se justifica el presente estudio al establecer una metodología de diseño y análisis de estructuras esenciales contenedoras de agua, se prevé que al surgir un evento sísmico obtendremos estructuras más seguras y que se mantendrán operativas después del evento, logrando así mantener las consideraciones de estándar de vida de la sociedad aun después de eventos de esta índole, mejorando la condición de vida de los afectados. A partir de la forma de vista académico, la investigación permitirá el estudio de nuevas metodologías de diseño y análisis sísmico, incentivando al estudiante en el uso de las presunciones y juicios logrados durante el progreso de los estudios de maestría.

Esta investigación propone como hipótesis la siguiente: La Metodología de Análisis por desempeño basado en desplazamientos permite cuantificar la ductilidad y el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste en la ciudad de Chiclayo.

Asumiendo como objetivo general de investigación validar la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos para determinar el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste – Chiclayo.

Y como objetivos específicos: Analizar el diseño estructural basado en la norma E.060, E.030 y el análisis por desplazamientos, evaluar los desplazamientos considerando la rigidez, inercia, resistencia del acero y del concreto, evaluar las distorsiones basado en el centro de masas, geometría de las estructuras y masas concentradas.

II. MARCO TEÓRICO

Para la presente investigación, tomaremos como trabajos previos a las siguientes investigaciones:

Díaz y Meniz (2019), en su investigación que tiene como objetivo realizar la evaluación estructural de cinco reservorios circulares apoyados con antigüedades de construcción que oscilan entre 44 y 25 años, y que se ubican sobre zonas de alto riesgo sísmico. Para este fin, se ha obtenido los resultados de las masas impulsiva y convectiva empleando el modelo equivalente de Housne; luego se realiza el modelado general utilizando el software SAP 2000 apoyado en las normas ACI 350.3-06, E.030 y E.060; luego del análisis de resultado se concluyó que los reservorios no cuentan con un adecuado diseño estructural; por lo cual estas estructuras no soportarían eventos sísmicos severos.

Esta investigación nos permite apreciar la necesidad de realizar un diseño sísmico de acorde con las solicitudes futuras a fin de asegurar que estas estructuras esenciales (reservorios de agua) perduren en el tiempo para el cual se ha concebido, así mismo nos permite determinar la necesidad de implementar nuevas filosofías de diseño y actualizar nuestra normativa vigente.

Torres y Montalván (2018), en su investigación refieren el análisis del proceder estructural sísmico de dos reservorios elevados de concreto armado, construidos en el año 1980 en la ciudad de Caballococha; teniendo como objetivo principal la evaluación del comportamiento estructural del desempeño sísmico de dos reservorios, determinando cuales son los esfuerzos y las características estructurales de los objetos de estudio. Concluyendo que las normativas peruanas vigentes no establecen un procedimiento para el estudio y evaluación del desempeño sísmico de estructuras especiales.

De esta investigación podemos inferir que en nuestro país la investigación con nuevas metodologías para estructuras especiales es escasa y en algunos aspectos nula, por ello se debe impulsar la necesidad de establecer nuevos métodos de diseño que satisfagan la necesidad de mitigar los riesgos de falla de estructuras especiales esenciales.

Mantilla y Alva (2017) en su investigación realizaron la evaluación y comparación del proceder sísmico de reservorios apoyados de concreto armado de sección circular y rectangular del reservorio R-6 de 500m³ de propiedad de la empresa EPS Sedacaj SAC. Para la obtención de este objetivo se elaboró el análisis sísmico de la estructura basados en el código ACI 350 y modelando la estructura en el software SAP 2000 V.15. Concluyendo que, los reservorios de sección circular tienen mejor comportamiento sísmico soportando un 66.82% más las fuerzas anulares, reduciendo en 84.53% los momentos horizontales, 49.11% los momentos verticales y resistiendo en 15.82% más los cortantes basales.

Con esta investigación se puede concluir que existe evidencia científica y teórica que las estructuras contenedoras de agua de forma y sección circular tienen un desempeño adecuado a los requerimientos sísmicos, por lo cual es recomendable su utilización en estructuras de este tipo (reservorios de agua).

Martos (2018) en su investigación tiene como objetivo fijar el proceder sísmico de reservorios apoyados circulares y rectangulares de diversos volúmenes en las dos zonas sísmicas de Cajamarca. Para este fin se analizó las estructuras de volúmenes de 1000 m³, 1500 m³, 2000 m³ y 2500 m³ basado en normas internacionales ACI 350.3-06 y ASCE/SEI 7-10 y calculando basado en modelo equivalente de George W. Housner para luego modelar con software SAP 2000. Concluyendo que los comportamientos sísmicos de las estructuras varían de acuerdo con la geometría de la misma y la ubicación de la zona entre un 4% a un 30%, siendo más crítica en la zona 3.

Pinto (2012) en su investigación que tiene por finalidad “evaluar el desempeño sísmico de un puente de concreto reforzado y poder contar con nuevas metodologías de estudio del comportamiento estructural ante fuertes sismos”. concluyendo que: “los procesos revelaron óptimos resultados para la fase límite de servicio; no obstante, en etapa límite de conservación estuvo ciertas variaciones, sobre todo en las columnas de mayor altura del puente en estudio”.

La búsqueda de nuevas alternativas de diseño es fundamental para optimizar con nuevos conocimientos el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones alternas a la problemática del análisis sísmico, más aún si se utilizan nuevas filosofías de diseño como el análisis por desempeño, el cual no solo considera el aporte mecánico de la estructura, si no a esto le incorpora el análisis de resistencia

combinada de los materiales, es decir analiza la geometría, inercia y resistencia de la estructura, y al mismo tiempo analiza el aporte de resistencia que proporciona la conformación de la estructura combinando la resistencia del concreto (compresión) con la resistencia del acero de refuerzo (tracción). De esta manera podemos obtener valores más cercanos a la realidad.

Huaranga (2015) en su investigación que tiene por finalidad “realizar el estudio de dos depósitos tipo INTZE, fundamento la no linealidad a flexocompresión del fuste con el objetivo de estudiar la respuesta no lineal frente a desiguales demandas sísmicas”. Y en el cual se concluye que: “el esfuerzo cortante basal de los reservorios R-1 y R-2 decrecen proporcional a la disminución del volumen de agua. Finalmente, se muestra que el acero por corte instalado en los fustes no cumple con las consideraciones de capacidad”.

Las teorías establecidas en este trabajo de investigación servirán de sustento para nuestra investigación, el uso de criterios y análisis del comportamiento de los fluidos y de cómo estos interactúan con la estructura durante un movimiento sísmico, son parámetros esenciales a tener en cuenta dentro de nuestro análisis. Así mismo el análisis de los efectos de resonancia y efecto de oleaje, el cual influye de manera considerable en la respuesta de la estructura, son criterios que deberán ahondarse y ser considerados de manera preponderante en la investigación que seguiremos.

Teorías que fundamenta las variables

Bases del diseño sísmico por desempeño (DSD).

Las bases científicas del diseño por desempeño se cimientan en lograr estructuras con un comportamiento sísmico predecible, y permitir al ingeniero usar diferentes comportamientos de la estructura de acuerdo a su importancia. Las organizaciones que impulsaron el desarrollo de este diseño y que propusieron la base de los objetivos por desempeño a diferentes intensidades sísmicas son: Visión 2000, NEHRP, ATEC-33, FEMA-273 entre otros. Cada uno de estos documentos contiene una clasificación de niveles de desempeño objetivo que se pretende lograr de la estructura.

Teniendo en cuenta esta metodología de diseño, podremos obtener diferentes niveles de desempeño sísmico objetivo y comportamiento que ayude a controlar y minimizar las pérdidas causadas después de un evento sísmico. Es así que, los

procedimientos de Diseño Sísmico por Desempeño (DSD) al brindar la oportunidad de seleccionar los niveles de desempeño que generen la menor pérdida económica o aseguren estados de funcionalidad en las estructuras a diseñar, dependiendo de su uso e importancia, representan un avance significativo del estado de la práctica del diseño sísmico. (Poland, 1999).

Basado en esta teoría, podemos observar fundamentos y recomendaciones tales como las emitidas por el SEAOC (SEAOC, 1995) mediante el reporte “Vision 2000” donde se aprecia los objetivos de desempeño propuesto y su relación con los niveles de desempeño descritos en el Anexo 01A.

Para el caso del ingeniero diseñador, los objetivos de desempeño tienen opciones para elegir el comportamiento global que esperan logren sus estructuras, y de esta manera poder estimar pérdidas económicas de una manera más confiable. (Hamburger, 1996). Se debe acotar que las finalidades de desempeño recomendados por “Visión 2000”, son una mejora de los fines de la gran parte de los códigos actuales. (Sandoval, 2000).

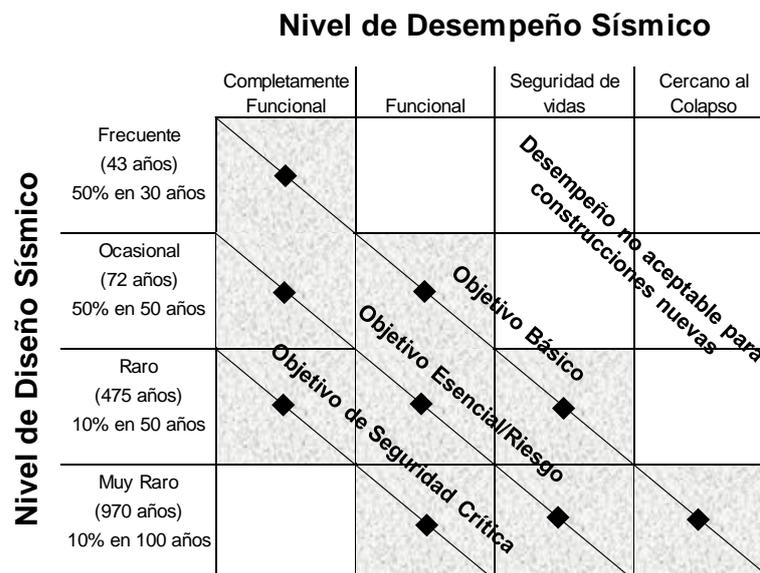


Figura 1. Objetivos de Comportamiento. (Adaptada de Visión 2000, SEAOC 1995)

Análisis por desempeño sísmico.

Según Bozorgnia y Bertero (2004), “el Performance Based Earthquake Engineering (PBEE) está fundado bajo el criterio que el desempeño puede ser anticipado y valorado para optar por una decisión sustentada en los criterios del período de vida y no simplemente basado en los costes de la edificación”.

Según Yang (2013), considera que “el PBEE valora el comportamiento sísmico empleando estudio probabilístico considerando metódicamente el peligro, respuesta estructural, perjuicio y coste de reparación (gestión de riesgos)”.

De lo descrito por los autores se puede inferir que el análisis por desempeño se basa en el concepto de que las estructuras deben quedar operativas y sin daño estructural considerable después de un sismo severo.

Concepto de diseño por desempeño.

Según Bertero (1997), el diseño por desempeño es “la elección de procedimientos de valoración apropiados que consientan el dimensionamiento y detalle de los elementos estructurales, no estructurales y contenidos, de forma que, los perjuicios en la edificación no deberán sobrepasar ciertos estadios límites”.

Para Santana (2012), el desempeño “se valora en expresión de la cantidad de daño en un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que poseen estos perjuicios en las acciones ulteriores al suceso”.

De estas teorías se puede entender que el diseño por desempeño es aplicable a cualquier tipo de estructura de concreto armado. Entonces podemos conceptualizar que el diseño por desempeño es un proceso que inicia con el planteamiento estructural inicial y concluye con el colapso de la estructura. Para el diseño por desempeño se puede apoyar las teorías en las siguientes conceptualizaciones:

Concepto del SEAOC (1995).

Para el SEAOC el desempeño sísmico de una edificación es la elección de consideraciones de diseño estructural, equivalente y detallado de una estructura y sus componentes no estructurales; que aseguran la calidad y la integridad estructural durante un evento sísmico, con horizontes precisos de confiabilidad.

Para Taipei (2003) el desempeño sísmico se define como: “una secuencia de procesos para que las estructuras tengan un desempeño sismorresistente

controlable y predecible, cuando responden a niveles definidos de sismo, dentro de niveles de confiabilidad definidos”.

El SEAOC ha establecido un diagrama basado en la ingeniería por desempeño, el cual se detalla en el anexo 02.

Concepto del ATC-40 (1996)

Para ATC-40 (1996), el diseño basado en desempeño sísmico se refiere a “la metodología de diseño en la cual el criterio estructural se basa en la selección de un objetivo de desempeño, a diferencia del método tradicional el cual se define por exigencias que resulta de aplicar una fuerza cortante predefinida”.

Niveles de desempeño estructural.

Según ATC-40 (1996), los niveles de desempeño estructural se detallan en el anexo 03, teniendo así:

Ocupación Inmediata (SP-1): es la etapa en que sucede un restringido perjuicio estructural. El método base de aguante a esfuerzos laterales del edificio conserva por poco toda sus particularidades y capacidades iniciales. El peligro de amenaza a la vida por desperfecto estructural es intrascendente y el edificio es seguro para su ocupación (ATC-40, 1996).

Control de Daño (SP-2): esta expresión no es en verdad un nivel concreto, pero es una categoría de perjuicio que oscila desde SP-1 (Ocupación Inmediata) a SP-3 (Seguridad de Vida) (ATC-40, 1996).

Seguridad de Vida (SP-3): es la etapa en la cual puede haber ocurrido perjuicio considerable a la estructura, pero donde persiste algún margen frente a el colapso total o parcial. Los elementos estructurales importantes no fallan (ATC-40, 1996).

Seguridad Limitada (SP-4): esta expresión no es ciertamente una etapa específica de desempeño, pero es una categoría de estado de perjuicio que es por lo mínimo como SP-3 (Seguridad de Vida) pero no más que SP-5 (Estabilidad Estructural) (ATC-40, 1996).

Estabilidad Estructural (SP-5): esta etapa es el fin de la etapa de perjuicio estructural en que el modelo estructural del edificio está al límite de notar colapso parcial o total. (ATC-40, 1996).

No Considerado (SP-6): este no es una etapa de desempeño, pero suministra una representación para escenarios donde se elabora una valoración sísmica o reforzamiento (ATC-40, 1996).

Análisis no lineal estático – PUSHOVER.

Según Santana (2012) el análisis no lineal estático – PUSHOVER es “una herramienta simple y eficaz para el análisis de resistencia – deformación bajo fuerzas inerciales esperadas. Para estimar la capacidad más allá del límite elástico, se debe realizar un análisis no lineal tal como el Pushover”.

El modo de análisis no lineal estático – Pushover se puede resumir según Santana (2012) en lo siguiente:

“El esquema matemático de la edificación (sin rotulas) se aplican esfuerzos laterales a nivel de diafragmas (entrepisos) hasta que ciertos componentes logren su límite elástico. Luego la estructura es transformada para tomar en cuenta la resistencia reducida de los componentes donde su capacidad ha sido rebosada y se han originado rotulas. Una repartición de esfuerzos laterales es otra vez aplicada hasta que en componentes adicionales se causen rotulas. Este proceso se continúa hasta que la estructura se vuelva inestable o hasta que un establecido límite sea alcanzado. La curva de capacidad aproximadamente nos muestra como la estructura se comporta después de exceder su límite elástico”.

Procedimiento de diseño sísmico por desempeño.

Fundamentos del procedimiento de diseño sísmico por desempeño

Este procedimiento de diseño se fundamenta en el método de análisis no lineal simplificado, este se utiliza para determinar el comportamiento no lineal en porticos de concreto armado, con el que se pueden obtener la distribución de articulaciones plásticas y desplazamientos, al someterse a la estructura a un registro sísmico determinado. (Sandoval, 2000).

Para nuestro análisis sísmico se utilizará el método del empujón. Este método consiste en aplicar cargas unitarias equivalentes a sus alturas las mismas que simulan un sistema de cargas estáticas semejantes a las sísmicas, las cuales van incrementándose monótonamente hasta que la estructura alcanza su estado limite preestablecido. En la aplicación del este método, lo importante es la distribución de estas cargas, pues ello conlleva a la obtención de resultados veraces.

En el procedimiento de este método se incluye la evaluación de la diferenciación de la repartición de cargas estáticas con el nivel de inelasticidad producido por

cargas sísmicas ascendentes durante el proceso del empujón y el aporte a la respuesta de los modos superiores de vibrar. (Sandoval, 2000), es decir, este procedimiento evalúa la respuesta de la estructura al registro sísmico y como esta pasa por los diferentes modos de respuesta sísmica. La evaluación fundamental de este método es estudiar la analogía existente entre la curva de capacidad de la estructura, obtenida del método del empujón de un sistema de múltiples grados de libertad (MGDL), convertida e idealizada en bilineal en un grado de libertad (1GDL) en un espacio de pseudoaceleraciones espectrales (S_a) contra los desplazamientos espectrales (S_d), todo esto en correspondencia a una curva de comportamiento de la estructura en un sistema equivalente de un grado de libertad (1GDL).

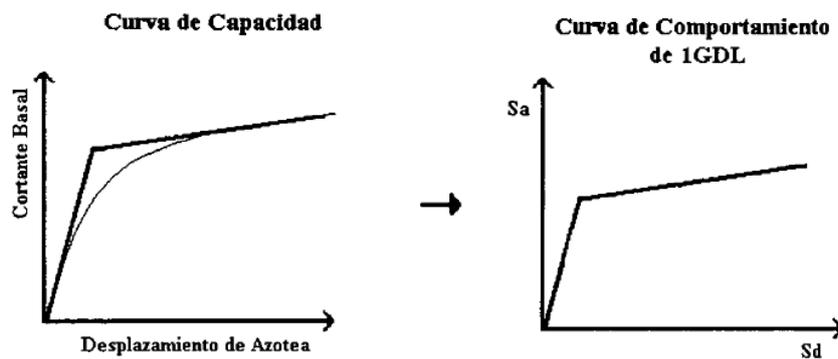


Figura 2. Curvas de capacidad y comportamiento.

Los pasos a seguir en este procedimiento para estimar la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado se describen a continuación:

1. Determinar las cargas laterales equivalentes concordantes con la contribución de los modos de vibrar predominantes de la estructura, luego de lo cual se realiza el análisis por el método del empujón. Obteniendo la gráfica cortante basal vs. desplazamiento del último nivel de la estructura (curva de capacidad).
2. De esta curva obtenida en el ítem 1, se selecciona un punto de comportamiento de la estructura, la cual se aproxima a una gráfica bilineal. El desplazamiento máximo (punto final de la curva) depende básicamente de la precisión con la que fue seleccionado las distorsiones máximas en la etapa de diseño. Finalizado este procedimiento se verificará si el desplazamiento obtenido concuerda con el seleccionado del punto de comportamiento. Después, la curva bilineal se

transforma a un espacio de aceleración espectral (S_a) contra desplazamiento espectral (S_d), obteniéndose una curva de comportamiento de un sistema de 1 GDL, mediante el uso de las siguientes ecuaciones (Sandoval, 2000):

$$PF_y = \left[\frac{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}}{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2} \right] \phi_y \quad (Ec. 1)$$

$$\beta_j = \frac{[\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij}]^2}{[\sum_{i=1}^N m_i] \sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2} \quad (Ec. 2)$$

$$S_a = \frac{(V/M)}{\alpha} \quad (Ec. 3)$$

$$S_d = \frac{D_{azot}}{PF_{azot}} \quad (Ec. 4)$$

Donde:

- PF_{ij} = Factor de participación modal para el nivel i y modo j.
- β_j = Factor de participación del cortante basal para el modo j.
- S_a = Aceleración espectral.
- S_d = Desplazamiento espectral.
- m_i = Masa del piso i.
- φ_{ij} = Forma modal i del modo j.
- V = Cortante basal.
- M = Masa de la estructura.

3. Se transforma la masa de la estructura de MGDG a la correspondiente al primer modo para el sistema equivalente de 1 GDL.

$$m_i = [\phi]' [M] [\phi] \quad (Ec. 5)$$

$$\text{O bien} \quad m_i = \sum M_i \phi_i^2 \quad (Ec. 6)$$

4. Se establece la curva cortante modal (V_m), vs. desplazamiento espectral (S_d), obteniéndose de multiplicar la masa modal por la aceleración espectral. Esta curva simboliza el comportamiento carga – deformación del sistema de 1 GDL, pudiéndose calcular las rigideces elástica e inelástica y la fuerza de fluencia equivalente logrando el análisis dinámico del sistema de 1 GDL equivalente.
5. Con varios registros sísmico se ejecuta el estudio no lineal del sistema de 1 GDL, obteniéndose el desplazamiento máximo S_d del sistema equivalente,

representando el punto de comportamiento en las demandas sísmicas utilizadas.

6. Transformamos el desplazamiento espectral máximo S_d , de un sistema equivalente de 1 GDL al original de MGDL, tomando en cuenta el criterio de transformación del sistema.

$$\Delta_{azotea} = S_d PF \quad (Ec. 7)$$

7. Con el desplazamiento espectral máximo S_d , se realiza un nuevo análisis con el método del empujón de la estructura de MGDL, con estos se determinará desplazamientos laterales de piso, distorsiones y la distribución de las articulaciones plásticas. Estos resultados son muy aproximados a los que se conseguirían de ejecutar una evaluación dinámico no lineal.

En esta investigación el procedimiento de diseño será de manera inversa, partiendo de un estado límite preestablecido (distribución de articulaciones y desplazamientos) y con ello determinar las resistencias de los elementos que conforman el sistema estructural, los cuales lograrán los objetivos de desempeño. Así mismo, principalmente se usará la curva de comportamiento de un sistema de 1GDL, equivalente a un sistema de MGDL la cual responde activamente en su modo fundamental de manera absoluta. Por ello, se acepta que las curvas de comportamiento de sistemas de 1 GDL equivalentes a estructuras de edificios regulares, se pueden idealizar convenientemente como bilineales (Ayala, 1999) infiriéndose que la estructura a diseñar en un sistema de 1 GDL tiene dos estados definidos, la elástica y la inelástica.

Por otro lado, se debe contar con una estructura prediseñada a partir de cargas gravitatorias y sísmicas de manera que se pueda conocer el periodo elástico y definir su rango elástico, en el espacio S_a vs S_d , este primer rango posee una pendiente la cual se podrá conocer a partir de la asignación de una distribución de daño a la estructura, el cual corresponde a su estado límite considerado; luego del cual con estas propiedades dinámicas podremos conocer y calcular la pendiente y límite del rango inelástico. Con esta información se puede calcular la demanda sísmica de esta estructura basándose en un sistema de 1 GDL, y con ello poder

construir la curva de comportamiento de la estructura obteniéndose los niveles de fuerza y desplazamientos correspondientes. Con estas fuerzas se realizará finalmente los análisis estáticos laterales para determinar las resistencias necesarias en los elementos.

En caso de que se quisiera aplicar este procedimiento de diseño a estructuras que tienen contribuciones importantes de los modos superiores de vibrar, habría que hacer algunas consideraciones adicionales en el cálculo y distribución de las fuerzas laterales, como por ejemplo utilizar alguna formulación que involucrase los efectos de los modos superiores y algún medio de análisis no lineal que contemplase la degradación de rigidez al ocurrir eventos inelásticos. (Requena, 1999).

Introducción al diseño sísmico basado en desplazamientos.

Los eventos sísmicos siempre someten a las estructuras a fuerza y desplazamientos los cuales están relacionados directamente con la rigidez que posea el sistema, no obstante, cuando estas estructuras entran en el comportamiento inelástico estas relaciones son complejas debido a que las fuerzas actuantes estarán dependiendo de los desplazamientos instantáneos y del historial de desplazamientos. Inicialmente el diseño se basaba únicamente en esfuerzos estáticos equivalente. El motivo de esto es antiguo, y está coligada a métodos de diseño para distinto tipo de trabajos, por ejemplo: cargas de viento, cargas de gravedad (carga muerta y carga viva) (Priestley et al., 2007).

Evolución de diseño sísmico basado en desplazamientos.

La necesidad de variación en las metodologías de diseño sísmico existente, implementadas en las normativas, ha estado largamente registrada (Fajfar, 2000). Por ello, la motivación de adoptar la metodología de diseño basadas en desplazamientos obedece a la relación directa de los estadios límites de daño con los extremos de deformación (Rivera & Meli, 2008). Una de las metodologías existentes, es la que se basa directamente en los desplazamientos producidos en la estructura DBDD (Priestley et. al., 2007). El DBDD, reemplaza el modelo inelástico en su extremo superior del desplazamiento por un sistema elástico de 1 GDL donde se puede obtener la rigidez secante en el punto máximo de respuesta y un amortiguamiento que simula al viscoso e histérico en la estructura real. Así

mismo, existe otra metodología basada directamente en desplazamientos, varía del DBDD por que utiliza un espectro de diseño inelástico. Este método propuesto por Chopra y Goel (2001), se conoce como método del espectro inelástico (MEI), y permite estimar con exactitud los máximos valores de desplazamiento y demanda, así como la máxima demanda de ductilidad de la estructura, lo que permite satisfacer los criterios de diseño por una rotación plástica admisible. El MEI, maneja las pautas primigenias del método DBDD para establecer las deformaciones y ductilidad de diseño (Sullivan et al., 2003); luego obtiene un periodo y rigidez en base de un espectro de respuesta de desplazamiento inelástico. El uso del MEI nos permite diseñar estructuras para un horizonte de distorsión específico y una aceptable rotación plástica. (Pinto, 2012).

Análisis por desempeño basado en desplazamientos.

Metodología de diseño basado en desplazamientos.

Priestley et al. (2007), propuso el “método de Diseño Basado Directamente en Desplazamientos (DBDD), con este método exprés se puede diseñar una estructura la cual satisfaga un horizonte predefinido de distorsión”. Este método se basa en el enfoque estructural desarrollado por Gulkan y Sozen (1974) y Shibata y Sozen (1976), ellos propusieron un modelo estructural de comportamiento inelastico como un sistema elastico de un grado de libertad (1 GDL), usando los conceptos de rigidez secante y amortiguamiento viscoso equivalente.

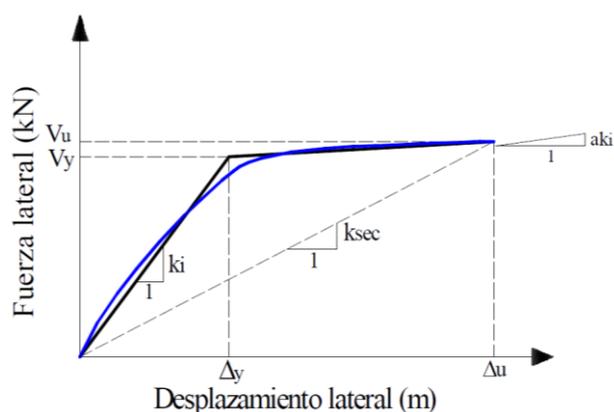


Figura 3. Curva Esfuerzo - Desplazamiento.

Fuente: Tesis: “Evaluación del desempeño sísmico de puentes basado en desplazamientos”.

Según Pinto Rodríguez (2012), “el objetivo del metodo DBDD es obtener una estructura, la cual alcanzara un desplazamiento predeterminado durante un sismo de intensidad establecida en el diseño”.

Comportamiento sísmico de reservorios elevados.

Comportamiento dinámico del agua.

Para comprender el comportamiento dinámico del agua se debe suponer a este como un medio homogéneo, continuo e isotrópico y que se trata de un fluido no viscoso, por lo cual los esfuerzos generados entre las partículas son normales a su superficie de contacto y por ende la presión en un punto será la misma en cualquier dirección. Así también se debe considerar que cada una de sus partículas siguen un movimiento continuo, es decir que la velocidad relativa entre dos partículas adyacentes es pequeña, de forma que se mantiene la distancia entre ellas durante todo el movimiento. De estos supuestos se observó que la viscosidad y la tensión superficial del fluido no tienen influencia en los resultados de las presiones dinámicas, por ello la viscosidad no se tomara en cuenta.

Cuando a una masa de fluido que se encuentra en reposo (estática) se le induce un movimiento, para cada partícula se tendría que usar tres coordenadas. Para ello, de manera simplificada, se considera que el movimiento del fluido se desarrolla en secciones paralelas entre sí. Para efectos de cálculos se considera una sección unitaria, simplificando en esta sección a dos coordenadas para determinar los movimientos en cualquier punto o partícula en un instante cualquiera.

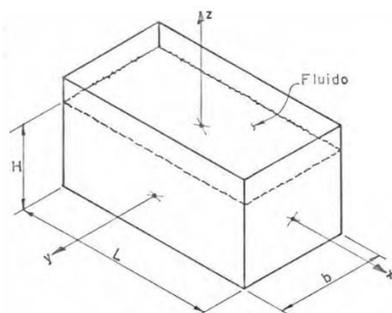


Figura 4. Sistema tridimensional de un recipiente con fluido.

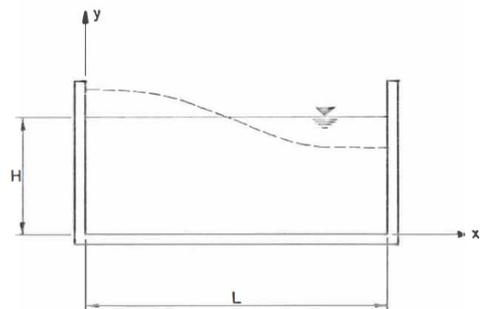


Figura 5. Sistema bidimensional de un recipiente con fluido.

Finalmente, se asume que los reservorios están constituidos por muros y losas rígidas formando una estructura en donde todos sus elementos se mueven de manera uniforme sin presentar giros ni desplazamientos relativos.

La forma del reservorio en el comportamiento dinámico del agua.

Cuando se altera el estado inicial del agua dentro de un recipiente (reservorio) este producirá un movimiento en la masa del fluido el cual puede ser horizontal, vertical o inclinado, dependiendo este de la forma del reservorio. Este movimiento estará en el mismo plano que el movimiento que inicio la excitación. (Rivera Feijoo, 1984). Este movimiento dependerá básicamente de la forma del reservorio, pudiendo ser esta como se muestra en el anexo 04.

Modelos simplificados del comportamiento hidrodinámico del agua.

Modelo de Chandrasekaran y Krishna (1954).

En los años 50 propusieron un modelo donde solo se asume un grado de libertad, centralizado en la cúpula y con esto encontrar los esfuerzos por sismo del reservorio elevado en el estado más desfavorable para el diseño sísmico (reservorio completamente lleno), determinando que el diseño de los muros se debe realizar con las presiones hidrostáticas, por cual estas son una fracción de las presiones hidrodinámicas.

Modelo de Housner (1963).

Ideado en los años 1960 en Chile, después del evento sísmico de este año donde gran cantidad de reservorios elevados resultaron dañados; esto conllevó a que se ponga énfasis en el estudio del comportamiento hidrodinámico del agua. Este modelo idealiza a los reservorios llenos de agua o vacíos con un comportamiento como una estructura con una sola masa. Así mismo, si en la estructura existiera un espacio libre (borde libre), dentro de ella existirá un oleaje del elemento hídrico durante el evento sísmico, lo que conlleva a realizar un modelo específico para este caso, el mismo que consistirá en representar el agua con dos masas concentradas. De estas masas una sigue la secuencia dinámica del reservorio (masa impulsiva) y otra acompaña el movimiento del oleaje (masa convectiva). Este modelo se representa en el anexo 05.

Modelo de Haroun y Housner (1981).

Este modelo se basa en el propuesto por Housner en 1963, agregando modos adicionales de la masa convectiva. Considerando en reservorios elevados convencionales una masa convectiva; y en reservorios apoyados tres masas, los mismos que analizan la elasticidad de la pared del reservorio. En el caso de reservorios elevados esta tercera masa no es considerada debido a que el modo que genera es despreciable y por qué los reservorios elevados se consideran bastante rígidos al poseer un fuste y cúpula de concreto armado.

Efectos del sismo en reservorios elevados.

Según Curadelli (2013), los efectos de un sismo sobre reservorios elevados radican en la cuestión que el golpe económico no solo se delimita al perjuicio de la estructura, sino además a los resultados adyacentes que acarrea con ella la falla de las estructuras, siendo que el coste es cuantioso en comparación al coste que representa la restauración”.

Para Ballantyne (1994), los efectos radican por que en su mayoría son usados para el suministro de agua a la población, y por ello la sociedad vive pendiente del comportamiento de la estructura tanto durante su operación normal como durante escenarios de recuperación y respuesta frente a emergencias.

Así mismo, Rai (2003) concluyo: “que los esfuerzos laterales y momentos de volteo de diseño resultantes con la norma de su país estuvieron inferiores a los requerimientos de las normas internacionales”.

Finalmente, según Huaranga (2015) “los reservorios elevados tipo fuste no poseen redundancia, por ello la rótula que se forja en la base no debe romperse a fin que el sistema no trascienda inestable y colapse, esto se asegura con un adecuado estribamiento”. Así mismo, este autor nos indica que en este tipo de reservorios existen tres patrones de fisuras que comúnmente se presentan ocurrido un evento sismo: “fisuras circunferenciales, fisuras diagonales y fisuras verticales”.

Normas técnicas para el diseño estructural de reservorios elevados.

De estas normas internacionales mencionaremos las más importantes

a. ACI 350.3-06

Este código no proporciona pautas simplificadas para considerar en el proceso de análisis y diseño sísmico de estructuras de concreto armado, específicamente estructuras que contengan líquido.

Este código en su capítulo 4, nos proporciona tablas con los valores ya establecidos del Factor de Importancia (I) y Factor de Modificación de respuesta (R), tal como se muestra en el Anexo 06 y 07.

Así mismo este código, en el capítulo 9 nos proporciona ecuaciones para el cálculo del peso impulsivo y convectivo.

$$W_i = \frac{\tanh(0.866 \cdot D/H_L)}{0.866 \cdot D/H_L} \cdot W_L$$

Figura 6. Ecuación del peso impulsivo.

$$W_c = 0.23 \frac{D}{H_L} \cdot \tanh\left(\frac{3.68 H_L}{D}\right) W_L$$

Figura 7. Ecuación del peso convectivo.

Donde

- W_i : peso equivalente de la componente impulsiva.
- W_c : peso equivalente de la componente convectiva.
- D : Diámetro interior de la cuba.
- H_L : altura de agua libre en la cuba.
- W_L : Peso total del agua del reservorio.

Cálculo de posición de la masa impulsiva con respecto a la base.

$$h_i = 0.5 H_L - 0.09375 D \quad D/H_L < 1.333$$

$$h_i = 0.375 H_L \quad D/H_L \geq 1.333$$

Cálculo de posición de la masa convectiva con respecto a la base.

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

Figura 8. Posición de la masa convectiva.

Cálculo de ubicación de la masa impulsiva con respecto a la base incluyendo la presión generada en la base.

$$h'_i = 0.45 H_L \quad D/H_L < 0.75$$

$$h'_i = \left[\frac{0.866 \frac{D}{H_L}}{2 \tanh\left(0.866 \frac{D}{H_L}\right)} - \frac{1}{8} \right] H_L \quad D/H_L \geq 0.75$$

Figura 9. Posición de la masa impulsiva.

Cálculo de ubicación de la masa convectiva con respecto a la base incluyendo la presión generada en la base.

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

Figura 10. Posición de la masa convectiva incluyendo la presión en la base.

Cálculo de la rigidez del resorte equivalente para la masa convectiva.

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

$$K_c = \omega_c^2 \frac{W_c}{g}$$

Figura 11. Rigidez del resorte para masa convectiva.

Donde:

ω_c : frecuencia circular del primer modo convectivo.

K_c : rigidez del resorte de la masa convectiva.

W_c : peso equivalente de la componente convectiva.

Normas técnicas para el diseño sísmico de reservorios elevados.

Para el diseño sísmico de estructuras, como reservorio elevado, tenemos las siguientes normativas:

A. Norma Técnica E.030.

Según Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014), la “ideología del diseño sismorresistente consiste en: impedir muertes, afirmar la continuación de los servicios básicos y menguar los perjuicios a la propiedad”.

Para este fin esta norma contempla los siguientes razonamientos en la concepción estructural: “simetría, pero mínimo, elección y uso apropiado de los insumos de construcción, resistencia adecuada frente a cargas laterales, continuidad estructural, ductilidad, deformación lateral limitada, condiciones locales y buenas prácticas constructivas y supervisión estructural rigurosa”.

Así mismo en esta norma se contempla medidas a ser atendidas durante el proceso de diseño, como:

Zonificación (Z): este factor contempla la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2014), como se muestra en el Anexo 08.

Parámetros de Sitio (S, T_P y T_L): deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de ampliación del suelo S y de los periodos T_P y T_L dados (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2014), como se muestra en el Anexo 09 y 10.

Factor de ampliación sísmica (C): de acuerdo a las características de sitio, se define el factor de ampliación sísmica (C) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014).

$$\begin{aligned} T < T_P \quad C &= 2,5 \\ T_P < T < T_L \quad C &= 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\ T > T_L \quad C &= 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right) \end{aligned}$$

Figura 12. Ecuaciones de coeficiente "C".
Fuente: NTE.030

Factor de Uso (U): El factor de usos o importancia se usará según la clasificación que se haga (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014), como se muestra en el Anexo 11.

De estos conceptos, se puede establecer que en nuestra norma no existen criterios de diseño para reservorios elevados, por lo que se debe recurrir a códigos internacionales.

Así mismo para el análisis tiempo historia, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014) en su norma E.030 nos indica: "minimamente se debran tener tres historicos de registros de aceleraciones del suelo, y cada uno de estos registros deberan contener un par de componentes, con un rango de periodos de 0.2T y 1.5T".

Finalmente, según Huaranga (2015) nos manifiesta que “el comportamiento de los componentes debe ser obtenido de acorde con los resultados de sobrerresistencia del material, endurecimiento por deformacion y degradacion de la resistencia por la carga ciclica”.

B. ASCE/SEI 07-5

Este código es, según Huaranga (2015) “una guía que establece los mínimos criterios para establecer las consideraciones de diseño de edificaciones y otro tipo de estructuras”.

Este código utiliza los valores S_s y S_1 , que son aceleraciones de espectro para periodos de 0.2 y 1 segundos con una posibilidad de excedencia de 2% en 50 años (Huaranga, 2015).

Para poder obtener los valores de SMS y $SM1$, se debe multiplicar a S_s y S_1 por los factores F_a y F_v , cuyos valores se muestran en los anexos 12 y 13.

De estas tablas se puede comentar que las clases de sitio A, B, C, D y E pertenecen a roca dura, roca, suelo muy denso o roca suave, suelo rígido y suelo arcillosos correspondientemente. La clase F pertenece a un suelo que solicita un estudio de respuesta de sitio (Huaranga, 2015).

Con los valores SMS y $SM1$, se busca determinar las medidas de aceleración espectral del sismo de diseño (SDS y $SD1$) multiplicando los valores de SMS y $M1$ por un factor $2/3$, obteniendo como resultado el siguiente gráfico:

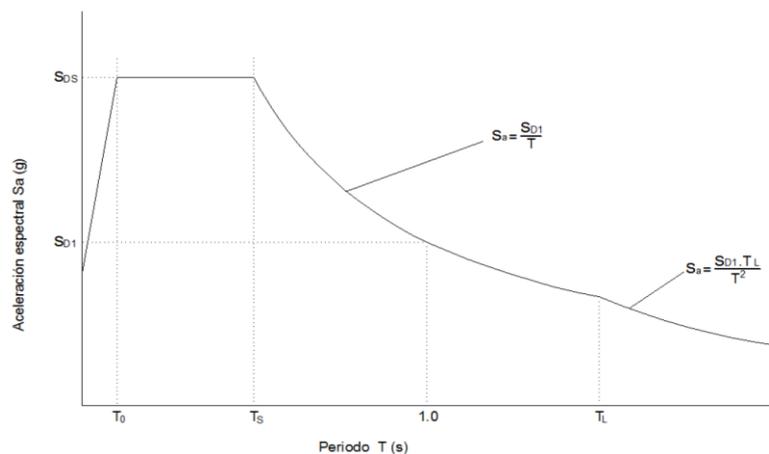


Figura 13. Forma del espectro sísmico indicado en el ASCE/SEI 07-5.

Donde:

SDS : Parámetro para periodos cortos de la respuesta de la aceleración espectral de diseño.

SD1 : Parámetro para el periodo de 1s de la respuesta de la aceleración espectral de diseño.

T : Periodo fundamental de la estructural.

TL : Periodo de transición para periodos largos.

$$T_0 = 0.20 \text{ SD1/SDS}$$

$$T_s = \text{SD1/SDS}$$

C. EUROCODIGO - 8

Este código nos determina criterios en el diseño estructural de estructuras. En el caso de estructuras como reservorios elevados, este código lo considera como un sistema de péndulo invertido afectándolo con un factor de reducción de 1.5. En cuanto al espectro que usa este código, el mismo es similar en forma al espectro del código ASCE/SEI 07-05, teniendo lo siguiente:

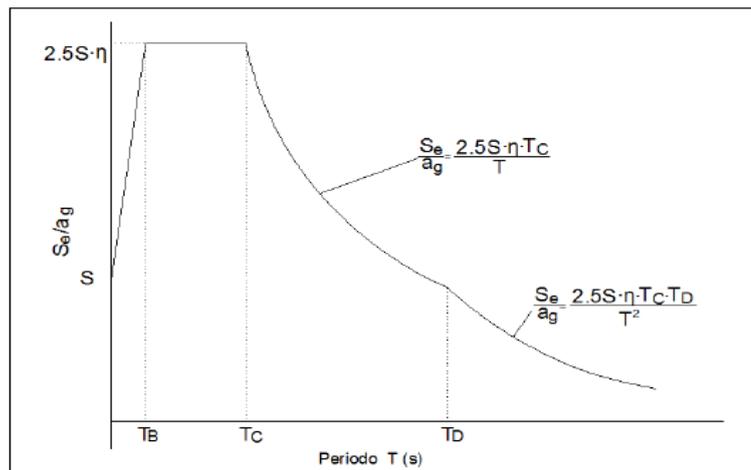


Figura 14. Forma del espectro sísmico del EUROCODIGO-8.

Donde:

S_e : respuesta espectral elástica.

A_g : Aceleración de diseño para suelo tipo A.

- T : Periodo de vibración de un sistema lineal de un grado de libertad.
- TB : Periodo correspondiente al límite superior de la aceleración espectral constante.
- TC : Periodo correspondiente al límite inferior de la aceleración espectral constante.
- TD : Periodo que define el inicio constante de la respuesta de desplazamiento espectral.
- S : Factor suelo.
- N : Factor de corrección por amortiguamiento (Para 5% η = 1).

III. METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación.

El presente documento de investigación, de acuerdo al tipo de estudio que persigue es una **Investigación Aplicada** y de acuerdo a la técnica de constatación del fenómeno se enmarca dentro de una **Investigación Descriptiva**.

El presente estudio de investigación se enmarca dentro de un Diseño descriptivo causal con propuesta.



Figura 15. Diseño de Investigación.
Fuente: (Hashimoto, y Campos, 2000)

Leyenda:

M : Muestra de estudio.

Ox : Información a recoger sobre comportamiento sísmico.

P : Propuesta – Validad Metodología de Análisis por desempeño.

Método de investigación.

Los métodos de investigación a utilizarse en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

Analítico – Sintético.

Este método es utilizado para analizar los hallazgos del marco teórico práctico y así poder arribar a las conclusiones a partir de la contratación de la información.

Lógico – Inductivo.

Este método permite generar conocimientos generales partiendo de conocimientos particulares y del análisis del mismo.

Variables, operacionalización.

Operacionalización de variables.

La operacionalización de variables se muestra en el Anexo 1.

Variable Independiente: Metodología de análisis por desempeño

Definición Conceptual: Priestley et al. (2007), propuso un método de diseño, al cual llamo “método de Diseño Basado Directamente en Desplazamientos (DBDD), con este método rápido se puede diseñar una estructura la cual satisfaga un nivel predefinido de distorsión”.

Definición Operacional: Es una metodología basada en el desempeño inelástico de la estructura, la cual permite predecir el mecanismo de falla de la estructura ante cargas dinámicas como sismo.

Variable Dependiente: Comportamiento sísmico de reservorios elevados tipo fuste.

Definición Conceptual: Según Rochel (2012), comportamiento sísmico es “la capacidad que presenta una estructura para evitar el desarrollo inesperado de un mecanismo de colapso durante un movimiento sísmico severo y al mismo tiempo por absorber la energía sísmica a través de las deformaciones inelásticas”.

Definición Operacional: Comportamiento sísmico se refiere a como la estructura reacciona ante los movimientos sísmicos, en este comportamiento influyen los factores de diseño así como los constructivos, es decir se considera el aporte que los materiales hacen a la resistencia de la estructura.

Población y muestra.

Población.

Para la ejecución del presente trabajo de investigación, se tomará como población a los **04** reservorios elevados que abastecen a la ciudad de Chiclayo. Los cuales detallo a continuación:

Tabla 1. Ubicación de reservorios.

Descripción	Ubicación	Capacidad
Res. Elev. N° 01 – SUR	Intersección Panamericana Norte y Av. Fitzcarrald	2000 m ³
Res. Elev. N° 02 – Planta 1	Intersección Av. Miguel Grau y Ca. Virgilio D'allorso	3000 m ³
Res. Elev. N° 03 – Planta 2	Intersección Av. Sáenz Peña y Av. Augusto B. Leguía	4000 m ³
Res. Elev. N° 04 – JLO	Intersección Av. Prol. México y Av. Nicaragua.	3000 m ³

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra.

Para efectos de la presente investigación se tomará como muestra a **01** Reservorio elevado (**Reservorio elevado N° 04 – JLO**). El muestreo que se usará será **no probabilístico – intencional**, debido a la facilidad de obtención de información, tales como: planos de arquitectura, planos de estructuras, estudio de suelos y ensayos de construcción.

Técnica e instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de información en el presente trabajo de investigación, se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos:

Técnica de Gabinete.

En esta técnica utilizaremos: fichas textuales, fichas resumen, fichas bibliográficas, libros, revistas digitales, páginas web y otras fuentes afines.

Técnica de Campo.

En esta técnica utilizaremos: guías de observación, formatos de chequeos, formato de inspecciones visuales.

Validación y Confiabilidad del Instrumento.

La validación y confiabilidad del instrumento estará avalada por un juicio de experto.

Método de análisis de datos.

El análisis de los datos se realizará de manera cualitativa (utilizando software Microsoft Excel), iniciando por clasificar la información obtenida, luego de la cual esta se procesará utilizando software de ingeniería estructural y estadísticas (SAP 2000 y SPSS) con lo cual obtendremos indicadores que nos permitan corroborar o desechar nuestra hipótesis.

Procesos.

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron los siguientes procesos; inicialmente se recolectó la información documental (planos, especificaciones de diseño y memoria de diseño) con la cual se establecieron los criterios iniciales de diseño, luego se procedió a tabular los datos y realizar el modelado conceptual de la estructura a través del software SAP 2000, con lo cual se obtuvieron resultados que fueron tabulados para su discusión en tablas mediante software Microsoft Excel. Finalmente se realizó la redacción de resultado e informe mediante procesador de datos Microsoft Word.

Aspectos éticos.

En la presente investigación el investigador respetará fielmente la propiedad intelectual, establecerá con veracidad los resultados y la confiabilidad de los datos suministrados. Así mismo según el Código de Ética Profesional del Colegio de Ingenieros del Perú, bajo el Título II, Art. 98, se respetó el deber que tiene el profesional para prestar sus conocimientos y servicios para el bienestar de una población o público en general, nunca para afectar la paz y salud. Conforme al Título II, Art. 100, se respetó las normas de ingeniería, reglas técnicas y científicas inherentes a la ingeniería; con el fin de obtener documento con convicción de que son idóneos y seguros. Finalmente, conforme al Título II, Art. 103, se respetó el cuidar el territorio de trabajo y fomentar continuamente el desarrollo tecnológico y la investigación en el Perú.

IV. RESULTADOS

Metodología de análisis.

Estructura de análisis.

Para la presente investigación se seleccionó un reservorio elevado ubicado en la Intersección Av. Prol. México y Av. Nicaragua del distrito de José Leonardo Ortiz de la provincia de Chiclayo, el cual cumple con las condiciones necesarias para ser analizado.

Características generales de reservorio R-04.

El reservorio en análisis R-04 tiene una capacidad de 3000 m³ y se ubica dentro de la provincia de Chiclayo abasteciendo de servicio de agua potable al distrito de José Leonardo Ortiz. Este reservorio fue construido en el año 2011 y la ingeniería de detalle de la misma data del año 2010. Para el diseño de este reservorio se utilizó concreto $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y acero corrugado $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

Las características geométricas de este reservorio se muestran a continuación:

Tabla 2. Geometría de reservorio R-04

Cuba	Volumen de agua	3,000	m ³
	Diámetro interior	20.60	m
	Altura de agua	7.55	m
	Espesor	0.30	m
Fuste	Diámetro interior	14.40	m
	Espesor	0.25	m
	Altura	18.85	m

Por otro lado, para el cálculo de la capacidad de la rótula plástica, se deberá conocer el refuerzo colocado en el fuste, de acuerdo con los planos estructurales esta distribución es de la siguiente manera:

Tabla 3. Distribución de refuerzo.

Refuerzo	
Horizontal	5/8" @ 0.15m
Vertical	5/8" @ 0.25m + 1/2" @ 0.25m

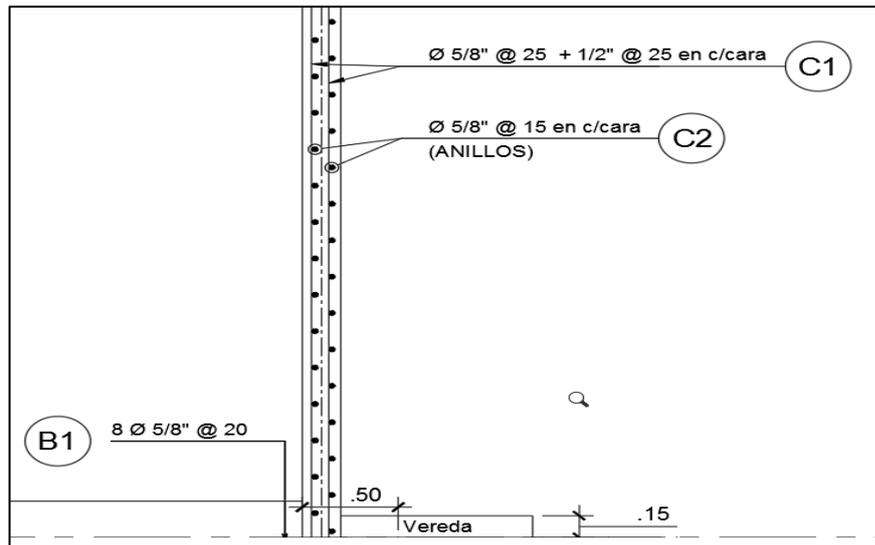


Figura 16. Distribución de refuerzo en fuste de reservorio R-04.

Consideraciones de diseño estructural.

Solicitaciones de fuerzas gravitacionales.

Para el análisis del fuste del reservorio elevado se consideran cargas gravitacionales tales como el peso de la cúpula, peso de la cuba, el peso del fuste y el peso del agua, la compresión considerada para el cálculo de los diagramas momento de curvatura varían de acuerdo al cambio del nivel del agua; para este cálculo se recomienda realizar la discretización de la cuba y fuste del reservorio.

Los pesos considerados de la estructura como carga muerta son igual a 1,399.02 ton. y el peso del agua cuando la cuba está llena son igual a 3000 ton.

Solicitaciones sísmicas.

Para las solicitaciones sísmicas se consideró el efecto hidrodinámico del agua en el análisis tiempo historia no lineal. La masa considerada para el análisis sísmico fue igual al 100% del agua adicional a la masa del reservorio elevado. (Huaranga, 2015).

Así también se realizó el análisis espectral considerando la masa convectiva e impulsiva, la cual fue distribuida en las alturas respectivas, logrando así tener idealizado el modelo hidrodinámico de Housner.

Modelo hidrodinámico del reservorio.

Para realizar el análisis del modelo hidrodinámico simplificado se utilizó el apartado 3.3.1. del ACI 350.3-01., con esta guía se calcularon las masas convectivas, impulsiva y la ubicación de las mismas; logrando así tener un modelo idealizado y realista del comportamiento del reservorio durante un evento sísmico.

Para este fin se utilizaron las siguientes expresiones:

Factor de corrección de los pesos de los muros del reservorio con influencia de agua en las paredes.

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

Figura 17. Ecuación de factor de corrección de pesos.

Fuente: ACI 350.3 – 01.

Donde:

D : Diámetro interior del reservorio.

H_L : Altura de columna de agua.

Expresión para el cálculo de los pesos impulsivo (W_i) y convectivo (W_c)

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

Figura 18. Ecuación para cálculo de masa impulsiva.

Fuente: ACI 350.3 – 01.

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

Figura 19. Ecuación para cálculo de masa convectiva.

Fuente: ACI 350.3 – 01.

Donde:

W_L : Peso del agua en el reservorio.

W_i : Peso impulsivo del agua.

- W_c : Peso convectivo del agua.
- D : Diámetro interior del reservorio.
- H_L : Altura de columna de agua.

Expresión para la ubicación de la altura del centro de gravedad de los pesos efectivos del líquido almacenado h_i y h_c.

Si, D/H_L < 1.333; utilizamos:

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

Si, D/H_L ≥ 1.333; utilizamos:

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

Figura 20. Ecuaciones para cálculo del centro de gravedad de peso impulsivo.
Fuente: ACI 350.3 – 01.

Para todos los reservorios utilizamos:

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

Figura 21. Ecuación para cálculo de centro de gravedad de peso convectivo.
Fuente: ACI 350.3 – 01.

Donde:

- h_c : Centro de gravedad de peso convectivo.
- h_i : Centro de gravedad de peso impulsivo.
- H_L : Altura de columna de agua.
- D : Diámetro interior del reservorio.

Para la determinación de los factores de reducción sísmica para las cargas estáticas, utilizamos los siguientes coeficientes.

Tabla 4. Factor de modificación de la respuesta sísmica R_w .

Tipo de estructura	R_{wi}	Enterrado	R_{wc}
(a) Tanques anclados de base flexible.	4.5	4.5	1.0
(b) Fijo – articulado – tanque apoyado.	2.75	4.0	1.0
(c) Tanques no anclados, contenidos o sin contención.	2.0	2.75	1.0
(d) Tanques elevados.	3.0	-	1.0

Fuente: ACI 350.3 – 01.

Finalmente, para la determinación de la cortante basal de la estructura, utilizamos la siguiente expresión:

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

Figura 22. Ecuación para cálculo de cortante basal.

Donde:

- P_i : Fuerza debido al peso impulsivo del agua.
- P_w : Fuerza debido al peso de la pared del reservorio.
- P_r : Fuerza debido al peso de la cúpula.
- P_c : Fuerza debido al peso convectivo del agua.

Análisis sísmico de reservorio utilizando RNE E-030 2016.

Modelamiento de reservorio.

Para realizar el modelamiento del reservorio se utilizó el software estructural SAP 2000 V. 19. Previo a este modelamiento se realizaron los siguientes pasos y procedimiento:

- La estructura se distribuyó en 60 masas radiales y en estructuras independientes (fuste, cúpula inferior, cuba y cúpula superior), con la finalidad de obtener resultados de pesos de la estructura más reales.

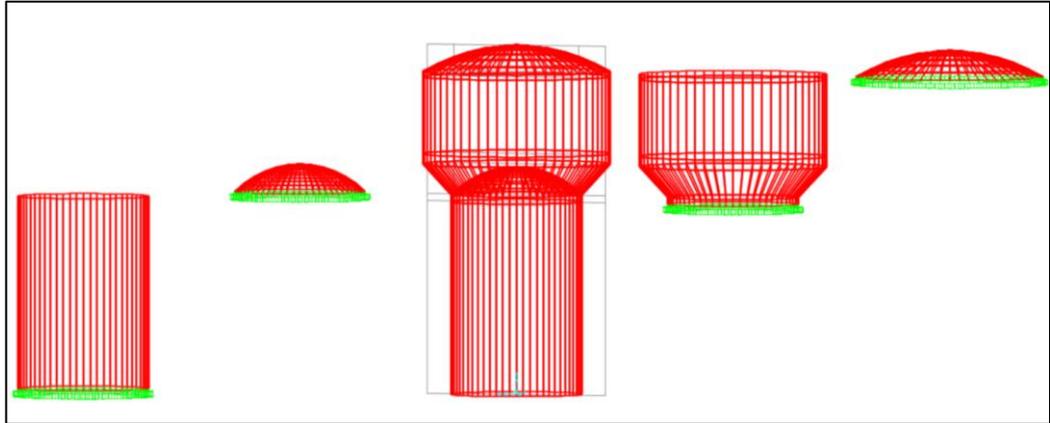


Figura 23. Cálculo de pesos de partes componentes del reservorio.

- Con las reacciones de estas estructuras, se obtienen los pesos de los mismos.

Tabla 5. Resumen de pesos de estructuras.

Estructura	Rz	N° Partes	Peso (Ton)
Fuste	8.524	60	511.44
Cuba	11.495	60	689.7
Cúpula Inferior	2.24	60	134.4
Cúpula Superior	1.058	60	63.48
Peso Total de Estructura			1399.02

Fuente: Resultados de modelamiento SAP 2000.

Análisis sísmico estático.

Para este fin se utilizarán los lineamientos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones E-030 (2016) y el código de diseño ACI 350.3 – 01, teniendo como base el modelo hidrodinámico de Housner, de la siguiente manera:

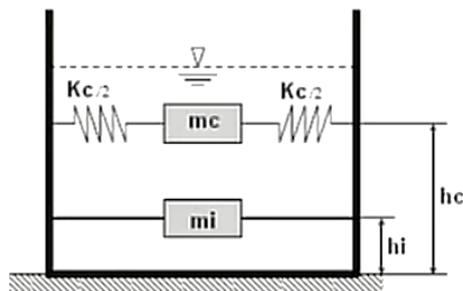


Figura 24. Modelo hidrodinámico de Housner.

Fuente: ACI 350.3-01.

Bajo este modelo y criterio, se realizaron la siguiente memoria de cálculo:

1. Peso total den muro del reservorio.

Cargas Muertas de Reservorio:

$$\begin{aligned} D \text{ cúpula} &= 63,480.00 \text{ Kg} \\ D \text{ muro} &= 689,700.00 \text{ Kg} \\ D \text{ cúpula Inf.} &= 134,400.00 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Cargas Vivas de Reservorio:

$$\begin{aligned} L \text{ cúpula} &= 16,920.00 \text{ Kg} \\ \text{Reacción Total } D + L &= 904,500.00 \text{ Kg} \end{aligned}$$

2. Peso del muro con influencia del agua.

$$\begin{aligned} \text{Altura de columna de agua} & H_L = 9.05 \text{ m} \\ \text{Diametro interior del reservorio} & D = 20.60 \text{ m} \\ \text{Perimetro del reservorio} & P = 64.72 \text{ m} \\ \text{Peso del agua en el reservorio} & W_L = 2,261,487.25 \text{ Kgf} \\ \text{Factor de corrección} & \xi = 0.66 \\ \text{Peso corregido del reservorio elevado} & W_w = 1,131,275.14 \text{ Kgf} \end{aligned}$$

3. Cálculo de pesos efectivos.

$$\text{Peso Impulsivo } W_i \quad D/H_L = 2.277$$

$$W_i = 1,103,280.08 \text{ Kgf} \quad h_i = 3.39 \text{ m}$$

$$\text{Peso Convectivo } W_c$$

$$W_c = 1,184,351.45 \text{ Kgf} \quad h_c = 5.30 \text{ m}$$

4. Cálculo de la Rigidez del resorte.

$$K = 45 \left(\frac{W_c}{W_L} \right)^2 \left(\frac{H_L}{D} \right)^2 \left(\frac{W_L}{2 H_L} \right)$$

$$K = 297,525.15 \text{ Kgf/m}$$

5. Cálculo de parametros sismicos.

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

$$S = 1.05$$

$$C = 2.50$$

R

$$R_i = 3.00$$

$$R_c = 1.00$$

$$T_c = 4.00$$

$$T_p = 0.60$$

$$T_L = 2.00$$

$$T_s = 0.60$$

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T_c = 2 \pi \sqrt{\frac{M_c}{K}}$$

$$P_w = 668,159.38 \text{ Kg}$$

$$P_i = 651,624.79 \text{ Kg}$$

$$P_c = 314,587.24 \text{ Kg}$$

6. Cortante Basal.

$$\text{Peso Total} = 3,660,507.25 \text{ Kgf}$$

$$V = 1,418,585.53 \text{ Kg}$$

38.75%

PESO

Conforme

7. Distribución de Cortante Basal.

Tabla 6. Distribución de fuerzas en cada centro de gravedad.

NIVEL	Pi (kg)	hi (m)	Pi hi	Fi (kg)	W = Fi / L (ton/m)
CONVECTIVO	1,184,351.45	27.85	32,984,187.88	520,604.90	8.044
IMPULSIVO	1,103,280.08	25.94	28,619,085.16	451,708.44	6.980
CUP + MURO	753,180.00	27.17	20,463,900.60	322,991.34	4.991
CUPULA INF.	134,400.00	22.25	2,990,400.00	47,198.88	0.729
FUSTE 7	73,062.86	17.50	1,278,892.25	20,185.36	0.446
FUSTE 6	73,062.86	14.81	1,082,133.98	17,079.83	0.378
FUSTE 5	73,062.86	12.12	885,375.70	13,974.30	0.309
FUSTE 4	73,062.86	9.43	688,617.43	10,868.77	0.240
FUSTE 3	73,062.86	6.73	491,859.15	7,763.24	0.172
FUSTE 2	73,062.86	4.04	295,100.88	4,657.72	0.103
FUSTE 1	73,062.86	1.35	98,379.14	1,552.76	0.034
TOTALES	511,440.00		89,877,932.18	1,418,585.53	

Fuente: Elaboración propia.

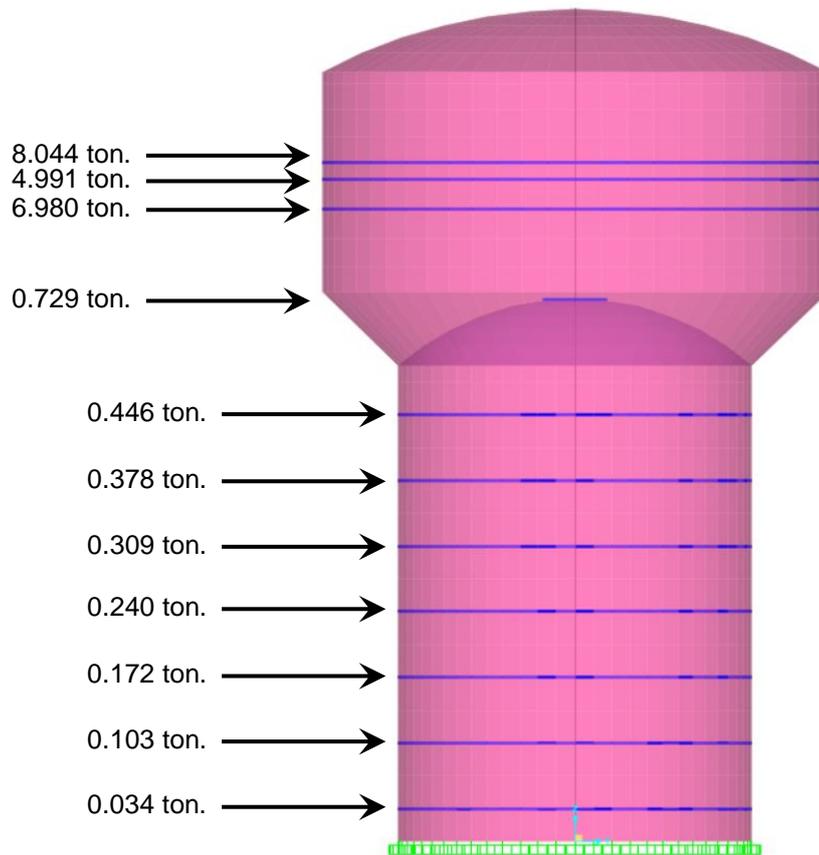


Figura 25. Distribución de fuerzas sísmicas estáticas.

Fuente: SAP 2000 V 19.

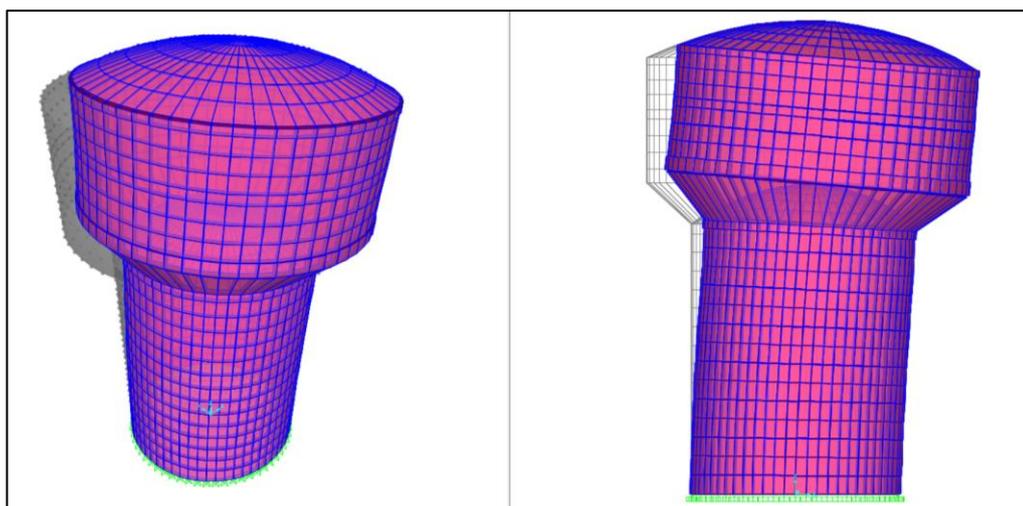


Figura 26. Desplazamiento debido a análisis sísmico estático.

Fuente: SAP 2000 V 19.

Tabla 7. Resumen resultado de desplazamiento - análisis estático.

Estructura	Desplazamiento (cm)
Anillo Superior	2.318
Anillo Inferior	1.505
Viga Fondo Cuba	0.976

Fuente: Elaboración propia.

Análisis sísmico dinámico.

Para establecer un análisis dinámico con resultados muy parecidos a la realidad se deberá obtener de manera apropiada la rigidez del resorte (K) que simula el comportamiento de la masa convectiva, y con ello modelar su distribución dentro de la cuba del reservorio. Para obtener estos resultados, se deberá distribuir los resortes en la estructura de manera homogénea y alrededor de todo el perímetro, como se muestra en la figura 31.

$$K = 297,525.15 \text{ Kgf/m}$$

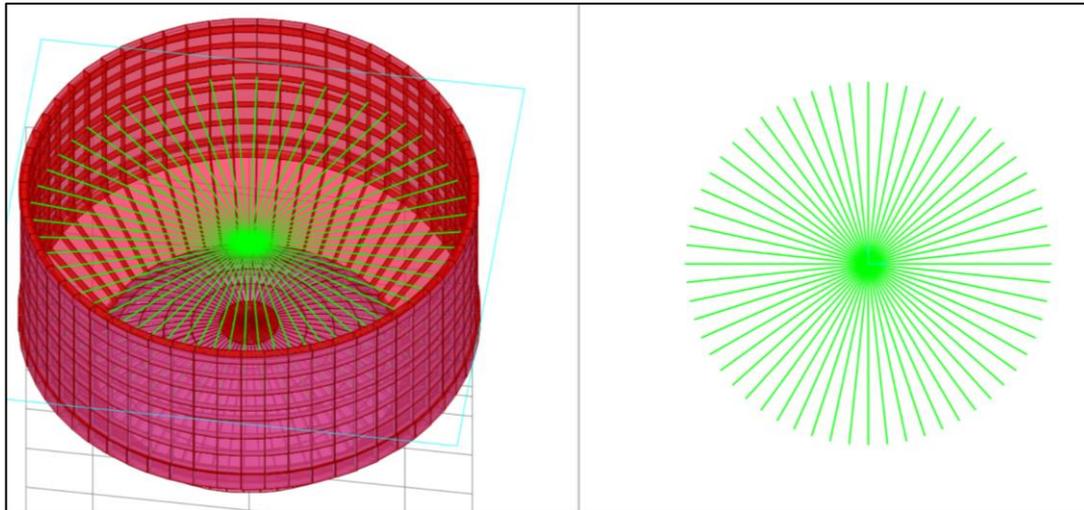


Figura 27. Distribución de resortes para masa convectiva.

Para establecer la masa actuante de la estructura, se utilizó el siguiente criterio.

$$M_e = 1.0 \text{ CM} + 0.50 \text{ CV}$$

Donde:

CM : Carga muerta de la estructura (peso propio).

CV : Carga Viva sobre la cúpula (50 Kg/m²).

Establecido las masas, se procede a definir el espectro de respuesta de la estructura, para lo cual tendremos en cuenta los parámetros sísmicos establecidos en el RNE 030-2016, con los siguientes valores:

Tabla 8. Parámetros sísmicos según RNE 030 – 2016.

Z	U	S	Ts
0.45	1.50	1.05	0.60

Fuente: RNE E-030.

En cuanto al factor de reducción sísmica “R”, al no tener en nuestra norma criterios para su implementación en reservorios, nuestra norma solo establece parámetros para edificaciones, se debe recurrir a norma internacionales que permitan establecer valores del factor de reducción. La norma utilizada para

nuestro caso específico es la norma del ACI 350.3-01, por ser esta la más completa y la consultada en este tipo de edificaciones.

Esta norma ACI 350.3-01, establece los siguientes valores para el factor de reducción sísmica:

Tabla 9. Factor de reducción sísmica.

R	
Ri	Rc
3	1

Fuente: ACI 350.3-01.

Con el valor $R = 3$ de factor de reducción, se encontraron valores aceptables de desplazamiento, por lo que se construyó el espectro sísmico con estos valores, obteniéndose el siguiente espectro:

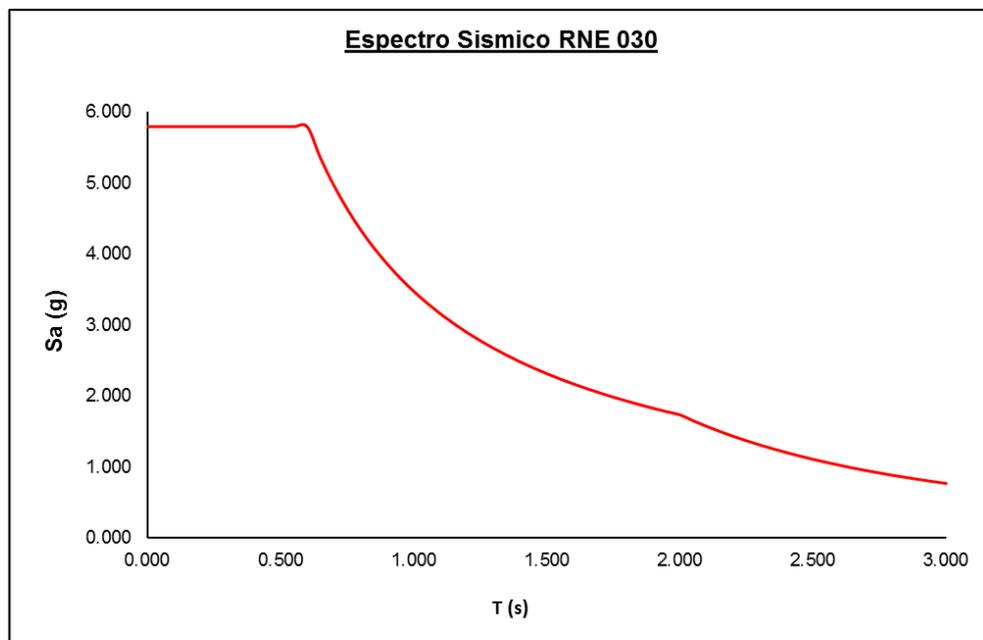


Figura 28. Espectro sísmico RNE 030 - 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Con estos parámetros, se modela y análisis la estructura, obteniéndose los siguientes resultados:

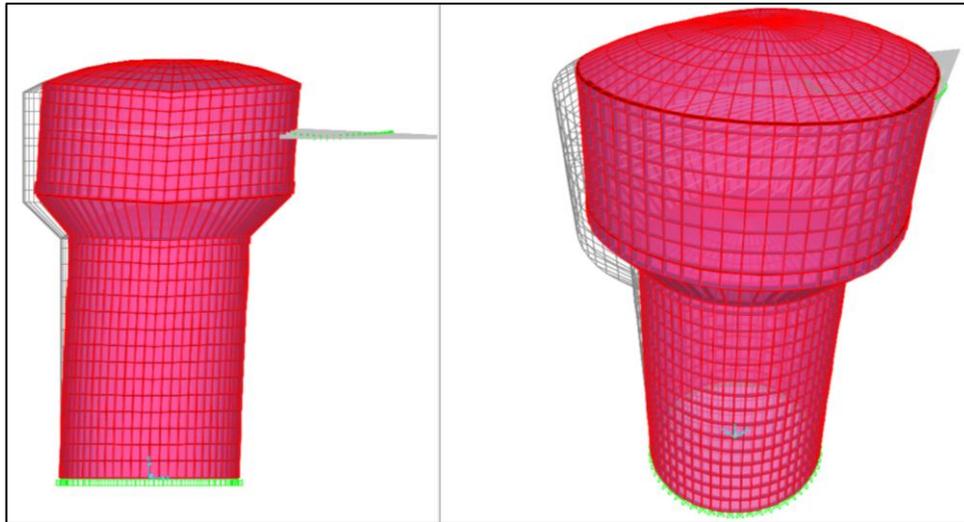


Figura 29. Desplazamientos debido a análisis sísmico dinámico.

Fuente: SAP 2000 V19.

Tabla 10. Resumen resultado de desplazamientos - analisis dinamico.

Estructura	Desplazamiento (cm)
Anillo Superior	1.818
Anillo Inferior	1.199
Viga Fondo Cuba	0.803

Fuente: SAP 2000 V19.

Análisis no lineal por desempeño - PUSHOVER.

Acelerogramas de diseño.

Para realizar el análisis sísmico del reservorio elevado, se utilizaron los siguientes acelerogramas de sismo:

- Tacna 2005.
- Callao 2007.
- Tacna 2014.
- Tacna 2014.
- Moquegua 2014.

Para el análisis sísmico de la estructura se utilizó solo el componente horizontal de los acelerogramas.

Las características principales de los acelerogramas empleados son los siguientes:

Tabla 11. Características de acelerogramas de diseño.

Ítem	Lugar	Año	Componente	N° Datos	PGA (g)	Magnitud
1	Tacna	2005	NS	36200	0.43	7.2 Mw
2	Callao	2007	NS	65100	0.17	7.0 Mw
3	Tacna	2014	NS	32001	0.19	8.2 Mw
4	Tacna	2014	NS	34001	0.11	7.4 Mw
5	Moquegua	2014	NS	27800	0.18	8.2 Mw

Fuente: CISMID

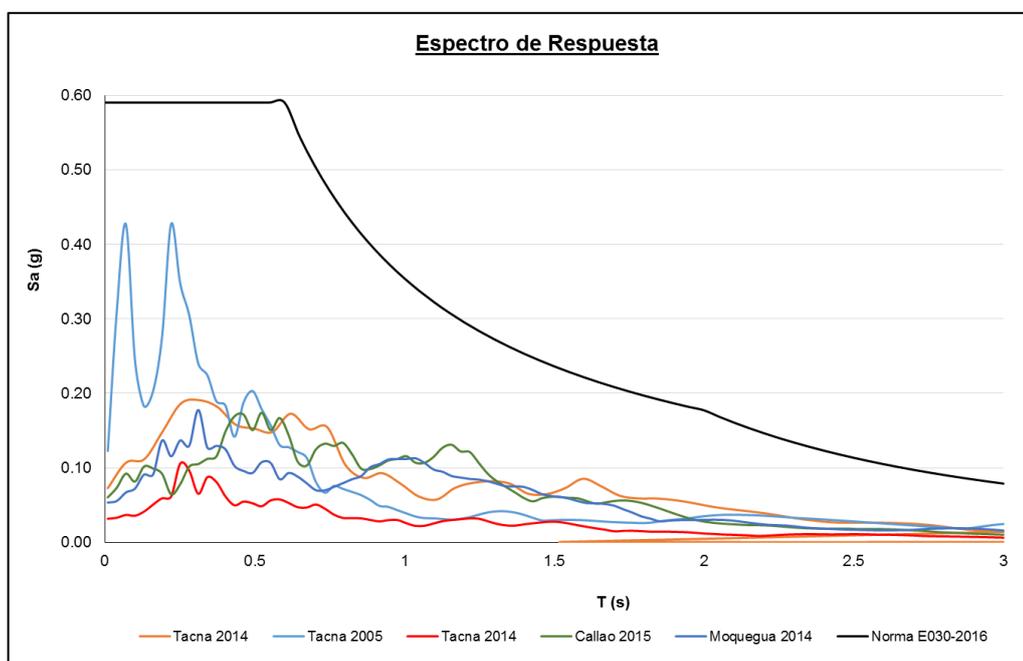


Figura 30. Espectro de respuesta de acelerogramas utilizados – $R = 3$.

Se debe acotar que para la utilización de los acelerogramas se ha utilizado el criterio de que estos estén ubicados en zonas de iguales características geológicas y similar comportamiento sísmico, que la zona de estudio.

De la Figura 34, se puede apreciar que espectro de respuesta de la norma E030 – 2016, cubre ampliamente todas las solicitaciones de los espectros de respuesta de los acelerogramas estudiados, por lo tanto para el diseño no lineal – tiempo historia, se utilizara el espectro de la norma E030 – 2016.

Propiedades de los materiales.

Curva esfuerzo – deformación de concreto.

Para el cálculo de la curva esfuerzo – deformación del concreto se establecerá primero las características de la estructura.

El fuste, así como en la cuba tiene refuerzos verticales y solo dos anillos horizontales, perpendiculares a los refuerzos verticales que rodean el fuste y cuba; por lo tanto con esta configuración estructural se deberá considerar para el cálculo de la curva esfuerzo – deformación el modelo de análisis de Chang y Mander (1994) para concreto no confinado, este modelo se muestra a continuación:

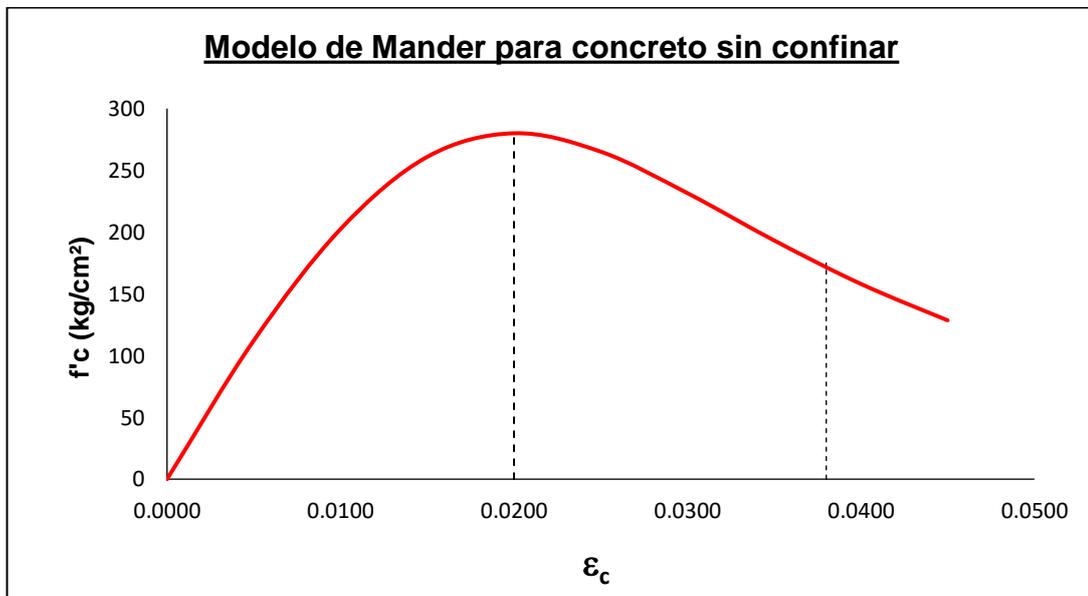


Figura 31. Modelo de Mander para concreto no confinado.

Fuente: Elaboración propia.

Curva esfuerzo – deformación del acero de refuerzo.

Para el cálculo de la curva de esfuerzo – deformación del acero se utilizará el modelo propuesto por Park y Paulay en 1975, en mismo que considera un comportamiento elastoplástico perfecto. Este modelo se presenta a continuación:

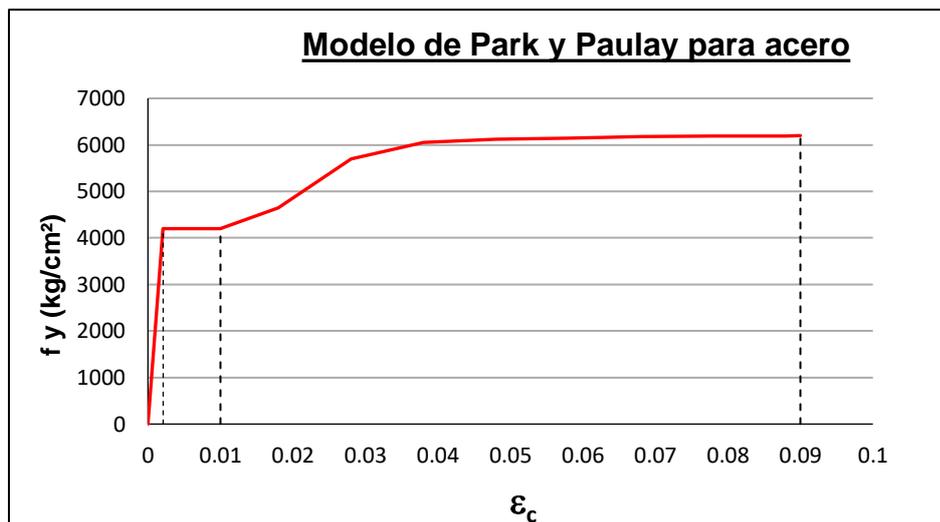


Figura 32. Modelo de Park para el acero.

Fuente: Elaboración propia.

Diagramas de momentos de curvatura.

Para el cálculo de los momentos de curvatura, se utilizará el software Sap 2000 V.19. En este software utilizaremos la herramienta Section Designer para dibujar y modelar la sección de fuste a analizar; una vez dibujada se aplicará sobre ella una carga vertical que estará constituida por el peso propio de la estructura más el peso del agua a su máximo nivel.

De este análisis los momentos de curvatura de esta estructura, la cual se muestra a continuación:

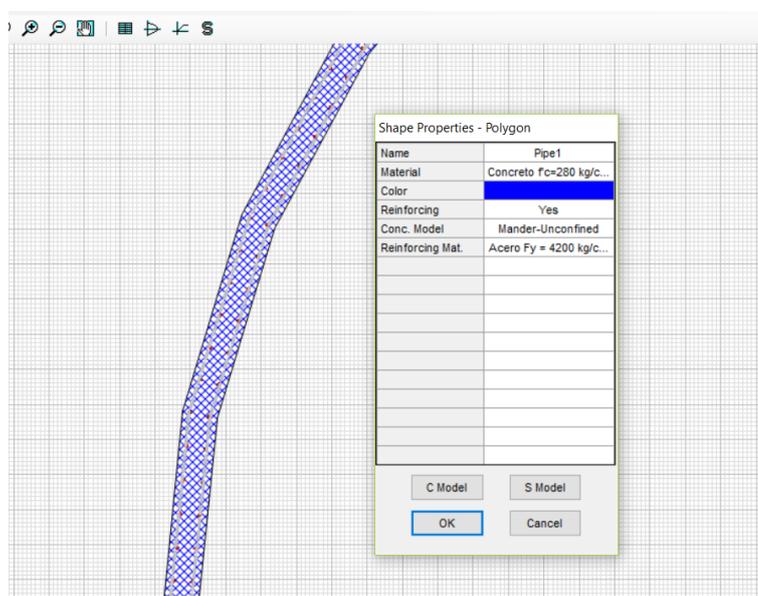


Figura 33. Propiedades del fuste ingresadas al Section Designer.

Moment Curvature Curve (Limits: P(comp.) = -30281.733, P(ten.) = 3256.612)

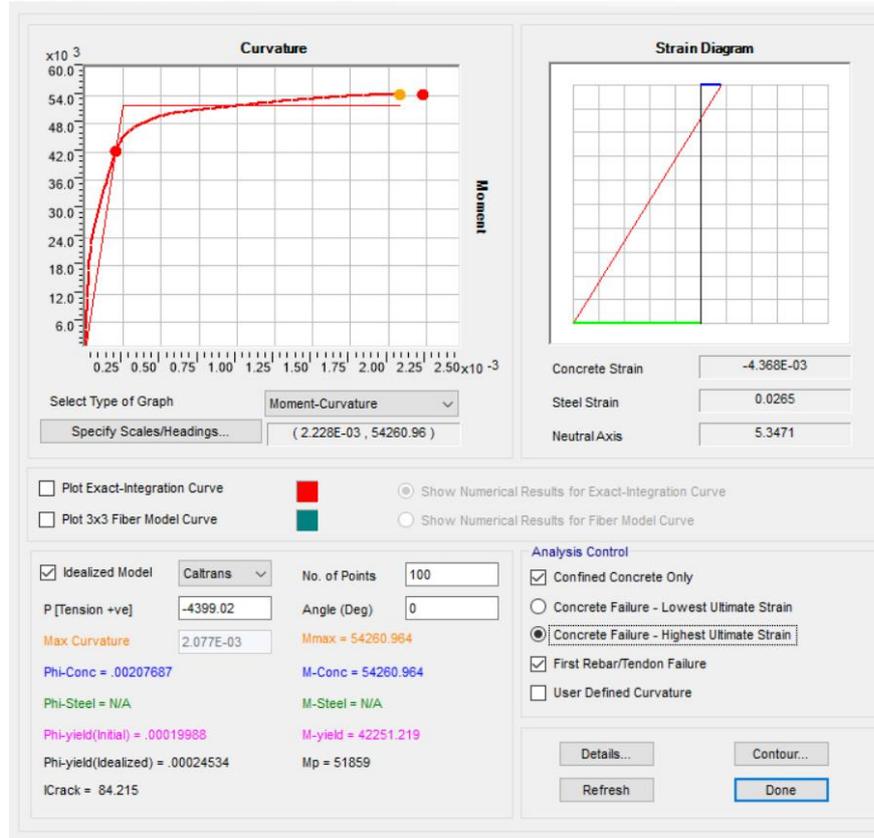


Figura 34. Diagrama de Momento de curvatura obtenido del programa SAP 2000 V.19.

Análisis no lineal dinámico tiempo – historia.

Criterios de modelamiento de reservorio elevado.

Para el modelamiento no lineal dinámico tiempo historia de la estructura en estudio, se modeló la estructura como un elemento tipo frame en el SAP 2000 V.19, asignándole a estos frame propiedades no lineales, con este tipo de modelamiento logramos obtener una estructura con un grado de libertad (1 GDL) con lo cual podremos realizar un análisis más sencillo.

Así mismo a estos frame se les asignaron las masas correspondientes a los pesos de la estructura y a los pesos de la masa de agua en las posiciones convectivas e impulsivas, de la siguiente manera:

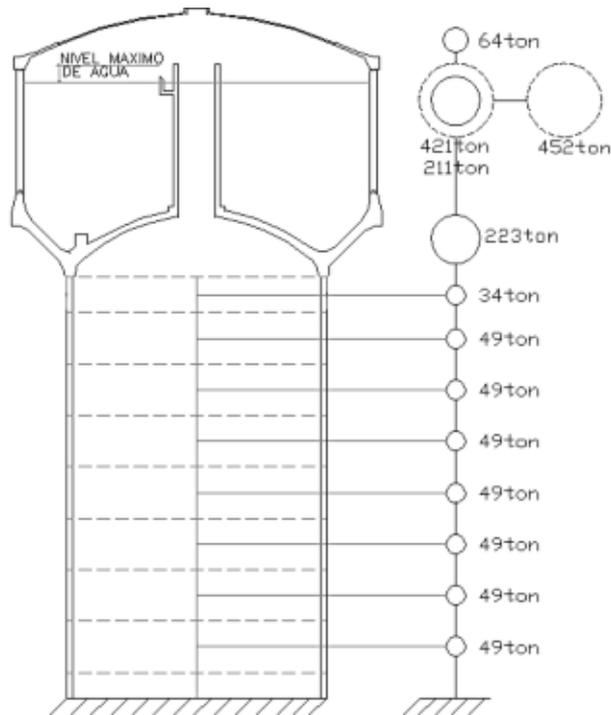


Figura 35. Discretizacion de masas en 1 GDL.

Obtenido el modelo correspondiente, se procederá a incorporar el espectro de diseño en la opción Time History del SAP 2000 V. 19, tal como se aprecia en la siguiente imagen:

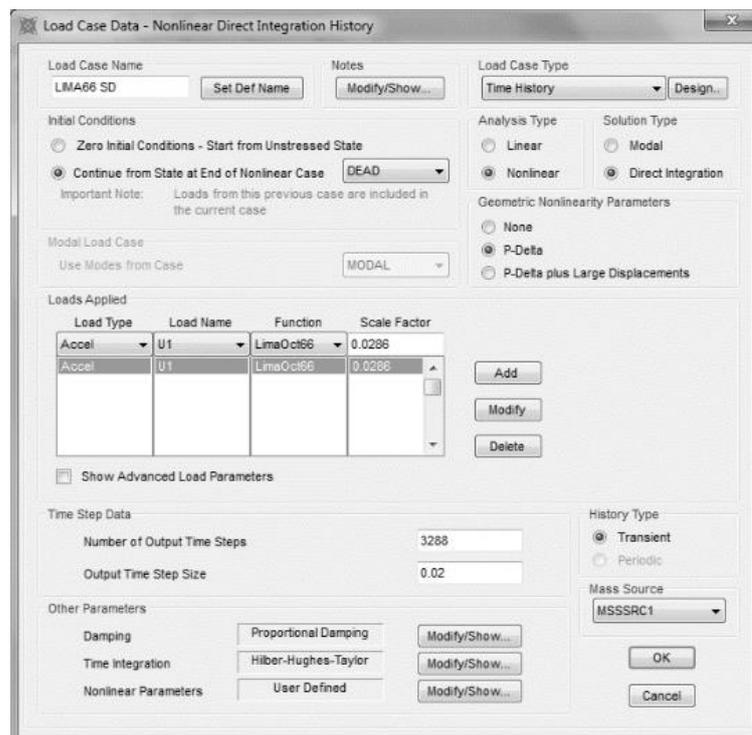


Figura 36. Parámetros usados en el análisis tiempo historia.

Con los parámetros de espectro sísmico ingresados, procedemos a incorporar la rótula plástica en la estructura, la misma que estará ubicada en el fuste del reservorio, esta tendrá las siguientes características:

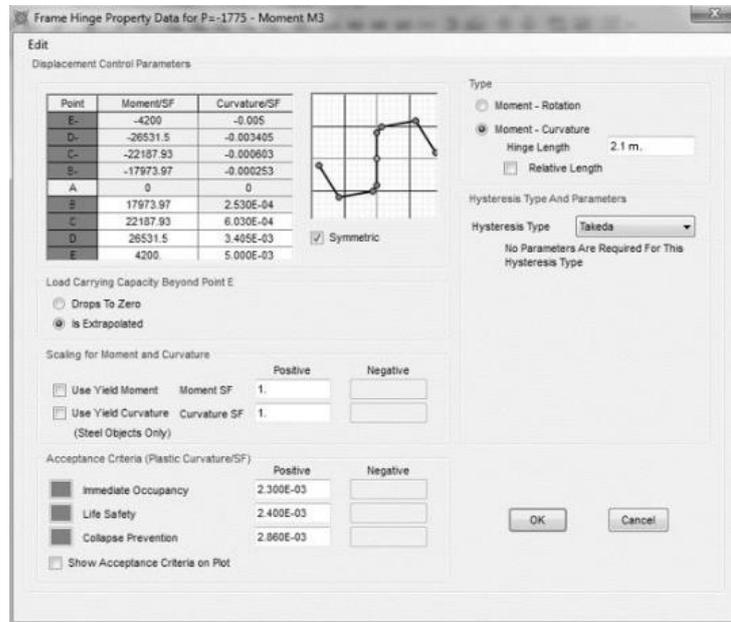


Figura 37. Propiedades de la rótula plástica del reservorio.

Finalmente aplicamos el patrón de carga cíclica a utilizarse en la estructura hasta llegar al colapso. Obteniéndose los siguientes resultados:

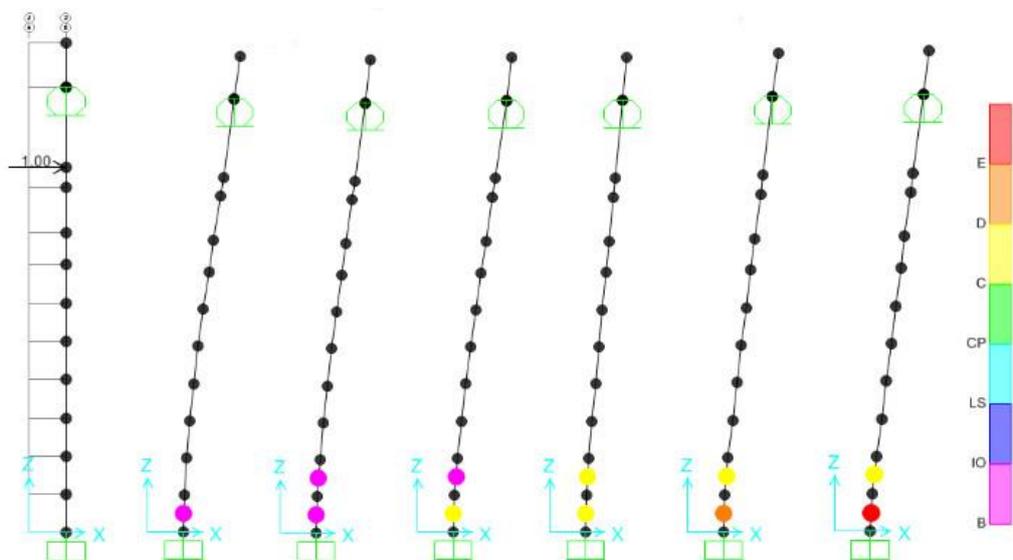


Figura 38. Secuencia de formación de rotulas plásticas en análisis pushover.

Tabla 12. Resumen de resultados obtenidos en el análisis pushover.

Acv	Vn	ϕVn	Vu Acelerograma	Vu R = 2	Vu R = 3	Vu Capacidad maxima por flexión
m ²	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton
11.506	1005	753.75	1049	967	725	1544

Fuente: SAP 2000 V. 19

Análisis no lineal por desempeño basado en desplazamientos.

Para el análisis no lineal por desempeño basado en desplazamientos se usará el Método del Espectro Inelástico (MEI), método con el cual se obtendrán los valores de periodo efectivo de la estructura, rigidez efectiva y cortante basal de diseño. Con estos valores obtenidos de usar este método, se procederá a calcular los desplazamientos finales de la estructura, los cuales serán discutidos más adelante.

Luego del análisis de la estructura, se lograron obtener los siguientes resultados:

- Curvatura de fluencia : $\phi_y = 0.00031$ 1/m
- Curvatura ultima : $\phi_u = 0.00225$ 1/m
- Longitud de deformación por penetración : $L_{sp} = 146.639$ mm
- Desplazamiento de fluencia : $\Delta_y = 18.934$ mm
- Longitud de rotula plástica : $L_p = 806.389$ mm
- Altura de fuste modificada : $H' = 1,628.44$ mm
- Rigidez inicial : $k = 335,100$ KN/m

Con estos valores, calculamos el periodo efectivo de la estructura de la siguiente manera:

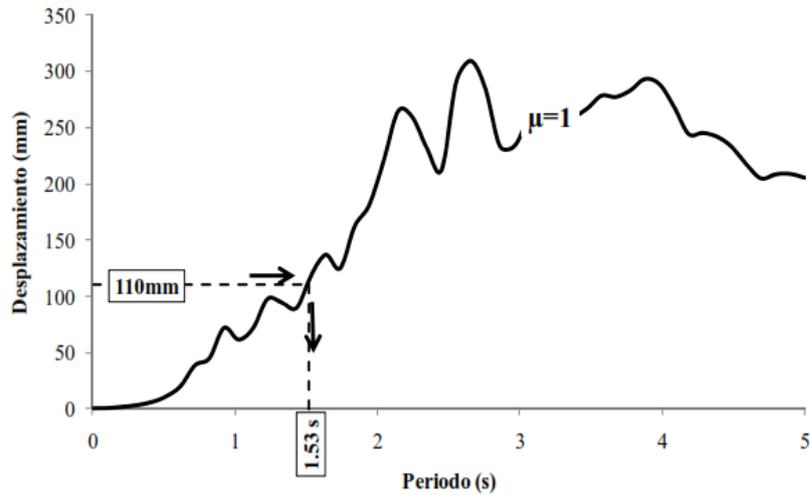


Figura 39. Cálculo de periodo efectivo de la estructura.

Finalmente, con el periodo efectivo de la estructura obtenemos los resultados de la estructura, los cuales mostramos a continuación:

Fuerzas Cortante:

Tabla 13. Resumen de fuerzas cortantes - MEI.

Estructura	Cortante (kN)
Anillo Superior	16976
Anillo Inferior	14879
Viga Fondo Cuba	12146

Fuente: Elaboración propia.

Momentos flectores:

Tabla 14. Resumen de momentos flectores - MEI.

Estructura	Momentos (MN.m)
Anillo Superior	506
Anillo Inferior	506
Viga Fondo Cuba	506

Fuente: Elaboración propia.

Desplazamientos:

Tabla 15. *Resumen de desplazamientos - MEI.*

Estructura	Desplazamientos (mm)
Anillo Superior	28.19
Anillo Inferior	18.75
Viga Fondo Cuba	10.25

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

En la presente investigación se analizará los resultados obtenidos para el diseño de un reservorio elevado utilizando diferentes metodologías y tratando de validar la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos. Para este fin se realizó el análisis estático, dinámico lineal, dinámico no lineal y análisis no lineal basado en desplazamientos. Los resultados obtenidos y que serán comparados son fundamentalmente los desplazamientos en los puntos de control del reservorio elevado.

Comparación de la metodología de diseño.

Durante el proceso de análisis del reservorio, se pudo apreciar que para el evaluar el comportamiento de estructuras especiales y esenciales en nuestra normativa no existe un fundamento pre establecido; es por ello que se debe recurrir a la normativa extranjera.

Es así que, para el análisis del reservorio elevado se utilizó tres metodologías de análisis: Análisis estático, Análisis dinámico y Análisis no lineal. Luego de la evaluación de cada una de estos criterios se puede llegar a la conclusión que el análisis que simula fehacientemente el comportamiento de la estructura frente a un evento sísmico es el Análisis no Lineal. En la tabla 26, se puede apreciar las diferencias fundamentales entre cada metodología.

Tabla 16. *Comparativo de los análisis realizados.*

Análisis estático	Análisis dinámico	Análisis no lineal
Considera fuerzas unidireccionales.	Considera fuerzas multidireccionales.	Considera fuerzas multidireccionales.
No se puede calcular las rigideces iniciales de la estructura, ya que estas dependen de las fuerzas resultantes.	Es prescindible el cálculo de las rigideces inicial de la estructura.	Se puede calcular fácilmente las rigideces iniciales, debido a que se conocen las propiedades de los materiales.
Considera a la estructura como un cuerpo uniforme independiente de los materiales componentes.	Considera a la estructura como un cuerpo uniforme independiente de los materiales componentes.	Considera a la estructura como un comportamiento de los materiales constituyentes.

Fuente: Elaboración propia.

Comparación de fuerzas cortantes.

Se realizó los análisis de la estructura con las diferentes metodologías, luego de lo cual se puede apreciar que para los tres modelos la fuerza de cortante basal varían en $\pm 15\%$, siendo la más crítica la encontrada en el análisis estático y las más semejantes las encontradas en el análisis dinámico y no lineal, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 17. *Comparativo de fuerzas cortantes en la base.*

Tipo de fuerza	Análisis estático	Análisis dinámico	Análisis no lineal
Fuerza cortante (Ton)	217.36	261.79	265.85

Fuente: Elaboración propia – SAP 2000 V. 19.

Comparación de desplazamientos.

Para validar la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos, se compara los desplazamientos obtenidos en los diferentes análisis (estático, dinámico y no lineal). Con estos resultados podemos establecer cual lo sustentado en los antecedentes que esta metodología basada en desplazamiento puede adecuarse a cualquier tipo estructuras con múltiples variables y con resultados óptimos. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 18. *Comparativo de desplazamientos finales.*

Desplazamiento (mm)	Análisis Estático	Análisis dinámico	Análisis no lineal
Anillo superior	23.18	18.18	28.19
Anillo inferior	15.05	11.99	18.75
Viga fondo cuba	9.76	8.03	10.25

Fuente: Elaboración propia – SAP 2000 V. 19.

Comparación de la capacidad de la estructura.

En el análisis de la capacidad de la estructura, como se puede apreciar en Tabla 26, esta comparación en el caso del análisis estático y dinámico corresponde a las fuerzas cortantes absorbidas por la estructura y al desplazamiento máximo de la estructura. En el caso del análisis no lineal, esta comparación llega más allá de solo incorporar fuerzas y desplazamientos a la estructura, esta conlleva a analizar el tipo de falla que se espera obtener, el tipo de comportamiento que se puede predecir y el mecanismo de falla que se tendrá durante un evento sísmico. Es así, que como se menciona en las teorías relacionadas y en los antecedentes, el análisis no lineal nos permite obtener un panorama más amplio y específico de cómo será el comportamiento de la estructura en un evento sísmico, así como también cuanto influye la calidad de los materiales, el detallado de la estructura y la estructuración propiamente dicha en la resistencia de una estructura.

Comparación de espectros de respuesta sísmica.

Como se puede apreciar en la tabla 21 después de analizados los acelerogramas con características geológicas similares a la ciudad de Chiclayo se procedió a realizar los espectros de pseudoaceleraciones en rango elástico e inelástico, obteniéndose en la figura 34 que todos estos espectros quedan sostenidos por el espectro que indica nuestra norma E030 – 2016, por lo que se optó por realizar el análisis dinámico y no lineal con los parámetros establecidos por el espectro de nuestra norma.

VI. CONCLUSIÓN

1. Se concluye que la metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos se puede validar para analizar y determinar el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste.
2. Luego de realizar el análisis estructural del reservorio con nuestra norma E030-2016 y E060, se puede concluir que esta no presenta procedimientos ni estipula características, ni criterios para diseño de reservorios elevados tipo fuste, por lo que se tuvo que recurrir a la norma internacional ACI 350.03-06.
3. Realizado el análisis dinámico y no lineal de la estructura se puede establecer que con esta metodología por desempeño basada en desplazamiento se puede establecer de manera fehaciente la rigidez efectiva, la inercia y el comportamiento sísmico del concreto y el acero mediante el momento de curvatura de la estructura.
4. Terminado el análisis de la estructura de manera estática, dinámica y no lineal, se obtienen que las distorsiones de la estructura tienen relación directa con la geometría de las estructuras y dependen directamente de la masa de agua (masa convectiva e impulsiva), es decir que las distorsiones fundamentalmente dependen de cada componente de reacciones durante el evento sísmico.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el análisis estructural se realice en las condiciones de máxima demanda, es decir que se realice cuando la cuba este lleno, para así obtener las mayores sollicitaciones para la masa convectiva e impulsiva.
2. Del análisis realizado, se recomienda que para el diseño de estructuras de este tipo, reservorios elevados tipo fuste, se considere una ductilidad que no supere de dos para el sismo de diseño, con la finalidad que esta estructura tenga un buen comportamiento durante un sismo máximo.
3. Se recomienda utilizar para una estructura como reservorios tipo fuste, un factor de reducción menor a dos cuando se utilice como espectro de diseño el espectro de la norma E030 – 2016.
4. Se recomienda tener sumo cuidado al momento de seleccionar los acelerogramas, de tal manera que estos representen fehacientemente las características sísmicas de la zona de estudio. Así mismo se debe tener en cuenta que el periodo de vibración de la estructura se encuentre dentro de los periodos predominantes de los acelerogramas.

VIII. REFERENCIAS

- ADINA R & D, I. (2004). *USA Patente nº MA 02472*.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council*.
- Ayala, G. (1999). *Evaluación del desempeño sísmico de estructuras, un nuevo enfoque. Conferencia de ingreso como Académico de número*. Mexico: Academia Mexicana de Ingeniería.
- BALLANTYNE, D. (1994). *Minimizing Earthquake Damage: A Guide for Water Utilities*. USA: American Water Works Association.
- BERTERO, V. (1997). *Connections: The EERI Oral History Series*. Oakland: EERI - Earthquake Engineering Research Institute.
- BERTERO, V. (1997). *Performance-Based Seismic Engineering: Conventional vs. Innovative Approaches*. USA: 12WCEE2000. Obtenido de <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/2074.pdf>
- BOZORGNIA, Y., & BERTERO, V. (2004). *Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering*. New York: CRC press.
- BURGOS, M. (2007). *Estudio de la metodología "Diseño por Capacidad" en edificaciones aporricadas de concreto armado para ser incorporada a la Norma Peruana E-060 como alternativa de diseño*. Lima: UNI.
- CASIMIRO, S. (2012). *Desempeño sísmico de edificaciones bajo el sismo de nivel ocasional*. Lima: UNI.
- CURADELLI, O. (Abril de 2013). Equivalent linear stochastic seismic analysis of cylindrical bas-isolated liquid storage tanks. *Journal of Constructional Steel Research*, 83, 166-176.
- Fajfar, P. (Agosto de 2000). A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design. *Earthquake Spectra*, 16(3), 573-592.
- GULKAN, P., & SOZEN, M. (12 de Enero de 1974). Inelastic response of reinforced concrete structures to earthquake motions. *Journal Proceedings*, 71(12), 604-610.

- Hamburger, R. (1996). Performance-Based Seismic Engineering: The Next Generation of Structural Engineering Practice. *EQE publications*.
- HASHIMOTO, E., & CAMPOS, W. (2000). *Introducción a los diferentes paradigmas de la ciencia*. Chiclayo: Iberoamérica.
- HERNÁNDEZ, H. (2003). *Análisis sísmico no lineal de tanques cilíndricos de almacenamiento*. Mexico D.F.: UNAM.
- HUARINGA, P. (2015). *Evaluación de la respuesta sísmica no lineal de reserorios elevados tipo INTZE*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- KUROIWA, J. (2012). *Gestión de riesgos de desastres en la región Ica*. Seminario de Promoción de la Normatividad para el diseño y construcción de edificaciones seguras Ica, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Ica.
- LIVAOUGLU, R., & DOGANGÜN, A. (2006). *Simplified seismic analysis procedures for elevated tanks considering fluid-soil interaction*. Journal of Fluids and Structures 22. Elsevier Ltd.
- MASOUDI, E., & GHAFORY, M. (2012). Evaluation of response modification factor R of elevated concrete tanks. *Engineering Structures*, 39, 199-209.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (24 de Enero de 2014). Decreto Supremo N°002-2014-VIVIENDA: Modificación de Norma Técnica E.030. *Diario Oficial El Peruano*(576293).
- MONSALVE, J. (2005). *Análisis y diseño sísmico por desempeño de edificios de muros estructurales*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). *Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable*. Lima: OPS - CEPIS.
- PINTO, G. (2012). *Evaluación del desempeño sísmico de puentes basado en desplazamientos*. Mexico DF: Instituto de Ingeniería UNAM.
- Poland, C. (Enero de 1999). Developing Performance-Based Engineering for use in Professional Practice. 2(1).
- PRIESTLEY, M., & KOWALSKI, M. (2000). Direct displacement-based seismic design of concrete buildings. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 33(4), 421-444.
- PRIESTLEY, M., CALVI, G., & KOWALSKY, M. (2007). *Displacement based seismic design of structures*. USA: IUSS.

- RAI, D. (2003). Performance of elevated tanks in Mw 7.7 Bhuj earthquake of January 26th, 2001. *Earth Planet Sci*, 112(3), 421-429. doi:10.1007/BF02709269
- Requena, M. (1999). *Método aproximado para la evaluación del comportamiento sísmico de edificios altos*. Mexico: UNAM.
- Rivera Feijoo, J. (1984). *Análisis sísmico de reservorios elevados con estructura cilíndrica de soporte*. Lima: UNI.
- Rivera, D., & Meli, R. (2008). *Evaluation of the measured seismic response of the Mexico City Cathedral*. Mexico: UNAM.
- ROCHEL, R. (2012). *Uniones viga - columna*. Medellín: Fondo Editorial Universidad.
- Sandoval, P. (2000). *Procedimiento de Diseño Sísmico por Desempeño, basado en un Método simplificado de Análisis no Lineal*. Mexico: UNAM.
- SANTANA, R. (2012). *Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada*. Lima: UNI.
- SEAOC. (1995). Performance Based Seismic Engineering of Buildings. *Structural Engineers Association of California*.
- SEAOC, S. (1966). *Recommended lateral force requirements and commentary*. Sacramento: Structural Engineers Association of California.
- SEAOC, S. (1995). *Visión 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings*. Sacramento: Structural Engineers Association of California.
- SHIBATA, A., & SOZEN, M. (1976). Substitute structures method for seismic design in reinforced concrete. *American Society of Civil Engineers*, 102(1), 1-18.
- SOLVIA Engineering AB. (2004).
- SOROUSHNIA, S., TAVOUSHI, S., OMIDINASAB, F., & BEHESHTIAN, N. (01 de Octubre de 2011). Seismic Performance of RC Elevated Water Tanks with framed staging and Exhibition Damage Pattern. *Procedia Engineering*, 14, 3076-3087. doi::10.1016/j.proeng.2011.07.387
- SOUTHPOINTE, I. (2004). *Canosburg, USA Patente nº PA 15317*.
- Sullivan, T., Calvi, G., Priestley, N., & Kowalsky, M. (2003). The limitations and performances of different displacement based design methods. *Journal of Earthquake Engineering*, 7, 201 - 241.
- TAIPE, J. (2003). *Criterios de diseño por desempeño para la Norma Peruana de diseño sismorresistente*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

YANG, T. (2013). Assessing seismic risks for new and existing buildings using performance-based earthquake engineering (PBEE) methodology. En S. TESHAMARIAM, & K. GODA (Edits.), *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems* (págs. 307-333). Elsevier: Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857098986.3.307

ANEXOS

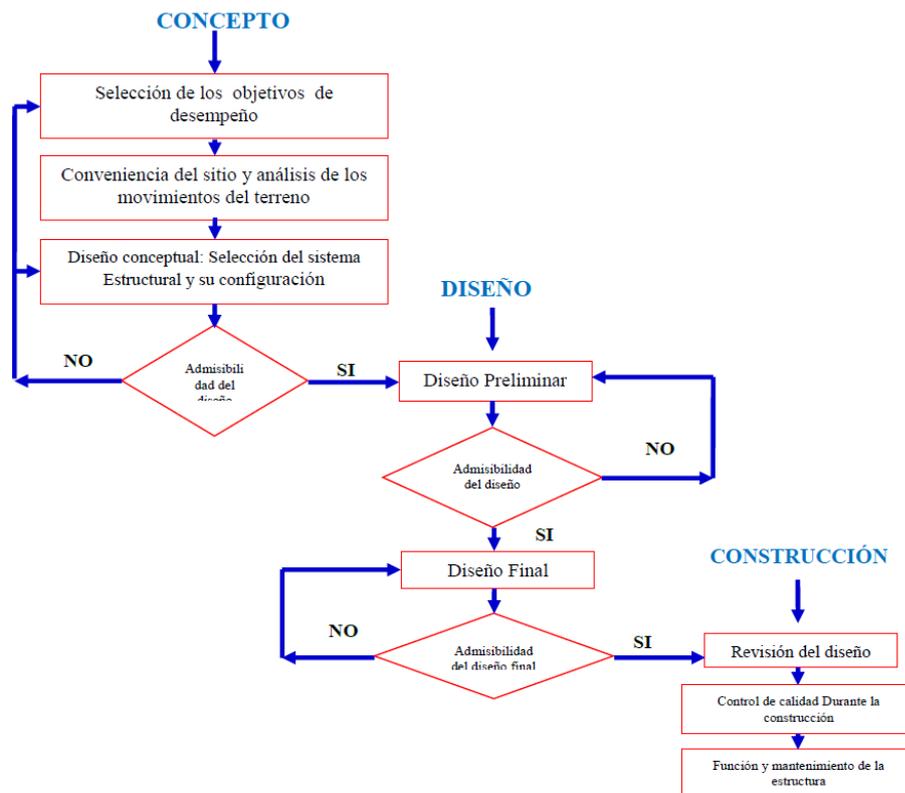
Anexo 1. *Tabla: Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Metodología de análisis por desempeño	Priestley et al. (2007), propuso un método de diseño, al cual llamo "método de Diseño Basado Directamente en Desplazamientos (DBDD), con este método rápido se puede diseñar una estructura la cual satisfaga un nivel predefinido de distorsión".	Es una metodología basada en el desempeño inelástico de la estructura, la cual permite predecir el mecanismo de falla de la estructura ante cargas dinámicas como sismo.	Desempeño sísmico.	<ul style="list-style-type: none"> - Niveles de desempeño. - Estado de daño. - Niveles de sismo. 	Nominal
			Capacidad estructural.	<ul style="list-style-type: none"> - Curva de capacidad. - Deformación. - Rigidez. 	
			Resistencia concreto.	<ul style="list-style-type: none"> - Curva de capacidad. - Relación a/c. - TMN Agregados. - Norma ASTM C-39. - Norma E.060. 	
Comportamiento sísmico de reservorios elevados tipo fuste.	Según Rochel (2012), comportamiento sísmico es "la capacidad que presenta una estructura para evitar el desarrollo inesperado de un mecanismo de colapso durante un movimiento sísmico severo y al mismo tiempo por absorber la energía sísmica a través de las deformaciones inelásticas".	Comportamiento sísmico se refiere a como la estructura reacciona ante los movimientos sísmicos, en este comportamiento influyen los factores de diseño asi como los constructivos, es decir se considera el aporte que los materiales hacen a la resistencia de la estructura.	Diseño Estructural	<ul style="list-style-type: none"> - Norma E.060. - Norma E.030. - Análisis por desplazamiento. 	Nominal
			Desplazamientos	<ul style="list-style-type: none"> - Rigidez. - Inercia. - Resistencia del acero. - Resistencia del concreto. 	
			Distorsiones	<ul style="list-style-type: none"> - Centro de masa. - Geometría de la estructura. - Masas concentradas. 	

Anexo 2. Tabla de Comparación de los niveles de desempeño sísmico. (Poland 2000)

Comparación de varios niveles de desempeño sísmico					
Directrices FEMA 273		Calsificación SEAOC Vision 2000			ATC-20
Indice	Niveles de Desempeño	Indice	Expectativa de Desempeño	Daño Anticipado	Funcionalidad Posterior a un evento sísmico
S1	Ocupación Inmediata	10	Completamente Funcional	Despreciable	"Etiqueta verde" <i>Inspección</i> No hay restricciones en uso u ocupación
		9			
S2	Control de daño	8	Funcional	Ligero	
		7			
S3	Seguridad de vidas	6	Seguridad de vidas	Moderado	"Etiqueta amarilla" <i>Entrada limitada</i> Personal no autorizado debiera permanecer fuera de los limites
		5			
S4	Seguridad limitada	4	Cercano al colapso	Severo	
S5	Prevención de colapso	3	Colapso Parcial	Completo	"Etiqueta roja" <i>Inseguro</i> No ocupar, ni entrar
		2			
		1	Colapso total		

Diagrama del marco conceptual de la "Ingeniería basada en desempeño"



Fuente: SEAOC Vision 2000 (SEAOC S. , Visión 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings, 1995)

Combinación de Niveles de Comportamiento Estructural y no Estructural para formar Niveles de Desempeño del edificio.

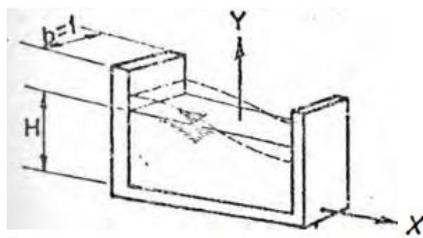
Niveles de Comportamiento No estructural	Niveles de comportamiento Estructural					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Control de Daño	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No Considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Peligro Reducido	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

Legenda

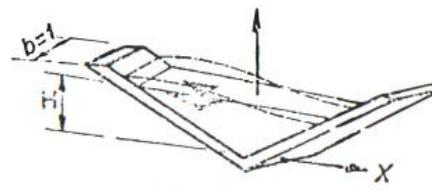
- Nivel de comportamiento del edificio comúnmente mencionado (SP-NP)
- Otras posibles combinaciones de SP-NP
- Combinaciones no recomendados de SP-NP

Fuente: ATC-40

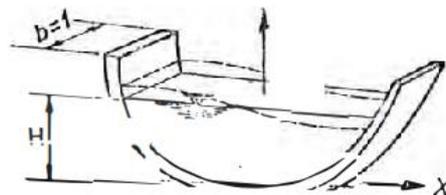
Forma de los reservorios.



3.1 RECTANGULAR

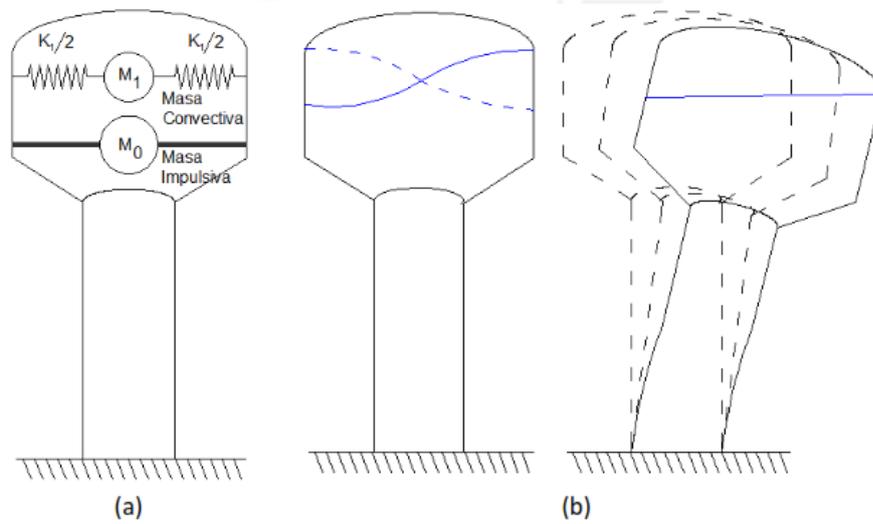


3.2 TRIANGULAR



3.3 ARCO DE CIRCULO

Modelo simplificado de Housner en reservorios elevados. Modos convectivo e impulsivo del agua.



Fuente: (HUARINGA, 2015).

Tabla: Factor de importancia "I"

	Uso del Tanque	Factor I
III	Tanques que contienen materiales peligrosos	1.5
II	Tanques que se busca permanezcan utilizables luego de un terremoto o tanques que son parte del sistema de línea de vida.	1.25
I	Tanques no listados en las categorías II o III	1

Fuente: ACI 350.3-06

Tabla: Factor de modificación de respuesta "R".

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

Fuente: ACI 350.3-06

Tabla: Factor de zona "Z".

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

Fuente: RNE 2016 – E.030

Tabla: Factor de suelo "S".

ZONA \ SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: RNE 2016 – E.030

Tabla: Periodos "T_P y T_L".

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: RNE 2016 – E.030

Tabla: Categoría de las edificaciones y factor "U".

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	<p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</p>	1,5

Fuente: RNE 2016 – E.030

. Tabla: Coeficiente de sitio "Fa".

Clase de Sitio	Parámetro para periodos cortos de la respuesta sísmica de aceleración espectral para el máximo sismo considerado.				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Ver sección 11.4.7 del ASCE/SEI 07-5				

Fuente: (HUARINGA, 2015)

Tabla: Coeficiente de sitio "Fv"

Clase de Sitio	Parámetro para periodo de 1s de la respuesta sísmica de aceleración espectral para el máximo sismo considerado.				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Ver sección 11.4.7 del ASCE/SEI 07-5				

Fuente: (HUARINGA, 2015).

Anexo 3

LISTA DE CHEQUEO ESTRUCTURAL										
Fecha:		H. Inicio:		H. Fin:						
Nombre del evaluador:					<input type="checkbox"/> Ingeniero o arquitecto		<input type="checkbox"/> Estudiante Ing./Arq.			
INFORMACIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA										
Nombre de la Estructura:										
Nombre del Propietario:										
Dirección:						Coordenadas UTM	N:			
Distrito:	Provincia:	Departamento:		E:						
Referencia:							Z:			
INFORMACIÓN GEOMETRICA DE LA ESTRUCTURA										
Dimensiones de la estructura:										
1. Fuste			2. Cimentación			3. Cuba o reservorio				
Diámetro Interior :	<input type="text"/>	m	Profundidad :	<input type="text"/>	m	Diámetro Interior :	<input type="text"/>	m		
Diámetro exterior :	<input type="text"/>	m	Ancho :	<input type="text"/>	m	Diámetro exterior :	<input type="text"/>	m		
Espesor de muro :	<input type="text"/>	m	Peralte :	<input type="text"/>	m	Espesor de muro :	<input type="text"/>	m		
Altura de fuste :	<input type="text"/>	m				Altura de cuba :	<input type="text"/>	m		
Esquema										
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL										
Uso	<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Hospital	Dimensiones				<input type="checkbox"/> Planicie			
	<input type="checkbox"/> Oficinas	<input type="checkbox"/> Presas	Altura de la estructura	<input type="text"/>	m	<input type="checkbox"/> Ladera de cerro				
	<input type="checkbox"/> Comercio	<input type="checkbox"/> Reservorios	Altura de sótano	<input type="text"/>	m	<input type="checkbox"/> Rivera río/lago				
	<input type="checkbox"/> Escuela	<input type="checkbox"/> Estruct. Hidráulica	Tipo de Estructura				<input type="checkbox"/> Fondo de valle			
	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/> Industria	Esencial	<input type="checkbox"/>	No esencial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Rellenos			
<input type="checkbox"/> Desocupada						<input type="checkbox"/> Costa				
Topografía										
TERRENO Y CIMENTACION										
Tipo de suelo		Características Superficiales			Cimentación Superficial			Cimentación Profunda		
<input type="checkbox"/> Arcilla muy blanda		Nivel Freático	<input type="text"/>	m	<input type="checkbox"/> Zapata aislada			<input type="checkbox"/> Pilotes/pilas		
<input type="checkbox"/> Limo o arcillas		Pendiente	<input type="text"/>	%	<input type="checkbox"/> Zapatas conectadas			_____		
<input type="checkbox"/> Granular suelto		Fuentes de agua Cercanas			<input type="checkbox"/> Zapatas continuas			_____		
<input type="checkbox"/> Granular compacto		Pozo tubular	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Cim. corridos simples			<input type="checkbox"/> Otro		
<input type="checkbox"/> Roca		Rio y/o quebrada y/o lago	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Cim. corridos armados			_____		
*(estimar de Est. Suelos)		Otro	_____		<input type="checkbox"/> Losa de cimentación			_____		
					<input type="checkbox"/> Cajón					

SISTEMA ESTRUCTURAL

Materiales de la Estructura

En Muros y/o Fuste

- Concreto reforzado
- Concreto prefabricado
- Bloques de concreto
- Ladrillo de Arcilla artesanal
- Ladrillo de Arcilla industrial

- Madera
- Piedra
- Adobe
- Otro _____

En Techo y/o Cuba

- Losa Maciza
- Losa c/viga en una dirección
- Losa c/viga en dos direcciones
- Estructura Metálica
- Estructura de madera

Refuerzos

- Sin refuerzo
- Con refuerzo horizontal
- Con refuerzo vertical
- Espaciamiento m

Refuerzos

- Sin refuerzo
- Con refuerzo horizontal
- Con refuerzo vertical
- Espaciamiento m

Sección de elementos estructurales

Columnas

- Rectangular
- Rectangular Hueca
- Circular
- Circular Hueca
- Sección H/I/L
- (* Realizar croquis)

Resistencia de materiales

- Muros Kg/cm²
- Techo Kg/cm²
- Columnas Kg/cm²

Estructura Principal Vertical

		Dirección	
		X	Y
Columnas	Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Conc. Prefabricado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muros	Tabiquería Simple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	De mamp. Portante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	De Albañ. Armada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	De Concreto Arm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sistema de Entrepiso

Sistema de Piso

- Losa apoyada
 - Losa plana s/apoyos
 - Vigas y piso de madera
 - Vigas y enladrillado
 - Vigas, largueros y cubierta
 - Estructura de acero
- Separación de apoyos**
- Vigas cm
 - Viguetas cm
 - Largueros cm

Losa de concreto

- Maciza
- Aligerada
- Prefabricada de concreto
- vigueta y bovedilla
- Losa colaborante
- Espesor total cm

Armadura principal

- Separación cm

Cubierta de techo

- Igual al sistema de piso
- Lamina metálica
- Lamina de asbesto/plástico
- Paneles de policarbonato
- Madera
- Teja
- Calamina o similar

Tipo de anclaje y separación : _____

Forma de techo

- Techo plano horizontal
- Inclinado pendiente %
- Bóveda cilindro. ϕ m
- Cúpula ϕ m

Planos y Documentos de proyecto

- Arquitectura
- Estructuras
- Sanitarias
- Eléctricas
- Memoria de cálculo
- Especificaciones Técnicas
- Autoconstrucción

Especificar _____

CROQUIS DE SISTEMA ESTRUCTURAL

Area reserved for the structural system croquis.

EVALUACION DE ESTADO ESTRUCTURAL

1. Rehabilitaciones realizadas

Tipo		Técnica Usada	
<input type="checkbox"/> Arquitectónicas	<input type="checkbox"/> Recimentación	<input type="checkbox"/> Adición de muros concreto	
<input type="checkbox"/> Reparación Estructural	<input type="checkbox"/> Encamisado concreto	<input type="checkbox"/> Adición de muros albañilería	
<input type="checkbox"/> Refuerzo Estructural	<input type="checkbox"/> Encamisado acero	<input type="checkbox"/> Contrafuertes externos	
<input type="checkbox"/> Reconstrucción Parcial	<input type="checkbox"/> Muros: malla y mortero	<input type="checkbox"/> Fibra carbono / sintéticos	
	<input type="checkbox"/> Contraventeo	<input type="checkbox"/> Otro	

Descripción breve:

2. Daños encontrados

Geotécnico	Estructural
<input type="checkbox"/> Grietas en el terreno circundante	<input type="checkbox"/> Colapso Total
<input type="checkbox"/> Hundimientos diferenciales	Colapso Parcial
<input type="checkbox"/> Deslizamiento de ladera	<input type="checkbox"/> Techo
<input type="checkbox"/> Socavación o Erosión	<input type="checkbox"/> Muros
<input type="checkbox"/> Licuación de arenas	<input type="checkbox"/> Columnas
<input type="checkbox"/> Hundimiento (-) o emersión (+) general <input type="text"/> cm	<input type="checkbox"/> Sección de la estructura <input type="text"/> %
<input type="checkbox"/> Inclinación del edificio <input type="text"/> %	<input type="checkbox"/> Cimentación

3. Descripción de daños observados

Tipo de daño y características	Columnas	Muros	Conexiones
		Mampostería	Concreto
(1) Colapso/daño generalizado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(2) Grietas inclinadas (por cortante)	<input type="checkbox"/> mm	<input type="checkbox"/> mm	<input type="checkbox"/> mm
(3) Grietas normales al eje (por flexión)	<input type="checkbox"/> mm	<input type="checkbox"/> mm	<input type="checkbox"/> mm
(4) Aplastamiento conc. y acero expuesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(5) Fractura refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(6) Fractura refuerzo transversal o estribos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(7) Pandeo de barras a compresión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(8) Pandeo de placas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(9) Pandeo global o inestabilidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(10) Falla de soldadura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(11) Falla de conectores (tornillos/remaches)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(12) Corrosión de acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Armado de elemento (de concreto)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Distancia entre estribos	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm
Sección del elemento	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<i>Datos que se pueden recabar:</i>	bxh / ϕ	$t, hc \times bc$	t










Sistema de piso / techo	Porcentaje de elementos dañados en la estructura		
	Grave	Medio	Clave
<input type="checkbox"/> Colapso			
Grietas:			
<input type="checkbox"/> alrededor de columnas			
<input type="checkbox"/> al centro del claro			
<input type="checkbox"/> sobre los muros			
<input type="checkbox"/> en las esquinas del tablero			
anchura máxima: <input type="text"/> mm			

	Daño grave		Medio
	Columnas, traves, muros de concreto	Colapso	Grietas por cortante > 2 mm
		Grietas por flexión > 5 mm	> 2 mm
		Pandeo general	
		Pandeo de placas	
		Pandeo o fractura del refuerzo	
Mampostería	Grietas por cortante > 5 mm	G. inclinada en castillo > 1 mm	> 2 mm

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Por la presente se deja constancia haber revisado los instrumentos de investigación para ser utilizados en el proyecto, cuyo título es: **"METODOLOGIA DE ANÁLISIS POR DESEMPEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTOS PARA EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN RESERVORIOS ELEVADOS TIPO FUSTE - CHICLAYO"** Siendo autor el Ing. Luis Paul Cabanillas Flores, estudiante de la Escuela de Postgrado en el Programa de **Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras** de la Universidad Cesar Vallejo – Campus Chiclayo.

Dichos instrumentos serán aplicados a una muestra representativa de 01 reservorio del proceso de investigación, que se aplicara durante el mes de octubre del 2016, según técnica de **FORMATO DE CHEQUEO E INSPECCIÓN**.

Las observaciones realizadas han sido levantadas por el autor, quedando finalmente aprobadas. Por lo tanto, cuenta con la validez y confiabilidad correspondiente considerando las variables del trabajo de investigación.

Se extiende la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que considere pertinentes.

Chiclayo, 23 de Setiembre de 2016.

Mg. Ing. ~~Dandy Berlie Roca Loayza~~
DANDY BERLIE
ROCA LOAYZA
INGENIERO CIVIL
D. C. CIP. N° 116166