

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE
LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU
VULNERABILIDAD SÍSMICA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Carolina Isabel Arias López

Bach. Gustavo Castañeda Flores

TACNA – PERU

2019

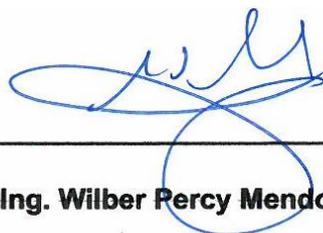
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE
LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU
VULNERABILIDAD SÍSMICA”**

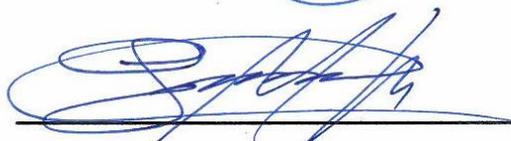
Tesis sustentada y aprobada el 06 de noviembre del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:




Mtro. Ing. Wilber Percy Mendoza Ramirez

SECRETARIO:




Mtro. Ing. Giancarlos Machaca Frias

VOCAL:



Ing. Luis Enrique Valle Castro

ASESOR:



Mtro. Ing. Dina Marlene Cotrado Flores

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo **Carolina Isabel Arias López** en calidad de: Grado Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI **70461757**.

Yo **Gustavo Castañeda Flores** en calidad de: Grado Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI **70763872**.

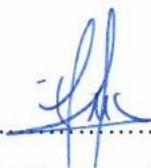
Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SÍSMICA”**, la misma que presento para optar: **EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, no hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de iv ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, de Julio del 2019



.....
Bach. Carolina Isabel Arias López

DNI: 70461757



.....
Bach. Gustavo Castañeda Flores

DNI: 70763872

DEDICATORIA

A mis padres Juan Carlos y María Isabel por todo el gran esfuerzo que hicieron para guiarme en mi etapa profesional, sus consejos, presencia y amor incondicional fueron indispensables para mí.

A mi abuelita Ylida, por el amor y apoyo incondicional en mi vida. Gracias por llevarme en tus oraciones y acompañarme siempre. Siempre serás mi mayor motivación.

A mi hermana Gianella y a mi enamorado Gustavo, por brindarme amor y sonrisas siempre que pueden, espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Carolina Isabel Arias López.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados de mi vida, ser profesional.

A mis padres Gustavo y Edith, por su amor, trabajo, sacrificio y apoyo incondicional en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y un gran privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mi segunda familia, mi tía Felicia, mi tío Samuel y mis primos Alexa y Jurguen por estar siempre presentes acompañándome y por todo su apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi enamorada Carolina y a toda su familia por todo su apoyo durante la realización de esta investigación, me siento muy feliz de cumplir esta meta juntos.

Gustavo Castañeda Flores

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios quien nos guía por el buen camino, dándonos la fuerza para superarnos y no caer ante los problemas que se nos presentan. Gracias por poner en nuestro camino a todas esas personas que nos enriquecen como seres humanos.

A la Universidad Privada de Tacna por ser nuestra alma mater y brindarnos el camino de superación profesional.

A nuestra asesora de tesis, Mg. Ing. Dina Cotrado Flores por su apoyo, guía y disposición de tiempo para despejar nuestras inquietudes.

Al Mg. Ing. José Acero Martínez por haber compartido con nosotros sus amplios conocimientos sobre la evaluación estructural de los reservorios.

Al Ing. Jimmy Silva Charaja por brindarnos todas las facilidades e información necesaria para poder desarrollar los objetivos de nuestro trabajo de investigación

A nuestras familias por su apoyo y palabras de aliento, por los valores que se nos han inculcado, sin ellos no sería posible la realización de este trabajo de investigación. Los amamos mucho.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA DE JURADOS	I
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	II
DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes del estudio.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	7
2.1.3. Locales.....	9

2.2.	Bases teóricas	9
2.2.1.	Reservorio	9
2.2.2.	Clasificación de reservorios.....	10
2.2.3.	Método de Análisis Estático según Portland Cement Association (1993) .	12
2.2.3.1.	Condiciones de carga y métodos de diseño	12
2.2.3.2.	Cálculo de espesor de paredes del tanque.....	14
2.2.3.3.	Cálculo del Esfuerzo Anular	14
2.2.3.4.	Cálculo del Esfuerzo a Flexión.....	16
2.2.3.5.	Cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo.....	18
2.2.4.	Método de Housner	19
2.2.5.	Normativa americana para el análisis sísmico dinámico de reservorios elevados	19
2.2.6.	Ensayo destructivo de perforación con brocas diamantadas (2011)	29
2.2.6.1.	Materiales, Equipos y otros	29
2.2.6.2.	Procedimiento del Ensayo	30
2.2.6.3.	Criterios de aceptación.....	30
2.2.6.4.	Aplicación del ensayo en obras de infraestructura	30
2.2.7.	Ensayo no destructivo: Ensayo de resistencia del concreto	30
2.2.7.1.	Aparatos.....	30
2.2.7.2.	Área de prueba e interferencias.....	31
2.2.7.3.	Procedimiento	31
2.2.7.4.	Cálculo	32
2.2.8.	Vulnerabilidad Sísmica:.....	32
2.3.	Definición de términos	33
3.	CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	34
3.1.	Tipo y Nivel de la investigación.....	34
3.1.1.	Tipo de la investigación.....	34
3.1.2.	Nivel de la investigación.....	34

3.2.	Población y/o muestra de estudio.....	34
3.3.	Operacionalización de variables.....	36
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	36
3.4.1.	Técnicas.....	36
3.4.2.	Instrumentos	36
3.5.	Esquema metodológico.....	37
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	39
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS	42
4.1.	Resultados recopilados en campo	42
4.1.1.	Ensayos no destructivos:	42
4.1.1.1.	Evaluación de patologías.....	42
4.1.1.2.	Ensayo de resistencia del concreto utilizando el esclerómetro	47
4.1.2.	Ensayos destructivos:.....	51
4.1.2.1.	Ensayo de perforación con broca diamantada:.....	51
5.	CAPITULO V: DISCUSIÓN	78
6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	82
7.	CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	84
8.	CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular.	16
Tabla 2.	Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo a Flexión.....	17
Tabla 3.	Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo.	18
Tabla 4.	Factores de Zona.....	22
Tabla 5.	Clasificación de los perfiles de suelo.....	25
Tabla 6.	Factor del Suelo "S".	25
Tabla 7.	Periodos "Tp" y "TL".....	25
Tabla 8.	Categoría de las edificaciones y Factor U.....	27

Tabla 9. Límites para la distorsión del entrepiso.....	28
Tabla 10. Factor R Modificado.....	29
Tabla 11. Factor de categoría de la estructura.....	29
Tabla 12. Operacionalización de variables.....	36
Tabla 13. Resumen de resultados de ensayo con esclerómetro - Reservoirio R-15.50	
Tabla 14. Factor de corrección por altura y diámetro.....	53
Tabla 15. Resistencias obtenidas de las muestras de la estructura Reservoirio R-15.	56
Tabla 16. Promedio de los valores de resistencia.....	57
Tabla 17. Coeficientes obtenidos de la Tabla 1.....	62
Tabla 18. Fuerzas Anulares con respecto a la altura del Reservoirio.....	62
Tabla 19. Coeficientes obtenidos de la tabla 2.....	64
Tabla 20. Momentos con respecto a la altura del Reservoirio R-15.....	64
Tabla 21. Coeficientes obtenidos de la tabla 3.....	67
Tabla 22. Periodos y Frecuencias.....	70
Tabla 23. Cálculo de aceleración espectral.....	72
Tabla 24. Modos de vibración.....	77
Tabla 25. Tabla de resultados de análisis estático.....	79
Tabla 26. Comparación de parámetros sismorresistentes.....	81
Tabla 27. Tabla de resultados.....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reservorio Semi Enterrado.	10
Figura 2. Reservorio Apoyado R-15 de la ciudad de Tacna.	11
Figura 3. Reservorio Elevado de I.E Coronel Bolognesi.....	12
Figura 4. Posibles condiciones de carga para un tanque parcialmente enterrado... 13	13
Figura 5. Presión del agua en la pared del Reservorio.....	15
Figura 6 Empotramiento en la base y rotación angular en el extremo superior.....	15
Figura 7. Modelo mecánico Housner	19
Figura 8. Zonas sísmicas.....	22
Figura 10. Ubicación del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna.....	34
Figura 11. Vista frontal del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna	35
Figura 12. Esquema Metodológico General	38
Figura 13. Vista en planta del Reservorio R-15 donde se indican los puntos donde se utilizó el esclerómetro.	48
Figura 14. Ensayo con esclerómetro en el Reservorio R-15.	49
Figura 15. Vista en planta del Reservorio R-15 donde se indican los puntos donde se realizaron las diamantinas.....	52
Figura 16. Detector de acero.....	54
Figura 17. Colocación de equipo de Diamantina.	54
Figura 18. Retiro de muestra.....	54
Figura 19. Muestra de concreto.....	54
Figura 20. Muestras obtenidas.	55
Figura 21. Medición de la muestra.	55
Figura 22. Muestra en compresión.....	55
Figura 23. Muestras después de ser comprimidas.....	55
Figura 24. Dimensiones del reservorio.....	57
Figura 25. Propiedades de los materiales del reservorio.	58
Figura 26. Definición de cargas.	58
Figura 27. Asignación de valores de presión de agua.	59
Figura 28. Gráfico de tensiones aplicadas en el muro del reservorio.....	59
Figura 29. Momentos aplicados en el muro del reservorio.....	60
Figura 30. Cortantes sometidas en el muro del reservorio.....	61
Figura 31. Gráfica de tensiones anulares con respecto a su altura.....	63
Figura 32. Gráfica de momentos con respecto a su altura.....	65
Figura 33. Definición de peso de agua impulsivo y convectivo.	69

Figura 34. Asignación de Peso impulsivo.	69
Figura 35. Asignación de Peso convectivo.	69
Figura 36. Asignación de pesos impulsivo y convectivo.	70
Figura 37. Aceleración espectral a lo largo de periodos.	73
Figura 38. Espectro elástico.	73
Figura 39. Espectro reducido.	74
Figura 40. Sismo elástico.	74
Figura 41. Sismo reducido.	75
Figura 42. Distorsión máxima en el sismo reducido.	75
Figura 43. Distorsión máxima en el sismo elástico.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	87
ANEXO 2. ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO ESCLERÓMETRO FIRMADO POR EL ASESOR ENCARGADO	89
ANEXO 3. ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA DIAMANTADA FIRMADO POR EL INGENIERO ENCARGADO.....	92
ANEXO 4. PLANO DE UBICACIÓN DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA.....	94
ANEXO 5. PLANO DE UBICACIÓN DE DIAMANTINAS Y ESCLERÓMETRO	96
ANEXO 6. PLANO DE DETALLES DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA.....	100

RESUMEN

La presente tesis titulada “**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SÍSMICA**” se realizó con el objetivo de determinar la vulnerabilidad sísmica del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna. Fue necesario recopilar información mediante ensayos in situ como el ensayo de perforación con broca diamantada (destrutivo) y el ensayo de resistencia del concreto utilizando el esclerómetro (no destructivo), realizados en el reservorio R-15 de la ciudad de Tacna. La resistencia del concreto obtenida del ensayo de broca diamantada fue de 320 kg/cm^2 . Como el Perú no cuenta con una normativa clara que brinde los procedimientos para realizar un adecuado análisis dinámico se complementó con el ACI 350. De estas normas se obtuvo los factores necesarios para modelar el reservorio y analizarlo dinámicamente. Comparamos el esfuerzo anular máximo, esfuerzo a flexión máximo y esfuerzo cortante máximo calculados manualmente; con los obtenidos por el SAP 2000 para concluir que son iguales y, por ende, demostrar que el diseño del reservorio es estructuralmente adecuado. También se verificó que el acero colocado en el muro del reservorio fue el correcto pero que el espaciamiento propuesto y el ejecutado varían enormemente, lo que involucra un incremento considerable en el presupuesto del proyecto. Al analizarlo dinámicamente se calculó las distorsiones en el sismo reducido como en el sismo elástico dando un resultado de $1.96 \cdot 10^{-4}$ que comparándolo con el artículo 32 de la Norma Técnica Peruana E. 030 cumplen al ser menores que 0.007 .

Palabras Claves: ACI 350, Evaluación estructural, Modelo de Housner, Norma Técnica Peruana E. 030, Reservorio R-15, Vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

This thesis entitled “**STRUCTURAL EVALUATION OF THE R-15 RESERVE OF THE CITY OF TACNA TO DETERMINE ITS SEISMIC VULNERABILITY**” was carried out with the objective of determining the seismic vulnerability of the R-15 Reservoir of the city of Tacna. It was necessary to collect information through on-site tests such as the diamond drill (destructive) drill test and the concrete resistance test using the sclerometer (non-destructive), performed at the R-15 reservoir in the city of Tacna. The strength of the concrete obtained from the diamond drill test was 320 kg/cm^2 . As Peru does not have a clear regulation that provides the procedures to perform an adequate dynamic analysis, it was complemented with the ACI 350. From these standards, the necessary factors were obtained to model the reservoir and analyze it dynamically. We compare the maximum annular stress, maximum flexural stress and maximum shear stress calculated manually; with those obtained by SAP 2000 to conclude that they are the same and, therefore, demonstrate that the reservoir design is structurally adequate. It was also verified that the steel placed on the reservoir wall was correct but that the proposed and executed spacing vary greatly, which involves a considerable increase in the project budget. When analyzing it dynamically, the distortions in the reduced earthquake and in the elastic earthquake were calculated, giving a result of $1.96 \cdot 10^{-4}$ which, comparing it with article 32 of the Peruvian Technical Standard E. 030, complies with being less than 0.007

Keywords: ACI 350, Structural Evaluation, Housner Model, Peruvian Technical Standard E. 030, R-15 Reservoir, Seismic Vulnerability.

INTRODUCCION

Actualmente en el Perú no se realizan continuamente evaluaciones estructurales y un mantenimiento adecuado a los reservorios ubicados en distintas partes de nuestro país.

Los reservorios son un elemento fundamental en una red de abastecimiento de agua potable. Su función es almacenar y preservar el líquido para el uso de la comunidad donde se construye.

Sabemos que el departamento de Tacna, se encuentra en un movimiento sísmico constante al encontrarse en el cinturón de fuego del Pacífico. A causa de esto, se genera un deterioro estructural en todos los reservorios ubicados en nuestra ciudad. Por ello, con el objetivo de evaluar y determinar el estado actual de uno de los reservorios de la ciudad de Tacna, se planteó realizar en nuestro informe de tesis un estudio del estado estructural actual del reservorio R-15 del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa ya que este es uno de los reservorios que tiene mayor capacidad de almacenamiento y tiene contacto con la población al estar ubicado delante de la cantera Arunta para abastecer al sector Viñani.

En este informe de tesis titulado “EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SÍSMICA” nos hemos enfocado en evaluar estructuralmente el Reservorio R-15 mediante ensayos destructivos y no destructivos insitu, también buscamos determinar cuáles son las cargas actuantes que afectan al comportamiento estructural del Reservorio R-15. Todo esto ejecutado con el programa SAP 2000, respetando la Norma Peruana E. 030.

Este trabajo se encuentra estructurado en 08 capítulos. En el Capítulo I, se determina la problemática de deficiencia estructural en los reservorios que existen en el Perú tomando como estudio principal el Reservorio R-15 ubicada en la ciudad de Tacna, así mismo se da a conocer la justificación y objetivos.

El Capítulo II, está referido a los antecedentes de estudio del Reservorio R-15 de Tacna y conceptos básicos teóricos referente a estudios de diseño y comportamiento estructural.

En el Capítulo III, se desarrolla el marco metodológico, tipo, diseño, población y/o muestra de estudio, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para recolección de datos y finalmente procesamiento y análisis de datos realizados en la investigación.

En el Capítulo IV, se presenta los resultados de la investigación a partir del trabajo en campo, el diseño realizado en gabinete, presentándose tablas y figuras.

En el Capítulo V, se da a conocer la discusión con respecto a los objetivos planteados en el Capítulo I.

En el Capítulo VI, se desarrollan las conclusiones.

En el Capítulo VII, se presenta las recomendaciones del trabajo de investigación.

En el Capítulo VIII, se presenta las referencias bibliográficas del trabajo de investigación

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Actualmente en el Perú, se encuentran en operación un gran número de obras hidráulicas, su observación y análisis de comportamiento surgen como una necesidad ya que el máximo provecho de estas está destinado a la población. Los reservorios en nuestro país, al ser en su mayoría de concreto armado requieren de seguimiento continuo, que hasta el momento no se han realizado puesto que no existe una metodología definida para el análisis de estos frente a escenarios de peligros sísmicos.

En el departamento de Tacna, se requieren evaluaciones estructurales en los distintos reservorios, pues si determinamos el estado de las estructuras podremos saber si pueden seguir operando con seguridad y eficiencia. Ello implica disponer de sus planos de construcción respectivos para efectuar su evaluación, de los cuales lamentablemente se tienen muy poca información.

En el año 2010 entró en operación el Reservorio R-15, este se encuentra ubicado delante de la cantera Arunta para abastecer al sector Viñani, forma parte de las Obras de Consorcio Viñani y fue ejecutado por la EPS TACNA S.A.

El reservorio R-15 al ser diseñado en base a la NTP E.030 de Diseño Sismorresistente del 2003, no tomó en consideración normativas internacionales, mientras que la norma actualizada NTP E. 030 del 2018 en el artículo 1.1 indica lo siguiente: "Mientras no se cuente con normas nacionales específicas para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, túneles y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, se debe utilizar los valores Z y S del Capítulo II amplificados de acuerdo a la importancia de la estructura considerando la práctica internacional". Lo que significa que, al no utilizar normativas internacionales, el reservorio R-15 no fue diseñado con la resistencia a la compresión mínima propuesta por el ACI 350 de 4000 PSI o 280 kg/cm² sino con una resistencia de 245 kg/cm², que al ser menor afectan el comportamiento de los elementos estructurales ya que no están en su capacidad total de resistir los esfuerzos a los que está sometido el reservorio.

Por ello, se pretende calcular el estado actual del Reservoirio R-15 con la norma actualizada E. 030 del 2018 aplicando los nuevos parámetros sismorresistentes propuestos y considerando la normativa internacional del ACI 350 para determinar la vulnerabilidad de la estructura que puede ser perjudicial para la población.

1.2. Formulación del problema

A. INTERROGANTE GENERAL:

En base a lo descrito anteriormente se formula el siguiente problema principal de la siguiente manera: **¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica que presenta el Reservoirio R-15 de la ciudad Tacna?**

B. INTERROGANTES ESPECÍFICAS:

- ¿Se puede evaluar las patologías existentes en el Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna?
- ¿Se puede determinar el comportamiento estático del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y comparar los resultados con los datos obtenidos del programa SAP 2000?
- ¿Se puede calcular el comportamiento dinámico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles?

1.3. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica por las siguientes razones:

Justificación científica, la evaluación estructural del comportamiento sísmico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna con la norma actualizada E. 030 del 2018 y la normativa internacional del ACI 350 nos permite realizar un correcto análisis dinámico para conocer si la estructura se comporta de manera adecuada ante las solicitaciones sísmicas y las cargas actuantes en el reservoirio, tales como esfuerzo anular, esfuerzo a flexión y esfuerzo cortante.

Al concluir la investigación se tendrá la posibilidad de aportar con los resultados obtenidos para otras investigaciones en el rubro, asimismo los organismos y normas de diseño podrán acoplarse a los nuevos conocimientos.

Justificación social, esta investigación será vital para la sociedad y en particular para los proyectistas de nuestra ciudad, para analizar futuras estructuras similares al evaluado en este estudio y así cumplir de manera objetiva con la filosofía de la ingeniería sismorresistente.

Cabe resaltar que el reservorio R-15 de la Ciudad de Tacna desempeña un papel importante en el sistema de distribución del agua abasteciendo aproximadamente a 15 000 pobladores en el Sector de Viñani, por lo tanto, es de mucha importancia saber su estado estructural para evitar la pérdida de vidas y del recurso hídrico ante una falla de dicho reservorio.

Justificación técnica, la presente investigación contribuirá con la entidad encargada del manejo del reservorio R-15 (EPS Tacna), con los estudiantes de ingeniería Civil y los futuros tesisistas que decidan investigar sobre la evaluación estructural de reservorios a nivel nacional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- a) Determinar la vulnerabilidad sísmica del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna, 2019

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar las patologías existentes en el Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna.
- b) Analizar el comportamiento estático del Reservorio R-15 de la ciudad Tacna y comparar los resultados con los datos obtenidos del programa SAP 2000.
- c) Analizar el comportamiento dinámico del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Housner (1957) en la publicación THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA denominada DYNAMIC PRESSURES ON ACCELERATED FLUID CONTAINERS, presenta un análisis de las presiones hidrodinámicas desarrolladas cuando un recipiente de fluido se somete a aceleraciones horizontales. En el análisis de depósitos con fluidos, las presiones impulsivas están relacionadas a las fuerzas de inercia producidas por movimientos impulsivos de las paredes del depósito y las presiones convectivas están relacionadas a la oscilación del fluido, siendo el análisis de las presiones de manera separada.

Según Housner (1963) en la publicación THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA denominada THE DYNAMIC BEHAVIOR OF WATER TANKS, manifiesta la importancia del comportamiento de los reservorios de agua durante un terremoto y en base al terremoto sucedido en Chile en 1960, donde muchos reservorios elevados sufrieron graves daños, sostiene que se debe de tener en cuenta la interacción del líquido con la estructura (reservorio elevado) y la estructura con relación al suelo. Cuando el líquido está completamente lleno de agua se considera en general una sola masa en la simplificación del modelado, pero cuando el líquido está parcialmente lleno, la superficie del agua ante el movimiento sísmico producirá oscilaciones del agua y esto esencialmente hace que se considere dos masas en la simplificación del modelado. Un tanque o depósito de agua en el suelo tendrá su contenido excitado por un terremoto y la amplitud del chapoteo es indicativa de la intensidad del movimiento del suelo.

Restrepo Ocampo y Hernández Martínez (2017) en su investigación publicada en la revista científica JÓVENES EN LA CIENCIA denominado COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE TANQUES TIPO PARA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, desarrollaron un análisis estático y sísmico de tanques para la distribución de agua potable en donde se muestran las diferencias de esfuerzos que existen ante ambos tipos de condiciones de trabajo. Mediante el software LARSA 4D realizaron el análisis de los modelos estructurales de los tanques,

puesto que emplea el método de elementos finitos para la determinación de las fuerzas en los elementos estructurales. Sus conclusiones fueron:

En el análisis sísmico las cargas axiales son mayores al del análisis estático teniendo como resultado en las columnas de 2.25 ton y 1.8 ton respectivamente y en las paredes del tanque elevado existe una gran diferencia presentando en el análisis sísmico presentando una fuerza de 420 kgf distribuido en dos apoyos laterales y en el análisis estático presenta una carga de 7200 kgf distribuido entre apoyos. Finalmente denota la importancia de la simulación y su análisis para un correcto diseño de la estructura.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Acero Martínez, J. y Mejía Zúñiga, J. (s.f.) en la investigación difundida por el ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia) denominada ANÁLISIS DINÁMICO DE TANQUES SUPERFICIALES, CIRCULARES Y RESTANGULAR realizó el análisis en base a la teoría de Housner cuyas ecuaciones están en función de la geometría del reservorio. El código que gobierna el diseño sísmico de los tanques y reservorios es el “Seismic Design of LiquidContaining Concrete Structures and Commentary” (ACI 350.3-01 y 350.3R-01) donde la teoría hace referencia a las masas impulsivas que no ocasionan un oleaje y a masas convectivas que si generan oleaje en la parte superior, siendo una de sus conclusiones que la presión hidrodinámica en tanques superficiales se incrementa en un 40% como máximo, en condiciones de servicio, por ello, no debe de ser ignorado en el diseño de tanques y reservorios superficiales

Martos Salas, Francisco (2013) desarrolló la tesis denominada EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE UN RESERVORIO CIRCULAR ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO Y EL MÉTODO DINÁMICO DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE, cuyo objetivo fue establecer las diferencias entre el Análisis Estático y el Análisis Dinámico de la Norma ACI 350.3-01, en la cual tomaron como modelo prototipo a un Reservorio Circular de 15.60 m³ de capacidad, 2.8 m de altura, diámetro interno de 3.00 m y espesor de pared de 0.15 m, el cual fue analizado mediante el Análisis Estático de la PCA con coeficientes para encontrar los Esfuerzos; luego mediante el Análisis Dinámico se utilizó el modelo de Housner para tanques circulares, la Norma ACI 350.3-01 y la Norma E. 030, obteniendo los parámetros necesarios para modelar la estructura con el programa SAP 2000 y determinar de igual forma que en el caso anterior el Esfuerzo

Anular, a Flexión y Cortante en el muro del reservorio a las mismas alturas en que se encontraron en el Método Estático, para luego compararlos, obteniendo que el Esfuerzo Anular, a Flexión y Cortante Negativo fueron mayores al utilizar el Método Dinámico con respecto al Estático, pero de manera inversa en el caso del Cortante Positivo, concluyendo que existen claras diferencias importantes entre ambos métodos, donde el Dinámico fue más exacto al tener en cuenta acciones mecánicas que no fueron consideradas en el Estático, como la fuerza sísmica, el movimiento del agua, la fuerza de inercia y la vibración misma de la estructura, que de no ser consideradas en el diseño de los Reservorios Circulares producirían el colapso de la estructura durante un sismo de gran magnitud. Además, verificaron que, al aplicar el Método Dinámico en el cálculo de los Esfuerzos, obtienen resultados mayores con respecto al Estático en el Esfuerzo Anular con un 2.64 tn/m de diferencia; en el de Flexión Positivo con un 0.05 tn/m, en el de Flexión Negativo con 0.24 tn/m y en el Cortante Negativo en 1.16 tn/m mientras que en el caso del Cortante Positivo fue mayor utilizando el Método Estático con 2.71 tn/m de diferencia.

Llaza Funes, Oscar (s.f.) en el artículo ANÁLISIS SÍSMICO DE RESERVORIOS, busca poder “compatibilizar” los códigos internacionales con los parámetros de la NTE E. 030 peruanos de tal manera que se pueda obtener un correcto estudio sísmico para Reservorios Apoyados y Elevados, utilizando los modelos dinámicos establecidos en el código ACI 350 y sus comentarios. Los efectos hidrodinámicos inducidos son indispensables para determinar la fuerza cortante basal y el momento transmitido al sistema de cimentación, sin los cuales no se podría diseñar correctamente un Reservorio. Además, señala que la determinación del espectro de Pseudoaceleración puede obtenerse utilizando las recomendaciones del Código ACI 350.3R-01, compatibilizando algunos factores con el Reglamento Peruano NTP E. 030.

Díaz Calderón & Meniz Ventocilla (2019) desarrollaron la tesis denominada EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RESERVORIOS APOYADOS DE CONCRETO ARMADO EN LIMA METROPOLITANA CONSIDERANDO LA NORMA ACI 350-06 Y LAS NORMATIVAS PERUANAS, que consistió en la evaluación estructural de 05 reservorios circulares del tipo apoyado, construidos entre los años 1977 y 1997, ubicados en zonas de alto riesgo sísmico en Lima Metropolitana y ubicados en suelos medianamente rígidos, con el objetivo de evidenciar si estas estructuras continúan conservando un diseño sísmico adecuado en base a los requerimientos sísmicos actuales, y por ende si serán

capaces de resistir un evento sísmico severo y continuar con el servicio. Concluyendo que los 05 reservorios evaluados no conservan un diseño estructural adecuado traducido en un déficit de refuerzo estructural. Concretamente, este déficit de refuerzo se traduce en incumplimientos de acero horizontal por corte en muros, cuantía mínima vertical por fuerza de corte en los muros, refuerzo en el muro por momento tangencial, armadura requerida en la viga collarín, y refuerzo requerido en el extremo de la cúpula (unión viga collarín – cúpula); por lo que, de presentarse un evento sísmico severo (con un periodo de retorno de 475 años), estas estructuras no tendrán un desempeño adecuado frente a dicho evento, presentando fallas estructurales por momento, tracción, y corte, generando así una discontinuidad en el servicio de distribución de agua en sus áreas de influencia.

2.1.3. Locales

Martínez Cahui, Henry (2019) desarrolló la tesis denominada “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN RESERVORIO ELEVADO DE CONCRETO ARMADO DE CUBA DE SECCIÓN CIRCULAR Y RECTANGULAR, APLICANDO LA NORMATIVA NORTEAMERICANA -TACNA 2019” en el cual da a conocer que en sus resultados obtenidos los esfuerzos de tensión anular en un reservorio sección rectangular tienen un incremento máximo de 33.73% respecto a un reservorio de sección circular, los momentos positivos en reservorios de secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 93.90% , los momentos negativos en reservorios de secciones rectangulares tiene un decremento máximo de 14.11% respecto a uno de sección circular, los esfuerzos de corte en reservorios de secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 58.51%, los desplazamientos de los reservorios elevados de secciones rectangulares tienen un incremento máximo de 11.42% respecto al reservorio elevado de sección circular y los periodos convectivos e impulsivos de los reservorios elevados de secciones rectangulares tienen un incremento de 13.65% y 12.14% respectivamente, respecto al reservorio elevado de sección circular.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Reservorio

Los reservorios cumplen un papel importante en los sistemas de distribución de agua. Su importancia se evidencia en el comportamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente.

Un reservorio debe servir para:

- Compensar las variaciones de consumo que se producen durante el día.
- Almacenar el volumen adicional para casos de emergencia tales como incendios e interrupciones por daños de tuberías de aducción, ya que el servicio de agua no sea interrumpido en lo posible.
- Regular las presiones en la red de distribución.
- Ser capaz de aumentar la presión de agua en los lugares de nivel alto de la población. (López, 2007, p. 15)

2.2.2. Clasificación de reservorios

Los reservorios pueden clasificarse con respecto al nivel del terreno en:

- Reservorios Enterrados y Semi enterrados:

Son aquellos que tienen el depósito de agua totalmente enterrados o semi-enterrados, conocidos también como cisternas. Las figuras más empleadas son las rectangulares y circulares, esta última presenta ventajas para la resistencia de las presiones interiores. Los materiales empleados para su construcción pueden ser de albañilería de piedra, ladrillo y concreto armado. (López, 2007, pp. 16-17)



Figura 1. Reservorio Semi Enterrado.

Fuente: (Galvez, Puma, & Rincón, 2012)

- Reservorios Apoyados:

Estos reservorios son aquellos cuya cimentación y piso están directamente colocados sobre la superficie del terreno. Las figuras más empleadas son las rectangulares y circulares, esta última presenta ventajas para la resistencia de las presiones interiores. Los materiales empleados en su

construcción pueden ser de albañilería de piedra, ladrillo, concreto armado y metálicos según su capacidad de abastecimiento. (López, 2007, pp. 16-17)



Figura 2. Reservorio Apoyado R-15 de la ciudad de Tacna.

Fuente: Google Maps

- Reservorios Elevados:

En reservorios elevados se distinguen 02 elementos fundamentales como se describe a continuación:

Estructura de Soporte: Está directamente relacionada con la altura de nivel de agua para mantener la presión requerida, también sirve de soporte para el depósito de almacenamiento, podemos encontrar las compuestas por columnas, arriostradas por vigas circulares o paredes circulares.

Depósito de Almacenamiento: También denominado “CUBA”, contiene el volumen del líquido almacenado y su capacidad es función de la demanda existente. La forma se elige teniendo en cuenta factores económicos, y en algunos casos para no alterar la arquitectura de los edificios vecinos. (López, 2007, pp. 16-17)



Figura 3. Reservorio Elevado de I.E Coronel Bolognesi.

Fuente: (Martínez Cahui, 2019)

2.2.3. Método de Análisis Estático según Portland Cement Association (1993)

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

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

2.2.3.1. Condiciones de carga y métodos de diseño

Como se mencionó el tanque debe resistir las cargas a las que estará sujeta durante sus años de uso. Por ello es importante considerar las cargas durante la construcción. Un ejemplo de las condiciones de carga se muestra en la figura 4.

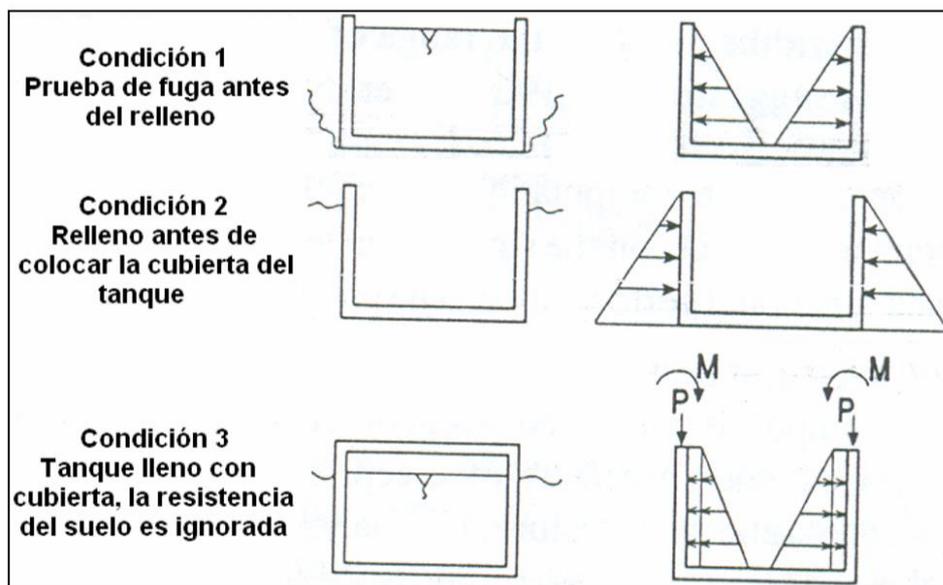


Figura 4. Posibles condiciones de carga para un tanque parcialmente enterrado.

Fuente: (Portland Cement Association, 1993)

La razón por la cual no se considera la presión del suelo en la parte inferior de la losa del tanque es debido a que el ACI 350 indica que el efecto de esta fuerza podría minimizar los efectos uno del otro.

Los métodos de diseño existentes son dos:

- Diseño por resistencia
- Diseño de esfuerzos admisibles (ASD)

Diseño por resistencia: las combinaciones de carga para determinar la resistencia requerida, debe considerar lo siguiente:

- El factor de amplificación de carga del empuje hidrostático será de 1.7, este valor puede ser algo conservador para algunos tanques, porque solo son llenados hasta la parte superior durante el ensayo de filtración o porque ocurre una inundación accidental en un lapso de tiempo corto.
- El valor anterior debe ser multiplicado por un factor denominado coeficiente sanitario.

Finalmente, la resistencia requerida está dada por:

$$\text{Resistencia requerida} = 1.7 \cdot (\text{Coeficiente sanitario})$$

Donde, los coeficientes sanitarios equivales a:

1.30 Para flexión

1.65 Para tensión Directa

1.3 Para corte cuando $V_u > 0.85 V_c$; sino se toma 1.00

1.00 Para compresión

2.2.3.2. Cálculo de espesor de paredes del tanque

Típicamente en el diseño de elementos de concreto reforzado, la resistencia a la tensión del concreto es ignorada. Cualquier fisura significativa en un tanque que contiene líquido es inaceptable, por esta razón se puede asegurar que la resistencia del concreto en el anillo en tensión, debe tener un valor mínimo para prevenir excesiva fisuración. La resistencia admisible en tensión del concreto es usualmente 7% y 12% de la resistencia en compresión. Un valor de 10% de la resistencia del concreto puede ser utilizado.

Según ACI 350 para muros de tanques de concreto reforzado de más de 3 m de altura, el cual está en contacto con agua, debería tener como mínimo un espesor de 0.30 m, aunque este espesor es grande puede utilizarse espesores de 0.25 m. La razón de este espesor es debido a que el concreto se seca y pierde humedad, lo cual lo lleva a una contracción. Esta contracción de fragua produce esfuerzos en tensión, que pueden exceder la capacidad del concreto y causar fisuras.

La resistencia del concreto debido a la tensión del anillo (T), se puede considerar como:

$$f_c = \frac{CE_s A_s + T}{A_c + nA_s}$$

Conociendo que el $A_s = T/f_s$ y que $A_c = 100 \cdot t$ (t en centímetros) y reemplazando en la ecuación anterior se tendrá que el espesor es:

$$t = \frac{CE_s + f_s - n \cdot f_c}{100 \cdot f_c \cdot f_s} \cdot T$$

Donde:

C = Coeficiente de contracción de fragua del concreto, toma un valor de 0.0003

E_s = Módulo de elasticidad del acero (kg/cm^2)

f_s = Resistencia admisible en tensión del acero (kg/cm^2)

f_c = Resistencia admisible en tensión del concreto (kg/cm^2)

T = fuerza de tensión anular (kg/cm)

A_c = Área de concreto en tensión (cm^2)

A_s = Área de acero en tensión (cm^2)

n = Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto

2.2.3.3. Cálculo del Esfuerzo Anular

El tanque se analizará sin considerar la cúpula de concreto, y su condición de carga será la Condición 1 como se muestra en la figura 4, por ser la condición más crítica.

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

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

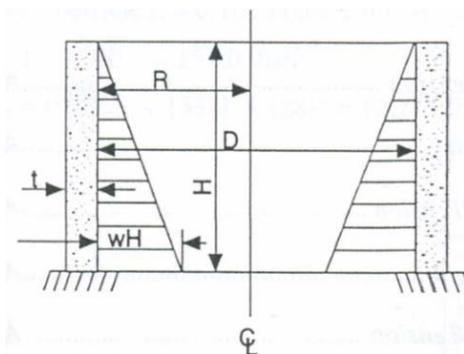


Figura 5. Presión del agua en la pared del Reservorio

Fuente: (Portland Cement Association, 1993)

Donde:

t: Espesor de la pared

H: Altura del Agua

D: Diámetro interno del tanque o reservorio

R: Radio interno del tanque o reservorio

w: Peso específico del líquido

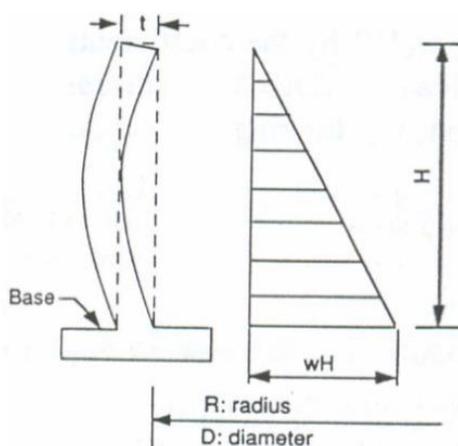


Figura 6 Empotramiento en la base y rotación angular en el extremo superior

Fuente: (Portland Cement Association, 1993)

Según el PCA (Portland Cement Association), recomienda el uso de tablas en función de las condiciones de extremo y apoyo, en el cual se sigue el siguiente procedimiento:

- Se calcula el factor $H^2 / D \cdot t$
- Con el valor obtenido se observa la tabla 1 de tensión anular y en la columna $H^2 / D \cdot t$ se busca el valor obtenido y se eligen los coeficientes de tensión anular de esa fila que varían en función de la altura, que luego multiplicarán a W .

Tabla 1. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Anular.

$\frac{H^2}{Dt}$	0.0 H	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.5 H	0.6 H	0.7 H	0.8 H	0.9 H
0.4	+0.149	+0.134	+0.120	+0.101	+0.082	+0.066	+0.049	+0.029	+0.014	+0.004
0.8	+0.263	+0.239	+0.215	+0.190	+0.160	+0.130	+0.096	+0.063	+0.034	+0.010
1.2	+0.283	+0.271	+0.254	+0.234	+0.209	+0.180	+0.142	+0.099	+0.054	+0.016
1.6	+0.265	+0.268	+0.268	+0.266	+0.250	+0.226	+0.185	+0.134	+0.075	+0.023
2.0	+0.234	+0.251	+0.273	+0.285	+0.285	+0.274	+0.232	+0.172	+0.104	+0.031
3.0	+0.134	+0.203	+0.267	+0.322	+0.357	+0.362	+0.330	+0.262	+0.157	+0.052
4.0	+0.067	+0.164	+0.256	+0.339	+0.403	+0.429	+0.409	+0.334	+0.210	+0.073
5.0	+0.025	+0.137	+0.245	+0.346	+0.428	+0.477	+0.469	+0.398	+0.259	+0.092
6.0	+0.018	+0.119	+0.234	+0.344	+0.441	+0.504	+0.514	+0.477	+0.301	+0.112
8.0	-0.011	+0.104	+0.218	+0.335	+0.443	+0.534	+0.575	+0.530	+0.381	+0.151
10.0	-0.011	+0.098	+0.208	+0.323	+0.437	+0.542	+0.608	+0.589	+0.440	+0.179
12.0	-0.005	+0.097	+0.202	+0.312	+0.429	+0.543	+0.628	+0.633	+0.494	+0.211
14.0	-0.002	+0.098	+0.200	+0.306	+0.420	+0.539	+0.639	+0.666	+0.541	+0.241
16.0	0.000	+0.099	+0.199	+0.304	+0.412	+0.531	+0.641	+0.687	+0.582	+0.265

Fuente: (Portland Cement Association, 1993). Tabla A-1

- Luego se calcula el valor de “ w_u ” de donde:
 $w_u = \text{Factor de carga} \cdot \text{Coeficiente sanitario} \cdot \text{Peso específico del agua}$
- Posteriormente se calcula $W = w_u \cdot H \cdot R$, y se multiplican por los coeficientes de tensión anular, con el cual se tiene los valores de la fuerza anular por unidad de longitud.
- Con la fuerza de tensión se verifica el espesor del muro

2.2.3.4. Cálculo del Esfuerzo a Flexión

Para determinar los momentos por flexión se calcula un valor $W = w_u \cdot H^3$
 Este valor se multiplica por los coeficientes de la tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo a Flexión

$\frac{H^2}{Dt}$	0.0 H	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.5 H	0.6 H	0.7 H	0.8 H	0.9 H
0.4	+0.005	+0.0014	+0.0021	+0.0007	-0.0042	-0.0150	-0.0302	-0.0529	-0.0816	-0.1205
0.8	+0.0011	+0.0037	+0.0063	+0.0080	+0.0070	+0.0023	-0.0068	-0.0224	-0.0465	-0.0795
1.2	+0.0012	+0.0042	+0.0077	+0.0103	+0.0112	+0.0090	+0.0022	-0.0108	-0.0311	-0.0602
1.6	+0.0011	+0.0041	+0.0075	+0.0107	+0.0121	+0.0111	+0.0058	-0.0051	-0.0232	-0.0505
2.0	+0.0010	+0.0035	+0.0068	+0.0099	+0.0120	+0.0115	+0.0075	-0.0021	-0.0185	-0.0436
3.0	+0.0006	+0.0024	+0.0047	+0.0071	+0.0090	+0.0097	+0.0077	+0.0012	-0.0119	-0.0333
4.0	+0.0003	+0.0015	+0.0028	+0.0047	+0.0066	+0.0077	+0.0069	+0.0023	-0.0080	-0.0268
5.0	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0029	+0.0046	+0.0059	+0.0059	+0.0028	-0.0058	-0.0222
6.0	+0.0001	+0.0003	+0.0008	+0.0019	+0.0032	+0.0046	+0.0051	+0.0029	-0.0041	-0.0187
8.0	.0000	+0.0001	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0028	+0.0038	+0.0029	-0.0022	-0.0146
10.0	.0000	.0000	+0.0001	+0.0004	+0.0007	+0.0019	+0.0029	+0.0028	-0.0012	-0.0122
12.0	.0000	.0000	+0.0001	+0.0002	+0.0003	+0.0013	+0.0023	+0.0026	-0.0005	-0.0104
14.0	.0000	.0000	.0000	.0000	+0.0001	+0.0008	+0.0019	+0.0023	-0.0001	-0.0090
16.0	.0000	.0000	.0000	-0.0002	-0.0001	+0.0004	+0.0013	+0.0019	+0.0001	-0.0079

Fuente: (Portland Cement Association, 1993) Tabla A-2

Quando se obtengan los momentos positivos y negativos, se realizará el diseño respectivo.

$$a = d - \sqrt{d^2 - 2 \frac{|Mu|}{0.85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot b \cdot 100}}$$

$$A_s = 0.85 \cdot \frac{f_c \cdot b \cdot 100 \cdot a}{f_y}$$

$$s = \frac{\text{Área de acero} \cdot b}{A_s}$$

Donde:

Mu= Momento último

A_s= área de acero

f_c= Resistencia a la compresión del Concreto

Ø= 0.90, Coeficiente de Reducción

s= espaciamiento entre varillas de acero

d= peralte efectivo

b= base

2.2.3.5. Cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo

Se calcula la resistencia del concreto:

$$V_c = \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

Donde:

$$\phi = 0.85, \text{ Coeficiente de Reducción}$$

Se utiliza un factor de carga igual a 1.00 y el coeficiente de obtendrá de la siguiente tabla, suponiendo que $V < \phi V_c$

Tabla 3. Coeficientes para el cálculo del Esfuerzo Cortante Máximo.

$\frac{H^2}{Dt}$	Triangular load, fixed base	Rectangular load, fixed base	Triangular or rectangular load, hinged base	Moment at edge
0.4	+0.436	+0.755	+0.245	-1.58
0.8	+0.374	+0.552	+0.234	-1.75
1.2	+0.339	+0.460	+0.220	-2.00
1.6	+0.317	+0.407	+0.204	-2.28
2.0	+0.299	+0.370	+0.189	-2.57
3.0	+0.262	+0.310	+0.158	-3.18
4.0	+0.236	+0.271	+0.137	-3.68
5.0	+0.213	+0.243	+0.121	-4.10
6.0	+0.197	+0.222	+0.110	-4.49
8.0	+0.174	+0.193	+0.096	-5.18
10.0	+0.158	+0.172	+0.087	-5.81
12.0	+0.145	+0.158	+0.079	-6.38
14.0	+0.135	+0.147	+0.073	-6.88
16.0	+0.127	+0.137	+0.068	-7.36
20.0	+0.114	+0.122	+0.062	-8.20
24.0	+0.102	+0.111	+0.055	-8.94
32.0	+0.089	+0.096	+0.048	-10.36
40.0	+0.080	+0.086	+0.043	-10.62
48.0	+0.072	+0.079	+0.039	-12.76
56.0	+0.067	+0.074	+0.036	-13.76

Fuente: (Portland Cement Association, 1993). Tabla A-12

Se calcula el factor "wu", para luego calcular "W":

$$W = W_u \cdot H^2$$

Luego se calcula Vu

$$V_u = (\text{factor obtenido de tabla}) \cdot W \cdot 1000$$

Finalmente, se verifica que se cumpla la siguiente expresión:

$$V_u < \phi V_c$$

2.2.4. Método de Housner

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

Housner, en su modelo representa el movimiento del agua ante acciones sísmicas considerando dos tipos de masa, la primera la masa impulsiva M_o que se mantiene fija a la pared rígida del tanque y la masa convectiva M_1 que se encuentra móvil conectada a la pared del tanque por medio de resortes.

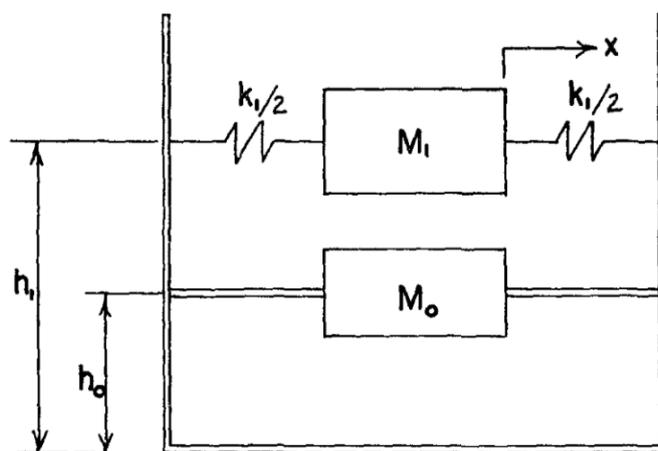


Figura 7. Modelo mecánico Housner

Fuente: (Housner G. , 1963, p. 2)

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

2.2.5. Normativa americana para el análisis sísmico dinámico de reservorios elevados

En la normativa peruana no se dispone de una norma para realizar el análisis y diseño de estructurales hidráulicas como los reservorios apoyados. Existen códigos internacionales que brindan recomendaciones mínimas a tener en cuenta durante la etapa de análisis y diseño como la normativa norteamericana ACI 350.3-06.

Diversos investigadores muestran como alternativa la aplicación del código ACI 350.3-06 (Noviembre 2006), adaptándolo a las recomendaciones de diseño sismorresistente de la Norma Técnica Peruana E. 030 (2018)

En el capítulo 9 del ACI 350.3-06, modelo dinámico, se muestran las ecuaciones para el modelo hidrodinámico equivalente adaptado del modelo propuesto por Housner en 1963.

El procedimiento a seguir en el análisis sísmico es:

a. Determinar la masa de la estructura que activa el sismo:

Peso del agua

$$W_a = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \gamma_{agua}$$

$$m_a = \frac{W_a}{g}$$

Para el caso de los reservorios circulares, se tienen las siguientes ecuaciones tomadas del capítulo 9 del ACI 350.3-06.

b. Calcular los parámetros de modelo dinámico

Cálculo de la masa impulsiva:

$$m_i = \frac{\tanh\left(0.866 \cdot \frac{D}{H_L}\right)}{0.866 \cdot \frac{D}{H_L}} \cdot m_L$$

Donde m_i es la masa equivalente de la componente impulsiva, D es el diámetro interior de la cuba del reservorio apoyado en metros, H_L es la altura de agua libre interior de la cuba del reservorio en metros, y m_L la masa total del agua del reservorio.

Cálculo de la masa convectiva:

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

Donde m_c es la masa equivalente de la componente convectiva.

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

$$h_i = H_L \left(0.5 - \frac{0.09375}{\frac{D}{H_L}} \right) \quad \frac{D}{H_L} < 1.333$$

$$h_i = 0.375 H_L \quad \frac{D}{H_L} \geq 1.333$$

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

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

En el Perú se cuenta con la norma E. 030 Diseño Sismorresistente, que en el Capítulo I, Artículo 1.1 indica lo siguiente: “Mientras no se cuente con normas nacionales específicas para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, túneles y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, se debe utilizar los valores Z y S del Capítulo II amplificados de acuerdo a la importancia de la estructura considerando la práctica internacional”.

Por lo tanto, el resto del diseño sísmico de un reservorio circular se basará en la respectiva norma.

- c. Selección de parámetros para el análisis dinámico, según ACI 350.3.01 y RNE E. 030:

En el Artículo 10, de la Norma E. 030, se indica lo siguiente:

Artículo 10.- Zonificación

10.1. El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 10. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en la información neotécnica.



Figura 8. Zonas sísmicas.

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

10.2. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la siguiente tabla. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 4. Factores de Zona.

ZONA	Z
4	0.45
3	0.4
2	0.3
1	0.15

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

En el Artículo 12 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 12.- Condiciones Geotécnicas

12.1. Perfil de Suelo

12.1.1. Para los efectos de esta Norma, los perfiles de sueño se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s), alternativamente para sueños granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u), para suelos cohesivos. Estas propiedades se determinan para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación, como se indica en el numeral 12.2.

12.1.2. Para los suelos predominantes granulares, se calcula \bar{N}_{60} considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantes cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

12.1.3. Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de \bar{N}_{60} para los estratos con suelos granulares y de (\bar{S}_u) para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más desfavorable.

12.1.4. Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

a) Perfil Tipo S_0 : Roca Dura

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte \bar{V}_s mayor que 1500 m/s. Las mediciones corresponden al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de \bar{V}_s .

b) Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

b.1) Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada q_u mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm^2).

b.2) Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.

b.3) Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u mayor que 100 kPa (1 kg/cm^2) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

c) Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

c.1) Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.

c.2) Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 50 kPa (0.5 kg/cm^2) y 100 kPa (1 kg/cm^2) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

d) Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

d.1) Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.

d.2) Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , entre 25 kPa (0.25 kg/cm^2) y 50 kPa (0.5 kg/cm^2) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

d.3) Cualquier perfil que no corresponda al tipo S_4 y que tenga más de 3m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P_I mayor que 20, contenido de humedad ω mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u menor que 25 kPa.

e) Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente

desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Solo es necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

La tabla N° 5 resume los valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo.

Tabla 5. Clasificación de los perfiles de suelo.

Perfil	V_s	N_{60}	S_u
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25kPa a 50kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

En el Artículo 13 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 13.- Parámetros de Sitio (S, TP y TL)

Se considera el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los periodos T_p y T_L dados en las tablas N° 6 y N° 7.

Tabla 6. Factor del Suelo "S".

ZONA	SUELO			
	S_0	S_1	S_2	S_3
Z4	0.8	1.00	1.05	1.10
Z3	0.8	1.00	1.15	1.20
Z2	0.8	1.00	1.20	1.4
Z1	0.8	1.00	1.6	2.00

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Tabla 7. 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: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

En el Artículo 14 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 14.- Factor de Amplificación Sísmica (C)

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

$$T < T_P \qquad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \qquad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \qquad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

T es el período de acuerdo al numeral 28.4, concordado con el numeral 29.1

En el Artículo 15 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 15.- Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Cada estructura está clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 8. El factor de uso o importancia (U), definido en la Tabla N°8 se usa según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se puede considerar U=1.

Tabla 8. Categoría de las edificaciones y Factor U.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	A1: Establecimiento del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud	Ver nota 1
A Edificaciones Esenciales	<p>A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general de aquellas edificaciones que pueden servir de refugio después de un desastre. Se incluye las siguientes edificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de Salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales municipales. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede presentar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificaciones que almacén archivos e información esencial del Estado. 	1.5
B Edificaciones Importantes	<p>Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros; establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos o bibliotecas.</p> <p>También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.</p>	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares	Ver nota 2

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

En el Artículo 29 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 29.- Análisis Dinámico Modal Espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral.

29.1. Modos de vibración

29.1.1. Los modos de vibración pueden determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

29.1.2. En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

29.2. Aceleración Espectral

29.2.1. Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

En el Artículo 31 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 31.- Determinación de Desplazamientos Laterales

31.1. Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos se calcular multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico:

En el Artículo 32 de la Norma E. 030, se señala lo siguiente:

Artículo 32.- Desplazamientos Laterales Relativos admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla 9.

Tabla 9. Límites para la distorsión del entrepiso.

Material Predominante	$(\Delta l / h_{ei})$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: (Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente, 2018)

Para calcular el Factor R, se utilizará la siguiente tabla:

Tabla 10. Factor R Modificado.

Tipo de Tanque	Rwi superficiales	Enterrado	Rwc
(a) Tanques anclados o base flexible	4.5	4.5 ^f	1.0
(b) Tanques de base fija o articulada	2.75	4.0	1.0
(c) Tanques sin anclar, encerrados abiertos	2.0	2.75	1.0
(d) Tanques Elevados	3.0	-----	1.0

Fuente: ACI 350.3-01 (2001)

Para calcular el Factor de Importancia o Uso se utilizará la siguiente tabla:

Tabla 11. Factor de categoría de la estructura

	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 N°4.1.1(a) (ACI Committee 350, Noviembre 2006, p. 20)

2.2.6. Ensayo destructivo de perforación con brocas diamantadas (2011)

Se realiza este ensayo con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto "in situ", generalmente los especímenes del ensayo serán obtenidos cuando exista una duda acerca de la calidad del concreto colocado "in situ" debido a resultados bajos de resistencia durante la construcción o existan indicios de daños en la estructura. Adicionalmente, este ensayo puede ser utilizado para obtener información de resistencias de estructuras antiguas.

2.2.6.1. Materiales, Equipos y otros

- Brocas diamantinas
- Testigos cilíndricos
- Cablibrador o vernier de 0.5 mm de precisión
- Bomba de agua inyectora

2.2.6.2. Procedimiento del Ensayo

- Los testigos cilíndricos para ensayos de compresión se extraen con un equipo sonda provista de brocas diamantadas, el concreto deberá tener por lo menos 14 días de colocado.
- Deben tomarse tres especímenes para analizar el $f'c$.
- La extracción debe realizarse en forma perpendicular a la superficie, cuidando que en la zona no existan juntas, ni se encuentren próximas a los bordes.
- Deberán descartarse las probetas dañadas o defectuosas.

2.2.6.3. Criterios de aceptación

Se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es mayor al 85% del $f'c$ y ningún núcleo es menor del 75% del $f'c$ del elemento estructural.

2.2.6.4. Aplicación del ensayo en obras de infraestructura

- Cuando la resistencia de las probetas, modelados al pie de obra es baja.
- Se han presentado anomalías en el desarrollo de la construcción.
- Fallas de curado.
- Aplicación temprana de cargas.
- Incendio.
- Estructuras antiguas.
- No se cuenta con registros de resistencia

2.2.7. Ensayo no destructivo: Ensayo de resistencia del concreto

Este ensayo consiste en el impacto de un martillo de acero con una cantidad predeterminada de energía, sobre un émbolo de acero en contacto con la superficie de concreto y se mide la distancia que el martillo rebota.

2.2.7.1. Aparatos

- **Martillo de rebote:** Consiste en un martillo de acero, con resorte de carga, que al ser liberado impacta sobre un émbolo de acero en contacto con la superficie del concreto. El martillo de rebote debe moverse a una velocidad constante y reproducible. La distancia de rebote del martillo de acero, luego del impacto, es medida sobre una escala lineal adherida al marco del instrumento.

- **Piedra abrasiva:** Consistente en carburo de silicio con textura de grano medio o un material equivalente.
- **Verificación:** Los martillos de rebote deberán ser revisados y verificados anualmente y siempre que se presenten dudas sobre su funcionamiento. El fabricante deberá informar el número de rebotes que se obtienen por un instrumento que funcione correctamente, cuando se ensaya sobre un yunque de ensayo, de dureza especificada.

2.2.7.2. Área de prueba e interferencias

- **Selección de la superficie de ensayo:** Las estructuras de concreto a ser ensayadas serán de por lo menos 100 mm de espesor y deberán estar fijadas dentro de una estructura. Los especímenes más pequeños deberán estar rígidamente soportados. Deberán evitarse las superficies de concreto que presenten escamaduras o alta porosidad. No comparar los resultados de los ensayos, si no es similar el material utilizado contra el cual se colocó el concreto. Las superficies alisadas generalmente exhiben números de rebote más altos que otras formas de acabado. Si es posible, las losas estructurales deberán ser ensayadas en la parte inferior para evitar superficies terminadas.
- **Preparación de la superficie de ensayo:** El área de ensayo será de por lo menos 150 mm de diámetro. Las superficies de textura excesivamente suave, blandas o con mortero suelto, deberán ser pulidas con piedra abrasiva. Las superficies lisas o escarbadas a la plancha no tendrán que ser pulidas. No deberán compararse resultados de superficies desgastadas con superficies sin desgastar. Eliminar el agua libre superficial, si está presente, antes del ensayo.
- Para que las lecturas sean comparadas, deben corresponder a ensayos efectuados a la misma dirección de impacto; horizontal ascendente, descendente, o en otros ángulos, o se aplicarán los factores de corrección a las lecturas.
- No realizar ensayos directamente sobre barras de refuerzo con recubrimiento menor de 20 mm.

2.2.7.3. Procedimiento

Sostener el instrumento firmemente para que el émbolo esté perpendicular a la superficie de ensayo. Gradualmente empujar el instrumento hacia la superficie de la

estructura hasta que el martillo impacte. Después del impacto, mantener presionado el instrumento y, si es necesario, oprimir el botón situado al costado del instrumento para trabar el émbolo en su posición retraída. Leer y registrar el número del rebote en la escala, aproximándolo al entero. Tomar diez lecturas de cada área de ensayo. Los ensayos de impacto estarán separados por más de 25 mm.

2.2.7.4. Cálculo

Descartar las lecturas que difieran del promedio de las 10 lecturas por más de 6 unidades y determinar el promedio de las lecturas restantes. Si más de dos lecturas difieren de este promedio por 6 unidades, desechar todas las lecturas y determinar los números del rebote en 10 nuevas ubicaciones dentro del área de ensayo.

2.2.8. Vulnerabilidad Sísmica:

Se refiere a que tan vulnerables son los elementos estructurales de una estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella, puesto que están encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre ellos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, etc. (Slide Share, 2015)

2.2.9. Concreto y sus clasificaciones:

“Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2009)

Tipos de concreto:

Según RNE (2009, p. 26) define los tipos de concreto como:

- Concreto Simple: “Concreto estructural sin armadura de refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado”.
- Concreto armado: “Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero”.
- Concreto Premezclado: “Es el concreto que se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra”.

- **Concreto Preesforzado:** “Concreto estructural al que se le han introducido esfuerzos internos con el fin de reducir los esfuerzos potenciales de tracción en el concreto causados por las cargas”.

2.3. Definición de términos

Estudio Patológico: “Análisis exhaustivo del proceso patológico con el objeto de alcanzar las conclusiones que nos permitan proceder a la consiguiente reparación”. (Broto, 2007)

Evaluación de estructuras contenedoras de líquidos: El reglamento ACI 350.3 es el que muestra las metodologías de análisis de estructuras contenedoras de líquidos y el ACI 350M es el que brinda los alcances necesarios para el diseño de estas estructuras. (Campos, 2018)

Masa convectiva: Es la masa que observándola desde un plano de referencia estático está en un movimiento desordenado que se mueve impactando contra las paredes del reservorio. (Torres & Montalván, 2018)

Masa impulsiva: Es la masa que observándola desde un plano de referencia estático esta firme y al producirse un movimiento sísmico esta se mueve con la misma frecuencia que las paredes del reservorio. (Torres & Montalván, 2018)

Sismo: “Son movimientos irregulares del terreno en cualquier dirección y son causados por actividad volcánica o tectónica, los más graves son de origen tectónico”. (Campos, 2018)

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y Nivel de la investigación

3.1.1. Tipo de la investigación

El tipo de estudio es descriptivo porque busca describir el estado estructural en el que se encuentra el Reservorio R-15 con el fin de realizar el análisis y procesamiento.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es integrativo porque el objetivo de la investigación es determinar si la estructura es vulnerable sísmicamente.

3.2. Población y/o muestra de estudio

Para la presente investigación del proyecto, la población está dada por todos los reservorios de la ciudad de Tacna.

La muestra está comprendida por el Reservorio R-15 del distrito de Viñani, provincia de Tacna, departamento de Tacna.



Figura 9. Ubicación del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna

Fuente: Google Earth



Figura 10. Vista frontal del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna

Fuente: Google Maps

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 12. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO
Variable dependiente: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	Es un procedimiento mediante el cual se puede determinar el estado estructural de una edificación existente	Tensiones anulares	Tensión anular máxima = 92.682 Tn	Descriptivo y explicativo
		Momentos obtenidos del diseño por flexión	Mmax(+) = 2.795 Tn.m Mmax (-) = -9.604 Tn.m	
		Fuerza cortante	< Vc (Vc: Resistencia a cortante del concreto)	
		Distorsión máxima	< 0.007	
Variable independiente: RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA	Los reservorios son elementos estructurales hidráulicos fundamentales en una red de abastecimiento de agua potable, su aplicación permite la preservación del agua para el uso de la población en el cual se construyen.	Resistencia del concreto	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	Descriptivo y explicativo
		Ubicación	Sector de Viñani	
		Tipo de reservorio	Apoyado	

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Investigación bibliográfica
- Recolección de planos brindados por la EPS Tacna S.A. y observación experimental en muro lateral mediante visitas al reservorio
- Recolección de datos de ensayos de laboratorio realizados en Laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos "Técnicos e Ingenieros E.I.R.L".

3.4.2. Instrumentos

- Esclerómetro o martillo de rebote

- Cemento grout 212
- Sikadur 32
- Brocha
- Pernos de anclaje de 1 1/2x4"
- Equipo de perforación
- Taladro
- Agua

3.5. Esquema metodológico

Esquema Metodológico General

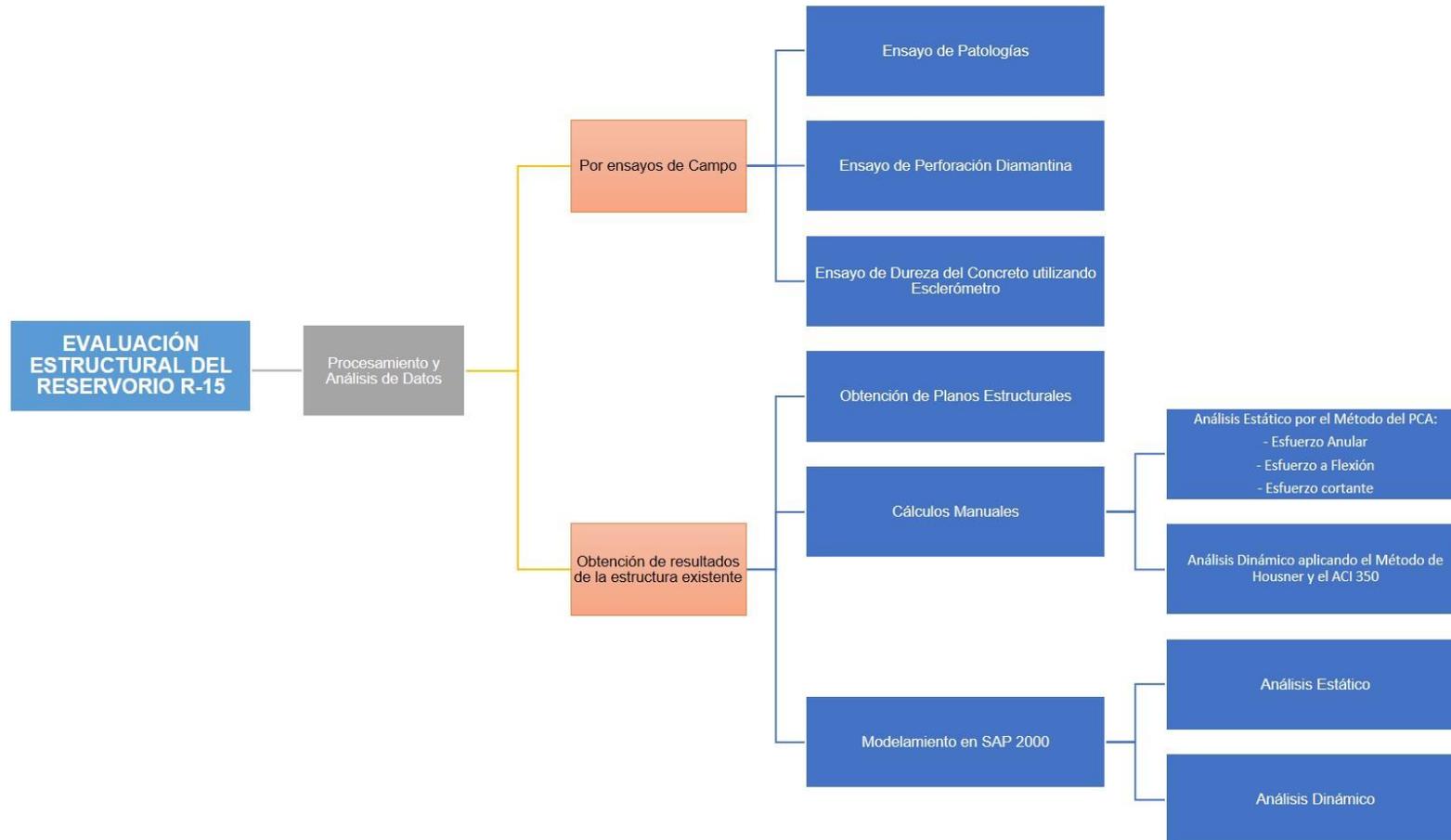


Figura 11. Esquema Metodológico General

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos de la investigación que utilizamos son los siguientes:

POR ENSAYOS DE CAMPO

- Ensayo de Dureza del Concreto utilizando Esclerómetro
- Ensayo de Perforación Diamantina
- Evaluación de Patologías

POR ANÁLISIS DE DATOS PARA OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

- Cálculos Manuales
- Modelamiento en SAP 2000

A. POR ENSAYOS DE CAMPO

- **ENSAYO DE DUREZA DEL CONCRETO UTILIZANDO ESCLERÓMETRO**

OBJETIVO:

Este ensayo tiene como objetivo determinar niveles de calidad de dureza cuando no se tiene información al respecto o también apreciar cuando se cuenta con información, la evolución de la resistencia de la estructura.

MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS:

- Esclerómetro o martillo de rebote

PROCEDIMIENTO:

El esclerómetro lo utilizamos en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar y se ejerce presión para permitir que el embolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión, eliminando la presión sobre el martillo, cuidando siempre que se conserve la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto. Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura en la ventana de la escala graduada, registrando el índice de rebote, medido de 10 a 100.

- **ENSAYO DE PERFORACION CON BROCA DIAMANTADA**

OBJETIVO:

Este ensayo tiene como objetivo obtener muestras de núcleos que reflejen las condiciones de la estructura y que sean apropiados para la determinación de las propiedades físicas normales de ensayo y para la verificación de la integridad estructural. Es un ensayo destructivo.

MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS:

- Cemento grout 212
- Sikadur 32
- Brocha
- Pernos de anclaje de 1 1/2x4"
- Equipo de perforación
- Taladro
- Agua

PROCEDIMIENTO:

Iniciamos utilizando el detector de acero, marcamos 3 puntos de donde sacaríamos las muestras, seguidamente con el taladro, se hicieron agujeros donde se anclarían los pernos junto con el equipo, una vez puesto se daba inicio a la perforación y recolección de muestras.

- **EVALUACIÓN DE PATOLOGÍAS**

OBJETIVO:

Reconocer los tipos de patologías del concreto armado del reservorio R-15 de la ciudad de Tacna.

MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS:

- Wincha
- Brocha para limpieza
- Cámara fotográfica digital
- Libros, tesis de referencia, para conocer los diferentes tipos de patologías en estructuras de concreto armado.

PROCEDIMIENTO:

Iniciamos dividiendo en 4 zonas el muro del reservorio para evaluar las patologías que se presentan en cada una de estas. Los tipos de patologías que se pueden encontrar son: Erosión, grieta, eflorescencia, corrosión, disgregación, etc. En caso de encontrarse alguna de ellas, se tomará las medidas correspondientes para obtener su dimensión y así determinar su nivel de severidad

B. POR ANÁLISIS DE DATOS PARA OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

OBJETIVO:

Modelar la estructura del reservorio en el programa SAP 2000 VERSION 19, con la finalidad de determinar las cargas actuantes que afectan al comportamiento estructural del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna.

PROCEDIMIENTO:

Realizamos el modelamiento del reservorio con ayuda de planos y del programa SAP2000, una vez modelada la estructura aplicamos las distintas cargas que van a actuar en el reservorio, las cuales se obtuvieron para comprobar que el reservorio R-15 de la Ciudad de Tacna tendrá un correcto comportamiento sísmico.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados recopilados en campo

En el Reservorio R-15 se realizaron dos tipos de ensayos, destructivos y no destructivos, con la finalidad de hallar la resistencia del concreto teniendo como resultado las siguientes tablas:

4.1.1. Ensayos no destructivos:

4.1.1.1. Evaluación de patologías

Para realizar esta evaluación decidimos dividir en 4 zonas toda la estructura del Reservorio R-15.

Los resultados de este ensayo se encuentran en las siguientes hojas:

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN

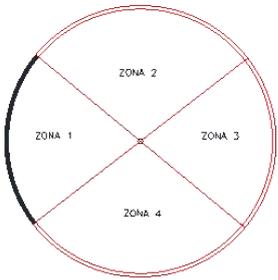
Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Área de evaluación: Zona 1 (108 m²)

UBICACIÓN EN PLANO DE PLANTA	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
	
TIPOS DE PATOLOGÍAS	FOTOGRAFÍA
<p>(G) GRIETA (EF) EFLORESCENCIA </p> <p>(E) EROSIÓN (C) CORROSIÓN </p> <p>(D) DISGREGACIÓN </p>	
NIVEL DE SEGURIDAD	
NINGUNO - N	
LEVE - L	
MODERADO - M	
SEVERO - S	

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN

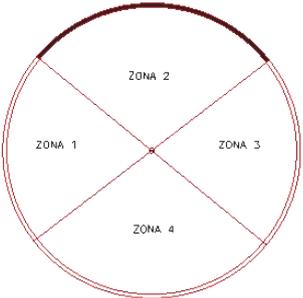
Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Área de evaluación: Zona 2 (108 m²)

UBICACIÓN EN PLANO DE PLANTA	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
	
TIPOS DE PATOLOGÍAS	FOTOGRAFÍA
<p>(G) GRIETA (EF) EFLORESCENCIA </p> <p>(E) EROSIÓN (C) CORROSIÓN </p> <p>(D) DISGREGACIÓN </p>	
NIVEL DE SEGURIDAD	
NINGUNO - N	
LEVE - L	
MODERADO - M	
SEVERO - S	

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN

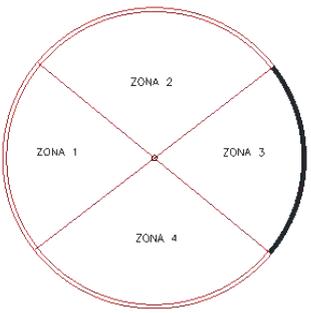
Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Área de evaluación: Zona 3 (108 m²)

UBICACIÓN EN PLANO DE PLANTA	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
	
TIPOS DE PATOLOGÍAS	FOTOGRAFÍA
<p>(G) GRIETA (EF) EFLORESCENCIA </p> <p>(E) EROSIÓN (C) CORROSIÓN </p> <p>(D) DISGREGACIÓN </p>	
NIVEL DE SEGURIDAD	
NINGUNO - N	
LEVE - L	
MODERADO - M	
SEVERO - S	

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN

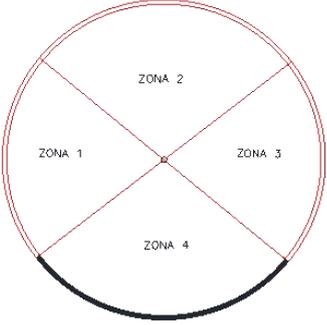
Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Área de evaluación: Zona 4 (108 m²)

UBICACIÓN EN PLANO DE PLANTA	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
	
TIPOS DE PATOLOGÍAS	FOTOGRAFÍA
<p>(G) GRIETA (EF) EFLORESCENCIA </p> <p>(E) EROSIÓN (C) CORROSIÓN </p> <p>(D) DISGREGACIÓN </p>	
NIVEL DE SEGURIDAD	
NINGUNO - N	
LEVE - L	
MODERADO - M	
SEVERO - S	
ANEXO	
<p>EN LA IMAGEN SE PUEDE APRECIAR QUE EN LA ZONA 4 SE ENCUENTRA LA CIMENTACIÓN EXPUESTA, PRODUCTO DE UN PROYECTO COMPLEMENTARIO A LA OBRA DEL RESERVORIO QUE FUE PARALIZADO EN EL AÑO 2018. ACTUALMENTE ESTO PONE EN PELIGRO EL CIMIENTO DEL RESERVORIO Y TAMBIÉN A LOS VECINOS DE LA ZONA DE SUCEDER ALGÚN EVENTO SÍSMICO.</p>	

4.1.1.2. Ensayo de resistencia del concreto utilizando el esclerómetro

Los resultados de este ensayo se encuentran en las siguientes hojas:

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO EL ESCLERÓMETRO (ASTM – C805)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Código: ASTM – C 805

UBICACIÓN DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS:

En la siguiente figura se observa los puntos en donde se obtuvieron las muestras del ensayo de resistencia del concreto utilizando esclerómetro:

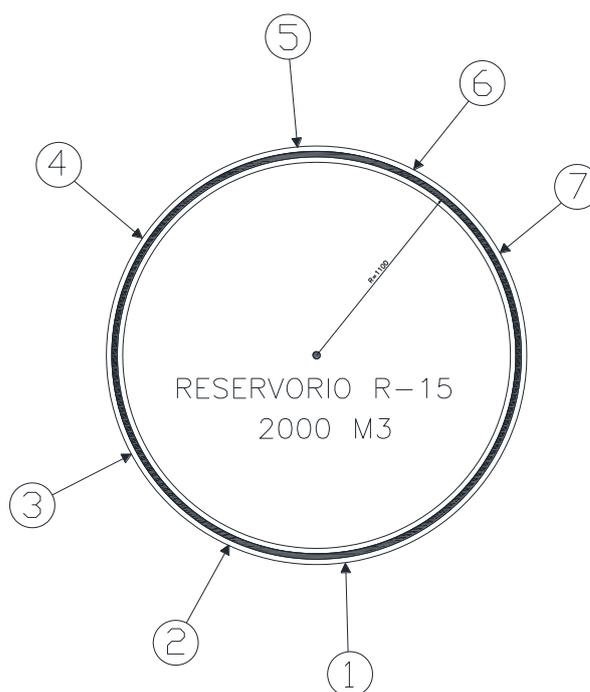


Figura 12. Vista en planta del Reservorio R-15 donde se indican los puntos donde se utilizó el esclerómetro.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO EL ESCLERÓMETRO (ASTM – C805)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Código: ASTM – C 805

FOTOS DEL ENSAYO: En las siguientes figuras mostradas a continuación se visualizan el equipo utilizado y el registro del ensayo con esclerómetro:



Figura 13. Ensayo con esclerómetro en el Reservorio R-15.

**ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO EL
ESCLERÓMETRO (ASTM – C805)**

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Código: ASTM – C 805

RESULTADOS: En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del ensayo utilizando el esclerómetro:

Tabla 13. Resumen de resultados de ensayo con esclerómetro - Reservorio R-15.

Nº	DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA	LECTURAS TOMADAS										PRO M.
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	
1	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 1	39	41	46	36	36	37	40	37	43	33	38.8
2	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 2	39	44	32	36	40	42	42	43	42	42	40.2
3	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 3	44	44	45	42	41	41	36	47	32	38	41.0
4	MUROS LATERALES - ANILLO N°1 FILA 4	44	44	35	41	43	43	47	40	42	40	41.9
5	MUROS LATERALES - ANILLO N°1 FILA 5	42	41	40	40	38	33	40	43	46	34	39.7
6	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 6	42	38	40	38	43	42	42	39	41	35	40.0
7	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 7	37	42	40	40	36	40	39	39	42	39	39.4

Como se observa en la tabla 13, se sombrearon las filas 1, 5 y 7 con el fin de indicar que esos fueron los puntos en toda la superficie del Reservorio R-15 donde se obtuvo las lecturas más bajas.

4.1.2. Ensayos destructivos:**4.1.2.1. Ensayo de perforación con broca diamantada:**

Los resultados de este ensayo se encuentran en las siguientes hojas:

ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA DIAMANTADA (NTP 339.059)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Marzo 2019

Código: NTP 339.059

UBICACIÓN DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS:

En la siguiente figura se observan los puntos en donde se obtuvieron las muestras del ensayo de perforación de broca diamantada:

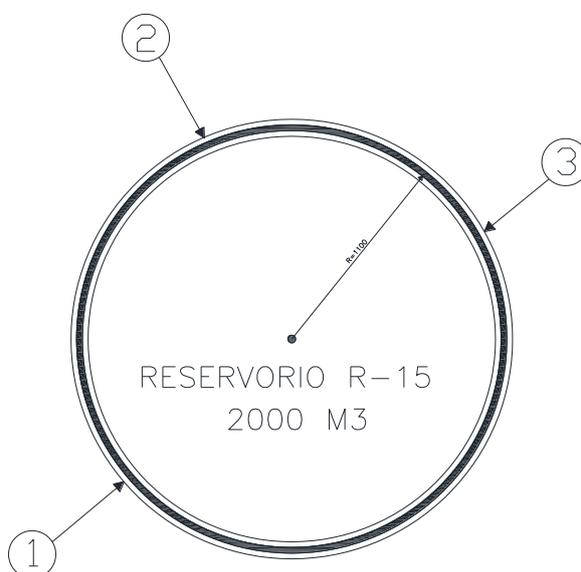


Figura 14. Vista en planta del Reservorio R-15 donde se indican los puntos donde se realizaron las diamantinas.

ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA DIAMANTADA (NTP 339.059)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Marzo 2019

Código: NTP 339.059

CÁLCULO DE GABINETE:

La resistencia corregida se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\text{RESISTENCIA CORREGIDA} = \left(\frac{L \cdot \text{Resistencia}}{D} \right)$$

Donde:

$\frac{L}{D}$: factor de corrección obtenido de tabla (altura/diámetro)

Tabla 14. Factor de corrección por altura y diámetro.

Relación L/D	Factor de Corrección
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: Norma técnica peruana 339.059 (2011)

ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA DIAMANTADA (NTP 339.059)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Marzo 2019

Código: NTP 339.059

FOTOS DEL ENSAYO: En las figuras mostradas a continuación se visualiza el procedimiento realizado para el ensayo de perforación con broca diamantada.



Figura 15. Detector de acero.



Figura 17. Retiro de muestra.



Figura 16. Colocación de equipo de Diamantina.



Figura 18. Muestra de concreto.



Figura 19. Muestras obtenidas.



Figura 21. Muestra en compresión.



Figura 20. Medición de la muestra.



Figura 22. Muestras después de ser comprimidas.

ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA DIAMANTADA (NTP 339.059)

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Marzo 2019

Código: NTP 339.059

RESULTADOS: En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del ensayo utilizando la broca diamantada.

Tabla 15. Resistencias obtenidas de las muestras de la estructura Reservorio R-15.

Nro. de probetas	DESCRIPCIÓN	Diámetro	Altura	Fecha de rotura	Área	Factor de corrección	Lectura	Resist.	Resist. corregida
		cm	cm		cm ²	L/d	kf	kg/cm ²	
1	MUESTRA 01	7.4	7.7	18/01/19	43.01	0.87	18220	423.64	368.57
2	MUESTRA 02	7.5	11.7	18/01/19	44.18	0.96	14990	339.30	325.73
3	MUESTRA 03	7.5	7.2	23/03/19	44.18	0.87	26890	608.67	529.54

Fuente: Laboratorio de suelos, concretos y pavimentos.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La tabla 15, muestra que la resistencia promedio del concreto menos la desviación estándar es de **320 kg/cm²**. Como se observa este valor representa un 130% de la resistencia de diseño (245 kg/cm²).

Además, cabe mencionar que en el ítem 5.6.5.4 de la norma técnica de edificaciones E.060 se indica que: “El concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85% de $f'c$ y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de $f'c$. Cuando los núcleos den valores erráticos de resistencia, se deberán extraer núcleos adicionales de la misma zona”, y como se observa en la tabla 15, las muestras cumplen con lo mencionado en el ítem 5.6.5.4. Por lo que se podría indicar que el Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna es estructuralmente adecuado y cumple con las normas de diseño de nuestro país.

4.2. Resultados obtenidos manualmente y con el software SAP 2000:

Para la evaluación estructural del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna se diseñó con la resistencia obtenida del ensayo de perforación con broca diamantada.

Con respecto a esta evaluación, se procedió a utilizar las fórmulas planteadas en el capítulo II y el programa SAP 2000:

4.2.1. Cálculo del diseño estático del Reservoirio R-15

a) Cálculo de Resistencia:

Tabla 16. Promedio de los valores de resistencia.

Muestras	Resist. (kg/cm ²)
M1	368.57
M2	325.73
M3	529.54
Promedio	407.946667
Desviación estándar	87.7402243
Resistencia final	320

b) Diseño estático en el programa SAP 2000:

Primero se procedió a colocar las dimensiones del reservoirio:

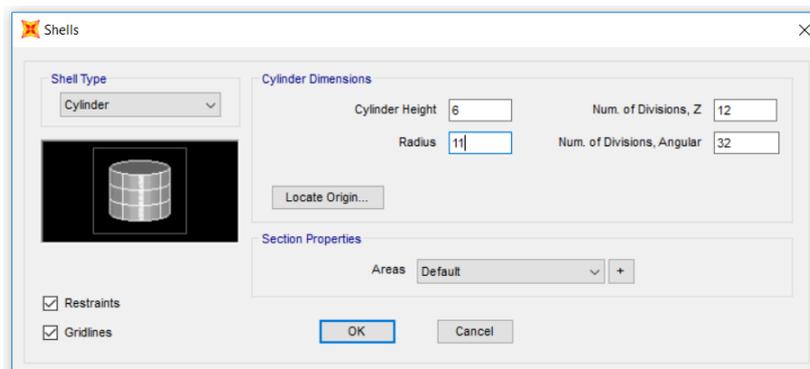


Figura 23. Dimensiones del reservoirio.

Luego, se definió los materiales del reservorio:

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for 'Concrete 320'. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color (Concrete 320), Material Type (Concrete), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (2.4), Mass per Unit Volume (0.2447), and Units (Tonf, m, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E (2683281.6), Poisson, U (0.2), Coefficient Of Thermal Expansion, A (9.900E-06), and Shear Modulus, G (1118034).
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, Fc (3200), Expected Concrete Compressive Strength (3200), and a checkbox for Lightweight Concrete (unchecked). A Shear Strength Reduction Factor field is also present.
- Switch To Advanced Property Display:** A checkbox (unchecked).

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom of the dialog.

Figura 24. Propiedades de los materiales del reservorio.

Ahora, se agregó las cargas actuantes: en este caso serían la carga muerta y la presión de agua (el caso más crítico):

The screenshot shows the 'Define Load Patterns' dialog box. It features a table with the following columns: Load Pattern Name, Type, Self Weight Multiplier, and Auto Lateral Load Pattern. The table contains two entries:

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	Dead	1	
DEAD Presión de agua	Dead Other	1 0	

Buttons for 'Add New Load Pattern', 'Modify Load Pattern', 'Modify Lateral Load Pattern', 'Delete Load Pattern', and 'Show Load Pattern Notes...' are located on the right side. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura 25. Definición de cargas.

Después se asignó los datos a la carga de presión de agua:

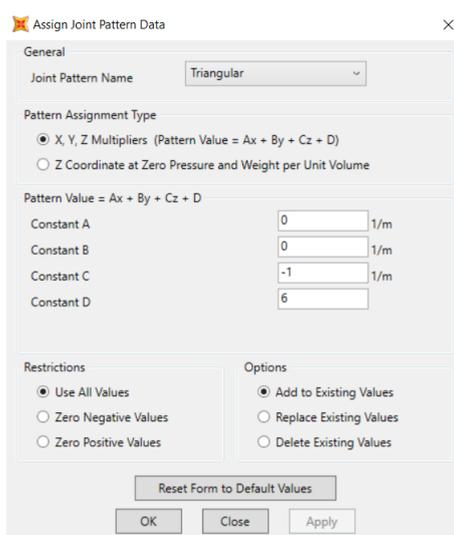


Figura 26. Asignación de valores de presión de agua.

Una vez definido la dirección de la presión, se corrió el programa y se obtuvo los siguientes resultados:

En la figura 28 se puede apreciar que la tensión máxima es 92.682 Tn y se produce a una altura de 2.4 m.

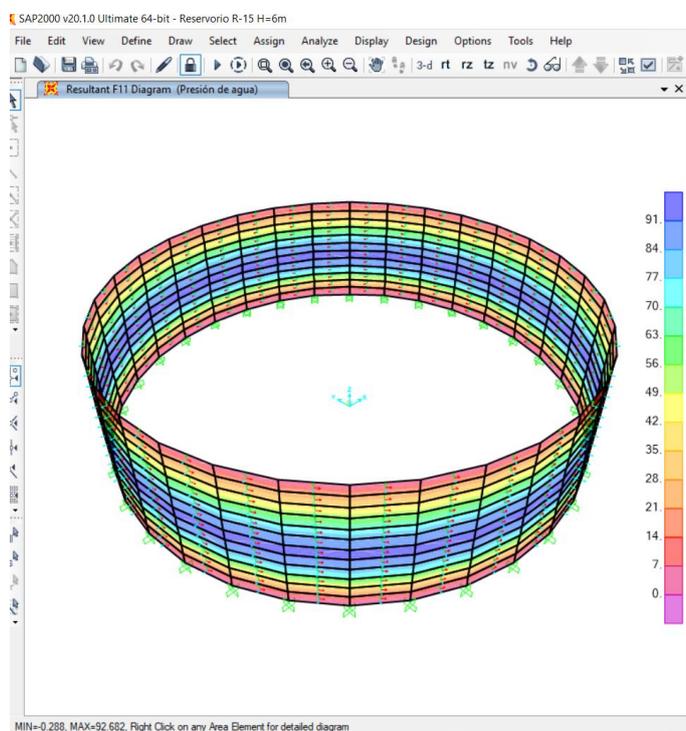


Figura 27. Gráfico de tensiones aplicadas en el muro del reservorio.

En la figura 29, se puede apreciar que el momento positivo máximo es 2.795 Tn.m y se produce a una altura de 1.8 m. Mientras que, el momento negativo máximo es -9.604 Tn.m y se produce en la base del reservorio.

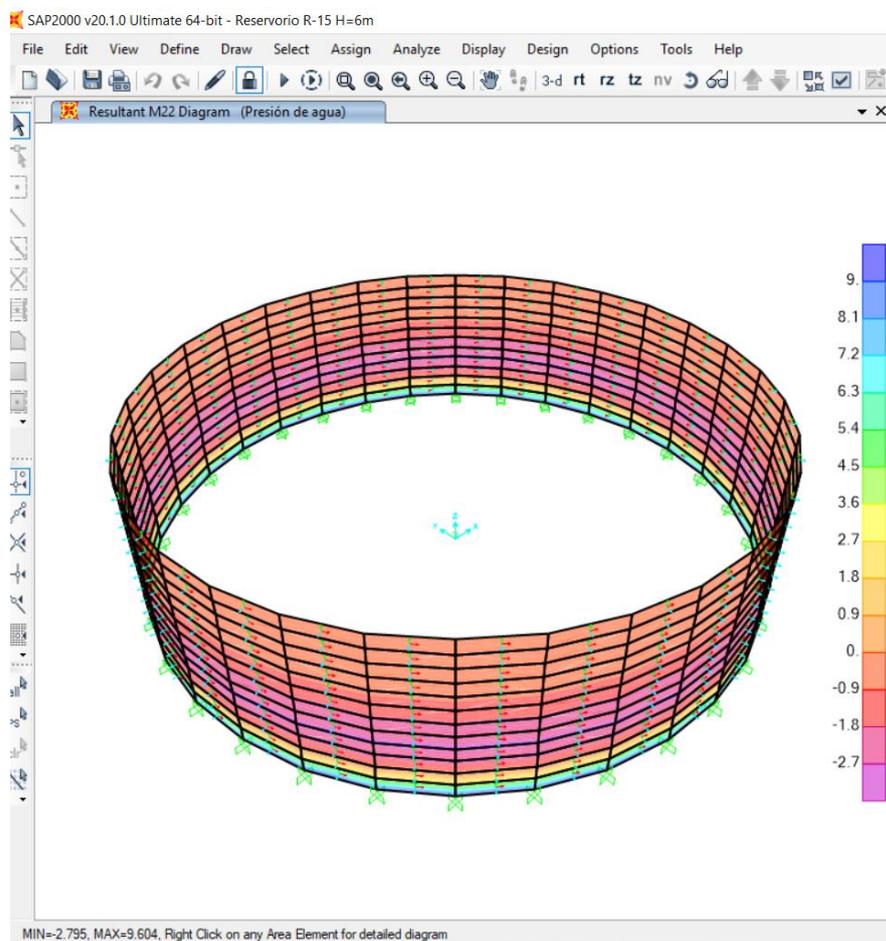


Figura 28. Momentos aplicados en el muro del reservorio

En la figura 30, se puede apreciar las fuerzas cortantes aplicadas en el muro del reservorio:

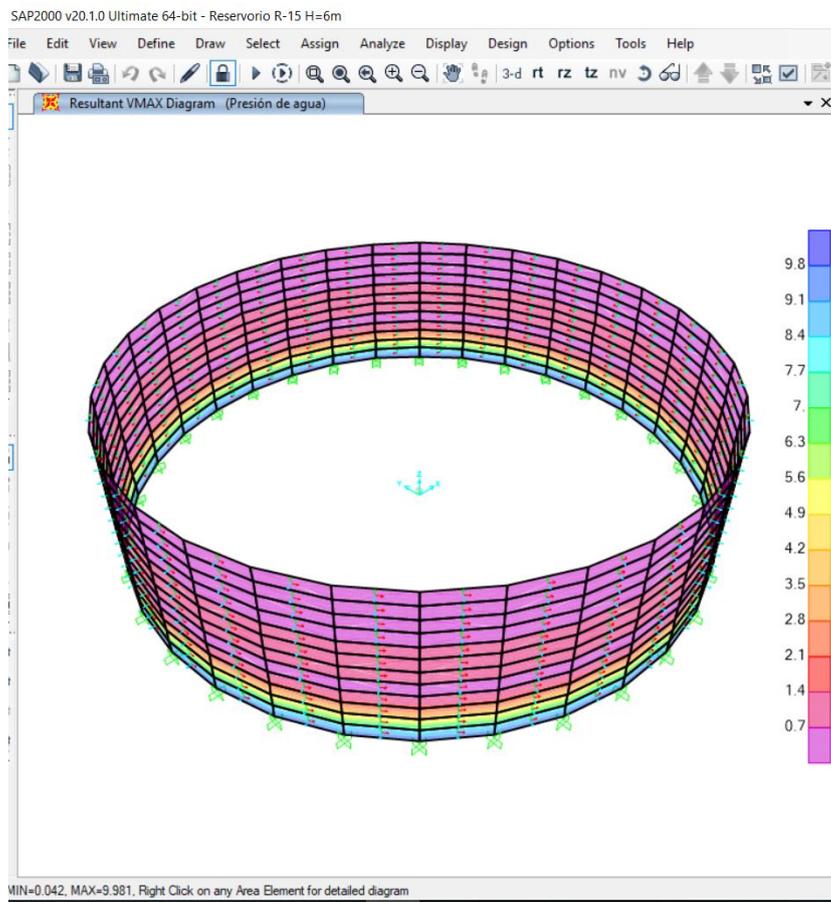


Figura 29. Cortantes sometidas en el muro del reservorio.

b) Cálculo del Esfuerzo Anular:

- Cálculo de factor $\frac{H^2}{D \cdot t}$:

$$\frac{H^2}{D \cdot t} = 5.45$$

H = 6 m (Altura)

D = 22 m (Diámetro)

t = 0.3 m (espesor de cara de Reservorio)

- Una vez calculado el valor de 5.45 se obtiene de la tabla 17 los coeficientes:

Tabla 17. Coeficientes obtenidos de la Tabla 1.

	Coeficientes									
	0.0 H	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.5 H	0.6 H	0.7 H	0.8 H	0.9 H
5	0.025	0.137	0.245	0.346	0.428	0.477	0.469	0.398	0.259	0.092
6	0.018	0.119	0.234	0.344	0.441	0.504	0.514	0.447	0.301	0.112
5.45	0.0215	0.128	0.2395	0.345	0.4345	0.4905	0.4915	0.4225	0.28	0.102

- Cálculo del factor “wu”

$W_u = \text{Factor de carga} \cdot \text{Coeficiente sanitario} \cdot \text{Peso específico del agua}$

$$\text{Factor de carga} = 1.7$$

$$\text{Coeficiente sanitario} = 1.65$$

$$\text{Peso específico del agua} = 1$$

$$W_u = 2.805$$

- Cálculo de “W” para multiplicar por los coeficientes de tensión anular, con el cual se obtienen los valores de la fuerza anular por unidad de longitud

$$W = W_u \cdot H \cdot R = 185.13 \text{ Tn/m}$$

$$R = 11 \text{ m (Radio)}$$

$$H = 6 \text{ m (Altura)}$$

Tabla 18. Fuerzas Anulares con respecto a la altura del Reservorio

Altura	Coeficiente	Fuerza Anular
6	0.0215	3.980295
5.4	0.128	23.69664
4.8	0.2395	44.338635
4.2	0.345	63.86985
3.6	0.4345	80.438985
3	0.4905	90.806265
2.4	0.4915	90.991395
1.8	0.4225	78.217425
1.2	0.28	51.8364
0.6	0.102	18.88326
0	0	0

- Como se observa en la tabla 18, se obtuvo que la Tensión Anular Máxima es 90.991395 Tn/m y se produce a una altura de 2.4 aproximadamente, con respecto a la base del tanque

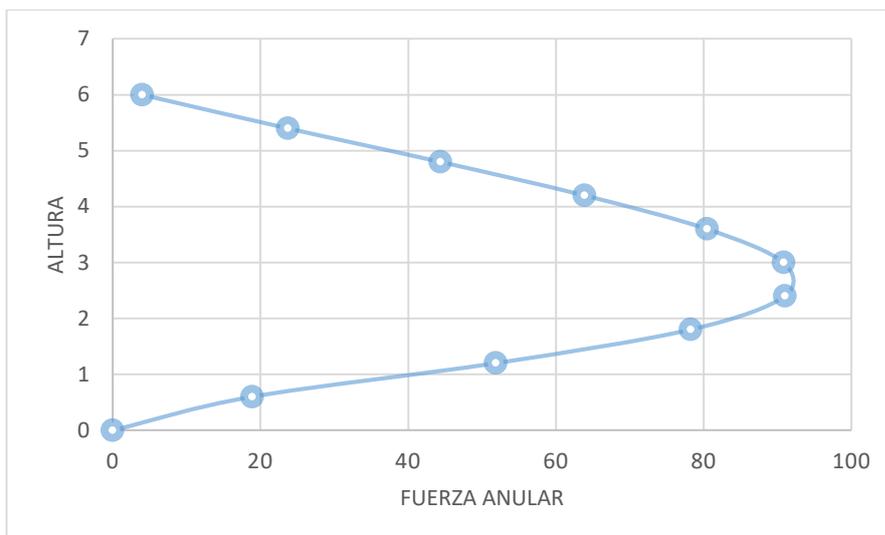


Figura 30. Gráfica de tensiones anulares con respecto a su altura.

- Con la fuerza de tensión se verificó el espesor del muro

Coefficiente de contracción de fragua del concreto	C = 0.0003	
	F'c = 320	Kg/cm ²
	F'y = 4200	Kg/cm ²
	fct = 32.020644	
Módulo de elasticidad del acero	Es = 2000000	Kg/cm ²
	Ec = 268414.7	
Resist. Admisible en tensión del acero	fs = 2520	
Relación de módulos de elasticidad entre el acero y el concreto	n = 7.4511568	
Fuerza de tensión Anular Máx	T = 90.991395	

$$t = \frac{C \cdot Es + fs - n \cdot fct}{100 \cdot fct \cdot fs} \cdot T \cdot 10 = 0.32 \text{ m}$$

Con lo que se puede considerar un espesor igual a 0.30 m

Se diseñó con la tensión anular máxima para determinar el fierro necesario

$$As = \frac{T \cdot 1000}{0.9 \cdot Fy} = 24.072 \text{ cm}^2$$

Utilizamos fierros de 3/4", con lo que se tuvo la siguiente distribución:

$$s = 2 \cdot \frac{2.87}{A_s} = 0.2384533 \text{ m} = 0.23 \text{ m}$$

En el Reservorio R-15 se diseñó para fierros de 3/4" @ 0.10 m

c) Cálculo del Esfuerzo a flexión

- Cálculo del factor "wu"

$$W_u = \text{Factor de carga} \cdot \text{Coeficiente sanitario} \cdot \text{Peso específico del agua}$$

$$\text{Factor de carga} = 1.7$$

$$\text{Coeficiente sanitario} = 1.3$$

$$\text{Peso específico del agua} = 1$$

$$W_u = 2.21$$

- Cálculo de "W" para multiplicar por los coeficientes con el cual se obtiene los valores de momento en el muro cilíndrico

$$W = W_u \cdot H^3 = 477.36 \text{ Tnm}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

Tabla 19. Coeficientes obtenidos de la tabla 2.

	Coeficientes									
	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.5 H	0.6 H	0.7 H	0.8 H	0.9 H	1.0 H
5	0.0002	0.0008	0.0016	0.0029	0.0046	0.0059	0.0059	0.0028	-0.0058	-0.0222
6	0.0001	0.0003	0.0008	0.0019	0.0032	0.0046	0.0051	0.0029	-0.0041	-0.0187
5.45	0.00015	0.00055	0.0012	0.0024	0.0039	0.00525	0.0055	0.00285	-0.00495	-0.02045

Tabla 20. Momentos con respecto a la altura del Reservorio R-15.

Altura	Coeficiente	Momentos
6	0	0
5.4	0.00015	0.071604
4.8	0.00055	0.262548
4.2	0.0012	0.572832
3.6	0.0024	1.145664
3	0.0039	1.861704
2.4	0.00525	2.50614
1.8	0.0055	2.62548
1.2	0.00285	1.360476
0.6	-0.00495	-2.362932
0	-0.02045	-9.762012

- Como se observa en la tabla 21, se obtuvo que el Momento Positivo Máximo es 2.62548 Tn.m y se produce a una altura de 1.8 aproximadamente, con respecto a la base del tanque.
- A su vez, se tuvo que el Momento Negativo Máximo es -9.762012 Tn.m y se produce en la base del tanque.

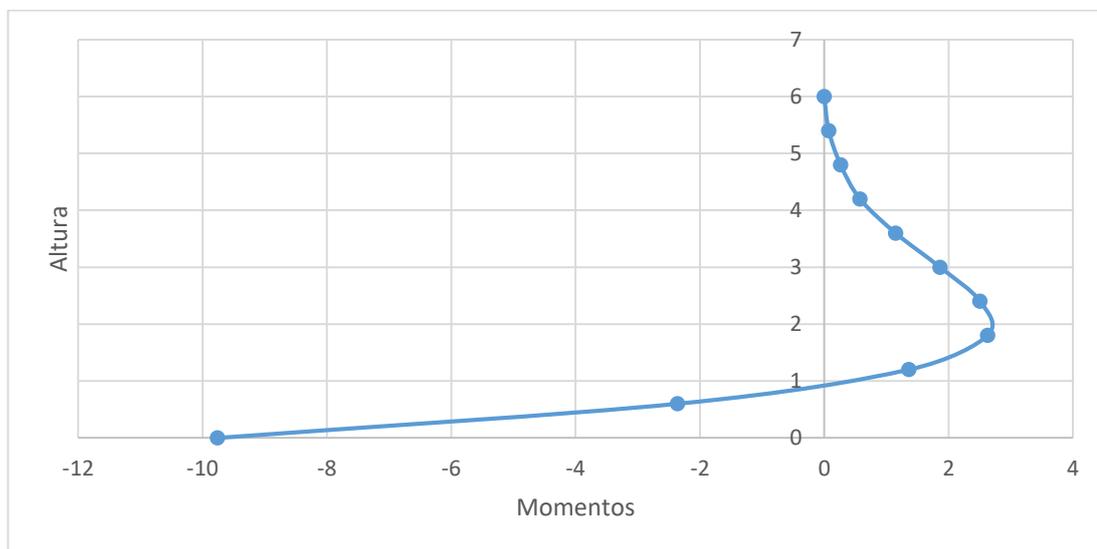


Figura 31. Gráfica de momentos con respecto a su altura.

- Como se observa, se tuvo momentos positivos y negativos. El valor negativo es un valor mayor que el positivo. A continuación, se realizó el diseño con el momento positivo:

$$M_u = 262\,548 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$f'_c = 320 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

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

$$\phi = 0.9$$

$$E_s = 2000000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

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

$$d^2 - 2 \frac{|M_u|}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b \cdot 100} = 624.78564$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - 2 \frac{|M_u|}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b \cdot 100}} = 0.00428876$$

$$A_s = 0.85 \cdot \frac{f'_c \cdot b \cdot 100 \cdot a}{f_y} = 2.778524 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{1.27 \cdot b}{A_s} = 45.707721 \text{ cm} \cong 45 \text{ cm}$$

En el Reservorio R-15 se diseñó para fierros de 1/2" @ 0.25 m

- De la misma manera se diseña para el momento negativo, teniendo los siguientes resultados

$$M_u = -976\,201.2 \text{ kg} \cdot \text{cm} \qquad f'_c = 320 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 25 \text{ cm} \qquad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 0.9 \qquad E_s = 2000000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

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

$$d^2 - 2 \frac{|M_u|}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b \cdot 100} = 624.20296$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - 2 \frac{|M_u|}{0.85 \cdot f'_c \cdot \phi \cdot b \cdot 100}} = 0.0159458$$

$$A_s = 0.85 \cdot \frac{f'_c \cdot b \cdot 100 \cdot a}{f_y} = 10.333467 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{1.27 \cdot b}{A_s} = 12.290164 \text{ cm} \cong 12 \text{ cm}$$

En el Reservorio R-15 se diseñó para fierros de 1/2" @ 0.25 m

d) Cálculo del Esfuerzo cortante

- Cálculo de la resistencia del concreto:

$$V_c = \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 20153.47 \text{ kg}$$

- Se utilizó un factor de carga igual a 1.00 y un coeficiente igual a 0.205, suponiendo que $V < \phi V_c$

Tabla 21. Coeficientes obtenidos de la tabla 3.

	Triangular load, fixed base
5	0.213
6	0.197
5.45	0.205

- Cálculo del factor “wu”

$$Wu = \text{Factor de carga} \cdot \text{Coeficiente sanitario} \cdot \text{Peso específico del agua}$$

$$\text{Factor de carga} = 1.7$$

$$\text{Coeficiente sanitario} = 1$$

$$\text{Peso específico del agua} = 1$$

$$Wu = 1.7$$

- Cálculo de “W”

$$W = Wu \cdot H^2 = 61.2 \text{ Tn.m}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

- Cálculo de cortante última

$$Vu = 0.205 \cdot W \cdot 1000 = 12\,546 \text{ kg}$$

$$Vu < \emptyset Vc$$

4.2.2. Cálculo del diseño sísmico del Reservorio R-15:

- Se procedió a calcular los parámetros para el modelo dinámico:

Cálculo de las masas impulsiva y convectiva

Masa impulsiva:

$$\frac{mi}{ma} = \frac{\tanh(0.866 \frac{D}{h})}{0.866 \frac{D}{h}}$$

$$\frac{\tanh(0.866 \frac{D}{h})}{0.866 \frac{D}{h}} = 0.314$$

$$mi = ma(0.314) = 73.004$$

Masa convectiva:

$$\frac{mc}{ma} = \frac{0.23 \tanh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}{\frac{h}{D}}$$

$$\frac{0.23 \tanh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}{\frac{h}{D}} = 0.644$$

$$mc = ma(0.644) = 149.728$$

Se puede observar que el 33% del líquido es excitado en el modo impulsivo, mientras el 67% participa en el modo convectivo. La suma de la masa impulsiva y convectiva es 4.2% menor que la masa del líquido.

Cálculo de las alturas impulsivas y convectivas

Altura impulsiva:

$$h_i = 0.375h = 2.25 \text{ m}$$

Altura convectiva:

$$h_c = \left(1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{h}{D}\right) - 1}{3.68 \frac{h}{D} \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}\right) h = 0.538h = 3.228 \text{ m}$$

- Una vez calculado los parámetros, procedimos a introducirlos al modelado:

El peso impulsivo (que sería la masa impulsiva por la gravedad) se asignó a una altura aproximada de 2.5 m alrededor de todo el muro del reservorio, al tener 32 ejes, el peso se distribuyó en la misma cantidad para cada eje.

$$P_i = \frac{m_i \cdot g}{32} = \frac{716.169}{32} = 22.38 \text{ Tn}$$

De la misma manera, se asignó el peso convectivo a una altura de 3.5 m alrededor de todo el muro del reservorio, al tener 32 ejes, el peso se distribuyó en la misma cantidad para cada eje.

$$P_c = \frac{m_c \cdot g}{32} = \frac{1468.832}{32} = 45.901 \text{ Tn}$$

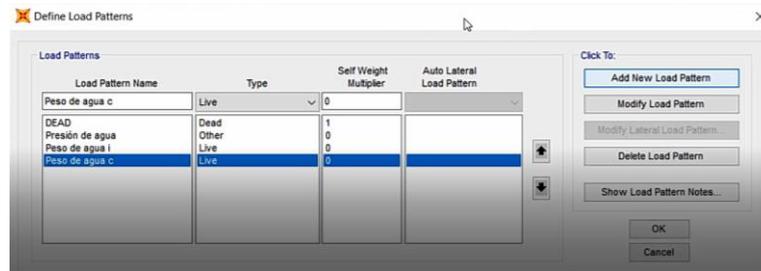


Figura 32. Definición de peso de agua impulsivo y convectivo.

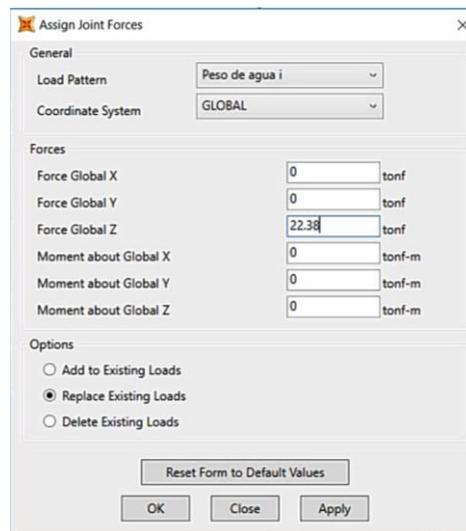


Figura 33. Asignación de Peso impulsivo.

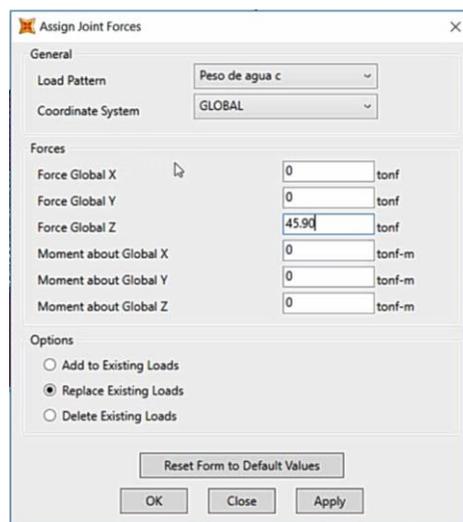


Figura 34. Asignación de Peso convectivo.

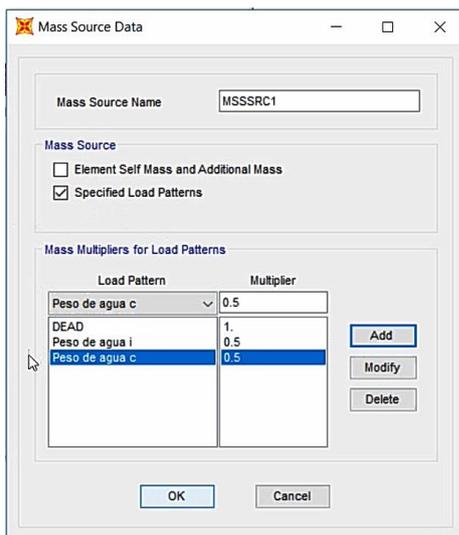


Figura 35.Asignación de pesos impulsivo y convectivo.

- Una vez asignado, se corre el programa y se obtiene la tabla de periodos

Tabla 22. Periodos y Frecuencias.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0.049295	20.28621448
MODAL	Mode	2	0.049295	20.28621448
MODAL	Mode	3	0.046615	21.45239214
MODAL	Mode	4	0.046615	21.45239214
MODAL	Mode	5	0.045688	21.88758478
MODAL	Mode	6	0.045688	21.88758478
MODAL	Mode	7	0.040253	24.84290212
MODAL	Mode	8	0.040253	24.84290212
MODAL	Mode	9	0.037875	26.40280542
MODAL	Mode	10	0.037875	26.40280542
MODAL	Mode	11	0.03355	29.80655752
MODAL	Mode	12	0.03355	29.80655752
MODAL	Mode	13	0.029575	33.81214194
MODAL	Mode	14	0.029575	33.81214194
MODAL	Mode	15	0.027889	35.85626789

- Ahora procedimos a determinar los parámetros sísmicos:

$$Z = 0.45$$

$$Tl = 2.5$$

$$U = 1.5$$

$$Ri = 2.75$$

$$S = 1$$

$$Rc = 1$$

$$Tp = 0.4$$

- Cálculo de la aceleración espectral elástica y reducida:

El cálculo parte de la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Por lo tanto, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 23. Cálculo de aceleración espectral.

ANALISIS DINAMICO				
T	C	Sa (Rc=1)	Sa (Ri=2.75)	C=220
GALS				
0.10	2.500	16.554	6.02	2.200
0.15	2.500	16.554	6.02	2.200
0.20	2.500	16.554	6.02	2.200
0.25	2.500	16.554	6.02	2.200
0.30	2.500	16.554	6.02	2.200
0.35	2.500	16.554	6.02	2.200
0.40	2.500	16.554	6.02	2.200
0.45	2.222	14.715	5.351	1.956
0.50	2.000	13.244	4.816	1.760
0.55	1.818	12.040	4.378	1.600
0.60	1.667	11.036	4.013	1.467
0.65	1.538	10.187	3.704	1.354
0.70	1.429	9.460	3.440	1.257
0.75	1.333	8.829	3.211	1.173
0.80	1.250	8.277	3.010	1.100
0.85	1.176	7.790	2.833	1.035
0.90	1.111	7.358	2.675	0.978
0.95	1.053	6.970	2.535	0.926
1.00	1.000	6.622	2.408	0.880
1.05	0.952	6.306	2.293	0.838
1.10	0.909	6.020	2.189	0.800
1.15	0.870	5.758	2.094	0.765
1.20	0.833	5.518	2.007	0.733
1.25	0.800	5.297	1.926	0.704
1.30	0.769	5.094	1.852	0.677
1.35	0.741	4.905	1.784	0.652
1.40	0.714	4.730	1.720	0.629
1.45	0.690	4.567	1.661	0.607
1.50	0.667	4.415	1.605	0.587
1.55	0.645	4.272	1.553	0.568
1.60	0.625	4.139	1.505	0.550
1.65	0.606	4.013	1.459	0.533
1.70	0.588	3.895	1.416	0.518
1.75	0.571	3.784	1.376	0.503
1.80	0.556	3.679	1.338	0.489
1.85	0.541	3.579	1.302	0.476

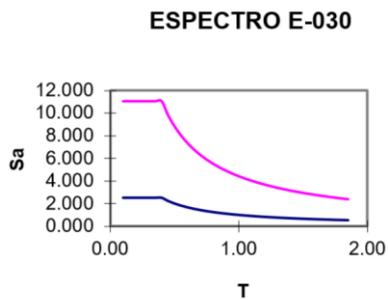


Figura 36. Aceleración espectral a lo largo de periodos.

- En el programa SAP 2000 se definió el espectro elástico (Factor $R=1$) y reducido (Factor $R=2.75$)

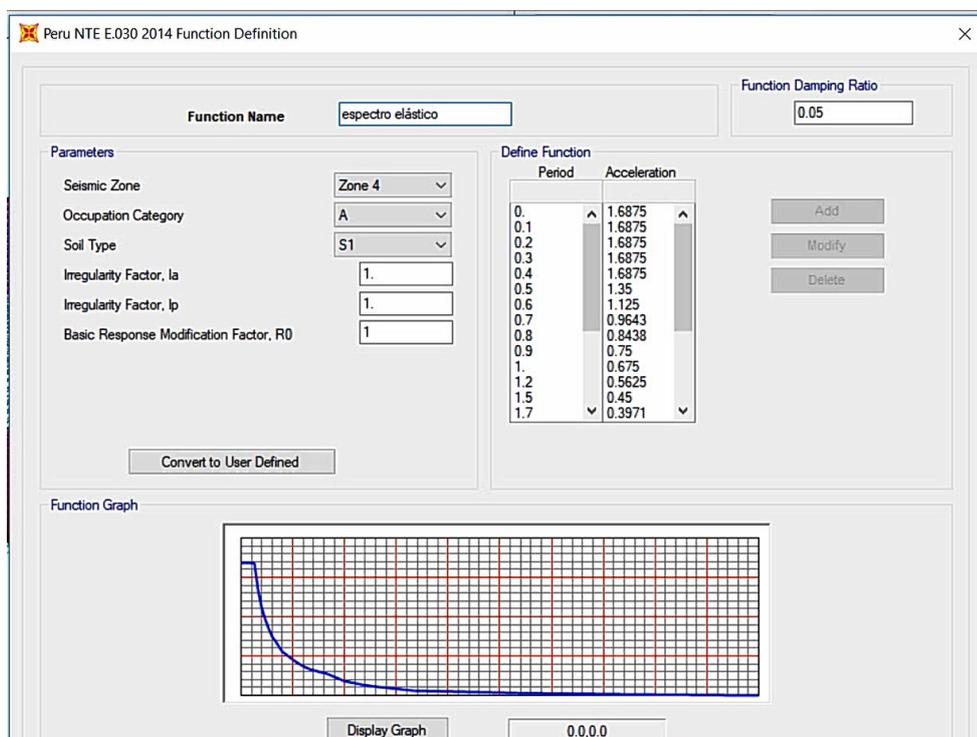


Figura 37. Espectro elástico.

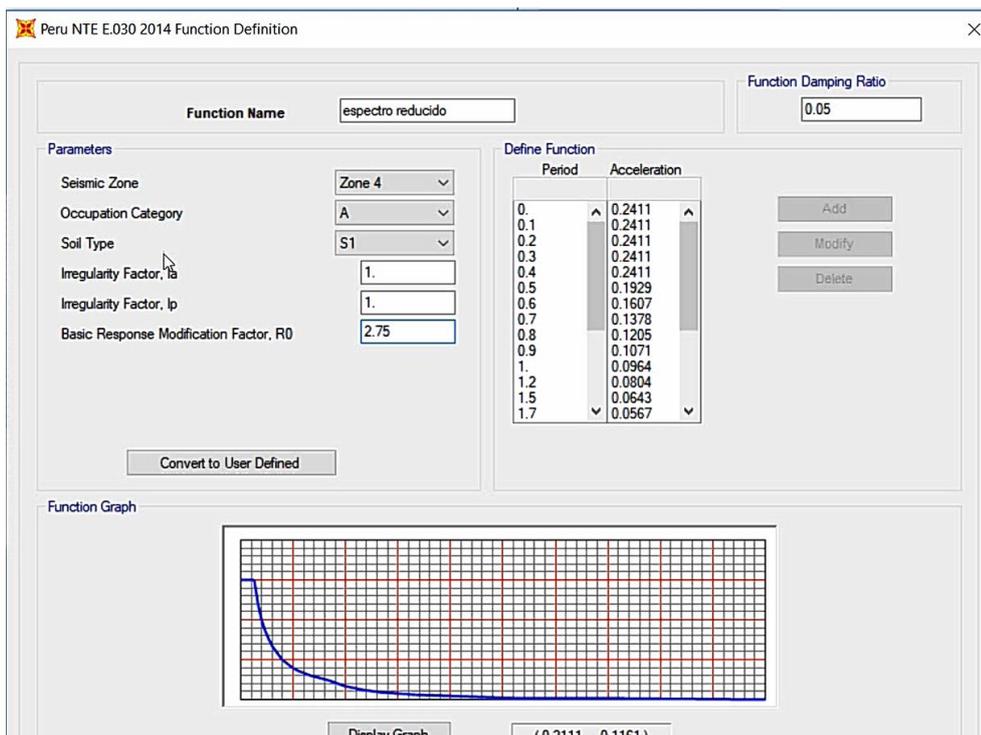


Figura 38. Espectro reducido.

- Ahora definimos en el modelado los casos a los que será sometido el reservorio:

Sismo elástico:

Load Case Name: sismo elastico

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: CQC

Directional Combination: SRSS

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity: 0

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	espectro elá	9.8067
Accel	U1	espectro elástico	9.8067

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Figura 39. Sismo elástico.

Sismo reducido:

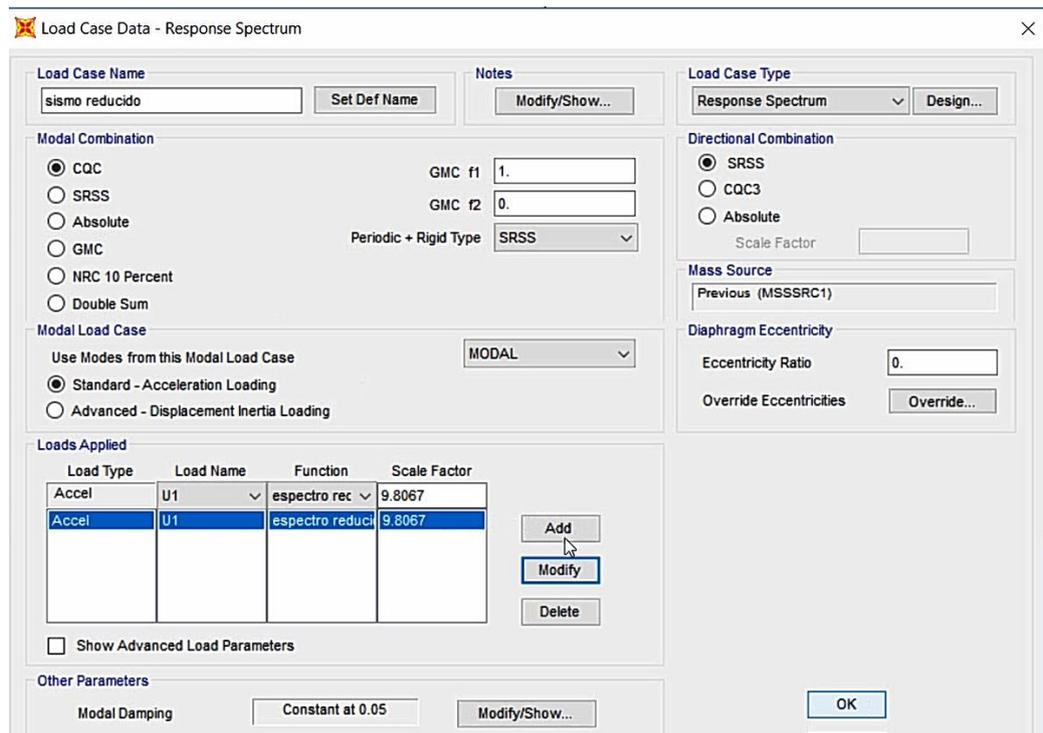


Figura 40. Sismo reducido.

- Cálculo de las distorsiones con los datos obtenidos del programa SAP 2000:

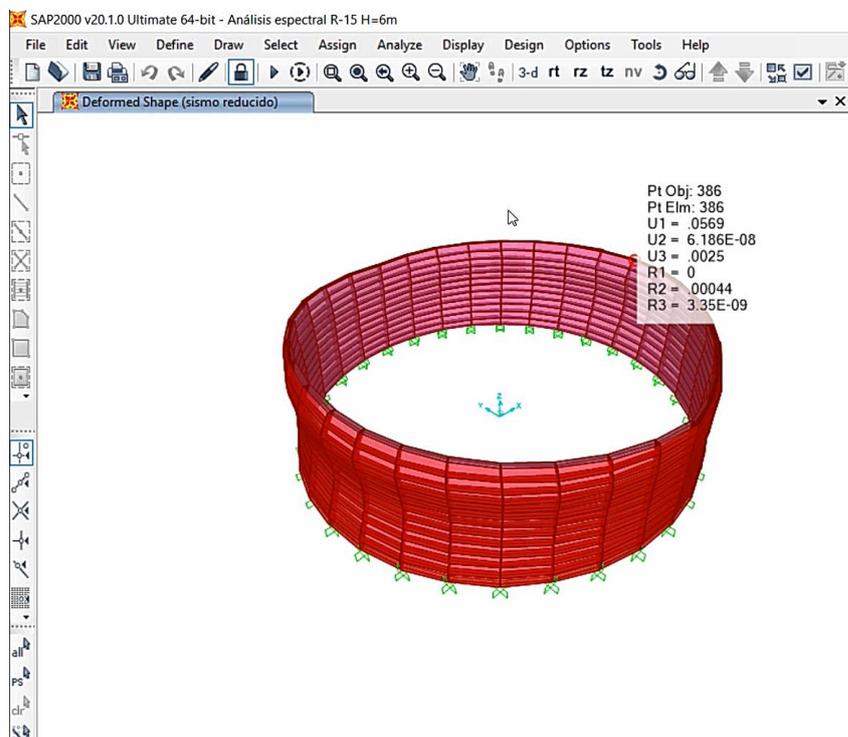


Figura 41. Distorsión máxima en el sismo reducido.

$$\Delta_{max} = 0.0569$$

$$h = 600 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{\Delta_{max}}{h} \cdot 0.75 \cdot R = \frac{0.0569}{600} \cdot 0.75 \cdot 2.75 = 1.96 \cdot 10^{-4}$$

El resultado obtenido ($1.96 \cdot 10^{-4}$) cumplió por sismo reducido, ya que en el artículo 32 de la Norma Técnica Peruana E0.30 se manifiesta que el límite para la distorsión de entrepiso para el caso de concreto armado es 0.007.

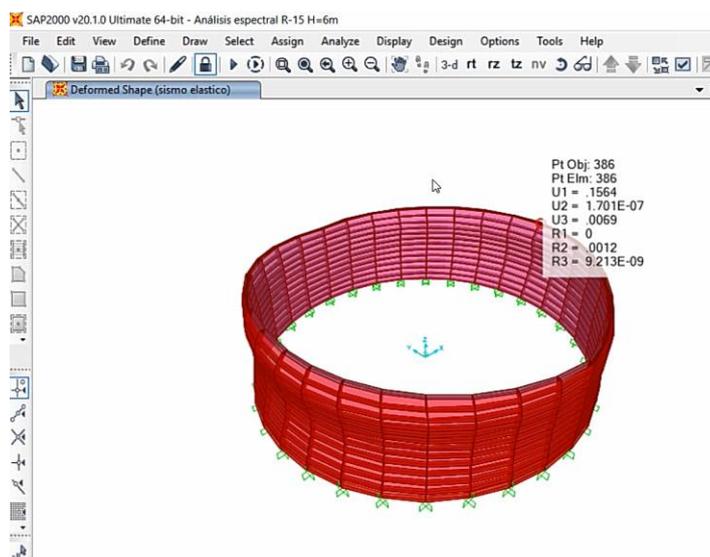


Figura 42.Distorsión máxima en el sismo elástico.

$$\Delta_{max} = 0.1564 \text{ cm}$$

$$h = 600 \text{ cm}$$

$$\delta = \frac{\Delta_{max}}{h} \cdot 0.75 \cdot R = \frac{0.1564}{600} \cdot 0.75 \cdot 1 = 1.96 \cdot 10^{-4}$$

El resultado obtenido ($1.96 \cdot 10^{-4}$) cumplió por sismo elástico, ya que en el artículo 32 de la Norma Técnica Peruana E. 030 se manifiesta que el límite para la distorsión de entrepiso para el caso de concreto armado es 0.007.

- Cálculo de los modos de vibración, verificando que cumplan con el artículo 29 de la Norma Técnica Peruana E. 030

Tabla 24. Modos de vibración

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	StepType	StepNum	SumUX
MODAL	Mode	1	5.123E-17
MODAL	Mode	2	2.508E-15
MODAL	Mode	3	8.415E-15
MODAL	Mode	4	1.603E-14
MODAL	Mode	5	1.704E-14
MODAL	Mode	6	1.824E-14
MODAL	Mode	7	1.868E-14
MODAL	Mode	8	2.06E-14
MODAL	Mode	9	2.079E-14
MODAL	Mode	10	2.706E-14

5. CAPITULO V: DISCUSIÓN

Como objetivo específico 1, se había planteado:

“Evaluar las patologías existentes en el Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna, 2019”.

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- En la visita a campo que se realizó el 21 de enero del 2019, se pudo observar que los elementos estructurales del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna no presentan patologías tales como humedad, erosión, grietas, fisuras, eflorescencias, oxidaciones y corrosiones, desprendimientos; y por lo tanto se concluye que el Reservorio R-15 a pesar de estar construido delante de la cantera Arunta y tener a su costado una excavación producto de un proyecto intervenido el año pasado y que hasta la actualidad sigue paralizado, no presentará deficiencias estructurales ni asentamiento por suelo inestable.

Como objetivo específico 2, se había planteado:

“Analizar el comportamiento estático del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna y comparar los resultados con los datos obtenidos del programa SAP 2000”.

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Para modelar el reservorio en el programa SAP 2000, se utilizó los planos dados por la EPS TACNA SA. para colocar las dimensiones del reservorio, además se le agregó las cargas muerta y viva, y se corrió el programa. Hasta aquí se obtiene los resultados del análisis estático. Como ya se había calculado manualmente el esfuerzo anular, el esfuerzo a flexión y el esfuerzo cortante máximo se compara con los obtenidos por el software y se obtiene que:

Tabla 25. Tabla de resultados de análisis estático.

	CÁLCULO MANUAL	OBTENIDO DEL SAP
Tensión anular máxima	90.991 Tn	92.682 Tn
Momento máximo positivo	2.625 Tn.m	2.795 Tn.m
Momento máximo negativo	-9.762 Tn.m	-9.604Tn.m
Fuerza cortante	12.546 Tn	9.981 Tn

- Por lo tanto, con la tabla 25 se puede comprobar que ha sido diseñado adecuadamente ya que los valores son muy similares.

Como objetivo específico 3, se había planteado:

“Analizar el comportamiento dinámico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles”.

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Como el Perú no cuenta con una normativa clara que brinde los procedimientos para realizar un adecuado análisis dinámico modal espectral se complementó con el ACI 350.3.01. De estas normas se obtuvo los factores necesarios para modelar el reservorio y analizarlo sísmicamente. Cuando se obtuvo los desplazamientos máximos se calculó las distorsiones en el sismo reducido como en el sismo elástico dando un resultado de $1.96 \cdot 10^{-4}$ que comparándolo con el artículo 32 de la Norma Técnica Peruana E 0.30 cumplen al ser menores que 0.007.

Como objetivo general se ha definido lo siguiente:

“Determinar el estado estructural actual del Reservorio R-15 de la ciudad de Tacna para determinar su vulnerabilidad sísmica”.

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Este estudio evaluó la capacidad de resistencia y estabilidad estructural mediante ensayos destructivos y no destructivos in situ y quedó demostrado que la resistencia de diseño es superior a la resistencia requerida. Con las fuerzas calculadas manualmente y con los planos obtenidos de la EPS TACNA SA. Se pudo verificar que el espesor del muro es el correcto, además de la cantidad de acero.

“Al respecto con la información recopilada por los planos de Losa Fondo – Cúpula y muro de cuba de la Instalación de los Sistemas de agua potable y alcantarillado en las pampas de Viñani - Tacna”

Debemos mencionar lo siguiente:

- Según las especificaciones técnicas de los planos nos indican que los elementos de Concreto Armado (cimiento de muro de cuba, muro de cuba, viga perimetral) tienen una resistencia a la compresión de 245 kg/cm^2 lo cual incumple con las especificaciones mínimas del ACI 350 – 06/1.1.1 el cual señala que la resistencia mínima a la compresión del concreto debe ser 4000 Psi o 280 kg/cm^2 en elementos estructurales del reservorio.
- Con respecto a los parámetros sismorresistentes utilizados en el diseño del Reservorio R-15 se puede concluir que se presenta una gran diferencia con respecto a la Norma E 030 del 2018, lo que ocasiona que el comportamiento de los elementos estructurales ya que no estén en su capacidad total de resistir los esfuerzos a los que está sometido el reservorio.

Tabla 26. Comparación de parámetros sismorresistentes

Parámetros sismorresistentes		
	NTP E 030 (2003)	NTP E 030 (2018)
	Utilizados en el diseño del Reservorio R-15	Utilizados en la evaluación estructural
Z	0.4	0.45
U	1.5	1.5
S	1.2	1
R	6	2.75 - 1

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Primera conclusión:

- La deficiencia más significativa encontrada en el Reservorio es la cimentación expuesta, no hubo presencia de grietas y corrosión. Así mismo se optó por evaluar la resistencia a la compresión del concreto mediante ensayos con esclerómetro y ensayo de perforación con broca diamantada. De acuerdo con los resultados del esclerómetro se pudo localizar las zonas de menor dureza que definieron la ubicación en la cual tomamos las muestras para el ensayo de perforación con broca diamantada. La resistencia promedio obtenida fue de 320 kg/cm^2 , este valor representa un 130% de la resistencia de diseño (245 kg/cm^2), en tal sentido se concluye que el concreto es estructuralmente adecuado.

Segunda conclusión:

Tabla 27.Tabla de resultados

	CÁLCULO MANUAL	RESULTADOS MANUALES (Ø y S)	PROPUESTA DE LOS PLANOS (Ø y S)
Tensión anular máxima	90.991 Tn	3/4 Ø @ 0.23 m	3/4 Ø @ 0.10 m
Momento máximo positivo	2.625 Tn.m	1/2 Ø @ 0.45 m	1/2 Ø @ 0.25 m
Momento máximo negativo	-9.762 Tn.m	1/2 Ø @ 0.12 m	1/2 Ø @ 0.25 m
Fuerza cortante	12.546 Tn		

- Una vez que se comprobó que las cargas actuantes calculadas manualmente y la obtenidas por el software son casi iguales, se determinó que el acero colocado en el muro del reservorio fue adecuado pero que el espaciamiento propuesto y el ejecutado varían enormemente. Por lo que se concluye que el acero del muro del Reservorio R-15 ha sido sobredimensionado, lo que involucra un incremento considerable en el presupuesto del proyecto.

Tercera conclusión:

- Las normas Peruanas de Diseño Sismorresistente no presentan una metodología de análisis estructural de reservorios, por lo que fue necesario complementar nuestra tesis de investigación con la norma ACI 350.
- Como los estudios sobre comportamiento sísmico de reservorios en nuestro país son escasos, en la ciudad de Tacna la investigación de evaluación sísmica no ha sido desarrollada, lo cual es preocupante al encontrarnos en una zona de actividad sísmica permanente. La metodología propuesta en la tesis de investigación es un aporte en nuestra carrera que debería tomarse en cuenta en futuros trabajos de investigación.

7. CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

PRIMERA RECOMENDACIÓN:

- Se recomienda que la institución encargada “EPS TACNA S.A.” tenga una mayor preocupación por la estabilidad de la estructura del reservorio R-15, porque existe una obra complementaria que fue paralizada en el año 2018 y tiene excavaciones de gran profundidad que quedaron inconclusas, las cuales perjudican directamente a los cimientos del reservorio, ya que estos se encuentran expuestos y puede estar propenso a un derrumbe el cual sería perjudicial para la población del sector de Viñani, puesto que se perderían vidas humanas a causa de un accidente y limitaría el recurso hídrico del sector.

También se recomienda un mayor resguardo y mejor implementación de elementos de seguridad (señales y mallas de seguridad) en el perímetro del Reservorio R-15, ya que este se encuentra aledaño a viviendas de la asociación Promuvi del sector de Viñani.

SEGUNDA RECOMENDACIÓN:

- Debido a la ubicación de la ciudad de Tacna en el cinturón de fuego del Pacífico recomendamos a todas las autoridades competentes realizar la evaluación estructural de todos los reservorios ubicados en distintas zonas de nuestra ciudad, para así prevenir accidentes y evitar pérdida de los recursos hídricos.

TERCERA RECOMENDACIÓN

- Recomendamos al Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción (SENCICO), implementar normas de diseño para Reservorios ya que existen normas internacionales en las cuales puede basarse como el ACI 350 para poder realizar un análisis más completo.

8. CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero Martínez, J., & Mejía Zúñiga, J. (s.f.). Análisis dinámico de tanques superficiales, circulares y rectangulares. Instituto de la construcción y Gerencia, 1-11.

ACI Committee 350. (2001). Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01).

ACI Committee 350. (Noviembre 2006). Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06).

Broto, C. (2007). Enciclopedia Broto de Patologías de la construcción. Barcelona: Leading International Key Services Barcelona Sa.

Campos, E. (2018). Evaluación estructural de reservorio apoyado de C°A° de sección circular (20 m3) sector 1 del C.P. Cabracancha-Chota. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Diaz Calderon, A., & Meniz Ventocilla, B. (2019). "Evaluación estructural de reservorios apoyados de concreto armado en Lima Metropolitana considerando la norma ACI 350-06 y las normativas peruanas". Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Lima, Perú.

Galvez, M., Puma, M., & Rincón, P. (2012). Abastecimiento de agua potable del asentamiento humano Valle Hermoso [Blog]. Obtenido de <http://abastogr5vallehermosa.blogspot.com/2012/06/anexos-i.html>

Housner, G. (1963). The Dynamic Behavior of Water Tanks. Bulletin of the Seismological Society of America, 53(2), 381-387.

Housner, G. (1957). Dynamic pressures on accelerated fluid containers. Bulletin of the Seismological Society of America, 21.

Llaza Funes, O. (s.f.). Análisis sísmico de reservorios. CIP MOQUEGUA, Moquegua.

López, J. (2007). "Formulación y diseño del proyecto de saneamiento Unipampa zona 9. Almacenamiento y abastecimiento de agua potable". (Tesis Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Martinez Cahui, H. (2019). "Evaluación del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular, aplicando la normativa norteamericana - Tacna 2019". Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Martínez Cahui, H. (2019). "Evaluación del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular,

aplicando la normativa norteamericana - Tacna 2019". Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Martos Salas, F. (2013). Evaluación de los esfuerzos de un reservorio circular entre el método estático y el método dinámico del diseño sismorresistente. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. (2018). Perú.

Portland Cement Association. (1993). Circular Concrete Tanks.

Proyecto de Norma Técnica Peruana PNTP 339.059. (2011). HORMIGÓN (CONCRETO). Método para la obtención y ensayo de corazones diamantino y vigas seccionadas de hormigón.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). NORMA E.060 CONCRETO ARMADO. Lima: DIGIGRAF CORP. SA.

Restrepo Ocampo, C., & Hernández Martínez, A. (2017). Comportamiento sísmico de tanques tipo para distribución de agua potable. Jóvenes en la ciencia, 3, 2082-2086.

Rivva, E. (2006). Durabilidad y Patología del concreto. Asocem (Seriada en línea).

Slide Share. (2015). Obtenido de CAPITULO 5 VULNERABILIDAD SÍSMICA: <https://es.slideshare.net/hernanquispemendoza/1-134-180871230>

Torres, D., & Montalván, D. (2018). "Evaluación por desempeño sísmico del comportamiento estructural de dos reservorios elevados con soporte tipo marco, Caballococha 2018". (Tesis de Pregrado). Universidad Científica del Perú, Loreto, Perú.

Vértiz, J. (2018). "Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del reservorio elevado Tacalá V=1000 m³ - Distrito de Castilla - Provincia de Piura - Departamento de Piura - Marzo 2018". (Tesis de Pregrado). Universidad Católica los Ángeles Chimbote, Piura.

ANEXO 1.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de consistencia: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA
PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SÍSMICA"

INTERROGANTE DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica que presenta el Reservoirio R-15 de la ciudad Tacna?	Determinar la vulnerabilidad sísmica del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna, 2019	Variable Independiente -Reservoirio R-15 de la Ciudad de Tacna	$F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ Sector de Viñani Apoyado	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo POBLACIÓN Y MUESTRA: Población: La población está dada por todos los reservoirios de la ciudad de Tacna. Muestra: La muestra está comprendida por el Reservoirio R-15 del distrito de Viñani, provincia de Tacna, departamento de Tacna.
¿Se puede calcular el comportamiento sísmico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles?	Evaluar las patologías existentes en el Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna		Tensión anular máxima = 92.682 Tn $M_{max (+)} = 2.795 \text{ Tn.m}$ $M_{max (-)} = -9.604 \text{ Tn.m}$	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y DATOS: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Investigación bibliográfica ✓ Recolección de planos brindados por la EPS Tacna S.A. y observación experimental en muro lateral mediante visitas al reservoirio ✓ Recolección de datos de ensayos de laboratorio realizados en Laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos "Técnicos e Ingenieros E.I.R.L".
¿Se puede determinar el comportamiento estático del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y comparar los resultados con los datos obtenidos del programa SAP 2000?	Analizar el comportamiento estático del Reservoirio R-15 de la ciudad Tacna y comparar los resultados con los datos obtenidos del programa SAP 2000.	Variable Dependiente - Evaluación Estructural	<Vc (Vc: Resistencia a cortante del concreto)	MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Software; SAP2000 V19, AutoCAD 2017 ✓ Microsoft (Word y Excel) ✓ Norma ACI 350.3-06, ACI ✓ Norma Técnica E030 "Diseño Sismorresistente" ✓ Circular Concrete Tanks (PCA)
¿Se puede calcular el comportamiento dinámico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles?	Analizar el comportamiento dinámico del Reservoirio R-15 de la ciudad de Tacna y verificar si las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles.		< 0.007	ACCIONES Y ACTIVIDADES: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ensayo de dureza del concreto utilizando Esclerómetro ✓ Ensayo de perforación con broca Diamantada ✓ Evaluación de Patologías ✓ Análisis de Datos para modelado en SAP 2000

ANEXO 2.

**ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO
UTILIZANDO ESCLERÓMETRO FIRMADO POR
EL ASESOR ENCARGADO**

**ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO EL
ESCLERÓMETRO (ASTM – C805)**

Ubicación: Dpto. Provincia Tacna y Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

Lugar: Reservorio R-15

Muestra: Concreto de Reservorio

Fecha: Febrero 2019

Código: ASTM – C 805

RESULTADOS: En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del ensayo utilizando el esclerómetro:

Resumen de resultados de ensayo con esclerómetro - Reservorio R-15 y cálculo de resistencia a la compresión con ángulo de inclinación de 0°

Nº	DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA	LECTURAS TOMADAS										PR OM.	F _c kg./cm ²
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10		
1	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 1	39	41	46	36	36	37	40	37	43	33	38.8	336.00
2	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 2	39	44	32	36	40	42	42	43	42	42	40.2	354.00
3	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 3	44	44	45	42	41	41	36	47	32	38	41.0	370.00
4	MUROS LATERALES - ANILLO N°1 FILA 4	44	44	35	41	43	43	47	40	42	40	41.9	379.00
5	MUROS LATERALES - ANILLO N°1 FILA 5	42	41	40	40	38	33	40	43	46	34	39.7	347.00
6	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 6	42	38	40	38	43	42	42	39	41	35	40.0	350.00
7	MUROS LATERALES - ANILLO N°2 FILA 7	37	42	40	40	36	40	39	39	42	39	39.4	344.00

Como se observa en la tabla 13, se sombrearon las filas 1, 5 y 7 con el fin de indicar que esos fueron los puntos en toda la superficie del Reservorio R-15 donde se obtuvo las lecturas más bajas.

Ahora procedemos a comparar los cálculos de la resistencia a la compresión con el ensayo de esclerómetro y los resultados obtenidos del ensayo a compresión ejecutado en las muestras del ensayo de perforación de broca diamantada:

Muestras	Resistencia a la compresión de broca diamantada (kg/cm²)	Resistencia a la compresión del ensayo de esclerómetro
M1	368.57	336
M2	325.73	347
M3	529.54	344
Resistencia final	320	342

Para el modelado en el programa SAP 2000 se utilizó la resistencia a la compresión del ensayo de broca diamantada al ser un resultado más exacto, ya que actualmente el ensayo de esclerómetro se utiliza para medir la dureza del concreto.

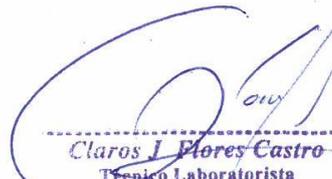
ANEXO 3.

**ENSAYO DE PERFORACIÓN CON BROCA
DIAMANTADA FIRMADO POR EL INGENIERO
ENCARGADO**


TECNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.
**LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS**
ENSAYO DE COMPRESION DE NUCLEOS DE CONCRETO
NORMA ASTM C39
TESIS : EVALUACION ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO R-15 DE LA CIUDAD DE TACNA PARA DETERMINAR SU VULNERABILIDAD SISMICA
**TESISTAS : CAROLINA ISABEL ARIAS LOPEZ
GUSTAVO CASTAÑEDA FLORES**
UBICACIÓN : DISTRITO CRNL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA
MUESTRA : PROBETAS DE CONCRETO EXTRAIDAS CON DIAMANTINA DE ANCLAJE
FECHA : 23 DE MARZO DEL 2019

Nº de	DESCRIPCION	Diametro	Altura	Fecha de	Area	Factor de Corrección	Lectura	Resist.	Resist.
Prob.		cm.	cm.	Rotura	cm ²	L/D	Kf	kg./cm ²	Corregida
1	MUESTRA 01	7,4	7,7	18/01/19	43,01	0,87	18220	423,64	368,57
2	MUESTRA 02	7,5	11,7	18/01/19	44,18	0,96	14990	339,30	325,73
3	MUESTRA 03	7,5	7,2	23/03/19	44,18	0,87	26890	608,67	529,54

OBSERVACIONES





Carlos J. Flores Castro
 Técnico Laboratorista
 Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
 INGENIERO CIVIL
 CIP 75160

ANEXO 4.

**PLANO DE UBICACIÓN DEL RESERVORIO R-15
DE LA CIUDAD DE TACNA**

ANEXO 5.

**PLANO DE UBICACIÓN DE DIAMANTINAS Y
ESCLERÓMETRO**

ANEXO 6.

**PLANO DE DETALLES DEL RESERVORIO R-15
DE LA CIUDAD DE TACNA**