

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.**



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RESERVORIO APOYADO DE C° A° DE SECCIÓN CIRCULAR (20 m<sup>3</sup>) SECTOR 1 DEL C.P. CABRACANCHA – CHOTA.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.**

**PRESENTADO POR:**

**BACHILLER: EDISON CAMPOS HERRERA.**

**ASESOR: M.Cs. Ing. MAURO A. CENTURION VARGAS**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2018**

## **AGRADECIMIENTO**

- ✓ A la prestigiosa “Universidad Nacional de Cajamarca”, (Facultad de Ingeniería), por acogerme en sus gloriosas aulas y a todos los catedráticos que me impartieron el conocimiento capaz de fortalecer a mi formación profesional.
- ✓ A mis padres y a mi hermana, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional, por lo que estaré infinitamente agradecido.
- ✓ A mi asesor el Ing. Mauro Centurión Vargas, por su apoyo mutuo durante la elaboración de esta tesis.
- ✓ Al ing. Marco W. Hoyos Saucedo por su apoyo incondicional para el desarrollo de esta tesis.

**Edison**

## DEDICATORIA.

Para mis padres, **ENRIQUE E HILDA**, por su apoyo constante y por aquella motivación que me brindaron para alcanzar mi objetivo.

A mi hermana, **NANCY**, por su apoyo incondicional y por su espíritu de solidaridad que me inculcó a lograr cada uno de mis objetivos.

A mi asesor, el M.Cs. Ing. **MAURO A. CENTURION VARGAS**, por su apoyo y conocimiento que me brindo para hacer de esta tesis una realidad.

.

“Si no sembramos el árbol de la sabiduría cuando somos jóvenes, este no nos prestará su sombra en la vejez”.

## CONTENIDO.

Agradecimiento.....	I
Dedicatoria.....	II
Contenido.....	III
Índice de tablas.....	V
Índice de figuras.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII

### Páginas.

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1.- Antecedentes teóricos.....	5
2.2.- Bases teóricas.....	6
2.3.- Definición de términos básicos.....	7
2.4 .- Otros conceptos básicos que se debe tener en cuenta.....	9
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1.-Características geográficas del lugar.....	13
3.2.- Criterios que se toman en cuenta para la evaluación estructural del reservorio apoyado.....	14
3.3.- Consideraciones básicas de diseño y fecha de investigación.....	15
3.4.- Procedimiento y metodología para la evaluación estructural del reservorio apoyado.....	17
3.4.1.-Descripción del reservorio.....	17
3.4.2.-Procedimiento del estudio de mecánica de suelos.....	18
3.4.3.- Evaluación de la resistencia del concreto ( $f'c$ ).....	18
3.4.4.-Evaluacion del acero estructural.....	23
3.4.5.-Normatividad usada para la evaluación estructural de reservorio apoyado.....	24
3.4.6.-Características de los materiales utilizados en la estructura del reservorio apoyado.....	26

3.4.7.-Detalle de las normas técnicas utilizadas en la evaluación estructural de estructuras afectadas por sismo.....	27
3.4.8.-Tipos de análisis sísmico.....	32
3.4.8.1.-Análisis estático.....	32
3.4.8.2.-Análisis dinámico.....	34
3.4.8.3.-Análisis modal espectral.....	34
3.5.- Análisis de datos y presentación de resultados.....	35
3.5.1.-Estudio de mecánica de suelos .....	35
3.5.2.- Ensayo de esclerometria.....	39
3.5.3.- Modelamiento estructural del reservorio apoyado.....	43
3.5.4.-Evaluación estructural del reservorio apoyado.....	44
3.5.4.1.-Análisis estático para reservorios apoyados.....	44
3.5.4.2.- Análisis dinámico para reservorios apoyados.....	58
3.5.4.3.- Análisis modal para reservorios apoyados.....	63
3.5.4.4.- Combinaciones de cargas.....	65
3.5.4.5.-Esfuerzo de Vom Mises.....	67
3.5.5.- Cálculo del acero en la estructura del reservorio apoyado.....	68
3.5.5.1.- Cálculo del acero en la cúpula.....	68
3.5.5.2.- Cálculo del acero en la viga anular superior.....	72
3.5.5.3.- Cálculo del acero en el muro circular .....	76
3.5.6.- Cálculo del acero en la sub estructura.....	81
3.5.6.1.- Cálculo del acero en la losa base.....	81
3.5.6.2.- Cálculo del acero en el cimiento corrido.....	86
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93
4.1.- Resumen de resultados del estudio de mecánica de suelos.....	93
4.1.1- Discusión de resultados del estudio de mecánica de suelos.....	94
4.2.- Resumen de resultados del ensayo de esclerometria.....	95
4.2.1.- Discusión de resultados del ensayo de esclerometria.....	95
4.3.- Resumen de resultados del desplazamiento máximo.....	96
4.3.1.- Discusión de resultados del desplazamiento máximo.....	96
4.4.- Resumen del resultado del cortante basal calculado y del cortante dinámico obtenido del SAP 2000.....	97

4.4.1.- Discusión de resultados del cortante calculado y el cortante obtenido del programa SAP 2000.....	97
4.5.- Resumen del resultado del esfuerzo máximo del concreto con respecto al esfuerzo de Von Mises .....	98
4.5.1.- Discusión de resultados del esfuerzo de Vom Mises con respecto al esfuerzo máximo del concreto.....	99
4.6.- Resumen del resultado del cálculo del acero estructural.....	99
4.6.1.- Discusión de resultados del cálculo del acero estructural con respecto al plano estructural del expediente técnico.....	100
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>
<b>CAPITULO VIII: ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

### **INDICE DE TABLAS.**

Tabla N° 1: Angulo de impacto vs número de rebote y $f^c$ .....	22
Tabla N°2: Propiedades mecánicas de los materiales de la estructura de concreto armado .....	26
Tabla N° 3: Cargas de gravedad .....	26
Tabla N° 4: Factor de modificación de respuesta.....	27
Tabla N° 5: Factores de zonificación.....	28
Tabla N° 6: Clasificación de los perfiles del suelo.....	30
Tabla N°7: Factores de suelo según zonificación.....	31
Tabla N° 8: Periodos de $T_p$ y $T_l$ según perfil de suelo.....	31
Tabla N°9: Análisis granulométrico.....	35
Tabla N° 10: Peso volumétrico.....	36
Tabla N° 11: Contenido de humedad.....	37
Tabla N° 12: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.....	37
Tabla N° 13: Clasificación del suelo.....	38
Tabla N° 14: Ensayo de esclerometria en el muro circular.....	40
Tabla N° 15: Ensayo de esclerometria en el anillo circular.....	41

Tabla N° 16: Ensayo de esclerometria en la cúpula.....	42
Tabla N° 17: Relación de pesos en la estructura del reservorio apoyado.....	48
Tabla N° 18: Parámetros sísmicos.....	58
Tabla N° 19: Cortante basal obtenido de SAP 2000 .....	62
Tabla N°20: Modal participating mass ratios, part 1 of 3.....	64
Tabla N° 21: Limites para la distorsión .....	65
Tabla N° 22: Tipo de suelo y capacidad portante. ....	94
Tabla N° 23: Resumen del ensayo de esclerometria.....	95
Tabla N° 24: Resumen del resultado del acero estructural.....	99

### **INDICE DE FIGURAS.**

FIG. N° 1. Esclerómetro y sus partes.....	19
FIG. N° 2. Ángulos de utilización del esclerómetro.....	20
FIG. N° 3. Esquema de utilización del esclerómetro.....	20
FIG. N° 4. Zonas sísmicas.....	28

## **RESUMEN.**

En la presente investigación se realizó un esquema de análisis, siguiendo un proceso metodológico para la evaluación y diseño estructural del reservorio apoyado, dado el caso que algunas estructuras fallan o presentan deficiencias estructurales por el simple hecho de utilizar diseños o materiales inadecuados.

Para la evaluación estructural del reservorio apoyado, se hizo un ensayo de esclerometría en la cúpula, anillo y muro circular, también se realizó un ensayo de mecánica de suelos para determinar el tipo de suelo y su capacidad portante, luego se hizo la evaluación del comportamiento estructural del reservorio apoyado, mediante un análisis estático, dinámico y modal espectral utilizando el programa SAP 2000 vs 17, luego se calculó el acero estructural del reservorio apoyado.

Para la evaluación estructural se utilizó diferentes normativas como, el ACI 350.3 - 06, ACI 318-14, ACI 318S-05, ACI 318SR-05, así como la NORMA E.030, 2016, la NORMA E. 020 y la NORMA E .060.

Luego de obtener los resultados de la evaluación estructural, se verifica que el  $f'c$  calculada es inferior al  $f'c$  de diseño del plano estructural del expediente técnico.

Con respecto al comportamiento estructural del reservorio apoyado se verifica que el desplazamiento máximo en una esquina y el cortante basal cumplen con los parámetros de la NORMA E.030, con respecto al acero estructural calculado se verificó que en la cúpula y losa base se ha sobredimensionado el acero y en el cimiento corrido se necesita más acero, estos valores se evaluarán comparándolos con los valores establecidos en el plano estructural del expediente técnico.

Palabras clave: Evaluación estructural, reservorio apoyado, análisis estático y dinámico, expediente técnico, programa SAP 2000 vs 17.

## **ABSTRACT.**

In the present investigation an analysis scheme was made, following a methodological process for the evaluation and structural design of the supported reservoir, given the case that some structures fail or have structural deficiencies by the simple fact of using inadequate designs or materials.

For the structural evaluation of the supported reservoir, a sclerometry test was made on the dome, ring and circular wall, a soil mechanics test was also carried out to determine the type of soil and its bearing capacity, then the behavior evaluation was made structure of the supported reservoir, by means of a static, dynamic and spectral modal analysis using the SAP 2000 vs 17 program, then it was calculated from the structural steel of the supported reservoir.

For the structural evaluation, different regulations were used, such as ACI 350.3 - 06, ACI 318-14, ACI 318S-05, ACI 318SR-05, as well as NORM E.030, 2016, NORM E. 020 and NORM E .060.

After obtaining the results of the structural evaluation, it is verified that the calculated  $f'c$  is inferior to the design  $f'c$  of the structural plan of the technical file.

With respect to the structural behavior of the supported reservoir, it is verified that the maximum displacement in one corner and the basal shear comply with the parameters of the E.030 STANDARD, with respect to the calculated structural steel it was verified that in the dome and base slab it has been oversized In the case of steel and in the corridor, more steel is needed, these values will be evaluated by comparing them with the values established in the structural plan of the technical file.

Keywords: Structural evaluation, supported reservoir, static and dynamic analysis, technical file, SAP 2000 program vs 17.





# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN.**

Reservorio es una estructura que sirve, por un lado, para almacenar el agua y abastecer a la población, y por otro para mantener una presión adecuada en las redes y dar un buen servicio. El reservorio de almacenamiento consta de dos partes: La primera, el depósito de almacenamiento; y la segunda, la caseta de válvulas donde se encuentran las válvulas de control de entrada y salida del agua. (Según: **Guía para el Diseño y Construcción de Reservorios Apoyados, Lima-2004**).

En nuestro país no existe una metodología para el análisis de los reservorios apoyados frente a diferentes escenarios de peligros sísmicos. Asimismo, a nivel mundial, son pocos los estudios que se han realizado para hacer una evaluación estructural de los reservorios apoyados verificando los diseños que en algunos casos resultan inadecuados generando deficiencias en la estructura o en otras ocasiones conllevan a sobredimensionar el acero estructural, debido a esta necesidad se ha desarrollado la evaluación estructural de un reservorio de capacidad  $20 \text{ m}^3$ .

Para esto se ha formulado el siguiente problema:

### **1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.**

En la actualidad la mayoría de los proyectistas y diseñadores hacen estudios y diseños inadecuados que no están de acorde con la zona, el suelo, por otro lado sobredimensionan el acero estructural, mientras que en otros casos sucede lo contrario y cuando se realiza la ejecución del proyecto cambia la situación ya que puede haber variaciones en el proceso constructivo ya sea que mejoren la estructura o en algunos casos sea ocasión de negligencia del maestro o ingeniero que esté a cargo de la ejecución del proyecto y por ende se generen deficiencias en la estructura, ya sea por el diseño o uso de materiales inadecuados, ( Según: **ACI 224.1R-93 – Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras**).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, nace la necesidad de investigar sobre la evaluación estructural del reservorio apoyado.

- **PROBLEMA.**

¿Cuál es el comportamiento estructural del reservorio apoyado de sección circular de ( $20 \text{ m}^3$ ), sector 1 del C.P de Cabracancha – Chota?

Fundamentando en la hipótesis siguiente:

- **HIPÓTESIS.**

“El comportamiento estructural del reservorio apoyado ante un sismo severo, es bueno con respecto a los criterios de la NORMA E. 030”.

- **ALCANCES.**

La investigación se realizará en el Centro Poblado de Cabracancha - Chota, pretendiendo realizar la evaluación estructural de un reservorio apoyado cuya capacidad es de 20 m<sup>3</sup>, para hacer una comparación con el plano estructural del expediente técnico. Este estudio nos permite verificar la resistencia del concreto y el acero estructural del reservorio apoyado.

- **LIMITACIONES.**

Para la elaboración de esta tesis se toma en cuenta las medidas de los elementos estructurales, sacadas del plano estructural del expediente técnico.

Luego se evalúa la resistencia del concreto solo en la cúpula, anillo y muro circular, en la losa base y cimiento corrido se obvia este análisis.

Para el estudio de mecánica de suelos se evalúa el tipo de suelo y su capacidad portante. Luego se evaluará desplazamientos, cortantes y esfuerzos con el programa SAP 2000 vs 17, tomando como referencia algunos parámetros de la NORMA E.030, también se calculará el acero estructural en la cúpula, anillo circular, muro circular, losa base y cimiento corrido, no se considera el análisis dinámico tiempo – historia porque puede emplearse como un procedimiento complementario al análisis estático, dinámico y modal espectral respectivo. (Según: NORMA E.030).

- **OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar el comportamiento estructural del reservorio apoyado de sección circular de (20 m<sup>3</sup>) sector 1 del centro poblado de Cabracancha - Chota.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Evaluar el desplazamiento máximo en cualquier punto y cortante basal para verificar si cumple con los parámetros establecidos en la NORMA E.030.
- Evaluar el tipo de suelo y su capacidad portante.
- Evaluar el  $f'c$  en la cúpula, anillo circular y muro circular, mediante un ensayo de esclerometría
- Calcular el acero estructural del reservorio apoyado para luego compararlo con lo establecido en el plano estructural del expediente técnico.

- **DEFINICIÓN DE VARIABLES.**

- ✓ **VARIABLE CATEGORICA.**

- EL comportamiento estructural del reservorio apoyado de sección circular ( $20 \text{ m}^3$ ), sector 1 del centro poblado de Cabracancha – Chota.

- ✓ **CATEGORIAS.**

- El desplazamiento máximo en cualquier punto del reservorio apoyado de concreto armado de sección circular.
- Los esfuerzos y momentos en los elementos estructurales del reservorio apoyado de concreto armado de sección circular.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO.**

El estudio del comportamiento de las estructuras frente a sollicitaciones sísmicas es un tema que siempre ha interesado al hombre, y en efectos hidrodinámicos Housner (1963) propone el sistema mecánico equivalente para el análisis de reservorios apoyados.

Los reservorios apoyados son estructuras esenciales en el sistema de abastecimiento de agua potable, pero en los últimos 20 años pocas son las investigaciones desarrolladas que evalúen las deficiencias que se pueden generar ocasionando fisuras y provocando una estética defectuosa en estas estructuras de gran importancia, en consecuencia estas estructuras siguen presentando daños luego después de un sismo de gran magnitud (Kuroiwa, 2012), las últimas investigaciones realizadas para reservorios apoyados comprenden modelos matemáticos que se calibraron con los ensayos realizados para determinar la magnitud de los efectos sísmicos (Ali, 2012).

Asimismo, se realizaron comparaciones de fuerzas laterales y momentos volcantes obtenidos aplicando diversas metodologías para el análisis de reservorios apoyados de forma cilíndrica (Sánchez, Vargas, 2011).

Con respecto a las investigaciones recientes realizadas sobre reservorios apoyados, algunas se enfocaron en la interacción fluido - estructura - suelo. Asimismo, existen programas computacionales para el análisis de estructuras como el programa SAP 2000 vs 17 el cual es muy conocido para el modelamiento estructural de reservorios apoyados.

En el 2006 se hicieron comparaciones entre algunos modelos simplificados de elementos finitos, este modelo simplificado que sólo tomaba en cuenta una masa unificada se comparó con el de modelo establecido por Housner y se indicó que no tomar en cuenta un porcentaje como masa convectiva daba como resultado momentos volcantes y fuerzas cortantes menores. Esto a pesar de que el modo impulsivo domina el comportamiento de los reservorios durante un sismo, asimismo se indicó que en suelo blando las fuerzas y desplazamientos obtenidos con los modelos de elementos finitos, donde interactúan el suelo, la estructura y el fluido, resultaron considerablemente diferentes a los obtenidos con los métodos prácticos empleados en algunos códigos como del ACI 350 (American Concrete Institute Concrete Environmental Engineering Structures) y el ACI 371R - 08 (Livaouglu y Dogangün, 2006).

## **2.1.- ANTECEDENTES TEÓRICOS.**

### **➤ INTERNACIONALES.**

- En enero de 2014 , Luis Enrique Corzo García en su tesis para optar el título de ingeniero civil en la universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de ingeniería de la escuela académico profesional de ingeniería civil, formuló una “Guía Metodológica para Diseñar Obras de Abastecimiento de Agua Potable Resistentes a Sismos en la República de Guatemala”, por ello recomienda la utilización del ACI 350 (American Concrete Institute Concrete Environmental Engineering Structures), afirma que esta norma tiene parámetros con capacidad de aportar una resistencia sísmica elevada.

En el 2012, Masoudi realizó una investigación sobre el factor de modificación de la respuesta R, en donde una de las conclusiones fue que, a diferencia de la recomendación de códigos como el ACI 371R-08 o el FEMA 450, los valores calculados deben ser menores a 3, similar a lo recomendado en el Eurocódigo 8. Asimismo, los resultados del análisis no lineal realizado indican que una gran porción del soporte de la estructura entra en rango inelástico. Asimismo sugieren tomar en cuenta en los análisis la interacción fluido - estructura, ya que esto puede determinar un adecuado o pobre comportamiento en el rango inelástico. (Masoudi, 2012).

Nazari (2009), en el año 2009 realizó una investigación para determinar el factor R que modifica la respuesta sísmica de reservorios elevados en las diferentes regiones de Canadá. Para ello, se realizó un análisis estático no lineal con elementos finitos, hallando valores para R entre 1.6 y 2.5.

### **➤ NACIONALES.**

En el Perú aún no se ha implementado un código para el análisis y diseño de estructuras que contienen agua, por lo que se emplean códigos extranjeros como el Eurocódigo (EC - 8), el ACI - 350.3, el ACI 371 y el ACI 318.

El Dr. Carlos Zavala del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, ha contribuido con la revisión técnica del texto “Reducción del Daño Sísmico” - Guía para las empresas de agua, este texto presenta información técnica de gran valor para la prevención de los daños que podría provocar un terremoto en los distintos componentes

que forman parte de un sistema de abastecimiento de agua potable , además aporta aquellos aspectos de especial interés para los países de América Latina y el Caribe.

GUILLÉN ASCARZA MISAEL ENZO y ROJAS PÉREZ ALEX VLADIMIR, en su tesis para optar el título de ingeniero civil, el 04 de septiembre del año 2017 desarrollaron una tesis cuyo título es “Análisis del Comportamiento Dinámico del Agua en Tanques Apoyados Rectangulares y Cilíndricos Bajo la Acción Sísmica”. Esta tesis presenta una propuesta de tanque rectangular y otro circular para un volumen de diseño de 1000 m<sup>3</sup> de agua, para un tanque apoyado en un suelo intermedio ubicado en Lima. Se procede a calcular el cortante basal y momento mediante el método de Housner con las especificaciones del ACI 350-01 y la NORMA E.030-2016.

QUEZADA VERA WILDER y SALINAS PALACION ÁNGELA, en el año 2012 desarrollaron una tesis cuyo título es “Diseño y análisis de un reservorio tipo fuste de 300 m<sup>3</sup> en la ciudad de Trujillo”. En la cual aportan algunos conocimientos básicos que sirven de guía para el diseño de reservorios apoyados.

#### ➤ **LOCALES.**

Actualmente en Chota no se han realizado investigaciones sobre la evaluación estructural de reservorios contenedores de agua.

## **2.2.- BASES TEÓRICAS.**

### ➤ **RESERVORIO O TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN.**

Es una estructura que tiene por finalidad la regulación del volumen almacenado de agua, cuya función es el almacenamiento del agua en horas en las que el consumo es mínimo y cubrir las demandas en horas de máximo consumo. La importancia del reservorio radica en garantizar el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente (R Agüero, 1997).

De acuerdo con la NT E.030, 2016 los reservorios son estructuras esenciales, las cuales deben seguir brindando su servicio después de producido un sismo.

## **2.3.-DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

### **✓ RESERVORIO.**

Es la estructura que garantiza el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas con respecto al rendimiento admisible de la fuente. (R Agüero, 1997).

El reservorio de almacenamiento de agua juega un papel básico para el diseño del sistema de distribución de líquidos, tanto desde el punto de vista económico, así como por su importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente. (M Saavedra y N Ugarte, sf).

### **✓ EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS CONTENEDORAS DE LÍQUIDOS.**

El reglamento ACI es uno de los reglamentos que tiene una normativa ya establecida para el análisis y diseño de estructuras contenedoras de líquidos, este reglamento se basa en el modelo equivalente de Houssner quien estudio el comportamiento dinámico de líquidos ante solicitaciones sísmicas, específicamente el 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.

### **✓ ESPECTRO DE RESPUESTA.**

Con respecto a los espectros de respuesta fueron inicialmente propuestos por Biot en el año 1932 y luego desarrollados por Housner, Newmark y otros investigadores. Actualmente, el concepto de espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural, de gran utilidad en el área del diseño sismoresistente. En forma general, podemos definir espectro como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura.

### **✓ CARGA DE SERVICIO.**

La carga sin amplificar, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **CARGA AMPLIFICADA O FACTORIZADA.**

La carga, multiplicada por los factores de carga apropiados, que se utiliza para diseñar los elementos utilizando el método de diseño por resistencia de esta norma, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **CONCRETO.**

Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **CONCRETO ESTRUCTURAL.**

Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **MÓDULO DE ELASTICIDAD.**

Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **MURO ESTRUCTURAL.**

Elemento estructural, generalmente vertical empleado para encerrar o separar ambientes, resistir cargas axiales de gravedad y resistir cargas perpendiculares a su plano, (Según: NORMA E.060, 2009).

✓ **RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'C).**

Resistencia a la compresión del concreto empleada en el diseño, expresada en MPa. Cuando dicha cantidad esté bajo un signo radical, se quiere indicar sólo la raíz cuadrada del valor numérico, por lo que el resultado está en MPa, (Según: NORMA E.060, 2009).

#### ✓ **RESISTENCIA NOMINAL.**

Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia de esta norma, antes de aplicar el factor de reducción de resistencia, (Según: NORMA E.060, 2009).

#### ✓ **FUERZA CORTANTE EN LA BASE.**

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, (Según: NORMA E.030, 2016).

#### ✓ **ACELERACIÓN ESPECTRAL.**

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, (Según: NORMA E.030, 2016).

#### ✓ **FUERZA CORTANTE MÍNIMA.**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor de la fuerza cortante calculada, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares, (Según: NORMA E.030, 2016).

#### ✓ **FACTOR DE REDUCCIÓN POR SOBRESISTENCIA (R).**

La sobrerresistencia depende de factores, que se encuentran el sistema estructural empleado, el grado de hiperestaticidad, el detallado estructural, la variabilidad de las propiedades y el índice de los materiales con el tiempo y con la velocidad de aplicación de la carga, la misma que se encuentre afectando a la estructura del reservorio, (Según: NORMA E.030, 2016).

### **2.4.- OTROS CONCEPTOS BÁSICOS QUE SE DEBE TENER EN CUENTA.**

(Según: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento – diseño estructural).

#### ✓ **LOS SISMOS.**

Son movimientos irregulares del terreno en cualquier dirección y son causados por actividad volcánica o tectónica, los más graves son de origen tectónico.

Estos últimos se producen por la ruptura del terreno, la longitud de las fallas puede ser de varios cientos de kilómetros y se generan a profundidades de 10 a 50 km o aún mayores.

#### ✓ **SISMICIDAD.**

Es la actividad sísmica de una región y tiene las siguientes características.

- Magnitud
- Intensidad
- Frecuencia

#### ✓ **MAGNITUD DE UN SISMO.**

Es una medida cuantitativa de un sismo depende de la zona donde se ubique y se determina a partir de sismogramas. La escala más común es la de Richter, donde un incremento de magnitud 1 significa 10 veces más energía liberada. La máxima magnitud conocida hasta la fecha es de 8.9.

#### ✓ **INTENSIDAD DE UN SISMO.**

Es una medida subjetiva de los efectos de un sismo en un lugar determinado. La escala más común es la de Mercalli Modificada (MMI), la MMI tiene 12 grados y no hay una relación directa entre la MMI y la escala de Richter.

#### ✓ **ACELEROGRAMAS.**

Describen la historia de aceleraciones producidas por un sismo a lo largo de su duración, amplitud y periodo, obteniéndose mediante acelerógrafos, además miden la aceleración en 3 componentes. El periodo dominante oscila entre 0.2 segundos (terreno firme) a 1.5 o más segundos (terreno blando).

#### ✓ **ONDAS SÍSMICAS.**

Son movimientos longitudinales y elásticos que hacen vibrar a una estructura desde sus cimientos. Las ondas sísmicas se clasifican en.

## A) ONDAS DE CUERPO.

**A.1 Longitudinales (ondas P o primarias):** Son las más rápidas y las primeras que se registran, producen compresión y expansión de las partículas.

**A.2 Transversales (ondas S o secundarias):** Son más lentas pero transmiten más energía y provocan movimientos perpendiculares al sentido de su propagación.

**A.3 Ondas Superficiales:** Resulta de la acción de las ondas S y P, son más lentas y también se les conoce como ondas largas o L.



**Ondas P** Primarias o longitudinales

Son las más rápidas



**Ondas S** Secundarias o transversales

Son más lentas



**Ondas superficiales**

Son culpables de las catástrofes

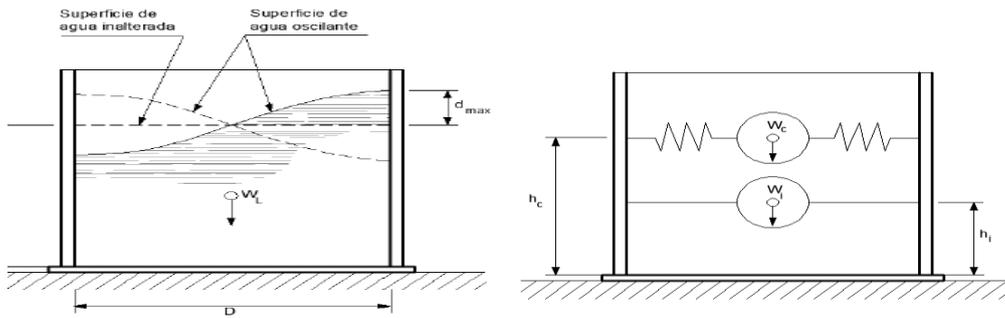
**Tipos de Ondas (Terán, 2006).**

### ✓ EFECTOS HIDRODINÁMICOS.

Si una estructura contiene agua en su interior, y el recipiente se mueve como cuerpo rígido esto permite que las paredes y el fondo tengan la misma aceleración, esa masa ejerce sobre las paredes una fuerza lateral impulsiva proporcional a la aceleración del recipiente. Asimismo, otra parte del líquido actúa como si fuera un cuerpo sólido de masa  $M_1$  unido elásticamente a las paredes debido al soporte flexible se presenta un fenómeno de amplificación dinámica, por lo que esa masa ejerce sobre las paredes una fuerza lateral convectiva proporcional a la aceleración amplificada que esta experimenta (CFE, 2008).

✓ **MÉTODO DE HOUSNER.**

Para el análisis de estructuras que contienen líquidos Housner en el año 1963, propuso un modelo matemático basado en un análisis estático y dinámico, en la cual afirma que la pared de del reservorio se encuentra a afectada por una masa convectiva y una masa impulsiva.



**Analogía de las masas virtuales adheridas en un depósito superficial (Adaptada de MOCS – CFE – 08).**

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y METODOS.**

#### **3.1.-CARACTERÍSTICAS GEOGRAFICAS DEL LUGAR.**

Para este análisis se debe tomar en cuenta las características geográficas del lugar donde se desarrolló el proyecto.

##### **➤ UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y PISO ECOLOGICO.**

El sector 1 del Centro Poblado Cabracancha, Provincia de Chota y Región Cajamarca, se ubica a una altitud aproximada entre 2400 m.s.n.m. a 2600 m.s.n.m. La zona del proyecto según la clasificación de las regiones naturales del Perú por parte del Dr. Javier Pulgar Vidal, se encuentra en la región quechua. (**Tesis las Ocho Regiones Naturales del Peru, Javier Pulgar Vidal - 1938**).

##### **➤ TOPOGRAFÍA.**

Las características del lugar por donde atraviesa el proyecto son una pendiente ligera en un 90 % y un 5 % accidentado aproximadamente. También podemos afirmar que el lugar del Proyecto en mención, se encuentra entre las coordenadas 758934.41 E, 9270960.50 N y cota 2574.24 m.s.n.m. (**Según: Plano Topográfico del Expediente**).

##### **➤ TIPO DE SUELO.**

Es un suelo expansivo, (CH) suelo arcilloso de alta plasticidad y de baja capacidad portante, con alta resistencia a la tubificación y de resistencia media al corte. (**Según: Estudio de Mecánica de Suelos**).

##### **➤ CLIMA.**

El clima es frígido con presencia de fuertes lluvias sobre todo en el periodo diciembre - abril, su clima pertenece al tipo seco frío con temperaturas promedio de 12° C, durante todo el año, temperaturas máximas de 24° C y mínimas de 0° a 5° C. El promedio de humedad registrado es de 70 % y el promedio de precipitaciones es de 950 mm como máximo y 500 mm como mínimo.

### ➤ **POBLACIÓN Y VIVIENDA.**

El sector 1 del centro poblado de Cabracancha - Chota, tienen una población, equivalente a 555 habitantes, está en su totalidad se dedica a actividades como la agricultura y la ganadería (Según: INEI, Población Rural - 2016).

### **3.2.- CRITERIOS QUE SE TOMAN EN CUENTA PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO APOYADO.**

#### **A) CRITERIO HIDRÁULICO.**

- ✓ **Volumen de almacenamiento:** El volumen de agua en un reservorio varía de acuerdo al tiempo, las costumbres de sus habitantes y las condiciones climáticas. Para determinar el almacenamiento del reservorio hay que considerar el volumen de regulación, volumen contra incendios y volumen de reserva.

**NOTA:** La capacidad de volumen del reservorio apoyado es de 20 m<sup>3</sup>.

#### **B) CRITERIO ESTRUCTURAL.**

Para el diseño estructural se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Estudio de mecánica de suelos (por el método de corte directo).
- Ensayo de esclerometría para determinar el f'c del concreto armado, empleando el método de ensayo no destructivo con esclerómetro.
- Determinación del acero de refuerzo, utilizando el programa SAP 2000 vs 17 y aplicando el método del estado elástico agrietado.
- Finalmente será necesario evaluar y comprobar las diferencias de los resultados del cálculo estructural con respecto a lo que indica el plano estructural del expediente técnico.

#### ➤ **LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE SE EVALUAN SON:**

- ✓ **Cúpula:** Es el elemento estructural que va apoyada directamente sobre la viga anular y sirve como tapa del reservorio.

✓ **Viga anular (anillo circular):** Es un elemento estructural que va apoyado sobre el muro circular y sirve de apoyo para la cúpula.

✓ **Pared o muro circular:** Es un elemento de la estructura que soporta y contiene el agua del reservorio.

✓ **Losa base:** Elemento estructural que soporta todo el peso del agua.

✓ **Cimiento corrido:** Es el elemento estructural de concreto armado la cual estará apoyada sobre un terreno preparado con material adecuado y sirve de sostén o apoyo para la estructura.

### **3.3.- CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO Y FECHA DE INVESTIGACIÓN.**

#### **➤ POBLACIÓN DE ESTUDIO.**

Todos los reservorios apoyados de los sectores 1, 2, 3 y 4 del centro poblado de Cabracancha - Chota.

#### **➤ MUESTRA.**

Reservorio apoyado de sección circular ( $20 \text{ m}^3$ ) del sector 1 del Centro poblado de Cabracancha - Chota.

#### **➤ UNIDAD DE ANÁLISIS.**

Evaluación estructural de reservorio apoyado de sección circular de  $20 \text{ m}^3$  (con el programa SAP 2000 vs 17) del sector 1 del centro poblado de Cabracancha - Chota.

## ➤ **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

### ✓ **Técnica.**

-Revisión bibliográfica; selección del problema, hipótesis, objetivos, variables; luego se hace el modelamiento estructural del reservorio apoyado con SAP 2000 vs 17; después se calcula del acero estructural de cada elemento del reservorio apoyado para finalmente comparar e interpretar los resultados obtenidos con respecto al expediente técnico.

### ✓ **Instrumento.**

- utilización de palana, Wincha, mazo de madera y tubos de metal para hacer una calicata y sacar muestra de suelo para luego hacer el ensayo en el laboratorio.

- Utilización de esclerómetro, regla, plumón, cincel, martillo, lapicero, libreta de campo y tabla de valores para el ensayo de esclerometría.

- Utilización de computadora y los programas: SAP 2000 vs 17, el Auto CAD, el Excel y el Word.

- Recopilación de información, planos estructurales y expediente técnico.

### ✓ **Análisis general de datos.**

El análisis de datos se realizara en campo y también en gabinete realizando los estudios necesarios para la evaluación estructural del reservorio apoyado de sección circular de 20 m<sup>3</sup>, el software que se utiliza para el modelamiento estructural del reservorio apoyado es el SAP 2000 vs 17.

## ➤ **FECHA DE INVESTIGACIÓN.**

La evaluación estructural se inicia el 10 de junio del 2017, en el sector 1 del centro poblado de Cabracancha – Chota.

### **3.4.- PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO APOYADO.**

#### **3.4.1.-DESCRIPCIÓN DEL RESERVORIO.**

El reservorio apoyado tiene las siguientes características algunas de estas fueron extraídas del expediente técnico, del estudio de mecánica de suelos y del ensayo de esclerometria.

- Ubicación del reservorio : sector 1 de Cabracancha - Chota
- Fecha de evaluación : 10 de junio de 2017
- Aplicación de Norma : ACI 350, NORMAS ( E.030 , E.020 y E.060)
- Resistencia del concreto  $f'c$ : 210 kg /cm<sup>2</sup>, según expediente técnico.

Para la cúpula, anillo circular y muro circular se tomara los valores obtenidos del ensayo de esclerometria.

Para la losa base y cimiento corrido, para estos elementos no se hace el ensayo de esclerometria por lo tanto se utilizara un  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> como indica el expediente técnico.

- Resistencia del acero  $f_y$  : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- Peso unitario del concreto : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario del agua : 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Aceleración de la gravedad : 9.81 m/s<sup>2</sup>
- Capacidad portante del suelo: 0.65 kg/cm<sup>2</sup> (Ver Estudio de Mecánica de Suelos).
- Tipo del reservorio: Circular apoyado.
- Capacidad del reservorio : 20 m<sup>3</sup>

### **3.4.2 -ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS (E.M.S).**

Este estudio es desarrollado en campo para su estudio se considera los siguientes ensayos:

- ✓ Análisis granulométrico.
- ✓ Peso volumétrico
- ✓ Contenido de humedad.
- ✓ Clasificación del suelo.
- ✓ Calculo de la capacidad de carga, (Según Teoría de bell /terzaghi).

### **3.4.3.- EVALUACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ( $f'c$ ).**

Para evaluar la resistencia del concreto se hace un ensayo de esclerometria, para este análisis se toma en cuenta los siguientes conceptos teóricos.

✓ **ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA:** Este es un tipo de ensayo no destructivo y se realiza de acuerdo a lo estipulado en la norma: ASTM C805, y UNE-EN-12504-2.

Ambas normas requieren de piezas con un espesor mayor a los 100 mm, de superficie lisa y seca, con el esclerómetro en posición perpendicular a la superficie de ensayo y distanciando los puntos de ensayo un mínimo de 25 mm. Mientras que la ASTM C805 marca un número de lecturas de 10, la UNE señala un valor de 9 determinaciones.

**STM C805:** Se descartan todas las lecturas que difieran en más de 6 unidades de la media. Si existen más de dos lecturas que cumplan esta condición debe descartarse el conjunto.

**UNE-EN-12504-2:** Si el número de lecturas que difieren de la mediana es igual o superior al 20% se descarta el conjunto.

Observe la diferencia entre media y mediana. Recordamos que mientras la media aritmética la hallaremos dividiendo la suma de los valores entre el número de valores, la mediana la obtenemos del valor central si ordenamos los datos de mayor a menor o viceversa (en el caso de valores pares, la media de los valores centrales).

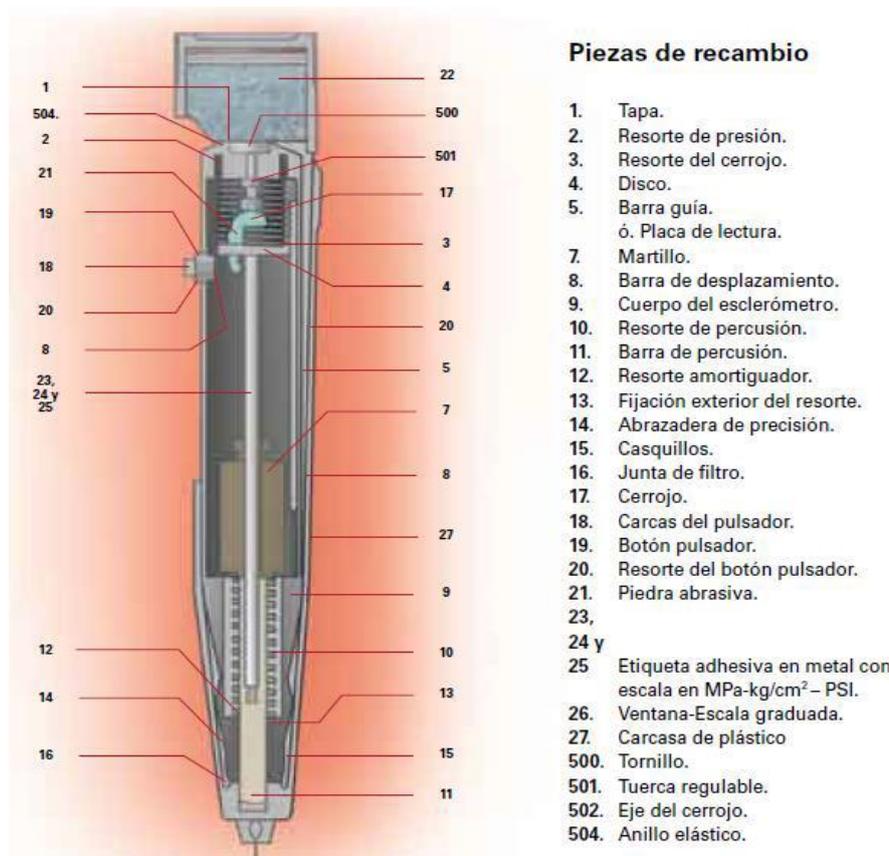
### ✓ OBJETIVOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.

- Obtener una estimación de la resistencia del concreto en la cúpula, anillo circular y muro circular.
- Determinar si la resistencia del concreto si es aceptable con respecto al expediente técnico.

### ✓ MARTILLO DE REBOTE (ESCLERÓMETRO).

- Es un martillo de acero impulsado por resorte, cuyo rebote se registra en un ábaco incorporado al instrumento.
- También se utiliza una piedra abrasiva la cual está constituido por granos de carburo de silicio de tamaño medio o de algún otro material y textura similar.

### ESCLERÓMETRO Y SUS PARTES.



**Figura 1:** Esquema del Esclerómetro.

**Fuente:** (USS, 2014)

## ÁNGULOS DE UTILIZACIÓN DEL ESCLERÓMETRO.



**Figura 2:** Ángulos de utilización del esclerómetro

**Fuente:** USS, 2014.

### ✓ PROCEDIMIENTO PARA HACER EL ENSAYO.

Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar y se ejerce una pequeña 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, con dos cifras significativas.



**Figura 3:** Esquema de utilización del esclerómetro.

**Fuente:** USS, 2014

### ✓ **ALGUNAS CONSIDERACIONES TECNICAS PARA EL ENSAYO.**

- Selección del área de ensayo: Superficie seca, plana, lisa y uniforme.
- Evitar zonas ásperas, porosas o con cangrejas.
- Retirar previamente el tarrajeo de existir en los elementos a analizar.
- Error estimativo de la resistencia del concreto con una exactitud no mayor a un 20 % de error, **(Según: Ing. Adolfo Delibes Lioiers, laboratorio de INTEMAC).**
- Elemento de concreto a ensayar debe poseer un espesor igual o superior a 100 mm.
- Una vez seleccionada la ubicación, se debe marcar una superficie cuadrada de a lo menos 200 mm por lado.
- Los ensayos deben efectuarse con un mismo martillo, el que debe sujetarse firmemente en posición perpendicular a la superficie de ensayo. La posición normal es la horizontal y en caso de utilizarse en otras posiciones, las lecturas deben ser corregidas de acuerdo a las indicaciones del fabricante.
- En el caso de las losas estas deben ser ensayadas por su cara inferior.
- El martillo se presiona gradualmente hasta que se dispara. Después de cada disparo se examina el lugar del impacto y si se nota trituración o daño superficial se descarta la medida. Si el punto de impacto se nota sano se registra la lectura aproximándola a la menor división de la escala y se repite la operación hasta completar 10 valores.

### ✓ **CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

- Para tener un buen valor promedio del índice esclerométrico es necesario tomar 10 lecturas para promediar.
- Si más de 2 lecturas difieren en 6 unidades del promedio, se deben de descartar todas las lecturas. **(Según: NORMA STM C805).**

### ✓ **RESULTADOS QUE SE PUEDE OBTENER DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.**

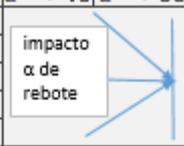
Los resultados de ensayo deberán ser registrados y ser sujetos a análisis estadístico, cuando fuera el caso, incluyéndose en el informe lo siguiente:

- Identificación de la estructura
- Localización de la superficie de prueba, por ejemplo: en la cúpula, anillo circular, muro circular.
- Descripción del área de ensayo, por ejemplo: superficie lisa, seca, pulida, etc.

- Descripción del concreto.
- Composición del concreto, si se conoce: agregados, contenido de cemento, relación a/c, contenido de aire, aditivos empleados, revestimiento de diseño etc.
- Resistencia de diseño y resistencia real.
- Edad del concreto en el momento de realizar la prueba.
- Promedio de rebote de cada área de ensayo.
- Valores y localización de los índices de rebote descartados.
- Tipo de dispositivo y número de serie.

✓ **PARA EL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA SE RECOMIENDA UTILIZAR LA SIGUIENTE TABLA, (Según: MANUAL ESCLERÓMETRO REF PC 137, publicado en junio del 2013).**

R	$\alpha = - 90$	$\alpha = - 45$	$\alpha = 0$	$\alpha = + 45$	$\alpha = + 90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	> 600	> 600	580	550	530



**Tabla N° 1: Angulo de impacto vs número de rebote y f'c.**

### 3.4.4.-EVALUACION DEL ACERO ESTRUCTURAL.

Una vez que ha desarrollado el ensayo de esclerometria se procede al desarrollo del cálculo del acero estructural para este se hace una modelación estructural en el programa SAP 2000 vs 17, para calcular esfuerzos y momentos que afectan a la estructura, después se procede hacer la evaluación del cálculo del acero estructural, para finalmente hacer una breve comparación con el plano estructural del expediente técnico para este análisis se toma en cuenta lo siguiente.

#### ➤ CALCULO DEL ACERO ESTRUCTURAL PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A TRACCIÓN.

(Fuente: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318s-05) y Comentario (ACI 318sr-05).

Para este análisis será necesario tener en cuenta las siguientes igualdades:

$A_s = \frac{F}{\phi f_y}$  , donde  $\phi = 0.9$ , este será el coeficiente recomendable para estructuras circulares sometidas a tracción según (la sección 9.3.2 del código ACI 318-05)

$A_s = \frac{F_r}{\phi f_y}$  , donde  $\phi = \frac{1}{1.65} = 0.61$ , este será el coeficiente recomendable para tracción

en el diseño de estructuras que están en contacto con el agua (Fuente: Comisión Nacional del Agua Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño Estructural de Recipientes Diciembre de 2007. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)).

Para calcular el acero mínimo de elementos de sección rectangular con refuerzos en tracción sometidos a flexión, el código ACI318s-14 recomienda un refuerzo mínimo igual:

$A_s = 0.8 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} * b * d$  y  $A_s = \frac{14.1}{f_y} * b * d$  , Tomar el mayor valor.

- Espaciamiento del acero anular (s)

$$S = \frac{Av * 100}{A_s}$$

➤ **CALCULO DE ACERO POR EL MÉTODO DEL ESTADO ELÁSTICO AGRIETADO.** (Según: Tesis sobre “Diseño y Análisis de un Reservoirio tipo Fuste de 300 m<sup>3</sup> en la Ciudad de Trujillo”, Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquidos (ACI 350.3-01)).

$$F_s = 0.6f_y$$

$$F_c = 0.45f_c$$

**Calculo de k y j**

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}\right)}$$

$F_s$  = Fátiga de trabajo en kg / cm<sup>2</sup>

$F_c$  = Resistencia a la compresión en kg / cm<sup>2</sup>

$$n = E_s / E_c$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$A_s = \frac{M}{f_s x j x d}$$

➤ **CALCULO DE ACERO MÍNIMO.**

$A_{s \text{ min}} = 0.0018 * b * d$ , acero para losas, (según: ACI 318 M – 08).

$A_{s \text{ h min}} = 0.0025 * b * d$ , acero horizontal para muros, (según: ACI 350.3-01).

$A_{s \text{ v min}} = 0.0015 * b * d$ , acero vertical para muros, (según: NORMA E.060).

### **3.4.5.-NORMATIVIDAD USADA PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RESERVORIO APOYADO.**

Las publicaciones a las que se hace referencia corresponden a las últimas revisiones vigentes durante la ejecución de la tesis, a menos que se indique lo contrario:

## ➤ **CÓDIGOS EXTRANJEROS.**

- Code requirements for environmental engineering concrete structures and commentary (ACI 350.3-06). Ofrece procedimientos simplificados para el análisis y diseño sísmico de estructuras de concreto armado que contienen líquido.
- Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350M-01) And Commentary (ACI 350RM-01), Reported By ACI Committee 350
- Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01), Reported by ACI Committee 350.
- Design Considerations for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350.4R-04), Reported by ACI Committee 350.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary, Reported by ACI Committee 318.
- Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14).
- Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318s-05) y comentario (ACI 318sr-05)
- El ACI 371R - 08 es la guía para el análisis, diseño y construcción de reservorios elevados que contienen agua. Para determinar masas equivalentes del agua en movimiento, se hace referencia al capítulo 9 del ACI350.3 - 06. Asimismo, se muestran las combinaciones de carga para el análisis y posterior diseño de todos los elementos que componen el reservorio elevado. En esa guía el procedimiento para determinar la aceleración de diseño del movimiento sísmico y la respuesta espectral se toma del ASCE/SEI 7 - 05. En el apartado 5.1.2.8 del ASCE/SEI 7 - 05 se indican los pasos para obtener las fuerzas sísmicas de diseño.

## ➤ **NORMAS PERUANAS.**

- NORMA E.030, 2016 (NORMA DE DISEÑO SISMO RESISTENTE).
- NORMA E.020, 1985 (NORMA DE CARGAS).
- NORMA E.060, 2009 (NORMA DE CONCRETO ARMADO).

### 3.4.6.-CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTRUCTURA DEL RESERVORIO APOYADO.

- **Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la estructura de concreto:**

Material	Calidad	Peso Específico (Tn /m <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidad (Tn/m <sup>2</sup> )	Relación de Poisson
Concreto	Fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	2.4	2.1*10 <sup>7</sup>	0.2

**Tabla N° 02: Propiedades mecánicas de los materiales de la estructura de concreto armado (NORMA E. 060).**

- **Cargas de diseño:** Para la evaluación estructural se han empleado las cargas que se detallan en la Tabla N° 03.

Tipo de Carga	Referencia	Carga
<b>Cargas Permanentes</b>		
Peso específico del concreto armado.	NORMA E.020	2.40 Tn/m <sup>3</sup>
Peso específico del fluido.	NORMA E.020	1.00 Tn/m <sup>3</sup>
<b>Sobrecarga</b>		
Carga viva en la cúpula.	NORMA E.020	0.05 Tn/m <sup>3</sup>

**Tabla N° 03: Cargas de gravedad (NORMA E.020).**

### 3.4.7.-DETALLE DE LAS NORMAS TECNICAS UTILIZADAS EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR SISMO.

#### ➤ ACI 350.3 – 06.

El capítulo 4 del ACI 350.3 - 06 está orientado a determinar las fuerzas generadas por el sismo. Para determinar dichas fuerzas se puede realizar un análisis estático o dinámico. Las fuerzas del análisis estático propuesto en este capítulo se obtienen a partir de las fuerzas generadas por el comportamiento hidrodinámico del agua.

Tabla 4d de ACI 350, factor de modificación de la respuesta para reservorios.

Tipo de Estructura	Rwi Superficial o en Pendiente	Enterrado	Rwc
Anclados base flexible.	4.75	4.5	1
Empotrado o simple apoyo.	2.75	4	1
No anclados llenos o vacíos.	2	2.75	1
Estanques elevados.	3	-	1

**Tabla N° 04: Factor de modificación de respuesta (R), (ACI 350.3-01).**

#### ➤ ACI 371 R-08.

El ACI 371R - 08 es la guía para el análisis, diseño y construcción de reservorios que contienen agua. Para determinar masas equivalentes del agua en movimiento, se hace referencia al capítulo 9 del ACI 350.3 - 06. Asimismo, se muestran las combinaciones de carga para el análisis y posterior diseño de todos los elementos que componen el reservorio.

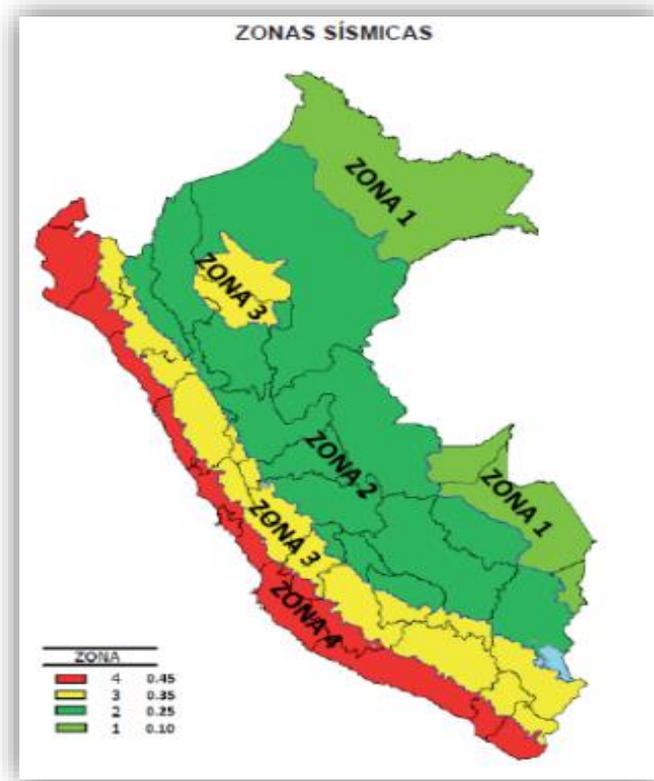
#### ➤ NORMA E. 030 MODIFICADA, 2016 (DISEÑO SISMO RESISTENTE).

La NORMA E 030, es la norma peruana que se emplea para el diseño sismo resistente de las edificaciones. En esta, se encuentran los factores de la zonificación y tipo de suelo.

➤ **ZONIFICACIÓN.**

El territorio peruano se considera dividido en cuatro zonas, la zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica.

**En el siguiente mapa podemos observar los tipos de zonas.**



**Fig. 4: Zonas sísmicas, (NORMA E.030, 2016).**

En la Tabla N° 05. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad pero en sentido horizontal con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Factores de Zona "Z"	
Zona	Coefficiente
Z4	0.45
Z3	0.35
Z2	0.25
Z1	0.10

**Tabla N° 05: Factores de zonificación, (NORMA E.030, 2016).**

➤ **CONDICIONES GEOTÉCNICAS, (NORMA E.030, 2016).**

✓ **PERFILES DE SUELO:**

los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $\bar{V}_S$ ), o alternativamente, para suelos 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, (Numeral 2.3.2, NORMA E.030 ,2016).

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

**A. Perfil Tipo S0 (Roca dura).** Son suelos rocosos con velocidad de propagación de ondas de corte  $\bar{V}_S$  mayor que 1500 m/s. 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 S1 (Roca o suelos muy rígidos).** Son 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:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada  $qu$  mayor o igual que 500 kpa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con  $\bar{N}_{60}$  mayor que 50.
- 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<sup>2</sup>).

**C. Perfil Tipo S2 (Suelos intermedios).** Son suelos un poco rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_S$ , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$  , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada  $\bar{S}_u$  , entre 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y 100 kpa (1 kg/cm<sup>2</sup>).

**D. Perfil Tipo S3 (Suelos blandos).** Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media un poco gravosa, con valores del SPT  $\bar{N}_{60}$  menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$ , entre 25 kPa (0,25 kg/cm<sup>2</sup>) y 50 kpa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad PI mayor que 20, contenido de humedad  $\omega$  mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$  menor o igual que 25 kpa.

**E. Perfil Tipo S4 (Condiciones excepcionales).** A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

**La tabla N° 6 Y 7: Resumen valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo.**

Perfil	Clasificación de los Perfiles del Suelo		
	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kpa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kpa a 100 kpa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kpa a 50 kpa
S4	Clasificación basada en EMS		

**Tabla N° 06: Clasificación de los perfiles del suelo, (NORMA E.030, 2016).**

<b>Factores de Suelo Según Zonificación</b>				
<b>Zona</b>	<b>Suelo</b>			
	<b>S0</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>Z4</b>	0.8	1	1.05	1.1
<b>Z3</b>	0.8	1	1.15	1.2
<b>Z2</b>	0.8	1	1.20	1.4
<b>Z1</b>	0.8	1	1.60	2.0

**Tabla N° 07: Factores de suelo según zonificación, (NORMA E.030, 2016).**

El factor S es un factor de amplificación de suelo y los periodos  $T_p$  y  $T_L$  marcan el cambio de la forma del espectro.

<b>Periodos "TP" Y "TL"</b>				
	<b>Perfil del Suelo</b>			
	<b>S0</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>TP(S)</b>	0.3	0.4	0.6	1.0
<b>TL(S)</b>	3.0	2.5	2.0	1.6

**Tabla N° 08: Periodos de  $T_p$  y  $T_L$  según perfil de Suelo, (NORMA E.030, 2016).**

De modo que el factor de amplificación espectral C, varía en los rangos acotados por  $T_p$  y  $T_L$  de acuerdo a lo indicado en las Ecs. (1, 2 y 3).

$$T < T_p \dots C = 2.5 \dots \text{Ec. 1}$$

$$T_p < T < T_L \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \dots \text{Ec. 2}$$

$$T > T_L \dots C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \dots \text{Ec. 3}$$

Finalmente para determinar el factor de uso (U) nos basamos en la Tabla N° 5 de la NTP E.030, 2016 en el capítulo 3 categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones, para el caso de reservorios apoyados, éstos pertenecen a la categoría A, por lo que le corresponde un factor  $U = 1.5$ .

### 3.4.8.-TIPOS DE ANÁLISIS SÍSMICO.

Para el desarrollo de esta tesis se ha considerado los siguientes tipos de análisis sísmicos.

#### 3.4.8.1.-ANÁLISIS ESTÁTICO.

Consiste en aplicar cargas estáticas en cada uno de sus niveles para simular el efecto del sismo. Para la distribución de estas cargas es necesario suponer un primer modo de oscilación de forma triangular y despreciar el efecto de los otros modos. (Análisis según metodología del apéndice a del ACI 350.3-01).

#### ➤ MASAS EQUIVALENTES DE LÍQUIDOS ACELERADOS.

$$\frac{W_i}{W_l} = \frac{\tanh\left(0.866\left(\frac{D}{Hl}\right)\right)}{0.866\left(\frac{D}{Hl}\right)}$$

$$\frac{W_c}{W_l} = 0.230(D/Hl) \tanh(3.68(Hl/D))$$

$W_i$  = Masa equivalente de la componente impulsiva.

$W_c$  = Masa equivalente de la componente convectiva.

$W_l$  = Masa total del líquido.

$D$  = Diámetro del reservorio.

#### ➤ ALTURAS EN CENTROS DE GRAVEDAD EXCLUYENDO LA PRESIÓN BASAL.

Cuando:

$$\frac{D}{Hl} < 1.333 \qquad \frac{H_i}{Hl} = 0.5 - 0.0935\left(\frac{D}{Hl}\right)$$

cuando :

$$\frac{D}{Hl} \geq 1.333 \qquad \frac{h_i}{Hl} = 0.375$$

Por lo tanto:

$$\frac{h_c}{Hl} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68\left(\frac{Hl}{D}\right)\right) - 1}{3.68\left(\frac{Hl}{D}\right) * \text{Senh}\left(3.68\left(\frac{Hl}{D}\right)\right)}$$

Altura de reacción impulsiva ( $H_i$ ).

Altura de reacción convectiva ( $H_c$ ).

Altura total del líquido ( $H_l$ ).

➤ **CÁLCULO DE LA RIGIDEZ PARA LA MASA CONVECTIVA** (Según: ACI 350.3-01).

$$K = 45 * \left(\frac{W_c}{W_L}\right)^2 * \left(\frac{H_L}{D}\right)^2 * \left(0.5 * \frac{W_L}{H_L}\right)$$

$H_l$  = Altura del fluido almacenado.

$D$  = Diámetro interior del reservorio.

$W_c$  = Masa convectiva.

$W_L$  = Masa total del líquido.

$K$  = Constante de rigidez de los resortes de la masa convectiva.

➤ **PESO DE LOS MUROS DEL RESERVORIO ( $W_U$ ).**

Para calcular el peso de las paredes del reservorio con influencia del agua se necesita conocer las dimensiones hidráulicas y luego el factor de corrección ( $\epsilon$ ) dado por la siguiente formula. (Circular Tanks, P.C.A)

➤ **COEFICIENTE DE MASA EFECTIVA (E).**

$$\epsilon = (0.0151 \left(\frac{D}{H_l}\right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{H_l}\right) + 1.021) \leq 1.0$$

$D$  = Diámetro del reservorio apoyado.

$H_l$  = Altura total del fluido.

➤ **CORTANTE EN LA BASE.**

Ahora hallaremos la cortante estática en la base según los parámetros considerados anteriormente en la NORMA E.030, 2016.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * \text{Peso total}$$

### **3.4.8.2.- ANÁLISIS DINÁMICO (NORMA E.030, 2016).**

El análisis dinámico consiste en determinar las posibles respuestas que pueda tener una estructura a partir de sus deformadas y sus respectivas frecuencias. El resultado final será la combinación de todas las cargas que se presentan afectando a la estructura (combinación modal), a través de un factor de participación que depende de la masa y dirección del sismo. Para este análisis también es necesario someter a la estructura a varios registros sísmicos escalados a una pseudoaceleración cuyo valor depende de los parámetros sísmicos de la zona y el tipo de estructura a analizar. Además este análisis se presenta cuando los desplazamientos que experimenta la estructura no son despreciables y afectan a la ecuación de equilibrio de las fuerzas actuantes.

### **3.4.8.3.-ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL (NORMA E.030 ,2016).**

Es una técnica de análisis dinámico de estructuras, tiene como objetivo la estimación de propiedades dinámicas como las frecuencias y los modos naturales al igual que el amortiguamiento. El análisis modal puede ser teórico o experimental. El análisis teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones.

El análisis modal sigue, de forma simplificada los siguientes pasos:

- ✓ Definición de las masas, los grados de libertad y la rigidez de los elementos que la conforman.
- ✓ Determinar las frecuencias y los modos de vibración del sistema.
- ✓ Asociar los periodos naturales de vibración a los modos.
- ✓ Calcular los desplazamientos máximos en función del espectro de diseño.
- ✓ Calcular las fuerzas de inercia asociadas a los desplazamientos máximos.
- ✓ Definir las fuerzas cortantes y momentos de volteo basales.

### 3.5.- ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

#### 3.5.1.-ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS (E.M.S).

Este estudio es desarrollado en campo mediante el método de corte local, con una profundidad tolerable de 0.90 m, obteniéndose los siguientes resultados.

**Proyecto:** Tesis

**Tesista:** Edison Campos Herrera.

**Ubicación:** Dist. Chota, Prov. Chota, Dpto. Cajamarca.

**Fecha:** 30/04/2018

#### ➤ ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

NORMA: A.S.T.M. D 421

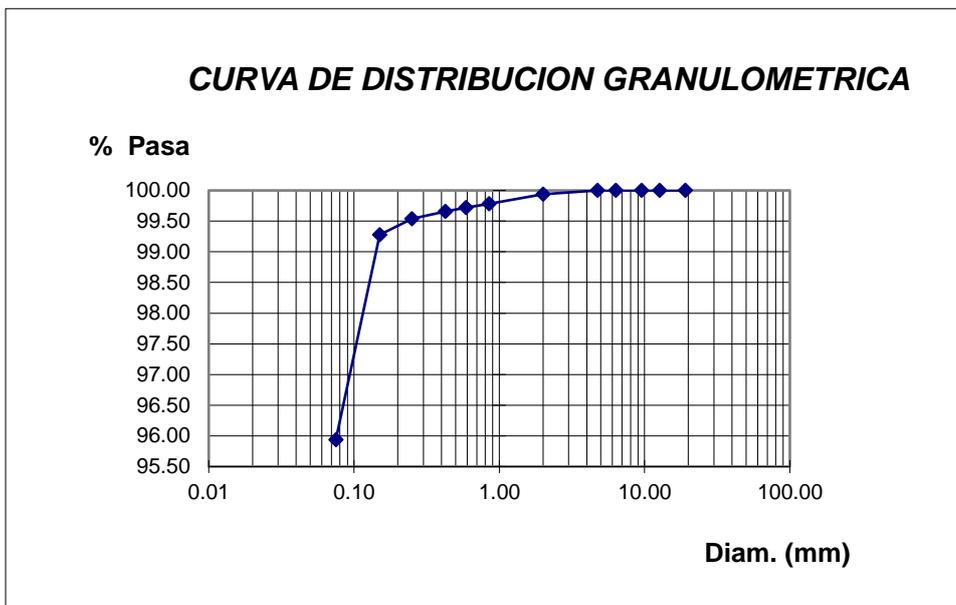
MUESTRA: C1-E1

PROFUNDIDAD: 0.90 M

P.MUESTRA: 500 GR

TAMIZ		PR	%PR	%PAR	%
Nº	ABERT. (mm)	gr.			PASA
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.00	0.30	0.06	0.06	99.94
20	0.85	0.80	0.16	0.22	99.78
30	0.59	0.30	0.06	0.28	99.72
40	0.43	0.30	0.06	0.34	99.66
60	0.25	0.60	0.12	0.46	99.54
100	0.15	1.30	0.26	0.72	99.28
200	0.08	16.70	3.34	4.06	95.94
Cazoleta		479.70	95.94	100.00	0.00
Total		500.00			

**Tabla N° 09: Análisis granulométrico.**



➤ **ENSAYO: PESO VOLUMETRICO**

MUESTRA: C1-E2

PROFUNDIDAD: 0.90 M

MOLDE:

D (m): 6.8 cm

H (m): 12.9 cm

MOLDE N°	1	2
P.Molde (gr)	547.00	594.00
Pmh + Molde(gr)	1375.00	1438.00
Pmh (gr)	828.00	844.00
Vmh (cm <sup>3</sup> )	468.49	468.49
Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.80
Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	1.784	

**Tabla N° 10: Peso volumétrico.**

➤ **ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD.**

NORMA: A.S.T.M. D 421

MUESTRA: C1-E1

PROFUNDIDAD: 0.90 M

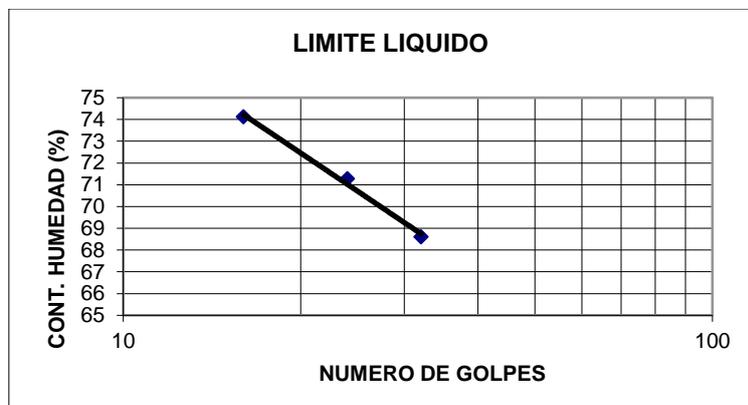
PMUESTRA: 500 GR

MUESTRA	1	2	3
Wt (gr)	26.50	26.80	27.20
Wmh + t (gr)	33.50	36.50	37.90
Wms + t (gr)	32.00	34.30	35.50
Wms (gr)	5.50	7.50	8.30
Ww (gr)	1.50	2.20	2.40
W (%)	27.27	29.33	28.92
w% (Prom)	28.51		

**Tabla N° 11: Contenido de humedad.**

TARA	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	4	5
Wt (gr)	28.30	26.90	26.40	27.00	27.50
Wmh + t (gr)	43.10	43.00	40.90	33.70	33.60
Wms + t (gr)	36.80	36.30	35.00	32.10	32.20
W %	74.12	71.28	68.60	31.37	29.79
N° de Golpes	16	24	32		
LL - LP	71.0			30.6	
IP	40.4				

**Tabla N° 12: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.**



➤ **CLASIFICACIÓN DEL SUELO.**

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Granulometría				Propiedades Físicas						
			N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	AASHTO	SUCS	Límites Consistencia			C Kg/cm <sup>2</sup>	Ø
									LL	LP	IP		
1			A R C I L L A S    I N O R G A N I C A S										
	1	0.90 m	100.00	99.94	99.66	95.94	A-7-5(20)	CH	71.00	30.60	40.40	0.25	15

**Tabla N° 13: Clasificación del suelo.**

➤ **CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA (Teoría de bell /terzaghi).**

✓ **PARÁMETROS CONOCIDOS.**

Calicata N°, estrato N°: C1, E1

Clasificación SUCS: CH

Angulo de fricción interna (Ø): 15°

Cohesión (C): 0.25 kg/cm<sup>2</sup>

Peso unitario (U): 1.784 gr/cm<sup>3</sup>

Profundidad de cimentación mínima (Df): 90 cm

Ancho de zapata mínimo (B): 200 cm

✓ **FÓRMULA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

$$q'c = \frac{2}{3} * C * N'c + \gamma * Df * N'q + \frac{1}{2} \gamma * B * N'\gamma$$

$$N'c = 9$$

$$N'q = 2.5$$

$$N'\gamma = 0$$

✓ **CAPACIDAD PORTANTE.**

$$q'c = 1.95 \text{ kg/cm}^2$$

✓ **CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO.**

$$q'c / 3 \text{ (rango de seguridad)} = 0.65 \text{ kg/cm}^2$$

**Nota:** los valores de cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) han sido determinadas mediante tablas (previa clasificación del tipo de suelos) del libro ensayo de mecánica de suelos del **ing. Peter W wilcke**.

**3.5.2.- ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.**

✓ **MUESTRAS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.**

Área del ensayo = 20 cm x 20 cm

Esclerómetro Schmidt.

Ángulo de Uso: 0 ° (muro y anillo circular).

Ángulo de Uso: -90 ° (tapa del reservorio).

Edad del concreto: aprox 1 año < edad concreto < 2 años.

Resistencia de diseño: 210 kg/cm<sup>2</sup> (según expediente técnico).

**Muestra 1 : En el muro circular.**

Filas	Puntos / Numero de rebote			
Fila 1	31	32	32	32
Fila 2	32	33	31	30
Fila 3	33	32	32	31
Fila 4	32	31	30	32

**Muestra 2 : En el anillo circular.**

Filas	Puntos / Numero de rebote			
Fila 1	31	30	32	32
Fila 2	32	32	33	32
Fila 3	32	32	31	33
Fila 4	33	31	30	32

### Muestra 3 : En la cupula.

Filas	Puntos / Numero de rebote			
Fila 1	29	28	28	29
Fila 2	30	29	27	28
Fila 3	29	29	29	29
Fila 4	29	30	29	31

- ✓ **PRECISIÓN.** Según en la práctica del ASTM C805, recomienda utilizar un número de 10 lecturas por muestra.
- ✓ **MARGEN DE ERROR:** Según el ing. Adolfo Delibes Lioiers, (laboratorio de INTEMAC) indica que según la experiencia de INTEMAC, el margen de error oscila entre el 12 % y 20 %.

### Calculo de f'c mediante ensayo de esclerometria en el muro circular

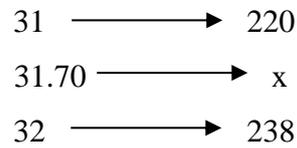
Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < 0°	Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < 0°
1	31	220	9	33	250
2	32	238	10	32	238
3	32	238	11	32	238
4	32	238	12	31	220
5	32	238	13	32	238
6	33	250	14	31	220
7	31	220	15	30	210
8	30	210	16	32	238

**Tabla N° 14: Ensayo de esclerometria en el muro circular.**

Solo tomaremos 10 valores del total para esto eliminaremos los valores mas altos y mas bajos , en consecuencia hay 12 valores cuyo numero de rebote varia entre 31 y 32 Pero para quedarse solo con 10 valores eliminaremos 2 valores (31 y 32).

$$\text{Promedio} = \frac{32*7+31*3}{10} = 31.70$$

Interpolando valores tomando como referencia los valores de la tabla : Angulo, numero de rebote y resistencia (fc).



$$X = 0.70 * 18 + 220$$

$$X = 232.70 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que el máximo error tolerable no debe ser mayor de 20%, entonces en el peor de los casos tomamos un nivel de confianza al 80%.

$$\text{Resistencia obtenida} = 232.70 * 0.80 = 186.80 \text{ kg/cm}^2$$

### Calculo de f'c mediante ensayo de esclerometria en el anillo circular

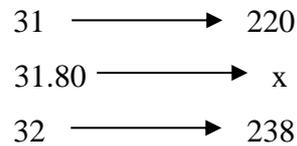
Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < 0°	Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < 0°
1	31	220	9	32	238
2	30	210	10	32	238
3	32	238	11	31	220
4	32	238	12	33	250
5	32	238	13	33	250
6	32	238	14	31	220
7	33	250	15	30	210
8	32	238	16	32	238

**Tabla N° 15: Ensayo de esclerometria en el anillo circular.**

Solo tomaremos 10 valores del total para esto eliminaremos los valores mas altos y mas bajos , en consecuencia hay 11 valores cuyo numero de rebote varia entre 31 y 32 Pero para quedarse solo con 10 valores, eliminaremos cualquier valor que se repita menos (difiere de la moda ) , porque este valor tiene menor nivel de confianza con respecto al valor que mas se repite .

$$\text{Promedio} = \frac{32*8+31*2}{10} = 31.80$$

Interpolando valores tomando como referencia los valores de la tabla : Angulo, numero de rebote y resistencia (fc).



$$X = 0.80 * 18 + 220$$

$$X = 234.40 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que el máximo error tolerable no debe ser mayor de 20%, entonces en el peor de los casos tomamos un nivel de confianza al 80%.

$$\text{Resistencia obtenida} = 234.40 * 0.80 = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

### Calculo de f'c mediante ensayo de esclerometria en la cúpula

Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < - 90°	Puntos por fila	Numero de rebote	f'c / < - 90°
1	29	238	9	29	238
2	28	220	10	29	238
3	28	220	11	29	238
4	29	238	12	29	238
5	30	250	13	29	238
6	29	238	14	30	250
7	27	210	15	29	238
8	28	220	16	31	260

**Tabla N° 16: Ensayo de esclerometria en la cúpula.**

Solo tomaremos 10 valores del total para esto eliminaremos los valores mas altos y mas bajos , en consecuencia hay 12 valores cuyo numero de rebote varia entre 28 y 29 Pero para quedarse solo con 10 valores debido a que queda un numero par de valores eliminaremos 2 valores (28 y 29).

$$\text{Promedio} = \frac{28*2+29*8}{10} = 28.80 \text{ kg/cm}^2$$

Interpolando valores tomando como referencia los valores de la tabla : Angulo, numero de rebote y resistencia (fc).

28	—————>	220
28.80	—————>	x
29	—————>	238

$$X = 0.80 * 18 + 220$$

$$X = 234.40 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que el máximo error tolerable no debe ser mayor de 20%, entonces en el peor de los casos tomamos un nivel de confianza al 80%.

$$\text{Resistencia obtenida} = 234.40 * 0.80 = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

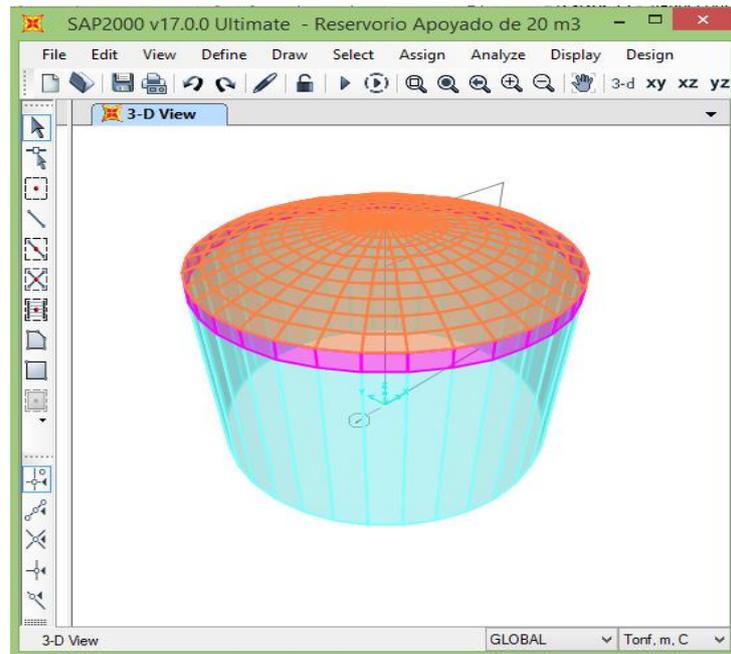
**NOTA:** De las 16 lecturas se han eliminado las lecturas más altas y las más bajas, para calcular el promedio de 10 lecturas como sugiera la NORMA ASTM C805.

Según la experiencia de INTEMAC, permite deducir que el error obtenido no debe ser mayor al 20%, con respecto al valor real para el f'c del concreto.

### **3.5.3.- MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO APOYADO.**

Para hacer el modelamiento estructural del reservorio apoyado, se ha considerado a cada uno de los elementos estructurales que conforman dicha estructura con su respectivo material y predimensionamiento establecido en los planos brindados, de igual forma se calculará la masa impulsiva, convectiva y también la rigidez para los resortes que servirán para luego después modelarlo en el programa SAP 2000 Vs 17.

En este proyecto para su análisis utilizaremos Concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> para el cimiento corrido y losa base y para la cúpula, anillo circular, muro circular la resistencia del concreto (f'c) se tomara del ensayo de esclerometria .



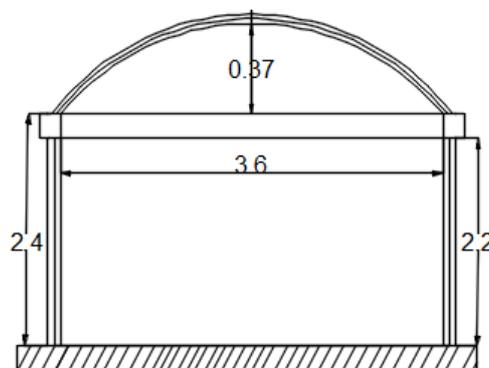
**Modelo 3D de reservorio apoyado en SAP 2000 Vs 17.**

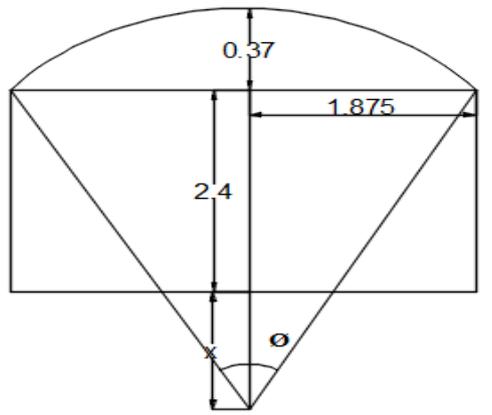
### **3.5.4.-EVALUACION ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO APOYADO.**

Para el diseño estructural del reservorio apoyado, será menester hacer una evaluación mediante un análisis de estructuras por sismo con el programa SAP 2000 vs 17.

#### **3.5.4.1.-ANALISIS ESTÁTICO PARA RESERVORIOS APOYADOS. (Según: ACI 350-06).**

Para el análisis sísmico estático del reservorio apoyado se procederá primero a hacer un metrado de cargas de la estructura.





➤ **PROCEDIMIENTOS MATEMÁTICOS PARA CALCULAR EL METRADO DE CARGAS.**

**Calculo de x.**

$$2.77+x=\sqrt{1.875^2 + (2.4 + x)^2}$$

Donde  $x=2.1659$

**Angulo interno (Ø).**

$$\varnothing=2\arctg\left(\frac{1.875}{4.5659}\right)$$

$$\varnothing=44.6513$$

$$\text{Radio} = \sqrt{1.875^2 + (2.4 + x)^2} = 4.9359 \text{ m}$$

**Longitud de la cúpula.**

$L_{\text{cup}}=\varnothing * R$  donde debe estar en radianes.

$$L_{\text{cup}}=0.7793*4.9359 \text{ m}$$

$$L_{\text{cup}}= 3.85\text{m}$$

**Área de la cúpula.**

$$A_0 = \pi * R^2$$

$$A_0 = 11.64 \text{ m}^2$$

$$V_0 = 0.08*11.64$$

$$V_0=0.931 \text{ m}^3$$

### **Pared cilíndrica.**

$$A_o = \pi * (1.95^2 - 1.80^2)$$

$$A_o = 1.77 \text{ m}^2$$

$$V_o = 2.2 * 1.77$$

$$V_o = 3.89 \text{ m}^3$$

### **Viga circular.**

$$A_o = \pi * (2.0^2 - 1.80^2)$$

$$A_o = 2.39 \text{ m}^2$$

$$V_o = 0.20 * 2.39$$

$$V_o = 0.48 \text{ m}^3$$

## **➤ PESO DE TRANSFERENCIA DE CÚPULA ANILLO CIRCULAR Y PARED CILÍNDRICA.**

Para calcular los pesos de transferencia a cada volumen se le multiplicará por

$$\gamma_c = 2.4 \text{ Tn /m}^3$$

### **✓ Carga muerta.**

- Cúpula = 2235.18 kg

- Pared cilíndrica = 9330.53kg

- Anillo circular = 1152.00 kg

### **✓ Acabados.**

Peso específico de cemento portland y arena = 2100 kg/m<sup>3</sup>, (**según: Tabla de pesos específicos, taller vertical de estructuras, Villar - Farez - Lozada**)

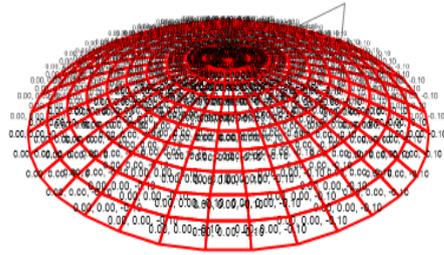
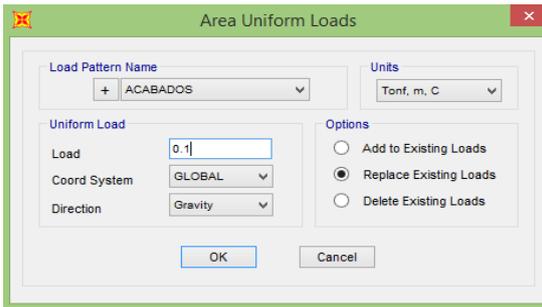
$$\text{Acabados} = e * \gamma_{c A}$$

$$\text{Acabados} = 0.015 * 2100 = 31.5 \text{ kg/m}^2$$

Pero mediante conocimientos empíricos basada en varios diseños de reservorios apoyados, para darle más seguridad a la estructura se asignara una carga uniforme de 0.1tn /m<sup>2</sup>

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

$$\text{Acabados en la cúpula} = 11.64 * 100 = 1164 \text{ kg/m}^2$$



✓ **Peso de la cámara de cloración (Está construida de ladrillo común).**

Volumen total del muro de la cámara de cloración.

$$(2*0.85*0.6 + 0.85*0.70)*0.12 = 0.1938 \text{ m}^3$$

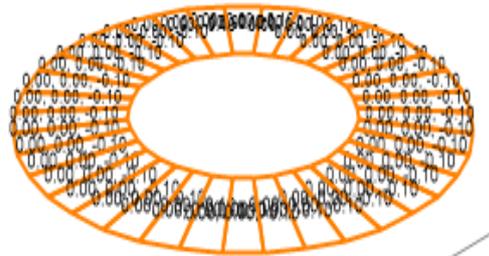
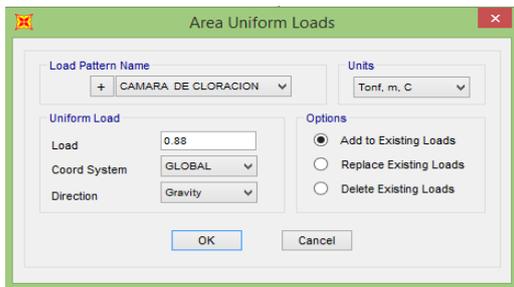
$$\text{Peso aprox} = 0.1938 * 1400 \text{ kg/m}^3 = 271.33 \text{ kg}$$

Consideramos un 10% para el peso de la tapa de la caja de cloración.

$$\text{Peso aprox} = 300 \text{ kg}$$

Esta carga lo colocaremos en la segunda sección circular de la cúpula idealizada en el SAP.

$$A_{\text{sec circ.}} = 0.34 \text{ m}^2, \text{ entonces el } P_{\text{aprox}} = 300\text{kg}/0.34 \text{ m}^2 = 0.88 \text{ Tn /m}^2.$$

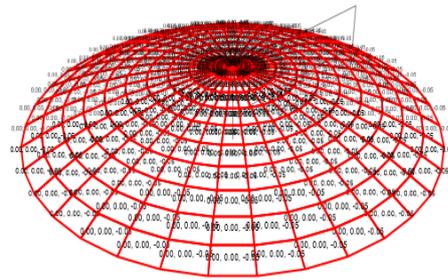
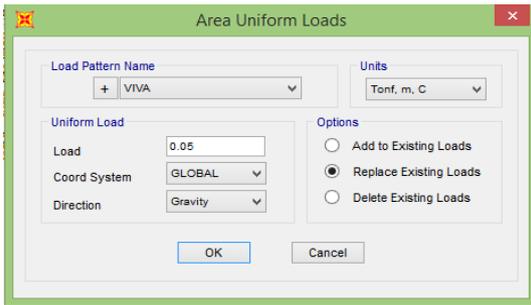


✓ **Carga viva.**

Carga variable = 0.05 Tn /m<sup>2</sup> según cuadro de cargas de gravedad (NTP E.020).

$$Cv. \text{ total} = A_{\text{cup.}} * 0.08 * 1000 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga viva total} = 11.64 * 50 = 582 \text{ kg}$$



➤ **CALCULO DE FACTOR DE CORRECCIÓN (E) DEL PESO EN LA PARED DEL RESERVORIO.**

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

Para  $D = 3.60 \text{ m}$     y     $Hl = 2.0 \text{ m}$

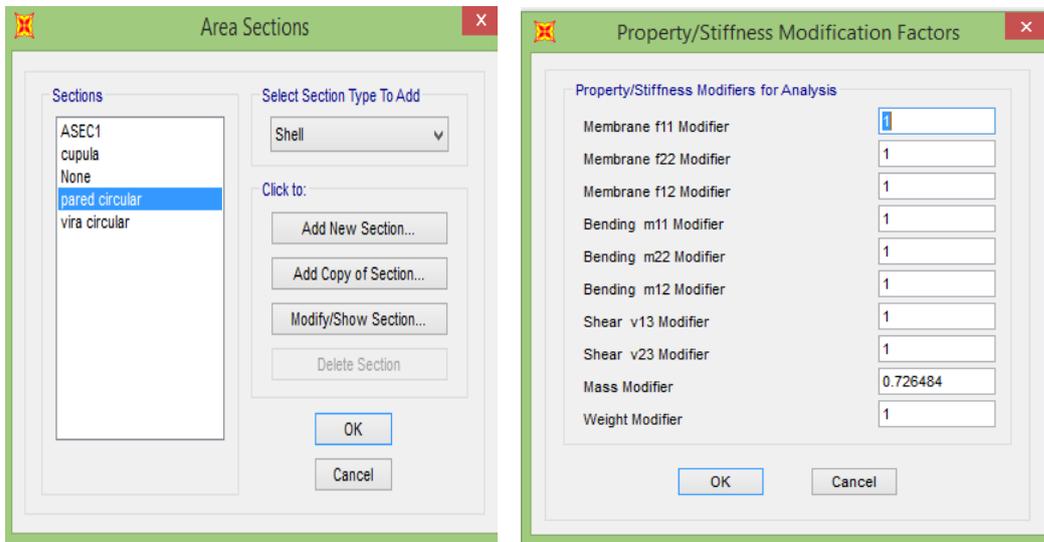
$$\varepsilon = 0.726484$$

**Relación de pesos en la estructura del reservorio apoyado.**

Peso de la pared cilíndrica ( $w_w$ )	9330.53kg
Peso de la cúpula ( $w_r$ )	2235.18 kg
Peso de la Viga circular	1152 kg
Peso de acabados	1164 kg
Peso de la cámara de cloración	300 kg
Peso por carga viva de la cúpula	582 kg
Diámetro interno (D)	3.60 m
Altura efectiva del líquido (Hl)	2.0 m
Peso efectivo total ( $w_e$ )	14763.91 kg

**Tabla N° 17: Relación de pesos en la estructura del reservorio apoyado.**

**Colocación del Coef de masa efectiva en SAP 2000 vs 17.**



➤ **ALTURAS EN CENTROS DE GRAVEDAD CON RESPECTO A LA BASE,**  
(Según: ACI 350.3-01).

Cuando:

$$\frac{D}{Hl} < 1.333 \qquad \frac{Hi}{Hl} = 0.5 - 0.0935 \left(\frac{D}{Hl}\right)$$

cuando :

$$\frac{D}{Hl} \geq 1.333 \qquad \frac{hi}{Hl} = 0.375$$

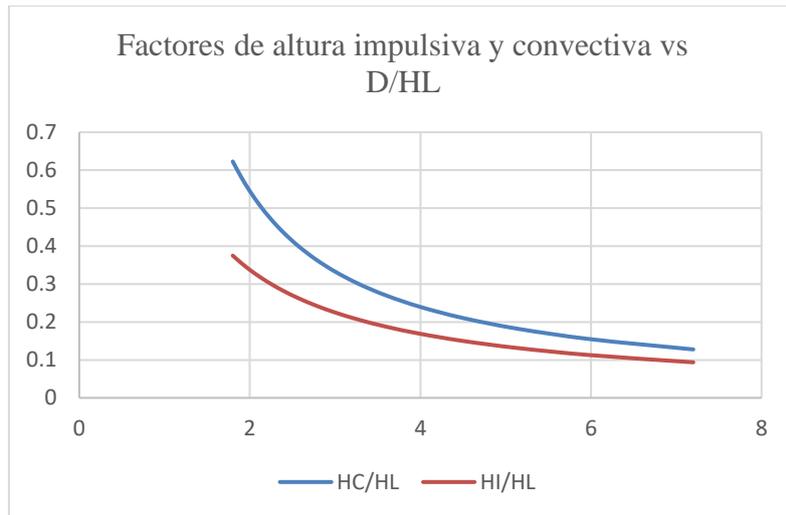
Por lo tanto:

$$\frac{hc}{Hl} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68\left(\frac{Hl}{D}\right)\right) - 1}{3.68\left(\frac{Hl}{D}\right) * \text{Senh}\left(3.68\left(\frac{Hl}{D}\right)\right)}$$

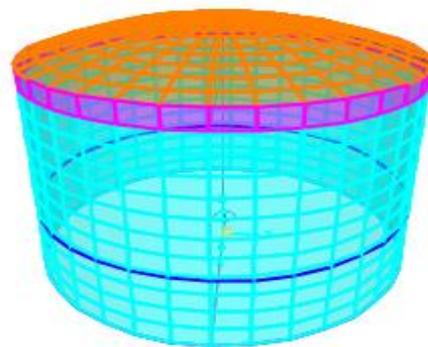
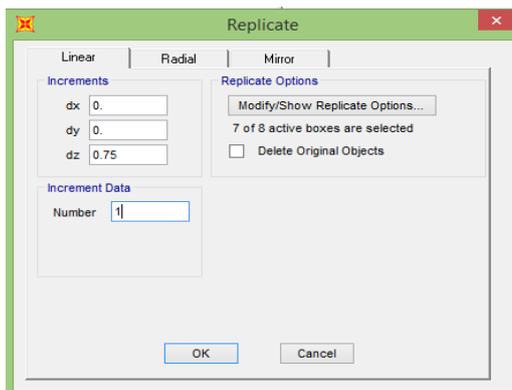
Altura total del agua = 2 m

Altura máxima de reacción impulsiva Hi = 0.75 m

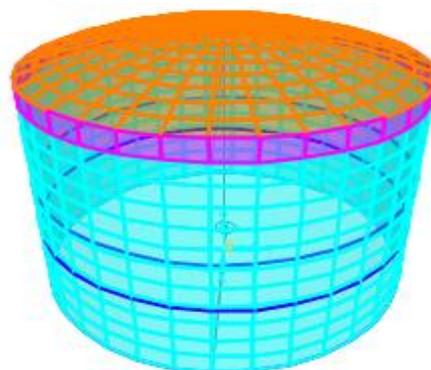
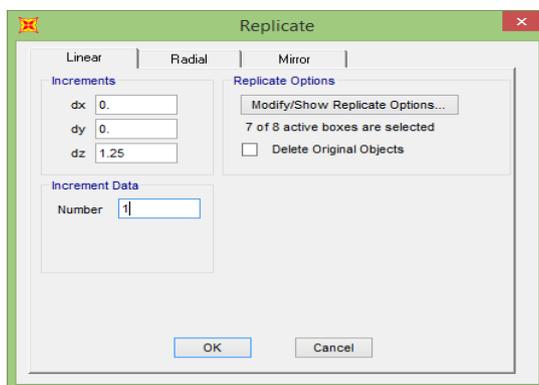
Altura máxima de reacción convectiva Hc = 1.25 m



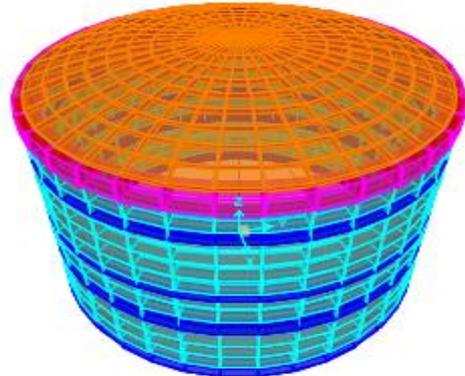
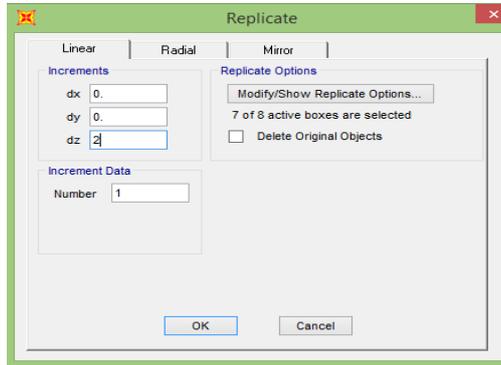
### Altura convectiva.



### Altura impulsiva.



## Altura total del líquido.



➤ **PESOS EQUIVALENTES DE LÍQUIDOS ACELERADOS**, (Según: ACI 350.3 - 01).

$$\frac{W_i}{W_l} = \frac{\tanh\left(0.866\left(\frac{D}{H_l}\right)\right)}{0.866\left(\frac{D}{H_l}\right)}$$

$$\frac{W_c}{W_l} = 0.230(D/H_l) \tanh(3.68(H_l/D))$$

$W_i$  = Masa equivalente de la componente impulsiva.

$W_c$  = Masa equivalente de la componente convectiva.

$W_l$  = Masa total del líquido.

$D$  = Diámetro del reservorio.

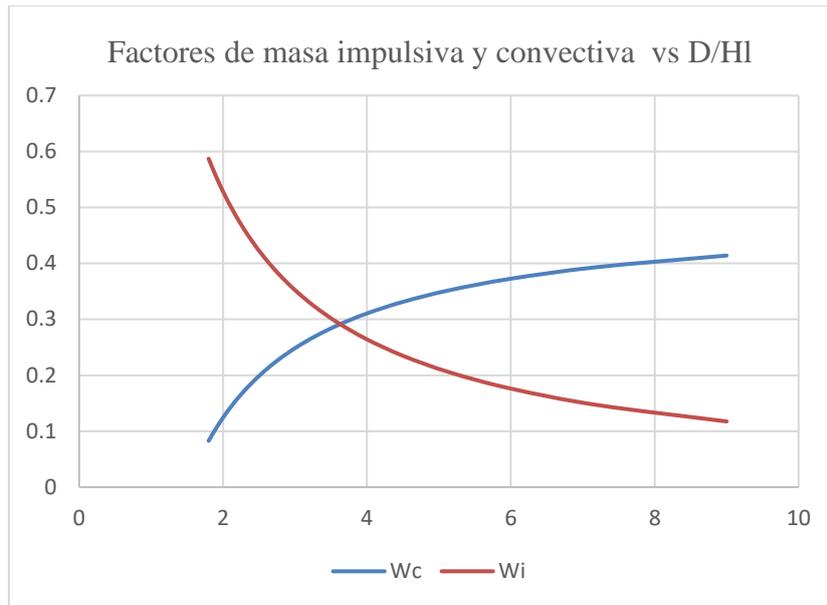
$H_l$  = Altura del fluido.

$$W_l = \pi * R^2 * H_l * 1000 \text{ kg}$$

$$W_l = \pi * 1.80^2 * 2 * 1000 = 20357.5204 \text{ kg}$$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{3.6}{2}\right)}{0.866 * \frac{3.6}{2}} * 20357.5204 = 11952.61 \text{ kg}$$

$$W_c = 0.230 * \frac{3.6}{2} * \tanh\left(3.68 * \frac{3.6}{2}\right) * 20357.5204 = 8427.98 \text{ kg}$$



➤ **CALCULO DE LA RIGIDEZ PARA LOS RESORTES DE LA MASA CONVECTIVA.**

Necesariamente habría que recurrir a modelos que consideren a la flexibilidad de las paredes del reservorio. Por ejemplo el modelo matemático desarrollado por Haroun y Housner en 1981 o el de Veletsas en 1984.

$$K_c = 45 * \left(\frac{8427.98}{20357.5204}\right)^2 * \left(\frac{2}{3.60}\right)^2 * 0.5 * \left(\frac{20357.5204}{2}\right)$$

$$K_c = 12115.1732 \text{ kg /m}$$

Se colocaran 36 resortes que tendrán una rigidez de 0.3365 Tn /m a esto se le multiplica por el factor de reducción de la componente impulsiva y del reservorio apoyado que es 2.75, entonces cada resorte tendrá una rigidez de 0.9255 Tn /m, (Según: Tutorial del ing. Carlos Córdova, modelamiento estructural de tanques elevados).

## Rigidez de los resortes para la masa convectiva en SAP 2000 vs 17.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Linear

Property Name: LIN1

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0

Weight: 0

Rotational Inertia 1: 0

Rotational Inertia 2: 0

Rotational Inertia 3: 0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1

Directional Properties

Direction: U1 (checked), U2, U3, R1, R2, R3

Fixed: (all unchecked)

Properties: Modify/Show for All...

P-Delta Parameters: Advanced...

Buttons: OK, Cancel, Fix All, Clear All, Set Default Name, Modify/Show...

Linear Link/Support Directional Properties

Link/Support Name:

Directional Control

Direction: U1 (checked), U2, U3, R1, R2, R3

Fixed: (all unchecked)

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness is Uncoupled (selected)

Stiffness is Coupled

U1: 0.9255, U2, U3, R1, R2, R3

Damping Values Used For All Load Cases

Damping is Uncoupled (selected)

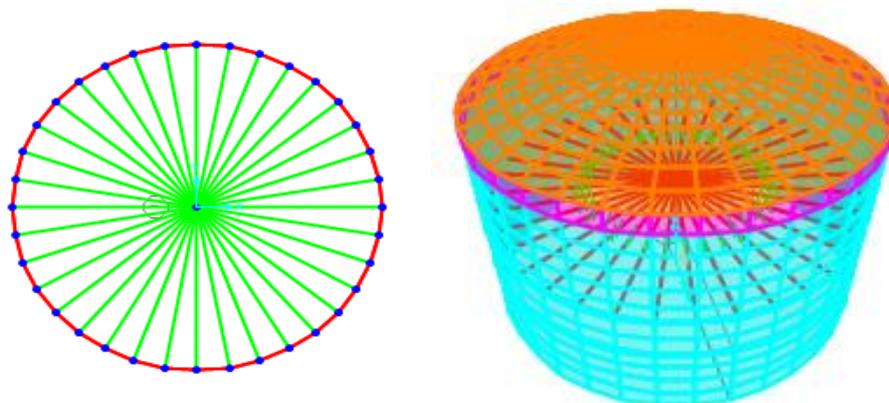
Damping is Coupled

U1: 0, U2, U3, R1, R2, R3

Units: Tonf, m, C

Buttons: OK, Cancel

## Colocación de resortes de rigidez para la masa convectiva en SAP 2000 vs 17.



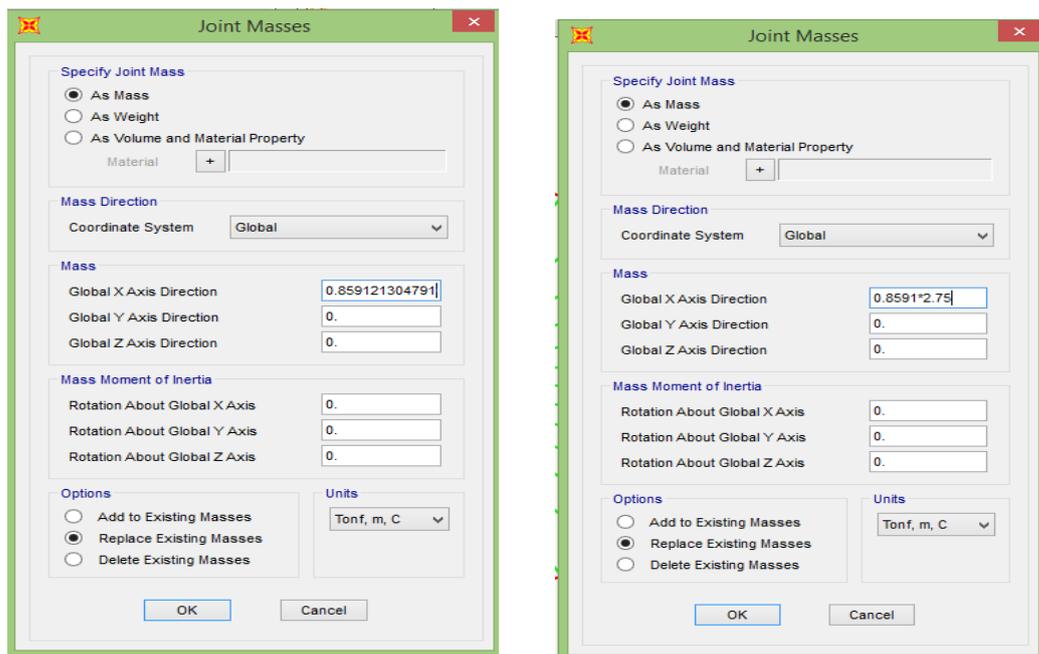
Para calcular las masas ( $M_i$  y  $M_c$ ) se dividirá al peso (convectivo e impulsivo) entre la aceleración de la gravedad.

$$M_i = 11952.61 / 9.81 = 1.2184 \text{ Tn s}^2/\text{m}$$

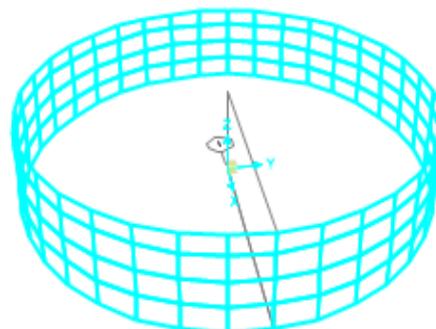
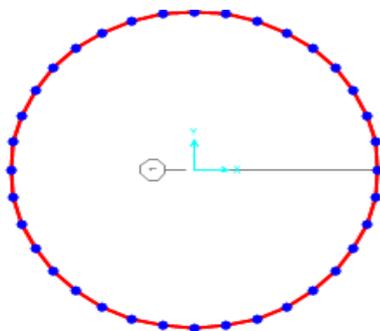
$$M_c = 8427.98 / 9.81 = 0.8591 \text{ Tn s}^2/\text{m}$$

- Para el modelamiento en el programa SAP 2000 Vs17, a la masa convectiva se debe multiplicar por el factor de reducción de la masa impulsiva y del reservorio.

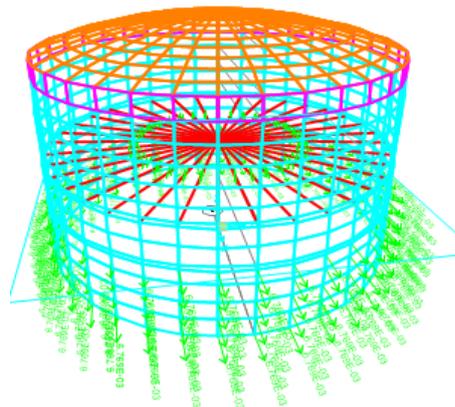
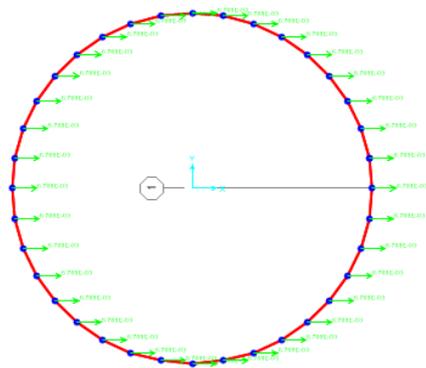
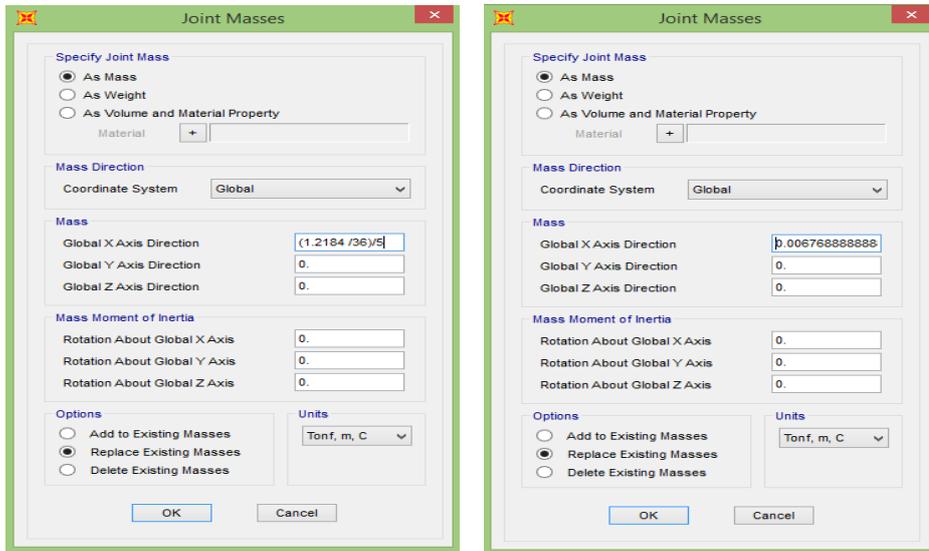
### Asignación de la masa convectiva en SAP 2000 vs 17.



- Para el modelamiento estructural en el programa SAP 2000 Vs17, a la masa impulsiva se debe dividir entre el número de resortes y al resultado se debe dividir entre el número de divisiones circulares de la altura impulsiva del reservorio.



## Asignación de la masa impulsiva en SAP 2000 vs 17.



### ➤ DETERMINACIÓN DEL CORTANTE BASAL.

Después de determinar, el peso de la estructura, el peso impulsivo y convectivo del líquido, se determina la fuerza cortante total en la base, mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * \text{Peso total.}$$

Peso total = Peso de la estructura del reservorio.

### ➤ CORTANTE BASAL CALCULADO (V).

$$V = \frac{0.25 * 1.5 * 2.5 * 1.40}{2.75} * 14763.91 = 7046.4116kg = 7.046 \text{ tn}$$

## ➤ ANALISIS POR LA PRESION DEL FLUIDO.

La presión generada por el fluido se considera como una carga triangular calculada de la siguiente manera.

$$P = \gamma * h$$

**Dónde:**

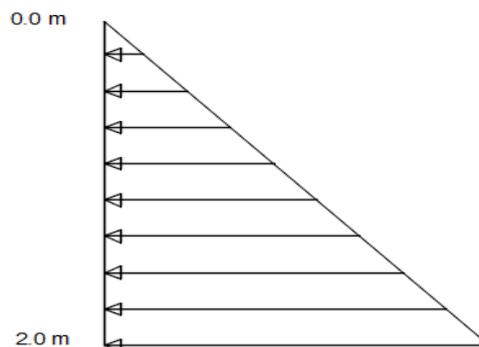
- P = Presión que ejerce el fluido.
- $\gamma$  = Peso específico del fluido.
- h = Altura del fluido.

Entonces:

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 2 m$$

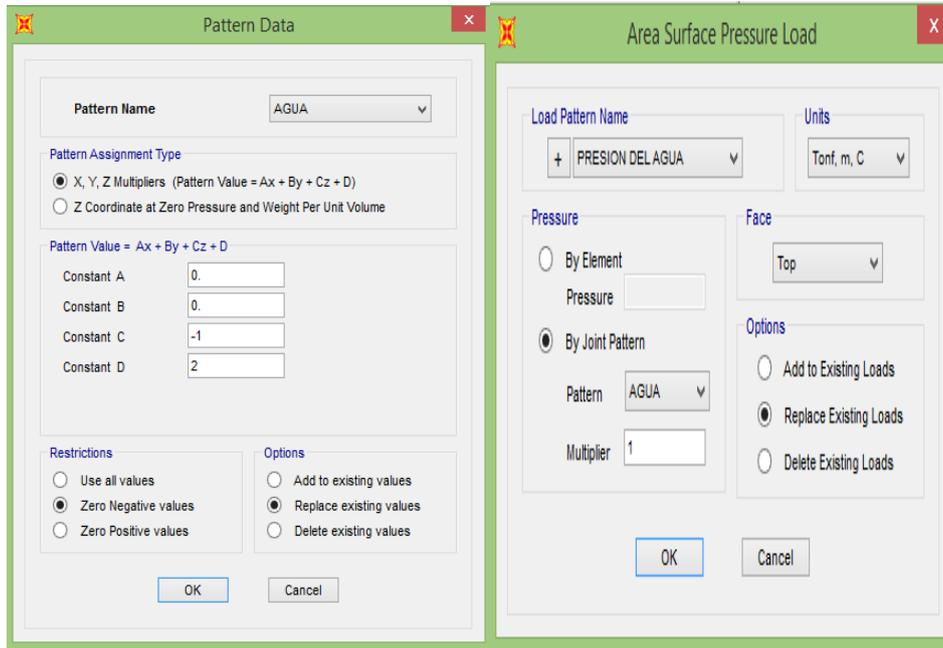
$$P = 2 \text{ tn/m}^2$$

Para la presión en la cuba tenemos como referencia la pared circular, que varía de 0.00 Ton/m<sup>2</sup> a 2.00 Ton/m<sup>2</sup>, en el Software SAP 2000 utilizamos un “nudo maestro” (Join Pattern) donde se consigna la presión y la altura.

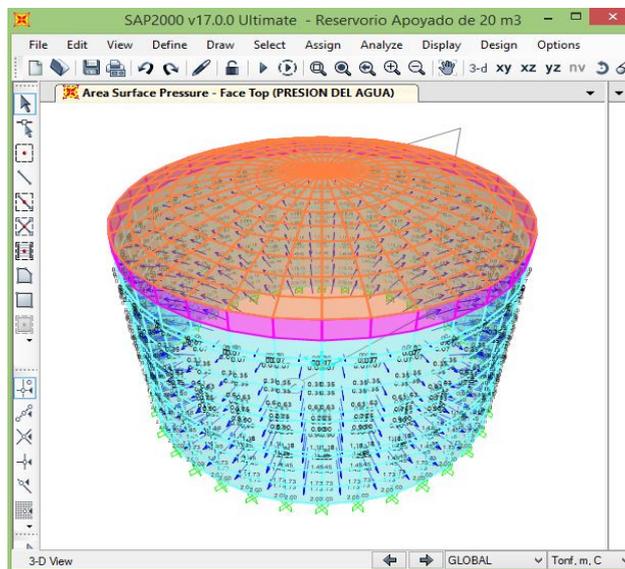


$Ax + By + Cz + D = Pa$ , donde  $x = y = 0$ ,  $Cz + D = Pa$ ,  $C(0) + D = 2$ , para  $z = 0$ , la presión será 2 y para  $z = 2$  la presión será 0,  $C(2) + D = 0$ , de esto se deduce lo siguiente:  $C = -1$  y  $D = 2$ . (Ecuación de la hidrostática).

## Constantes C Y D de la presión del agua en SAP 2000 vs 17.



## Join Pattern para la presión del agua en la pared cilíndrica del reservorio con SAP 2000. Vs 17.



### 3.5.4.2.-ANÁLISIS DINAMICO.

Se analizó para las direcciones horizontales (eje X e Y), los parámetros sísmicos considerados para la obtención del espectro de aceleraciones, son

z	u	s	Tp (s)
0.25	1.50	1.40	1.00

**Tabla N° 18: parámetros sísmicos (NORMA E.030, 2016).**

En la selección del factor de reducción "R" debe tomarse en cuenta que la norma de diseño sismo resistente, para las estructuras especiales, como el caso en estudio (reservorio apoyado). **La NORMA ACI 350 en la tabla 4(d)**, nos muestra factores de reducción de 2.75 para la masa impulsiva y 1.0 para la masa convectiva, siendo el factor de reducción 1.0 el más desfavorable. **Según la NORMA E.030, 2016** el espectro inelástico de pseudoaceleración está definido por:

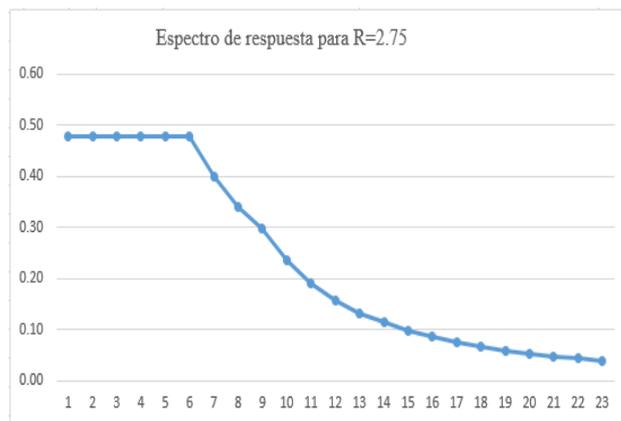
$$s_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

#### **Parámetros utilizados (Según: NORMA E. 030,2016).**

Z=0.25	Ri=2.75	T < Tp... C = 2.5
RC=1	U=1.5	Tp < T < Tl... C = 2.5*( $\frac{T_p}{T_l}$ )
C=2.50 (Tp/t)	S=1.40	T > Tl... C = 2.5*( $\frac{T_p \cdot T_l}{T^2}$ )
Tp=1.00	Tl=1.60	

**Espectro de respuesta para R=2.75, con el programa excel.**

C	T	Sa
2.50	0.00	0.48
2.50	0.20	0.48
2.50	0.40	0.48
2.50	0.60	0.48
2.50	0.80	0.48
2.50	1.00	0.48
2.08	1.20	0.40
1.79	1.40	0.34
1.56	1.60	0.30
1.23	1.80	0.24
1.00	2.00	0.19
0.83	2.20	0.16
0.69	2.40	0.13
0.59	2.60	0.11
0.51	2.80	0.10
0.44	3.00	0.08
0.39	3.20	0.07
0.35	3.40	0.07
0.31	3.60	0.06
0.28	3.80	0.05
0.25	4.00	0.05
0.23	4.20	0.04
0.21	4.40	0.04

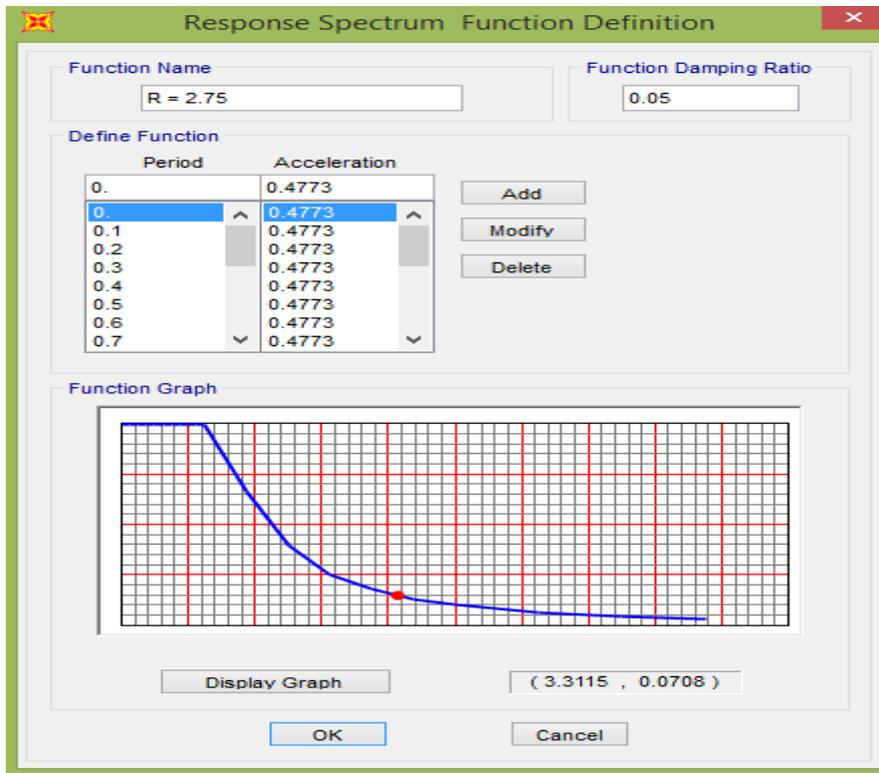


### Espectro de respuesta para R=1, con el programa Excel

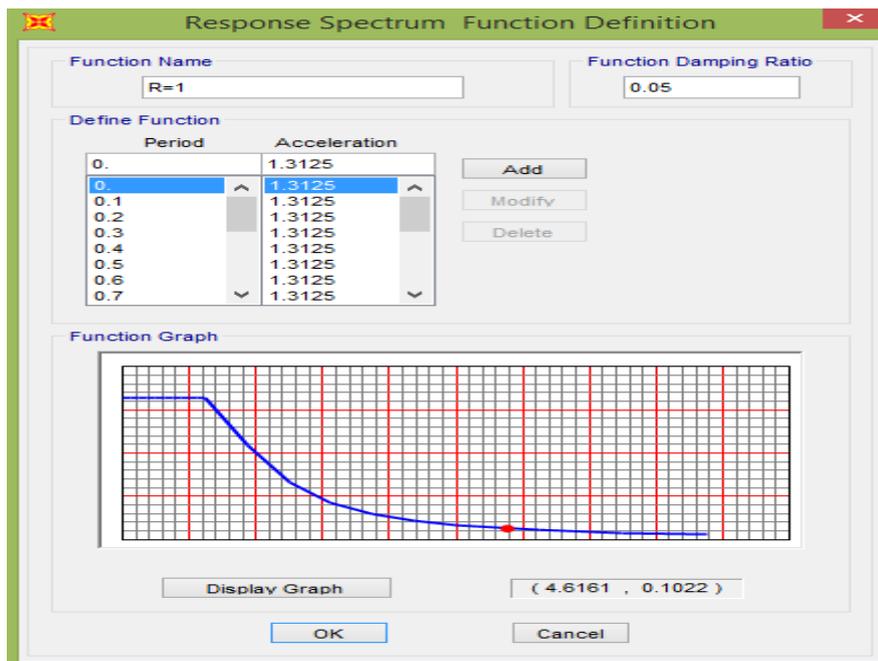
C	T	Sa
2.50	0.00	1.31
2.50	0.20	1.31
2.50	0.40	1.31
2.50	0.60	1.31
2.50	0.80	1.31
2.50	1.00	1.31
2.08	1.20	1.09
1.79	1.40	0.94
1.56	1.60	0.82
1.23	1.80	0.65
1.00	2.00	0.53
0.83	2.20	0.43
0.69	2.40	0.36
0.59	2.60	0.31
0.51	2.80	0.27
0.44	3.00	0.23
0.39	3.20	0.21
0.35	3.40	0.18
0.31	3.60	0.16
0.28	3.80	0.15
0.25	4.00	0.13
0.23	4.20	0.12
0.21	4.40	0.11



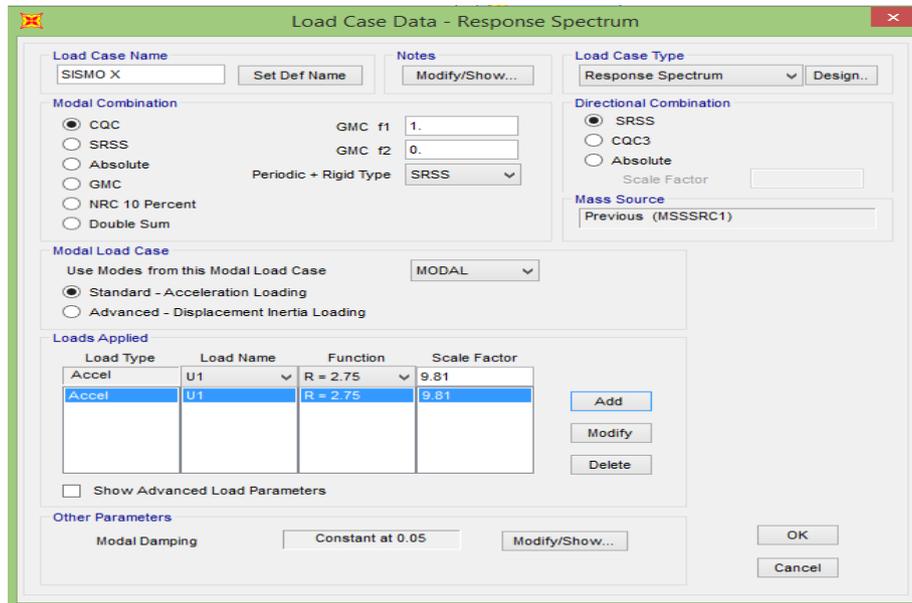
**Espectro de respuesta para  $R = 2.75$ , (SAP 2000 vs 17).**



**Espectro de respuesta para  $R = 1$  (SAP 2000 vs 17).**



Añadimos la aceleración de la gravedad al espectro de respuesta  $R = 2.75$  (SAP 2000 vs 17).



➤ **CORTANTE BASAL OBTENIDA DE PROGRAMA SAP 2000 VS 17.**

LoadPat	SeismicZone	SiteClass	A0	I	R	TUsed Sec	CoeffUsed
SISMO X	Zone 2	Z3	0.3	1.500000	2.750000	2.3671	0.136449

LoadPat	WeightUsed Tonf	BaseShear Tonf
SISMO X	47.7573	6.5165

**Tabla N° 19: Cortante basal obtenido de SAP 2000 vs 17.**

✓ **FUERZA CORTANTE MÍNIMA, (según: Numeral 4.6.4 NORMA E.030, 2016).**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor del cortante estático calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

De acuerdo a este concepto se le adaptara para el desarrollo de la evaluación estructural del reservorio apoyado.

Cortante calculado = 7046.4116 kg = 7.0464 Tn

90% del cortante calc. = 6341.6704 kg = 6.3417 Tn

Por lo tanto:

$$6.3417 \text{ Tn} < 6.5155 \text{ Tn}$$

En consecuencia podemos afirmar que el reservorio apoyado cumple con el parámetro establecido en el numeral 4.6.4 de la NORMA E.030.

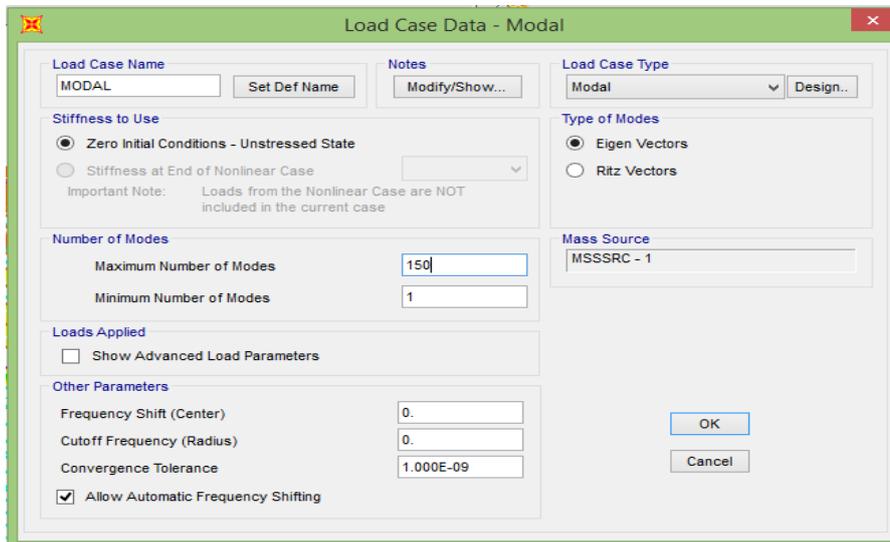
### 3.5.4.3.-ANÁLISIS MODAL (NORMA E.030, 2016).

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

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

Para este análisis modal no se considera un número menor de 100 modos porque los resultados saldrían un poco distorsionados, en tal sentido es recomendable usar de 100 a 150 modos de vibración. (Según: Tutorial de diseño sísmico de tanques elevados y/o apoyados ing. Carlos córdoba).

#### Número de modos a utilizar en SAP 2000 vs 17.



### ➤ LAS PROPORCIONES MODALES DE PARTICIPACIÓN DE CARGA.

**Table: Modal Load Participation Ratios**

OutputCase	Item Type	Item	Static Percent	Dynamic Percent
MODAL	Acceleration	UX	100.0000	96.9345
MODAL	Acceleration	UY	99.9493	94.7879
MODAL	Acceleration	UZ	99.6916	87.3517

**Table: Modal Participating Mass Ratios, Part 1 of 3**

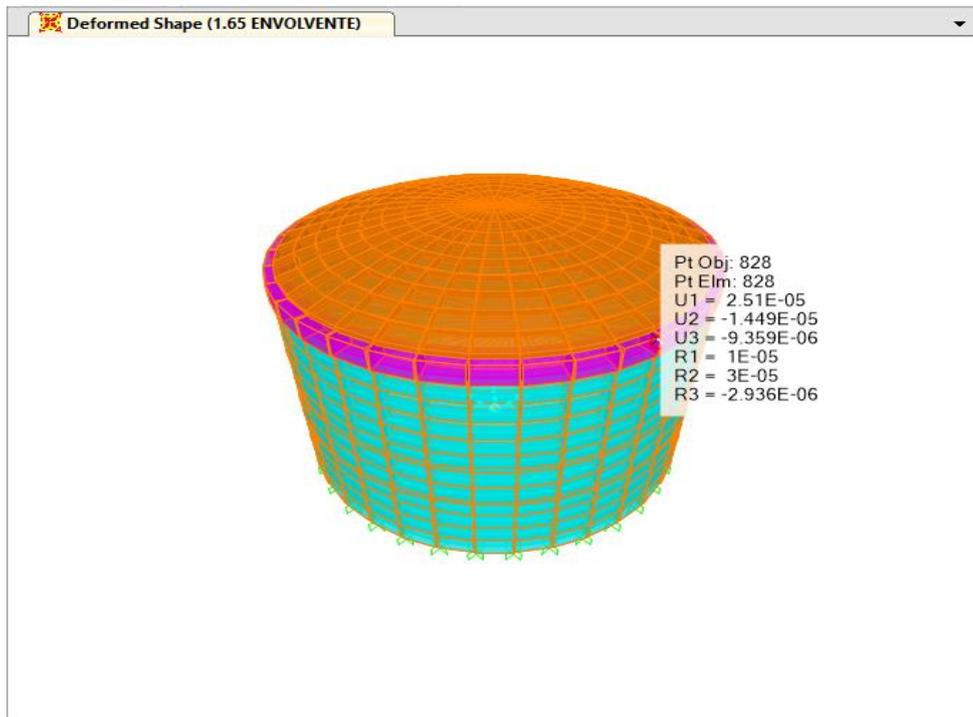
OutputCase	StepType	StepNum	Period Sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumRZ
MODAL	Mode	87.000000	0.003005	3.685E-06	4.844E-13	4.746E-13	0.944749	0.914137	0.836330
MODAL	Mode	88.000000	0.003005	1.035E-13	0.000011	3.344E-14	0.944749	0.914148	0.836330
MODAL	Mode	89.000000	0.002985	9.525E-15	2.297E-14	2.384E-17	0.944749	0.914148	0.888751
MODAL	Mode	90.000000	0.002984	0.000016	2.885E-14	5.827E-13	0.944765	0.914148	0.888751
MODAL	Mode	91.000000	0.002983	1.075E-13	0.000040	2.497E-16	0.944765	0.914188	0.888751

**Tabla N°20: Modal participating mass ratios, part 1 of 3.**

➤ **CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS.**

En la las figuras nos muestra los resultados obtenidos de los desplazamientos empleando el factor  $R = 1$  y  $R = 2.75$ .

**Desplazamientos máximos en una esquina superior externa para ( $R=2.75$ ) se obtiene 0.000025 mt (SAP 2000 vs 17).**



## Desplazamientos máximos para (R = 2.75) con SAP 2000.

**Table: Joint Displacements - Absolute, Part 1 of 2**

Table: Joint Displacements - Absolute, Part 1 of 2								
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians
768	U = 1.4CM+1.7C V	Combination		9.567E-07	-5.524E-07	-3.701E-06	-2.807E-07	-4.862E-07
768	U = 1.4CM+1.4P H +1.7CV	Combination		0.000015	-8.842E-06	-4.101E-06	2.942E-07	5.096E-07
768	U = 1.25 (CM+CV) + CS	Combination	Max	0.000015	2.088E-06	1.743E-07	6.843E-06	0.000018
768	U = 1.25 (CM+CV) + CS	Combination	Min	-0.000013	-3.016E-06	-5.993E-06	-7.041E-06	-0.000018
768	U = 0.9CM + CS	Combination	Max	0.000014	2.228E-06	1.093E-06	6.900E-06	0.000018
768	U = 0.9CM + CS	Combination	Min	-0.000013	-2.877E-06	-5.075E-06	-6.984E-06	-0.000018
768	SERVICIO	Combination	Max	0.000025	-3.783E-06	-1.124E-07	7.045E-06	0.000018
768	SERVICIO	Combination	Min	-2.912E-06	-8.887E-06	-6.280E-06	-6.839E-06	-0.000018
768	ENVOLVEN TE	Combination	Max	0.000015	2.228E-06	1.093E-06	6.900E-06	0.000018
768	ENVOLVEN TE	Combination	Min	-0.000013	-8.842E-06	-5.993E-06	-7.041E-06	-0.000018
768	1.3 ENVOLVEN TE	Combination	Max	0.000020	2.896E-06	1.420E-06	8.970E-06	0.000024
768	1.3 ENVOLVEN TE	Combination	Min	-0.000017	-0.000011	-7.791E-06	-9.153E-06	-0.000024
768	1.65 ENVOLVEN TE	Combination	Max	0.000025	3.676E-06	1.803E-06	0.000011	0.000030

### Desplazamientos laterales relativos admisibles (Según: NORMA E.030,2016).

La distorsion esta dada por  $\frac{\Delta i}{h_i}$

Limites para la Distorsion del Entrepiso.	
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañileria	0.005
Madera	0.010

**Tabla N° 21: Limites para la distorsion (Según: NORMA E.030,2016).**

#### 3.5.4.4.-COMBINACIONES DE CARGAS.

Para el diseño estructural del reservorio se ha empleado el método de diseño por factores de carga y resistencia, Según el ACI 350M-01 y la NORMA E.060 la resistencia requerida U, se obtiene multiplicando las cargas de servicio por factores de carga, también se ha considerado que los factores de carga para sismo son igual a la unidad, de acuerdo al capítulo 3.12 de la NORMA E.030, 2016.

➤ **Factor de mayoración de cargas (Según: NORMA E.060).**

- **Resistencia requerida por carga muerta y carga viva.**

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

- **Si se considera cargas de viento adicionales a la carga muerta y carga viva.**

$$U = 1.25 (CM + CV + C_{vi})$$

$$U = 0.9CM + 1.25C_{vi}$$

- **Si se considera cargas de sismo adicionales a la carga muerta y carga viva.**

$$U = 1.25 (CM + CV) + CS$$

$$U = 0.9CM + CS$$

- **Si se considera empuje lateral de suelo adicional a la carga muerta y carga viva.**

$$U = 1.4CM + 1.7CV + 1.7CE$$

$$U = 0.9CM + 1.7CE$$

- **Si se considera la presión hidrostática adicional a la carga muerta y carga viva**

$$U = 1.4CM + 1.4PH + 1.7CV$$

La carga de nieve y de impacto se debe incluir en el diseño si este fuera necesario.

➤ **DURABILIDAD SANITARIA.**

(Fuente: Comisión Nacional del Agua manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, diseño Estructural de Recipientes, diciembre del 2007. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)).

Para tomar en cuenta la disminución de la resistencia del acero por la corrosión se empleará un factor de "durabilidad sanitaria" S, que incrementa la resistencia requerida calculada U, de la siguiente manera.

- Para acero de refuerzo trabajando a flexión, el factor de durabilidad sanitaria.

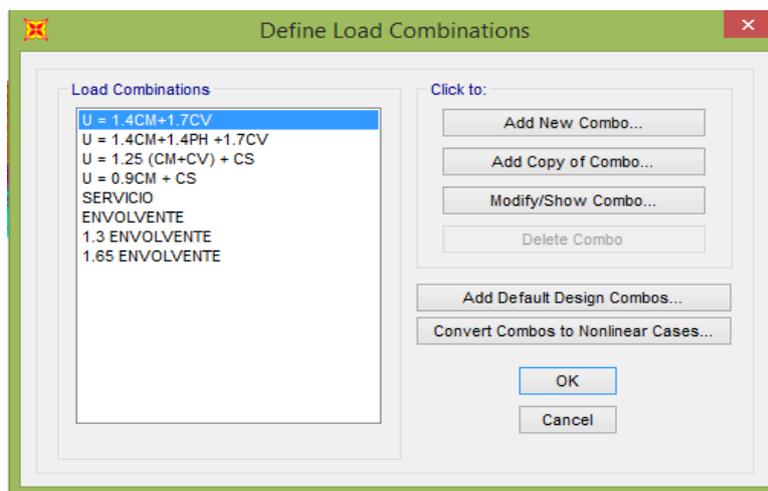
$S = 1.3$ , por lo que la resistencia requerida será  $1.3 * U$ .

- Para acero de refuerzo a tensión directa, el factor de durabilidad sanitaria.

$S=1.65$ , por lo que la resistencia requerida será  $1.65 * U$ .

- Para el concreto, la resistencia requerida será  $1.0 * U$

### ➤ COMBINACIONES DE CARGA CON SAP 2000 VS 17.



#### 3.5.4.5.-ESFUERZO DE VOM MISES.

Se llama así a la teoría de falla de máxima energía de distorsión se presenta tanto en materiales dúctiles como frágiles que son capaces de absorber una cierta cantidad de energía antes de sufrir una falla.

La tensión de Von Mises y el criterio de fallo elástico asociado se debe a su nombre Richard Edler Von Mises (1913) propuso que un material dúctil sufría fallo elástico cuando la energía de distorsión elástica rebasaba cierto valor. Sin embargo, el criterio fue claramente formulado con anterioridad por Maxwell en 1865 más tarde también Huber (1904), en un artículo en polaco anticipó hasta cierto punto la teoría de fallo de Von Mises. Por todo esto a veces se llama a la teoría de fallo elástico basada en la tensión de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-Von Mises y también teoría de fallo.

En tal sentido el esfuerzo de von mises, no debe exceder el esfuerzo del concreto.

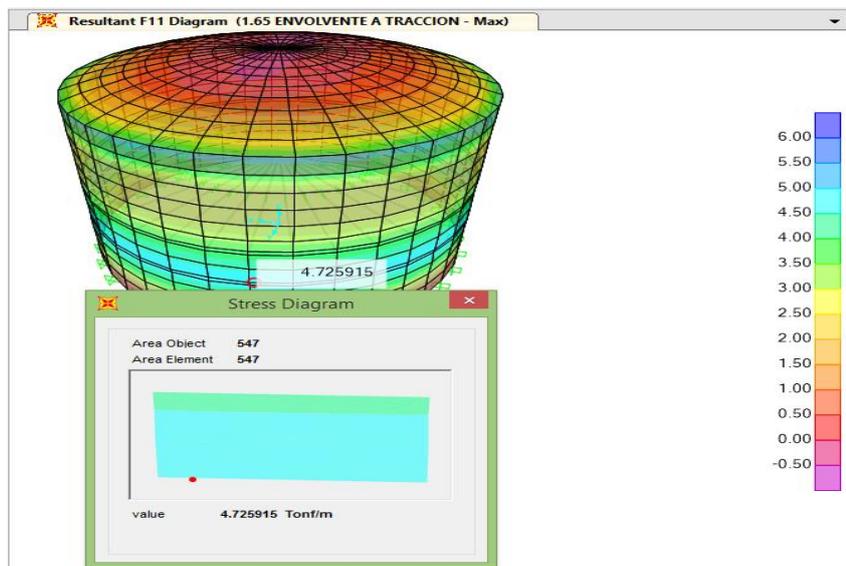
$f'_c$  en el muro circular según ensayo de esclerometria:

$$F_c = 186.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 2\sqrt{f'_c}$$

$$\sigma_c = 27.3349 \text{ kg/cm}^2$$

Comparándolo con el esfuerzo máximo generado en la pared del reservorio.



$$0.4746 \text{ kg/cm}^2 \leq 27.3349 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{Ok}$$

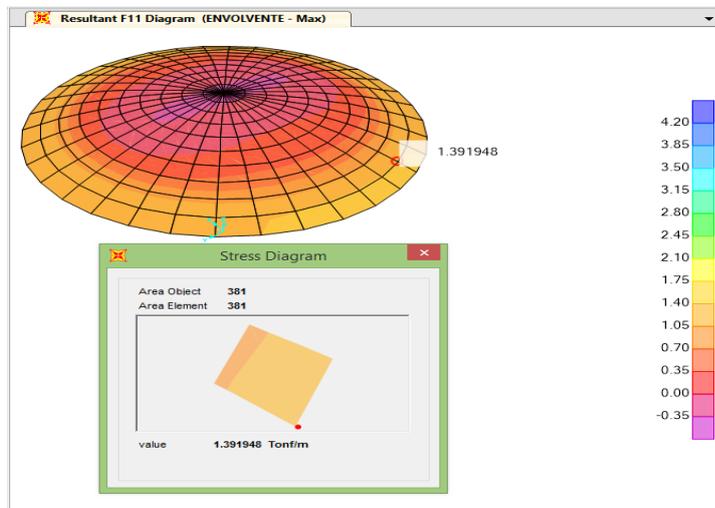
Se cumple que el esfuerzo von mises (FVM) no excede el esfuerzo del concreto.

### 3.5.5.- CALCULO DEL ACERO EN LA ESTRUCTURA DEL RESERVORIO.

#### 3.5.5.1.- CALCULO DEL ACERO EN LA CÚPULA.

Se tomarán las consideraciones indicadas en el capítulo 19: Cáscaras y losas plegadas del ACI 318M-08. La cuantía mínima a proporcionar será de acuerdo a la sección 7.12, igual a 0.0018. El refuerzo se proporcionará para resistir los esfuerzos de tracción, flexión y corte. El refuerzo se proveerá en dos direcciones y en una sola capa.

➤ **CALCULO DEL ACERO POR TENSIÓN ANULAR.**



$$F'_c = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{11} = 1.39 \text{ Tn/m dato SAP}$$

$$H = 8.0 \text{ cm}$$

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

$$\text{Rec} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 5.5 \text{ cm}$$

$$\sigma_c = 27.3876 \text{ Tn/m}$$

Entonces  $1.39 \text{ tn/m}^2 < 27.387 \text{ Tn/m}^2 \dots\dots \text{ok}$

$A_s = \frac{F}{\phi \cdot f_y}$  , donde  $\phi = 0.9$ , este será el coeficiente recomendable para estructuras circulares sometidas a tracción.

$$A_s = 0.37 \text{ cm}^2$$

- Para calcular el acero mínimo en dicha dirección se procederá mediante el siguiente desarrollo:

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times 100 \times 5.5 = 1.00 \text{ cm}^2$$

- Será necesario usar acero  $\phi 3/8''$

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

- espaciamiento del acero anular (s)

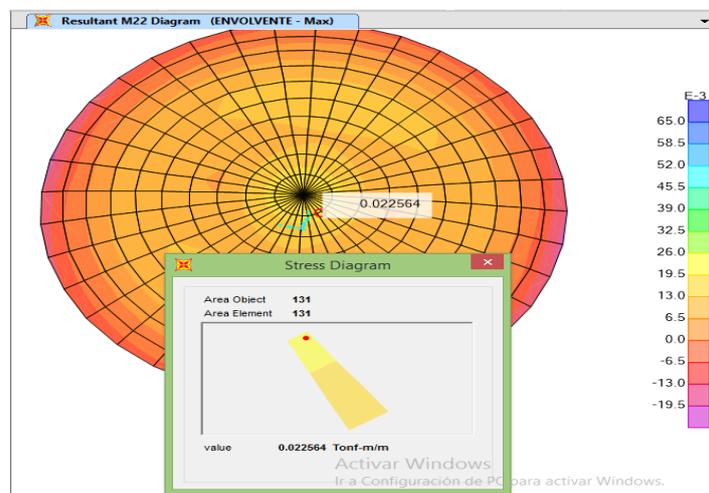
$$S = \frac{Av \cdot 100}{As} = 71 \text{ cm}$$

Además el espaciamiento máximo no será mayor que 3 veces el espesor del muro, (Según: NORMA E.060).

$$S_{\text{max.}} = 3 \cdot 0.08 = 0.24 \text{ m}$$

Entonces será necesario colocar acero  $\varnothing 3/8'' @ 0.20 \text{ m}$ .

➤ **DISEÑO ESTRUCTURAL POR MOMENTO FLEXIONANTE (ACERO RADIAL).**



$$F'c = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

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

$M_{22} = 0.023 \text{ Tn f-m/m}$ , no se toma el momento negativo porque es inferior a este.

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

$$H = 8 \text{ cm}$$

$$\text{Rec} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 5.5 \text{ cm}$$

$$Es = 2.10E+06 \text{ Kg/cm}^2 = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Ec = 15100 \cdot \sqrt{187.52} = 206776.2926 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = 10.15$$

➤ **APLICANDO EL METODO DEL ESTADO ELÁSTICO AGRIETADO.**

$$F_s = 0.6f_y = 2520.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 0.45f_c = 84.38 \text{ Kg/cm}^2$$

**Calculo de k y j**

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}\right)}$$

$F_s$  = fátiga de trabajo en kg / cm<sup>2</sup>

$F_c$  = Resistencia a la compresión en kg / cm<sup>2</sup>

$$n = E_s / E_c$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$K = 0.2536$$

$$J = 0.9154$$

$$A_s = \frac{M}{f_s j x d} = 0.182 \text{ cm}^2$$

- Para calcular el acero mínimo en dicha dirección se procederá mediante el siguiente desarrollo:

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times 100 \times 5.5 = 1.00 \text{ cm}^2$$

- Será necesario usar acero Ø 3/8"

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento del acero radial (s).

$$S = \frac{A_v \cdot 100}{A_s} = 71 \text{ cm}$$

Además el espaciamiento máximo no será mayor que 3 veces el espesor del muro.

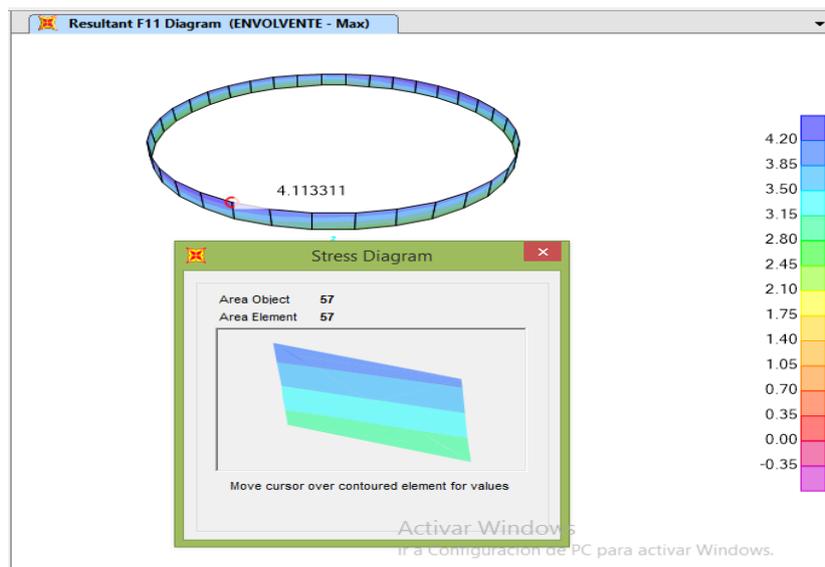
$$S_{\text{max.}} = 3 \cdot 0.08 = 0.24 \text{ m}$$

Entonces será necesario colocar acero Ø 3/8" @ 0.20 m.

### 3.5.5.2.- CALCULO DEL ACERO EN LA VIGA ANULAR.

Es necesario disponer de una viga de anillo circular superior para soportar las cargas no verticales producidas por la cúpula esférica es decir este elemento se debe diseñar para que sea capaz de soportar cargas horizontales. Se verificarán los esfuerzos de tracción en el concreto de la estructura.

#### ➤ ACERO LONGITUDINAL SUPERIOR EN LA VIGA ANULAR.



$$F'_c = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{11} = 4.11 \text{ Tn/m dato SAP}$$

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

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

$$Rec = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 17.5 \text{ cm}$$

$A_s = \frac{F}{\phi \cdot f_y}$  , donde  $\phi = 0.9$ , este será el coeficiente recomendable para estructuras circulares sometidas a tracción.

$$A_s = 0.99 \text{ cm}^2$$

Para calcular el acero mínimo de elementos de sección rectangular con refuerzos en tracción sometidos a flexión, el código ACI 318 s – 14 recomienda un refuerzo minimo igual:

$$A_s = 0.8 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} * b * d \quad \text{y} \quad A_s = \frac{14}{f_y} * b * d \quad , \text{ Tomar el mayor valor.}$$

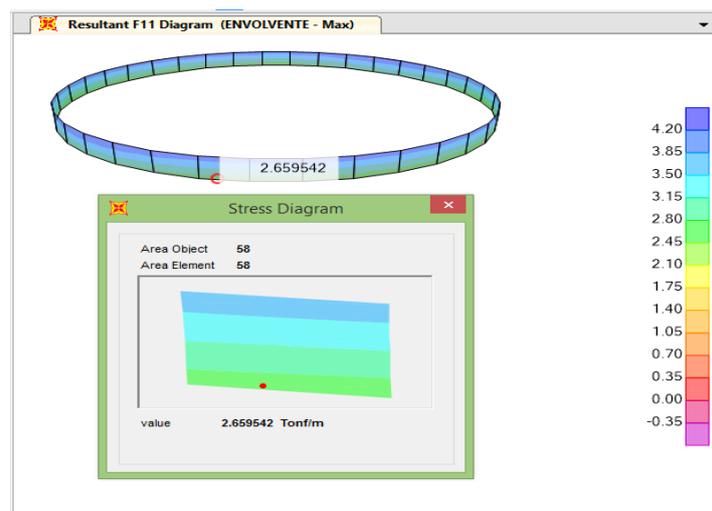
$$A_s = 0.97 \text{ cm}^2 \quad \text{y} \quad A_s = 1.175 \text{ cm}^2 \dots \text{ Ok}$$

- Será necesario usar acero  $\varnothing 3/8"$

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

Entonces será necesario colocar acero 2  $\varnothing 3/8"$  @ 0.17 m.

### ➤ ACERO LONGITUDINAL INFERIOR EN LA VIGA ANULAR.



$$F'_c = 187.52 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{11} = 2.66 \text{ Tn/ m} \quad \text{dato SAP}$$

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

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

$$\text{Rec} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 17.5 \text{ cm}$$

$A_s = \frac{F}{\phi \cdot f_y}$  , donde  $\phi = 0.9$ , este será el coeficiente recomendable para estructuras circulares sometidas a tracción.

$$A_s = 0.70 \text{ cm}^2$$

Para calcular el acero mínimo de elementos de sección rectangular con refuerzos en tracción sometidos a flexión, el código ACI 318 s – 14 recomienda un refuerzo mínimo equivalente a:

$$A_s = 0.8 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} * b * d \quad \text{y} \quad A_s = \frac{14}{f_y} * b * d$$

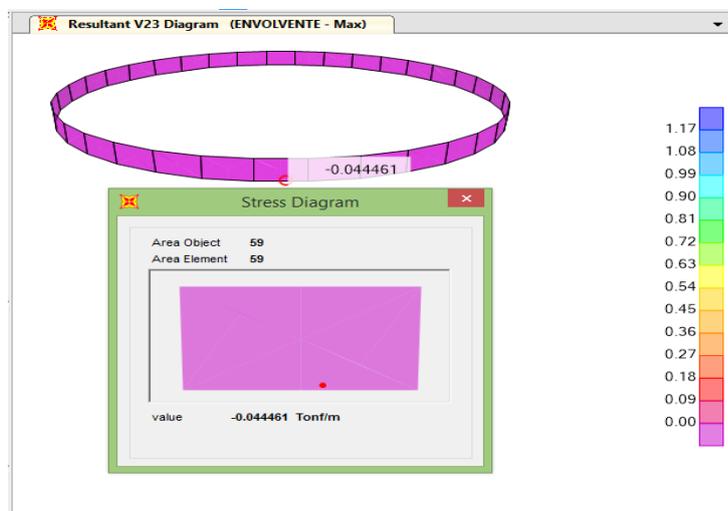
$$A_s = 0.97 \text{ cm}^2 \quad \text{y} \quad A_s = 1.175 \text{ cm}^2 \dots \text{Ok, tomamos el mayor valor.}$$

- Será necesario usar acero  $\phi 3/8$ "

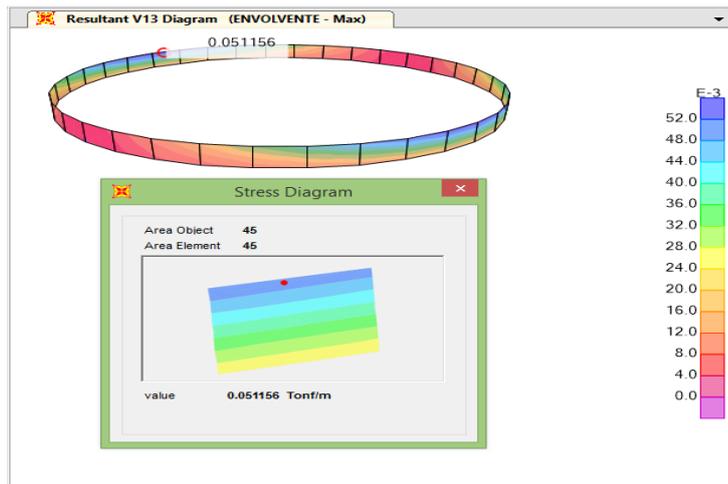
$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

Entonces será necesario colocar acero  $2 \phi 3/8$ " @ 0.17 m.

### ➤ ACERO POR CORTANTE EN VIGA ANULAR.



**Cortante negativa.**



### Cortante positiva.

El código ACI 318 s - 14, sugiere una expresión simplificada para la determinación de  $V_c$ .

$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} * b*d$ , por su simplicidad, esta fórmula es la más usada.

$$V_c = 2.688 \text{ Tn}$$

El refuerzo transversal tiene una limitación similar que busca evitar la falla del concreto comprimido, ubicado en el extremo superior de las fisuras diagonales, antes de la fluencia del acero transversal. Esta limitación también provee un efectivo control del ancho de las rajaduras inclinadas.

$$V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s \leq 10.651 \text{ Tn...Ok}$$

$$V_n = V_s + V_c$$

$$V_n = 13.339 \text{ Tn}$$

$V_u < \phi V_n$ , para  $\phi = 0.75$  Coef. Para diseño por corte.

$$0.051 \text{ Tn} < 10.00 \text{ Tn...Ok}$$

Si  $V_u < \phi V_c / 2$ , entonces no necesita refuerzo por corte.

$0.051 \text{ Tn} < 1.008 \text{ Tn...Ok}$  la sección no necesita refuerzo por corte (diseño de estribos).

Pero para darle seguridad al elemento estructural se colocara estribos de  $\phi 3/8''$

$$A_{v \text{ acero}} = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}, \text{ donde } A_v = 2 * (\text{área del acero a utilizar}).$$

$$S = 10 \text{ cm}$$

Para definir el espaciamiento máximo transversal, es necesario considerar que cada fisura potencial debe ser atravesada por lo menos por una varilla de acero, el código ACI 350 recomienda utilizar un espaciamiento máximo  $S = h/2$  para estribos perpendiculares al eje del elemento ( $\theta = 90^\circ$ ) por lo tanto  $S = 10$  cm.

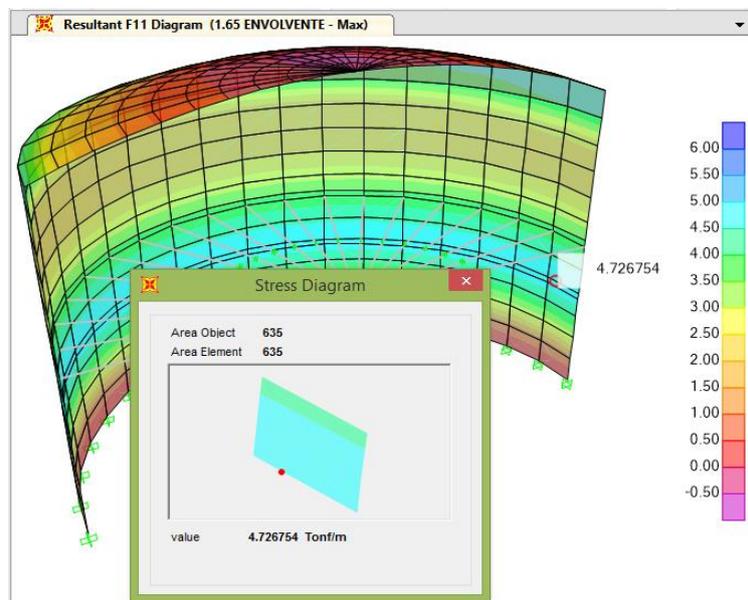
Entonces será necesario colocar estribos  $\varnothing 3/8'' @ 0.10$  m.

### 3.5.5.3.- CALCULO DEL ACERO EN EL MURO CIRCULAR.

Se tomarán las consideraciones indicadas en el capítulo 21: Estructuras resistentes a fuerzas sísmicas del ACI 318M-08. El muro circular de un reservorio trabaja para resistir esfuerzos de tracción en la dirección anular y en la dirección tangencial será más importante los efectos que producen los momentos y cortantes. El diseño está dado tanto para la cara exterior y la cara interior.

Por ello la pared de la cuba que soporta la presión del líquido contenido, se diseñará por tensión anular y por flexión.

### ➤ DISEÑO ESTRUCTURAL POR TENSIÓN ANULAR CARA INTERNA Y CARA EXTERNA (ACERO ANULAR).



$$F'_c = 186.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{11} = 4.727 \text{ Tn/ m dato SAP}$$

$$H = 15 \text{ cm}$$

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

$$\text{Rec} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 12.5 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{F_r}{\phi f_y}, \text{ donde } \phi = \frac{1}{1.65} = 0.61, \text{ este ser\'a el coeficiente recomendable para tracci\'on}$$

en el dise\~no de estructuras que est\'an en contacto con el agua (**Seg\'un: Comisi\'on Nacional del Agua Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Dise\~no Estructural de Recipientes Diciembre de 2007. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx).**)

$$A_s = 1.84 \text{ cm}^2$$

Para calcular el acero m\'inimo ser\'a necesario establecer una cuant\'ia m\'inima recomendable para muros estructurales, para este dise\~no ser\'a necesario utilizar.

$$P_{\min} = 0.0025,$$

$$A_{s \min} = 0.0025 * 100 * 12.5 = 3.125 \text{ cm}^2$$

- Ser\'a necesario usar acero  $\phi$  3/8"

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

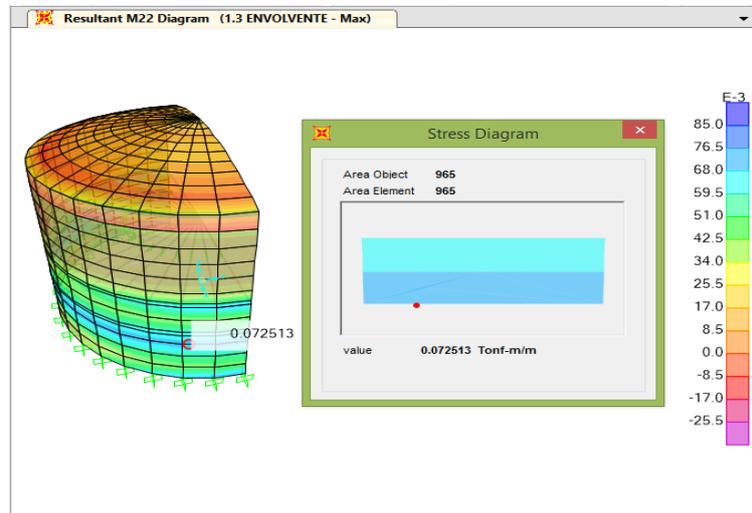
- espaciamiento del acero anular (s)

$$S = \frac{A_v * 100}{A_s} = 22.72 \text{ cm}$$

$$S_{\max.} = 20 \text{ cm}$$

Entonces ser\'a necesario colocar acero  $\phi$  3/8" @ 0.20 m, en dos capas (cara interna y cara externa).

➤ **DISEÑO ESTRUCTURAL POR MOMENTO FLEXIONANTE CARA INTERNA Y CARA EXTERNA (ACERO VERTICAL).**



$$F'_c = 186.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{22} = 0.073 \text{ Tn} \cdot \text{m/m dato de sap.}$$

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

$$H = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Rec} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 12.5 \text{ cm}$$

$$E_s = 2.10 \text{E}+06 \text{ Kg/cm}^2 = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 15100 \times \sqrt{186.80} = 206378.9427 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = 10.17$$

➤ **APLICANDO EL METODO DEL ESTADO ELÁSTICO AGRIETADO.**

$$F_s = 0.6f_y = 2520.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 0.45f_c = 83.74 \text{ Kg/cm}^2$$

## Calculo de k y j

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}\right)}$$

$F's$  = Fátiga de trabajo en kg / cm<sup>2</sup>

$F'c$  = Resistencia a la compresión en kg / cm<sup>2</sup>

$$n = E_s / E_c$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$K = 0.2526$$

$$J = 0.9158$$

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot x \cdot d} = 0.253 \text{ cm}^2$$

Para calcular el acero vertical mínimo será necesario establecer una cuantía mínima recomendable para muros estructurales, para este diseño será necesario utilizar

$$P_{\min} = 0.0015$$

$$A_{s \min} = 0.0015 \cdot 100 \cdot 12.5 = 1.875 \text{ cm}^2$$

- Será necesario usar acero Ø 3/8"

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

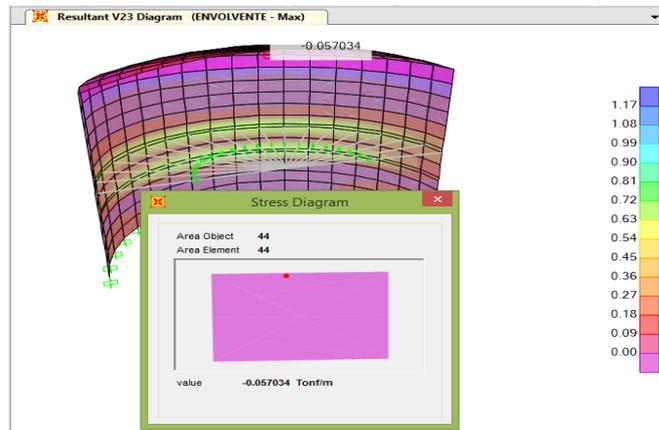
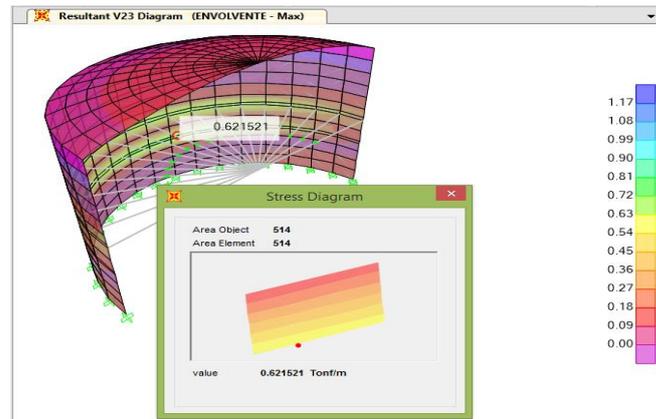
- Espaciamiento del acero anular (s)

$$S = \frac{A_v \cdot 100}{A_s} = 0.378 \text{ cm}$$

$$S \text{ (recomendable).} = 35 \text{ cm}$$

Entonces será necesario colocar acero Ø 3/8" @ 0.35 m, en dos capas (acero vertical interno y externo).

➤ **DISEÑO ESTRUCTURAL POR CORTANTE EN LA PARED CIRCULAR.**



$$F'_c = 186.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$V_{23} = 0.62 \text{ Tn/m}$  dato SAP (se considera el cortante positivo porque es mayor que el cortante negativo).

$$H = 15 \text{ cm}$$

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

$$Rec = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 12.5 \text{ cm}$$

El código del ACI 350 sugiere una expresión simplificada para la determinación de  $V_c$ .

$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} * b*d$ , Por su simplicidad, esta fórmula es la más usada.

$$V_c = 9.600 \text{ Tn/m}$$

$V_u < \phi V_c$  para  $\phi = 0.75$  Coef. Para diseño por corte.

$$0.62 T_n < 7.200 T_n/m \dots \text{Ok}$$

El refuerzo transversal tiene una limitación similar que busca evitar la falla del concreto comprimido, ubicado en el extremo superior de las fisuras diagonales, antes de la fluencia del acero transversal. Esta limitación también provee un efectivo control del ancho de las rajaduras inclinadas.

El código del (ACI 350), recomienda que:

$$V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s \leq 38.033 T_n /m \dots \text{Ok}$$

$$V_n = V_s + V_c$$

$$V_n = 47.639 T_n /m$$

$V_u < \phi V_n$ , para  $\phi = 0.75$  Coef. Para diseño por corte.

$$0.62 T_n < 35.729 T_n \dots \text{Ok}$$

Si  $V_u < \phi V_c / 2$ , entonces no necesita refuerzo por corte.

$0.62 T_n < 3.6 T_n \dots \text{Ok}$ , la sección no necesita refuerzo por corte (diseño de estribos).

### **3.5.6.- CALCULO DEL ACERO EN LA SUB ESTRUCTURA.**

En la sub estructura están considerados la losa base y el cimiento corrido.

#### **3.5.6.1.- CALCULO DEL ACERO EN LA LOSA BASE.**

Se tomarán las consideraciones indicadas en el capítulo 19: Cáscaras y losas plegadas del ACI 318 M-08. La cuantía mínima a proporcionar será de acuerdo a la sección 7.12, igual a 0.0018, el refuerzo se proporcionará para resistir los esfuerzos de tracción, flexión y corte. El refuerzo se proveerá en dos direcciones y en dos capas.

#### **➤ VERIFICAMOS LOS ESFUERZOS ADMISIBLES DEL SUELO.**

- **Carga muerta aprox.**

$$\text{Espesor de la losa} = 0.18 \text{ m}$$

$$\text{Peso propio} = 2.4 * 0.18 = 0.43 T_n /m^2$$

$$\text{Piso terminado} = 0.1 T_n /m^2$$

$$\text{Carga muerta total} = 0.44 T_n / m^2$$

- **Carga viva aprox.**

$$C_v = 50 \text{ kg/cm}^2 = 0.05 \text{ Tn/m}^2$$

- **Carga de agua aprox.**

$$\text{Peso del agua} = 2.0 \text{ Tn/m}^2$$

- **Carga última factorada aprox.**

$$W_u = 1.4 * C_D + 1.7 * C_H$$

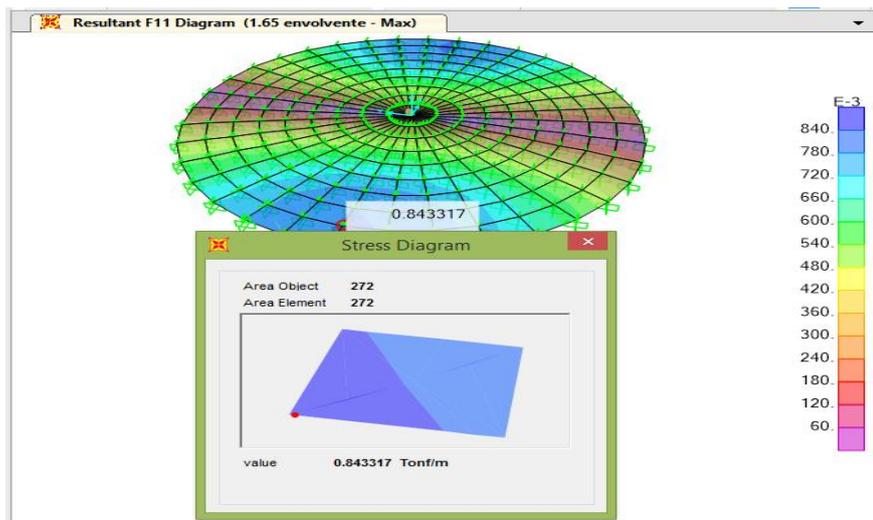
$$W_u = 4.016 \text{ Tn/m}^2$$

$$W_u = 0.402 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_u < \sigma$$

$0.402 \text{ kg/cm}^2 < 0.65 \text{ kg/cm}^2 \dots$  Ok no necesita reforzar la capacidad portante del suelo.

➤ **CALCULO DEL ACERO POR TENSION ANULAR.**



$$F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (según expediente técnico).}$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{11} = 0.84 \text{ Tn/m dato SAP}$$

$$H = 18 \text{ cm}$$

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

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

$$d = 14 \text{ cm}$$

$A_s = \frac{Fr}{\phi f_y}$  , donde  $\phi = \frac{1}{1.65} = 0.61$ , este será el coeficiente recomendable para tracción en el diseño de estructuras que están en contacto con el agua.

$$A_s = 0.33 \text{ cm}^2$$

- Para calcular el acero mínimo en dicha dirección se procederá mediante el siguiente desarrollo:

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times 100 \times 14 = 2.52 \text{ cm}^2, \text{ (Según: ACI 318-11).}$$

- Será necesario usar acero  $\phi 3/8''$

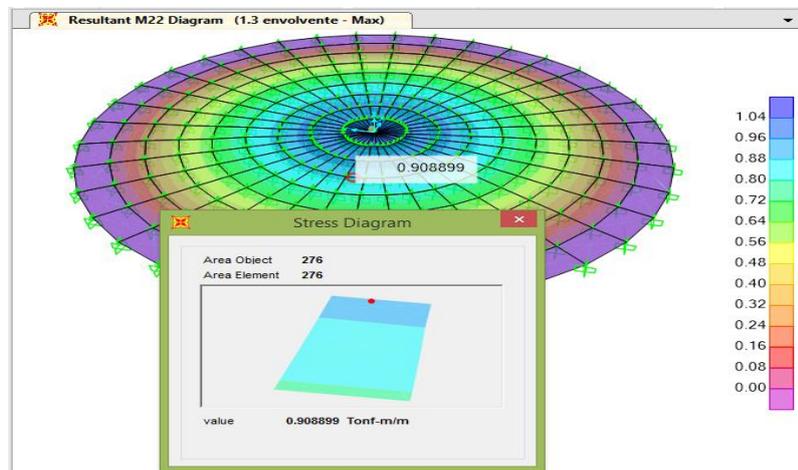
$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento del acero anular (s)

$$S = \frac{A_v \times 100}{A_s} = 28.17 \text{ cm}$$

Entonces será necesario colocar acero  $\phi 3/8'' @ 0.25 \text{ m}$ , distribuidos en dos capas.

### ➤ DISEÑO ESTRUCTURAL POR MOMENTO FLEXIONANTE (ACERO RADIAL).



$$F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (según expediente técnico).}$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$M_{22} = 0.9088 \text{ Tnf-m/m}$ , no se toma el momento negativo porque es inferior a este.

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

$$H = 18 \text{ cm}$$

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

$$d = 14 \text{ cm}$$

$$E_s = 2.10 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 15100 \times \sqrt{210} = 218819.789 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = 9.597$$

➤ **APLICANDO EL METODO DEL ESTADO ELÁSTICO AGRIETADO.**

$$F_s = 0.6f_y = 2520.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 0.45f_c = 94.5 \text{ Kg/cm}^2$$

**Calculo de k y j**

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}\right)}$$

$F_s$  = Fátiga de trabajo en kg / cm<sup>2</sup>

$F_c$  = Resistencia a la compresión en kg / cm<sup>2</sup>

$$n = E_s / E_c$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$K = 0.2646438$$

$$J = 0.9117854$$

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot x \cdot d} = 2.83 \text{ cm}^2$$

- Para calcular el acero mínimo en dicha dirección se procederá mediante el siguiente desarrollo:

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times 100 \times 14 = 2.52 \text{ cm}^2 \text{ (Según: ACI 318-11).}$$

- Será necesario usar acero Ø 3/8"

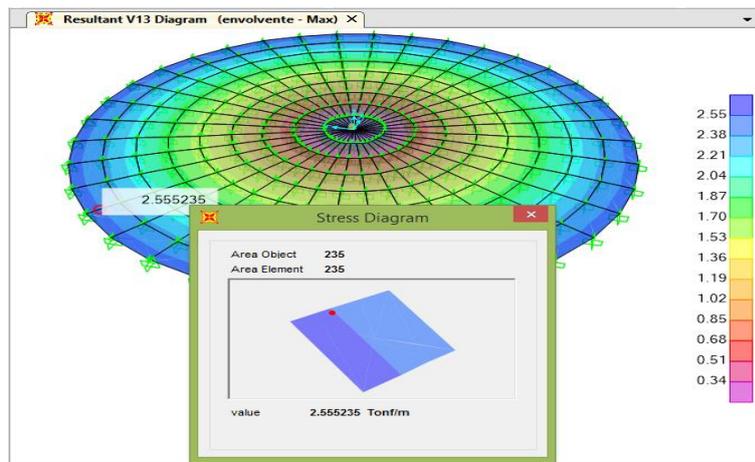
$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento del acero radial (s).

$$S = \frac{A_v \cdot 100}{A_s} = 25.08 \text{ cm}$$

Entonces será necesario colocar acero Ø 3/8" @ 0.25 m, en dos capas (acero radial superior e inferior).

➤ **DISEÑO DE ACERO POR CORTANTE EN LA LOSA BASE.**



$$F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (según expediente técnico).}$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{23} = 2.56 \text{ Tn dato SAP.}$$

$$H = 18 \text{ cm}$$

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

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

$$d = 14 \text{ cm}$$

El código del ACI sugiere una expresión simplificada para la determinación de  $V_c$ .

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} * b*d, \text{ por su simplicidad, esta fórmula es la más usada.}$$

$$V_c = 10.7526 \text{ Tn/m}$$

$$V_u < \phi V_c \text{ para } \phi = 0.75 \text{ Coef para diseño por corte.}$$

$$2.56 \text{ Tn} < 8.06445 \text{ Tn/m...Ok}$$

El refuerzo transversal tiene una limitación similar que busca evitar la falla del concreto comprimido, ubicado en el extremo superior de las fisuras diagonales, antes de la fluencia del acero transversal. Esta limitación también provee un efectivo control del ancho de las rajaduras inclinadas.

El código del (ACI 350), recomienda que:

$$V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s \leq 42.6846 T_n / m \dots \text{Ok}$$

$$V_n = V_s + V_c$$

$$V_n = 53.3572 T_n / m$$

$V_u < \phi V_n$ , para  $\phi = 0.75$  Coef. Para diseño por corte.

$$2.56 T_n < 40.0179 T_n \dots \text{Ok}$$

Si  $V_u < \phi V_c / 2$ , entonces no necesita refuerzo por corte.

$2.56 T_n < 5.3763 T_n \dots \text{Ok}$ , la sección no necesita refuerzo por corte (diseño de estribos).

### **3.5.6.2.- CÁLCULO DEL ACERO EN EL CIMIENTO CORRIDO (Fuente: Concreto Armado II y cimentaciones, Ing. Roberto Morales, UNI-Peru).**

Para el análisis del cimiento corrido se tomarán las mismas medidas que están en el plano estructural, con respecto a esto se calculará el acero estructural del cimiento corrido.

#### **➤ DATOS OBTENIDOS DEL EMS.**

Tipo de suelo (Cl) = Arcilla orgánica ligeramente plástica.

$\Phi = 15^\circ \dots$  (Ángulo de fricción interna del suelo).

Cohesión =  $0.25 \text{ kg/cm}^2$

Capacidad admisible del suelo =  $0.65 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de balasto =  $1.08 \text{ kg/cm}^3$

Peso específico del concreto =  $2.4 T_n / m^3$

Factor sanitario = 1.65

Tipo de cimentación = Cimiento corrido.

Se supone que en tiempo de lluvia el agua superficial satura el suelo de apoyo,. Por ello es recomendable estabilizar la base con material granular.

➤ **CALCULO DE LA EXCENTRICIDAD.**

Número de divisiones: 36

Diámetro interno = 3.60 m

Diámetro externo = 3.90 m

Mediante el programa SAP obtenemos las siguientes reacciones por servicio.

Reacción por carga muerta = 0.35 Tn /m

Reacción por carga viva = 0.02Tn /m

Momento de volteo a nivel de la base = 0.06 Tn - m (momento por servicio), según SAP 2000 VS 17.

$A_1 = 0.5 \times 0.25 = 0.125 \text{ m}^2$  (supuestamente sobre la punta del cimiento, se ubica suelo de relleno a una altura de 0.50 m aprox.)

$A_2 = 0.60 \times 0.30 = 0.180 \text{ m}^2$

$A_3 = 0.20 \times 2.0 = 0.40 \text{ m}^2$

Descripcion	Área (m2)	Distancia (m)	Área X P.V Suelo	Factor	Fuerza (tn)	Momento (tn-m)
1	0.125	0.125	0.225	<b>1.25</b>	0.281	0.035
2	0.180	0.300	0.432	<b>1.25</b>	0.540	0.162
3	0.400	0.500	0.660	<b>1.25</b>	0.825	0.413
Rd (Por ml)		0.325	1.070	<b>1.25</b>	1.337	0.434
Rl (por ml)		0.325	0.061	<b>1.25</b>	0.076	0.025
				<b>SUMA</b>	<b>3.060</b>	<b>1.069</b>

➤ **LA EXCENTRICIDAD (E).**

$$e = b/2 - (m_e - m_v) / \sum f_v$$

$$e = - 0.0297 \text{ m}$$

La excentricidad máxima se obtiene mediante la siguiente formula.

(Según: Diseño de Concreto Armado II y Cimentaciones, ICG. Ing. Roberto Morales Morales).

$$e \text{ máx.} = B / 6, \text{ para } B = 0.60 \text{ m}$$

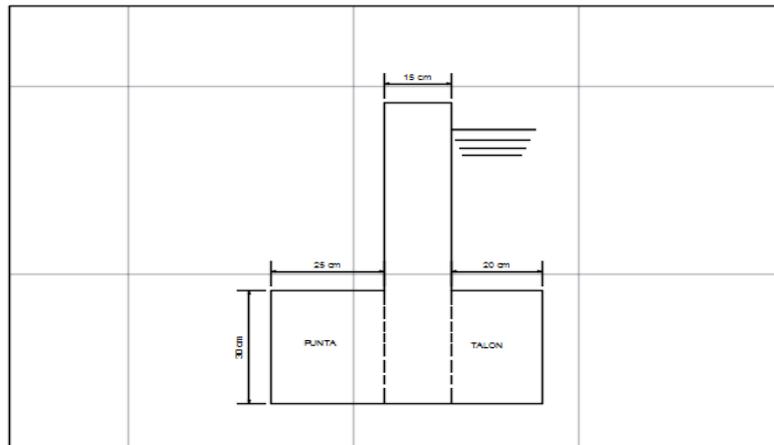
$$e \text{ max.} = 0.10$$

Entonces:

e calcul. < e max.

$$0.0297 < 0.1 \dots \dots \dots \text{Ok}$$

➤ **ESFUERZO A NIVEL DE CIMENTACIÓN.**



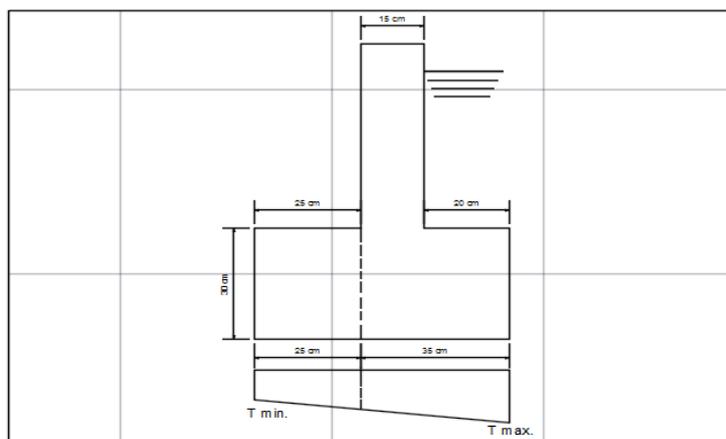
$$T = (\text{Sum FV} / L * B) + - (6 * \text{Sum FV} * e) / L * B^2$$

L = metro lineal.

T max calc. = 0.662 kg/cm<sup>2</sup>, entonces, Tmax calc. > 0.65 kg/cm<sup>2</sup>... No cumple

Tmin.= 0.358 kg/cm<sup>2</sup>, entonces, Tmin. > 0.....Ok

➤ **VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN EL TALÓN.**



Según triángulo de esfuerzos tenemos

$$(T \text{ máx} - T \text{ min}) / B = (TH - T \text{ min.}) / D'$$

$$D' = 0.25 \text{ m (long. punta)}$$

$$Th = 0.485 \text{ kg/cm}^2$$

$$W1 = 2.03 \text{ Tn/m (hacia abajo)}$$

$$M_1 = W1 * D'^2 / 2 = 0.04 \text{ Tn-m}$$

$$V_1 = W1 * D' = 0.41 \text{ Tn}$$

➤ **CÁLCULO DEL MOMENTO Y EL CORTANTE PRODUCIDOS POR EL DIAGRAMA DE PRESIONES.**

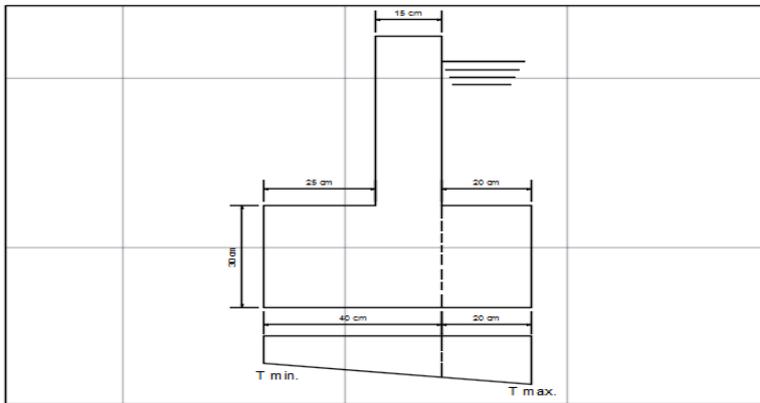
$$M_2 = \left[ \frac{T_{\min} x D'^2}{2} + \frac{(T_H - T_{\min}) x D'^2}{6} \right] x B ; V_2 = \left[ T_{\min} x D' + \frac{(T_H - T_{\min}) x D'}{2} \right] x B$$

$$M_2 = 0.13 T_n - m$$

$$V_2 = 1.05 T_n$$

Debido a que  $M_2 > M_1$ , es necesario colocar acero en el extremo superior de la punta.

➤ **VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN LA PUNTA.**



Según triángulo de esfuerzos tenemos :

$$(T \text{ máx} - T \text{ min}) / B = (T_h - T \text{ min.}) / (D'')$$

$$D'' = 0.20 \text{ m}$$

Despejando  $T_h$ :

$$T_h = 0.561 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_1 = 5.03 T_n / m \text{ (hacia abajo).}$$

$$M_1 = W_1 x D''^2 / 2 = 0.1 T_n - m$$

$$V_1 = W_1 x D'' = 1.01 T_n$$

➤ **CÁLCULO DEL MOMENTO Y EL CORTANTE PRODUCIDOS POR EL DIAGRAMA DE PRESIONES.**

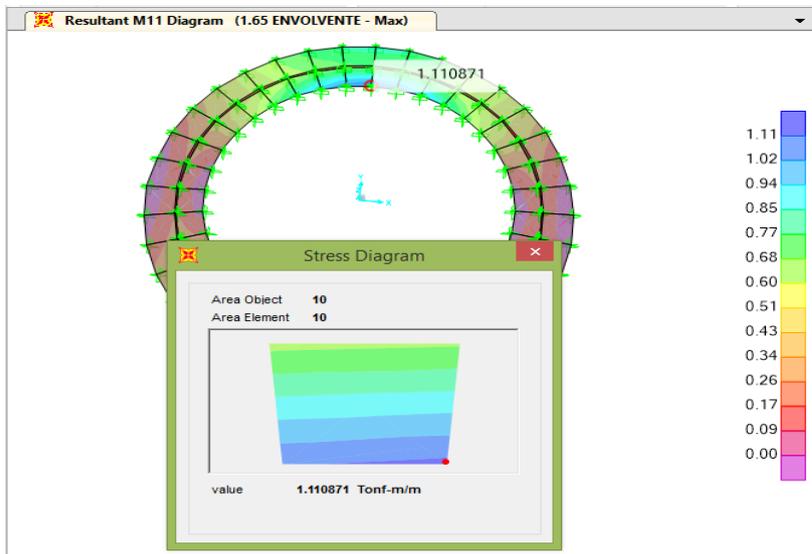
$$M_2 = \left[ \frac{T_h x D''^2}{2} + \frac{(T_{\max} - T_h) x D''^2}{3} \right] x B ; V_2 = \left[ T_h x D'' + \frac{(T_{\max} - T_h) x D''}{2} \right] x B$$

$$M_2 = 0.12 T_n - m$$

$$V_2 = 0.92 T_n$$

Debido a que  $M_2 > M_1$ , entonces es necesario colocar acero en el extremo superior del talón.

➤ **CALCULO DEL ACERO POR FLEXIÓN Y TENSIÓN ANULAR CON SAP (CARA SUPERIOR DEL CIMIENTO CORRIDO).**



$$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (según expediente técnico).}$$

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

$$M_{22} = 1.11 \text{ Tn f-m/m, (no se toma el momento negativo porque es inferior a este).}$$

$$B = 60 \text{ cm}$$

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

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

$$d = 26 \text{ cm}$$

$$Es = 2.10E+06 \text{ Kg/cm}^2 = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Ec = 15100 \times \sqrt{210} = 218819.789 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = 9.597$$

➤ **APLICANDO EL METODO DEL ESTADO ELÁSTICO AGRIETADO.**

$$Fs = 0.6fy = 2520.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fc = 0.45fc = 94.5 \text{ Kg/cm}^2$$

### Calculo de k y j

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}\right)}$$

$f_s$  = Fátiga de trabajo en kg / cm<sup>2</sup>

$f_c$  = Resistencia a la compresión en kg / cm<sup>2</sup>

$$n = E_s / E_c$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$K = 0.2646438$$

$$J = 0.9117854$$

$$A_s = \frac{M}{f_s j x d} = 1.86 \text{ cm}^2$$

- Acero mínimo.

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times 60 \times 26 = 2.81 \text{ cm}^2$$

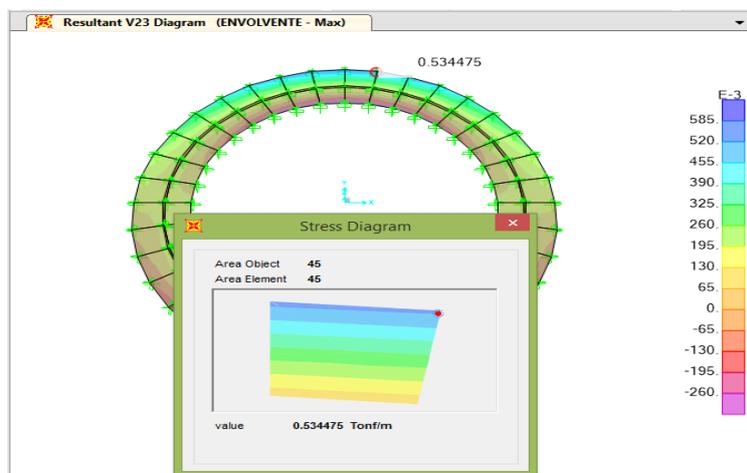
- Será necesario usar acero Ø 3/8"

$$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ Varillas} = \frac{2.81}{0.71} = 3.96 \text{ varillas.}$$

Entonces será necesario colocar 4 aceros Ø 3/8" @ 0.17 m, en dos capas (acero anular superior e inferior).

### ➤ CALCULO DEL ACERO POR CORTANTE EN EL CIMIENTO CORRIDO.



$$F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \text{ (según expediente técnico).}$$

$$F'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{23} = 0.534 \text{ Tn/m dato SAP}$$

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

$$b = 60 \text{ cm}$$

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

$$d = 26 \text{ cm}$$

El código del ACI, sugiere una expresión simplificada para la determinación de  $V_c$ .

$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} * b*d$ , por su simplicidad, esta fórmula es la más usada.

$$V_c = 11.98 \text{ Tn/m}$$

$V_u < \phi V_c$  para  $\phi = 0.75$  Coef para diseño por corte.

$$0.534 \text{ Tn} < 8.986 \text{ Tn/m...Ok}$$

El refuerzo transversal tiene una limitación similar que busca evitar la falla del concreto comprimido, ubicado en el extremo superior de las fisuras diagonales, antes de la fluencia del acero transversal. Esta limitación también provee un efectivo control del ancho de las rajaduras inclinadas.

El código del (ACI 350) recomienda que:

$$V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s \leq 47.47 \text{ Tn /m...Ok}$$

$$V_n = V_s + V_c$$

$$V_n = 59.45 \text{ Tn /m}$$

$V_u < \phi V_n$ , para  $\phi = 0.75$  Coef para diseño por corte.

$$0.534 \text{ Tn} < 44.58 \text{ Tn...Ok}$$

Si  $V_u < \phi V_c / 2$ , entonces no necesita refuerzo por corte.

$0.534 \text{ Tn} < 5.99 \text{ Tn...Ok}$ , la sección no necesita refuerzo por corte (diseño de estribos).

Para definir el espaciamiento máximo transversal, es necesario considerar que cada fisura potencial debe ser atravesada por lo menos por una varilla de acero, el código (ACI 11.5.4) recomienda utilizar un espaciamiento máximo  $S = h / 2$  para estribos perpendiculares al eje del elemento ( $\theta = 90^\circ$ ) por lo tanto  $S = 15 \text{ cm}$ .

Entonces será necesario colocar estribos  $\phi 3/8" @ 0.15 \text{ m}$ .

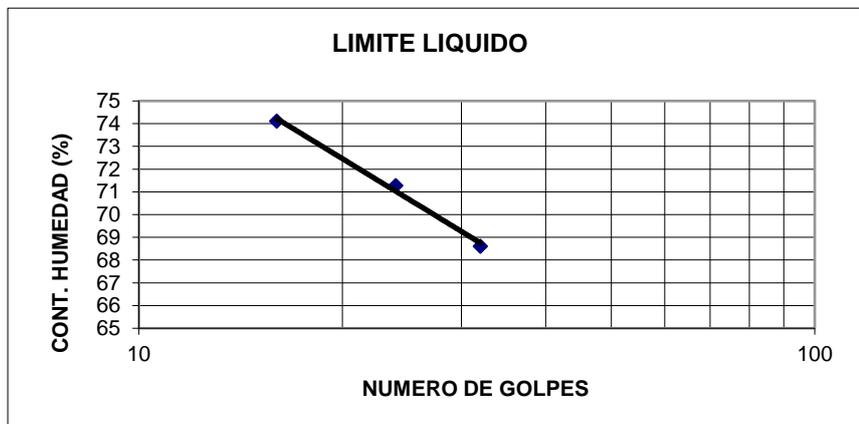
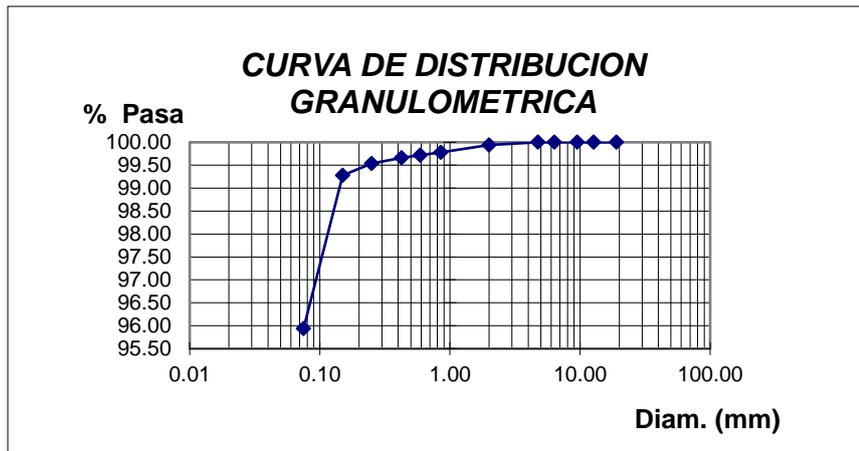
**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

**4.1.- RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

El estudio de mecánica de suelos se realizó llegándose a determinar el tipo y la capacidad portante del suelo, en la tabla 13 y 22 se resume los siguientes resultados.

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Granulometría				Propiedades Físicas					C Kg/cm <sup>2</sup>	Ø
			Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	AASHTO	SUCS	Límites Consistencia				
			A R C I L L A S    I N O R G A N I C A S										
1	1	0.90 m	100.00	99.94	99.66	95.94	A -7- 5(20)	CH	71.00	30.60	40.40	0.25	15

Ver tabla N<sup>ro.</sup> 13, Granulometría y propiedades físicas del suelo.



✓ **CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA (Teoría de bell /terzaghi).**

$$q'c = \frac{2}{3} * C * N'c + \gamma * Df * N'q + \frac{1}{2} \gamma * B * N' \gamma$$

$$q'c = 1.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$q'c / 3 \text{ (rango de seguridad)} = 0.65 \text{ kg/cm}^2$$

<b>Muestra</b>	<b>Prof.</b>	<b>Tipo de suelo según SUCS</b>	<b>Capacidad portante.</b>
C1	0.90	Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH)	0.65 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla N° 22: Tipo de suelo y capacidad portante.**

#### **4.1.1- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

Según el estudio de mecánica de suelos se obtiene un suelo expansivo (CH), arcilla inorgánica de alta plasticidad y de baja capacidad portante (0.65 kg/cm<sup>2</sup>).

Los suelos expansivos, son aquellos que sufren procesos de expansión y contracción, estos al estar en clima estacional caluroso generan grandes grietas por donde migra el material del suelo hacia abajo, este tipo de suelo genera constante inestabilidad en las obras civiles efectuadas. Por ende será necesario estabilizar con material granular el suelo de soporte para la cimentación del reservorio apoyado.

#### **Referencias:**

**SIDA, Sociedad de Ingenieros del atlántico, Propiedades mecánicas de los suelos. AVILA DE LA HOZ, Humberto**

**SIDA, Sociedad de Ingenieros del atlántico, Arcillas expansivas. GUARDO POLO, José**

## 4.2 .- RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.

Este ensayo se desarrolló llegando a obtener los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Muestra	Elemento estructural	F'c (interpolado) Kg/cm <sup>2</sup>	Margen de error máx. (%)	Nivel de confianza (%)	F'c (calculado) Kg/cm <sup>2</sup>
M1	cúpula	234.40	0.2	0.8	187.52
M2	Anillo circular.	234.40	0.2	0.8	187.52
M3	Muro circular.	232.60	0.2	0.8	186.08

**NOTA:** En la losa base y cimiento corrido no se hizo ensayo de esclerometria, por esta razón se considera el mismo f'c del concreto establecido en el expediente técnico equivalente a 210 kg/cm<sup>2</sup>

Tabla N° 23: Resumen del ensayo de esclerometria.

### 4.2.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.

✓ **CALIBRACIÓN.** “Según: Determinación de la Resistencia del Hormigón Mediante Ensayos no Destructivos Realizados con Esclerómetro y Ultrasonidos, Adolfo Delibes Lioiers director de INTEMAC” en el análisis y resultados de esta obra explica lo siguiente :

En algunas de las obras estudiadas, el hormigón procedía de estructuras distintos, y bien diferenciados, o bien se conocían edades del hormigón.

Sin embargo tomó una muestra de 10 hormigones – tipo, resultando «errores - relativos» los cuales constituyen algunos coeficientes correctores que varían entre 0,795 y 1,574 por lo que su cuantía continúa siendo muy importante hasta el momento.

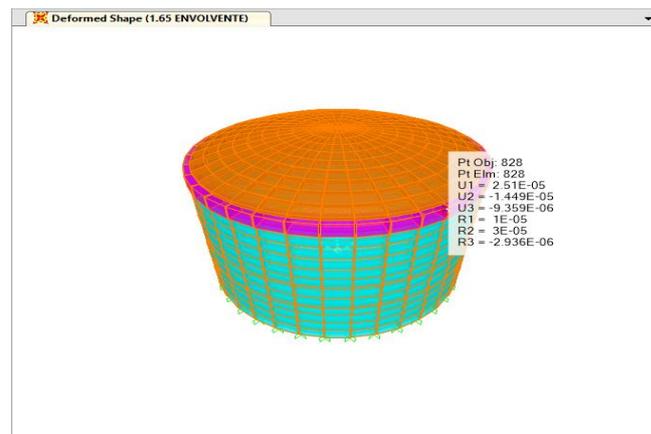
✓ **MARGEN DE ERROR:** De acuerdo con los conceptos establecidos en las obras estudiadas por el ing. Adolfo Delibes Lioiers, (según la experiencia de los ensayos obtenidos en el laboratorio de INTEMAC), indica que el margen de error debe oscilar del 12 % al 20 %, sin exceder este último valor.

- ✓ **PRECISIÓN.** Según la práctica del ASTM C805, recomienda utilizar un número de 10 lecturas por muestra.

**NOTA:** Tomando como referencia estos conceptos básicos para el ensayo de esclerometría, se ha tomado 10 lecturas de rebote y en el peor de los casos se ha considerado un error de 20% y un nivel de confianza al 80%, es decir un coeficiente de corrección de (0.80) del resultado del  $f'c$  obtenido del valor interpolado por muestra, para obtener un  $f'c$  aproximado al  $f'c$  de diseño.

#### 4.3.- RESUMEN DE RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS Y CORTANTES.

- ✓ **Desplazamientos máximos en una esquina superior externa para (R = 2.75) se obtiene 0.000025 mt (SAP 2000).**



##### 4.3.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO.

Esta tabla nos indica los límites de distorsión recomendables para la evaluación estructural del reservorio apoyado según NORMA E.030.

Límites para la Distorsión del Entrepiso.	
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

Ver tabla N<sup>ro</sup> 21.

El desplazamiento maximo es 0.000025 mt

La distorcion esta dada por  $\frac{\Delta i}{h_i}$ , según NORMA E.030.

$$\text{Distorcion} = \frac{0.000025}{2.4} = 0.0000104$$

$$0.0000104 < 0.07$$

Se puede afirmar que este limite de distorcion es aceptable para la evaluacion estructural del reservorio apoyado porque cumple con lo indicado en el parametro antes mencionado de la NORMA E.030.

#### **4.4.- RESUMEN DEL RESULTADO DEL CORTANTE BASAL CALCULADO Y DEL CORTANTE DIMAMICO OBTENIDO CON SAP 2000.**

✓ **CORTANTE CALCULADO MEDIANTE LA SIGUIENTE FORMULA (SEGÚN: NORMA E.030).**

$$V = \frac{0.25 * 1.5 * 2.5 * 1.40}{2.75} * 14763.91 = 7046.4116kg = 7.046 \text{ tn}$$

✓ **CORTANTE OBTENIDA DEL PROGRAMA SAP 2000 VS 17.**

LoadPat	SeismicZone	SiteClass	A0	I	R	TUsed Sec	CoeffUsed
SISMO X	Zone 2	Z3	0.3	1.500000	2.750000	2.3671	0.136449

LoadPat	WeightUsed Tonf	BaseShear Tonf
SISMO X	47.7573	6.5165

#### **4.4.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL CORTANTE CALCULADO Y EL CORTANTE OBTENIDO DEL PROGRAMA SAP 2000.**

✓ **FUERZA CORTANTE MÍNIMA, (según: Numeral 4.6.4 NORMA E.030, 2016).**

La NORMA E.030 en el numeral 4.6.4 nos da conocer que cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor del cortante basal calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

De acuerdo a este concepto se le adaptara a los parámetros de esta norma para la evaluación estructural del reservorio apoyado.

Cortante calculado = 7046.4116 kg = 7.0464 Tn

90% del cortante calc. = 6341.6704 kg = 6.3417 Tn

**Por lo tanto:**

6.3417 Tn < 6.5155 Tn

En consecuencia podemos afirmar que lo establecido en el numeral 4.6.7 de la NORMA E.030, es aceptable para la evaluación estructural del reservorio apoyado, porque cumple con el parámetro antes mencionado, en tal sentido se puede afirmar que la estructura no fallara por esfuerzo cortante.

#### **4.5.- RESUMEN DEL RESULTADO DEL ESFUERZO MÁXIMO DEL CONCRETO CON RESPECTO AL ESFUERZO DE VON MISES (EVM).**

La tensión de Von Mises y el criterio de fallo elástico asociado se debe a su nombre Richard Edler von Mises (1913) propuso que un material dúctil sufría fallo elástico cuando la energía de distorsión elástica rebasaba cierto valor.

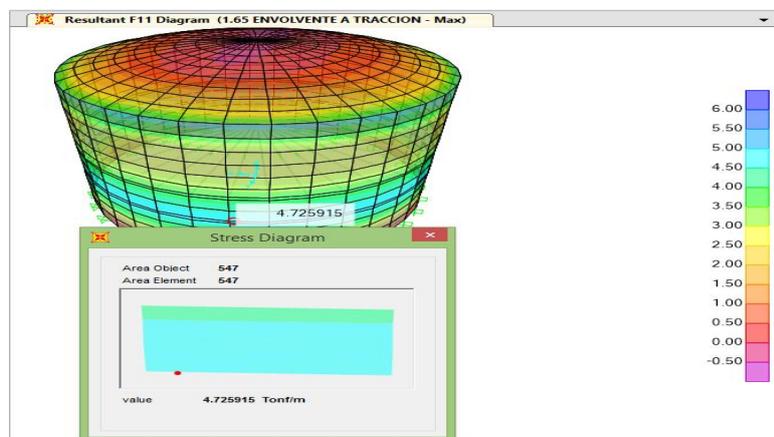
En tal sentido el esfuerzo de vom mises, no debe exceder el esfuerzo máximo del concreto.

$$\sigma_c = 2\sqrt{f'_c} \quad (\text{Según: NORMA E.060}).$$

$F_c = 186.80 \text{ kg/cm}^2$  (Según ensayo de esclerometria).

$$\sigma_c = 27.3349 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo máximo generado en la pared del reservorio.



$$0.473 \text{ kg/cm}^2 \leq 27.3349 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots \text{ Ok}$$

#### 4.5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL ESFUERZO DE VOM MISES CON RESPECTO AL ESFUERZO MAXIMO DEL CONCRETO.

Según este análisis se cumple que el esfuerzo von mises (FVM) no excede el esfuerzo del concreto, entonces se supone que no se presentaron fallas en el concreto debido a esfuerzos de máxima distorsión de energía.

#### 4.6.- RESUMEN DEL RESULTADO DEL CÁLCULO DEL ACERO ESTRUCTURAL.

<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL.</b>	<b>Acero obtenido de la evaluación estructural.</b>	<b>Acero según el plano estructural del expediente técnico.</b>
<b>CÚPULA.</b>	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 20 cm en dos direcciones y en una sola capa (acero anular y acero radial).	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 15 cm en dos direcciones (acero anular y acero radial).
<b>VIGA CIRCULAR.</b>	4 aceros $\varnothing$ 3/8" distribuidos en dos capas, y estribos $\varnothing$ 3/8" @ 0.10 m	4 aceros $\varnothing$ 3/8" distribuidos en dos capas, y estribos $\varnothing$ 3/8" @ 0.10 m
<b>MURO CIRCULAR.</b>	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 20 cm, en dos capas (acero anular) y acero $\varnothing$ 3/8" cada 35 cm en dos capas (acero vertical).	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 25cm, en dos capas (acero anular) y acero $\varnothing$ 3/8" cada 30 cm, en dos capas (acero vertical).
<b>LOSA BASE.</b>	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 25 cm, en dos capas superior e inferior (acero anular) y acero $\varnothing$ 3/8" cada 25 cm, en dos capas superior e inferior (acero radial).	Acero $\varnothing$ 3/8" cada 25 cm, en dos capas (acero anular) y acero $\varnothing$ 1/2" cada 20 cm en la capa superior y en la capa inferior acero $\varnothing$ 3/8" cada 20 cm. (acero radial)
<b>CIMIENTO CORRIDO.</b>	Acero 4 $\varnothing$ 3/8" en dos capas y estribos $\varnothing$ 3/8" @ 0.15 m.	Acero 3 $\varnothing$ 3/8" en dos capas y estribos $\varnothing$ 3/8" @ 0.15 m.

**Tabla N° 24: Resumen del resultado del acero estructural.**

#### **4.5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ACERO ESTRUCTURAL CON RESPECTO AL PLANO ESTRUCTURAL DEL EXPEDIENTE TECNICO.**

De acuerdo con los resultados del acero obtenido de la evaluación estructural del reservorio apoyado con respecto al plano estructural del expediente técnico, se puede afirmar que en la cúpula y losa base se ha sobredimensionado el acero, en el anillo y muro circular está conforme y en el cimiento corrido le falta aumentar el acero.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES.**

#### ➤ **CONCLUSIONES DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL CON RESPECTO A LA NORMA E.030, 2016.**

\*Se verificó que el valor del cortante estático calculado es de 7.0464 Tn y el valor del cortante dinámico obtenido con el programa SAP es de 6.5155 Ton, (donde el 90% cortante estático < cortante dinámico), se concluye que si cumple con el parámetro establecido en la NORMA E.030, 2016.

\*El desplazamiento máximo en una esquina superior externa para (R = 2.75) es 0.000025mt (SAP 2000), se concluye que si cumple con el límite de distorsión establecida en la NORMA E.030, 2016.

\*Se concluye que el esfuerzo máximo en el muro circular del reservorio no sobrepasan el esfuerzo del concreto: ( $0.473 \text{ kg/cm}^2 \leq 27.3349 \text{ kg/cm}^2$ ), entonces cumple con la teoría de Vom Mises.

#### **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.**

\*se concluye que el tipo de suelo es una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH), con capacidad portante de  $0.65 \text{ kg/cm}^2$

\*Se concluye que el resultado del estudio de mecánica de suelos según el Tesista no concuerda con lo estipulado en el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico, por lo tanto se necesita estabilizar el suelo.

#### ➤ **CONCLUSIONES DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.**

\*Se concluye que en la cúpula el  $f'c$  es equivalente a  $187.52 \text{ kg/cm}^2$ .

\*Se concluye que en anillo circular el  $f'c$  es equivalente a  $187.52 \text{ kg/cm}^2$

\*Se concluye que en el muro circular  $f'c$  es equivalente a  $186.08 \text{ kg/cm}^2$

En conclusión general del ensayo de esclerometria podemos afirmar que la resistencia del concreto ( $f'c$  calc.) se aproxima a la resistencia del concreto de diseño ( $f'c$  según expediente técnico) con un margen de error máximo igual al 20 % y un nivel de confianza al 80 % según la experiencia de INTEMAC.

➤ **CONCLUSIONES DEL CÁLCULO DEL ACERO ESTRUCTURAL CON RESPECTO AL EXPEDIENTE TÉCNICO.**

\*Según este análisis se concluye que la cantidad de acero obtenida de la evaluación estructural con respecto al plano estructural del expediente técnico varía en cada elemento estructural, dado el caso que en la cúpula y losa base se ha sobredimensionado el acero, en el anillo y muro circular está conforme y en el cimiento corrido le falta aumentar el acero.

➤ **CONCLUSIÓN GENERAL.**

\*Finalmente se concluye que existe poca diferencia de cálculo entre la evaluación estructural del reservorio apoyado de sección circular ( $20 \text{ m}^3$ ), con respecto a lo establecido en el plano estructural del expediente técnico, además se sabe que la zona del proyecto no es altamente sísmica por ende podemos suponer que la estructura permanecerá operativa durante su vida útil.

## **CAPÍTULO VI**

### **RECOMENDACIONES.**

\*Se recomienda realizar la evaluación estructural del reservorio apoyado de sección circular (20 m<sup>3</sup>) utilizando aisladores y amortiguadores sísmicos en la cimentación.

\*Se recomienda realizar la evaluación estructural del reservorio apoyado de sección circular y de otro reservorio de sección rectangular, con la misma capacidad de volumen, para determinar sus diferencias estructurales.

\*para realizar un ensayo de esclerometría se recomienda realizar 14 o 16 registros de rebote por muestra y luego eliminar los valores más bajos y los más altos hasta obtener 10 registros de rebote, para promediar e interpolar en la tabla de valores y obtener el  $f'c$  requerido, como indica la ASTM C805.

\*Se recomienda estabilizar el suelo de cimentación (suelo expansivo), para la construcción de cualquier reservorio apoyado en el sistema de abastecimiento de agua potable de una localidad.

\*se recomienda incorporar en la NORMA E.030 del reglamento nacional de edificaciones parámetros para la evaluación estructural de reservorios contenedores de agua.

## **CAPÍTULO VII**

### **BIBLIOGRAFÍA.**

- ✓ CODE REQUIREMENTS FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONCRETE STRUCTURES AND COMMENTARY (ACI 350.3-06).
  
- ✓ REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-14).
  
- ✓ REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-05) Y COMENTARIO (ACI 318SR-05)
  
- ✓ GUÍA PARA EL ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS ELEVADOS QUE CONTIENEN AGUA. ( El ACI 371R – 08)
  
- ✓ MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: ESTUDIOS TÉCNICOS PARA PROYECTOS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO – DISEÑO ESTRUCTURAL
  
- ✓ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, DISEÑO ESTRUCTURAL DE RECIPIENTES DICIEMBRE DE 2007. WWW.CNA.GOB.MX.
  
- ✓ REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO (NORMA E.060, 2009).
  
- ✓ REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. (NTP E.020, 1985).
  
- ✓ SEISMIC DESIGN OF LIQUID - CONTAINING CONCRETE STRUCTURES (ACI 350.3-01) AND COMMENTARY (350.3R-01).
  
- ✓ PORTLAND CEMENT, ASSOCIATION (PCA) “CIRCULAR CONCRETE TANKS”.

- ✓ ESQUIBEL ESCOBAR, NÉSTOR. RESERVORIO DE CONCRETO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN MEDIO RURAL, TESIS UNI, (1975).
  
- ✓ GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS, OPS/CEPIS (LIMA, 2004).
  
- ✓ R. PARK Y T. PAULAY, 1988. “ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO”, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD DE CANTERBURY, NUEVA ZELANDA.
  
- ✓ MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: ESTUDIOS TÉCNICOS PARA PROYECTOS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO - DISEÑO ESTRUCTURAL.
  
- ✓ DISEÑO DE CONCRETO ARMADO II Y CIMENTACIONES, ICG. ING. ROBERTO MORALES, LIMA - PERÚ.
  
- ✓ DELIBES, A. «EXPERIENCIAS EN EL ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE TESTIGOS Y ESCLERÓMETRO» CONFERENCIA PRONUNCIADA EN LA ASAMBLEA DEL GRUPO. NDT DE IA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CONTROL DE CALIDAD. BARCELONA 1979.
  
- ✓ DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS CON ESCLEROMETRO Y ULTRASONIDOS ADOLFO DELIBES LIOIERS, INTEMAC, MADRID 1987.
  
- ✓ GÓMEZ CORTÉS. JOSÉ GABRIEL EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN LA OBRA: COMPARACIÓN DE MÉTODOS. TESIS DE POSGRADO. FACULTAD DE INGENIERÍA. DEPTO. DE INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. BOGOTÁ. 1986.
  
- ✓ MECÁNICA DE SUELOS I Y II, ING. MARCO W. HOYOS SAUCEDO, UNC – 2012.

## CAPITULO VIII

### ANEXOS.

#### **FOTOS PARA LA EVALUACION ESTRUCTURAL DEL RESERVORIO .**



**Reservorios del sector 1, Centro de Poblado de CabracanCHA – Chota.**



**Reservorio apoyado de 20 m<sup>3</sup>.**



**Altura de la viga circular.**



**Altura de la pared circular del reservorio apoyado.**



**Altura aproximada de la cúpula.**

**FOTOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**



**Lugar para excavación de calicata.**



**Excavación de calicata para sacar la muestra de suelo.**



**Calicata de 0.90 m de profundidad.**



**Sacando la muestra de suelo.**



**Peso de la muestra a ensayar.**

**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.**



**Lugar del proyecto para hacer el ensayo de esclerometria.**



**Esclerómetro para hacer el ensayo.**



**Muestra N° 1: En el muro circular (Elemento estructural terrajado).**



**Registro de índice de rebote en el muro circular.**



**Muestra N° 2: En el anillo circular (Elemento estructural sin terrajear).**



**Registro de índice de rebote en el anillo circular.**



**Muestra N° 3: En el muro circular (Elemento estructural sin terrajear).**



**Registro de índice de rebote en la cúpula.**