

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Diseño de reservorio circular apoyado de ferrocemento de 20 m³
como alternativa técnica y económica en el sistema de
almacenamiento de agua potable en zona rural**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Abner Obed Sanchez Aguinaga

Asesor:

Ing. Ecler Mamani Chambi

Juliaca, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Ecler Mamani Chambi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“DISEÑO DE RESERVORIO CIRCULAR APOYADO DE FERROCEMENTO DE 20 M3 COMO ALTERNATIVA TÉCNICA Y ECONÓMICA EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONA RURAL”** del autor **Abner Obed Sanchez Aguinaga**, tiene un índice de similitud de 3% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 04 días del mes de noviembre del año 2024.



Msc. Ecler Mamani Chambi



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 14:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Quiberly Pari Suci secretario: Mg. Efraim Velasquez Mamani y los demás miembros: Ing. Juana Beatriz Aguirre Pari y Ing. Jesé Paconí Paconí y el asesor Ing. Eder Mamani Blambi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Diseño de reservorio circular apoyado de ferrocemento de 20 m³ como alternativa técnica y económica en el sistema de almacenamiento de agua potable en zona rural" de el(los)/a(las) bachiller(es): a) Abner Obed Sanchez Aguinaga b)

Ingeniero Civil conducente a la obtención del título profesional de (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Abner Obed Sanchez Aguinaga

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy bueno</u>

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente
[Firma]
Asesor

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario
[Firma]
Miembro

Candidato/a (b)

Candidato/a (a)

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir para ofrendarle este triunfo.

A mis padres y familiares por su apoyo incondicional.

A Palmira mi esposa, por su interés y oportuno apoyo que fueron de mucha utilidad tanto en mi carrera profesional como en mi vida personal.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, fuente de la vida, amor y toda sabiduría

A mis señores padres: Sr. Eleuterio Sánchez Puelles y Sra. Evang Aguinaga Vallejos, por su constante amor y por los mejores valores y principios inculcados.

Al Coordinador de la E.P. de Ingeniería Civil Filial Juliaca Ing. Herson Duverly Pari Cusi, por su valioso apoyo y amistad en la realización de la presente tesis

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
CONTENIDO	IV
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I	11
Identificación del Problema	11
Objetivos	12
General.	12
Específicos.	12
Justificación de la investigación	12
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	14
Antecedentes del Ferrocemento	14
Propiedades del Ferrocemento	16
Propiedades del mortero.	16
Propiedades de las Mallas y barras de acero	17
Reservorio	19
Tipos de reservorio.	19
Consideraciones para el análisis estructural del reservorio	22
Cargas consideradas para el diseño.	22
Carga muerta.	22
Carga Viva.	22
Carga por presión hidrostática (Empuje de agua)	22
Combinaciones de carga.	41
Modelación Computacional mediante el Programa Sap2000.	42
Diseño de Elementos Estructurales	42
Diseño de la losa de fondo del tanque.	42
Diseño de las paredes del tanque.	43
Diseño de la cúpula	45
Análisis Presupuestal	45
Marco conceptual	46

Definición de términos	46
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	49
Ubicación geográfica	49
Diseño metodológico.	49
Consideraciones en el diseño estructural.	50
Diseño estructural de reservorio apoyado circular de ferrocemento.	52
Análisis Económico	53
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
Propiedades y Pre dimensionamiento	54
Propiedades y Características Generales	54
Metrado de Cargas y predimensionamiento de los elementos del reservorio	55
Cargas en la cúpula.	55
Cálculo del Pre dimensionamiento de la Cúpula Esférica.	55
Cálculo del Predimensionamiento de la Pared Cilíndrica	57
Determinación de los Parámetros Sísmicos	58
Procedimiento de Análisis por el Método Estático	58
Análisis y modelamiento del reservorio empleando el software Sap2000	61
Análisis e interpretación de los resultados	69
Cálculo del Diseño del refuerzo	72
Diseño de la Losa:	72
Diseño de las paredes del reservorio de ferrocemento	73
Diseño mediante Cargas de Servicio	73
Diseño por el método de resistencia última	75
Diseño de la tapa del reservorio (Cúpula)	77
Análisis comparativo de costos	80
Presupuesto de reservorio de concreto armado de 20 m ³	80
Presupuesto de reservorio de ferrocemento de 20 m ³	81
Discusión de resultados.	82
CAPÍTULO V	83
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Factor de Zona	25
Tabla N° 02 Factor de modificación de la respuesta R_w	28
Tabla N° 03. Propiedades de los Materiales	54
Tabla N° 04. Dimensiones Reservoirio 20m ³	54
Tabla N° 05. Cargas en la Cúpula Esférica	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulos efectivos para mallas y barras de acero recomendadas por el (ACI 549.1R-93)	17
Figura 2 . Clasificación de tanques por el tipo de alimentación	21
Figura 3: Mapa de zonas sísmicas del Perú (Norma E.030 Diseño Sismo resistente)	24
Figura 4: Clasificación de los perfiles de suelo.	26
Figura 5: factor de suelo (S)	26
Figura 6: Periodos T_P y T_L	26
Figura 7: factor de importancia de las edificaciones.	28
Figura 8: modelo dinámico de estanques contenedores de líquido con soporte rígido sobre el suelo.	32
Figura 9. Consideraciones para malla hexagonal	44
Figura 10. Esquema de costos de una obra.	46
Figura 11. Nomenclatura de la cúpula	56
Figura 12: divisiones radiales y restricción en la base	62
Figura 13: definición de las propiedades de los materiales	63
Figura 14: definición de cargas	64
Figura 15: Asignación de los resorte	65
Figura 16: asignación de la rigidez del resorte convectivo	66
Figura 17: Asignación de la masa convectiva	67
Figura 18: Asignación de la carga impulsiva	68
Figura 19: carga hidrostática	68

Figura 20. Espectro de diseño impulsivo	69
Figura 21. Desplazamiento lateral del reservorio	70
Figura 22. Resultante F11 del reservorio por envolvente	71
Figura 23. Resultante F11 del reservorio generada por la COMBINACIÓN 4	72
Figura 24 : Valores de diseño recomendado del factor de eficiencia global del refuerzo para un miembro sometido a tensión o flexión uniaxial	75

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1.</i> Factores W_i/W_L y W_c/W_L versus D/H_L .	34
<i>Diagrama 2.</i> Coeficiente C_w para reservorios circulares.	37
<i>Diagrama 3.</i> Factor $2\pi/\lambda$ para reservorios circulares.	38

RESUMEN

El presente trabajo considera el análisis estructural y diseño de un reservorio Circular apoyado de ferrocemento con capacidad de 20 m³ para almacenamiento de agua potable, cumpliendo los requisitos del reglamento nacional de edificaciones y el código para diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3 – 6 y comentarios 350.3r –06) para las cargas de sismo.

Después de calcular las cargas consideradas se procede al pre-diseño y posteriormente a la modelación en el programa SAP 2000. con los resultados obtenidos del análisis de programa se procede al diseño siguiendo el método de resistencia última. los elementos del reservorio son diseñados para soportar efectos de tracción y también de un posible sismo, a continuación, se elabora el presupuesto del mismo comparando con uno de concreto armado.

palabras clave: Análisis estructural, diseño estructural, ferrocemento.

ABSTRACT

The present work considers the structural analysis and design of a circular reservoir supported by ferrocement with a capacity of 20 m³ for the storage of drinking water, complying with the requirements of the national building regulations and the code for seismic design of liquid containment structures (ACI 350.3-06 and comments 350.3r-06) for earthquake loads.

After calculating the loads considered, we proceed to the pre-design and later to the modeling in the SAP 2000 program. With the results obtained from the program analysis, the design is carried out following the ultimate resistance method. The elements of the reservoir are designed to withstand tensile effects and also a possible earthquake, then the budget is prepared comparing it with a reinforced concrete one.

keywords: Structural analysis, structural design, ferrocement.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se desarrollan los aspectos que involucran al diseño estructural de un Reservorio Apoyado de Ferrocemento de 20 m³ el que forma parte de un sistema de agua potable, la estructura se diseña para resistir las presiones hidráulicas y sobrecargas que les impongan como consecuencia de su uso previsto. Estas actúan en las combinaciones indicadas según la normativa y no causan esfuerzos que excedan los admisibles a nivel de cargas de trabajo.

El ferrocemento, como se conoce, es un tipo de mortero armado en forma de lámina delgada construido con mortero de cemento y reforzado con capas de mallas metálicas u otros materiales, de pequeño diámetro, se usa en estructuras de espesores delgados tales como reservorios para líquidos, silos, coberturas, filtros para plantas de tratamiento, etc. en donde la resistencia y rigidez se desarrollan mediante la forma del elemento.

En países en vías de desarrollo se están construyendo depósitos de bajo costo desde hace varios años atrás, dado que la posibilidad de combinar mano de obra poco calificada y materiales de bajo costo hacen del ferrocemento un material especialmente interesante y adecuado para este tipo de estructuras para ser utilizadas en la zona rural.

Los materiales necesarios para la construcción en ferrocemento como agua, arena, cemento y alambre de refuerzo están disponibles en la mayoría de regiones, además de que no se necesita mucha mano de obra calificada ya que la misma población puede contribuir a la construcción bajo la supervisión de un técnico calificado pues no se necesita de maquinaria o equipo sofisticado y con la ayuda de gobiernos locales y/o regionales se pueden construir reservorios para agua potable en las zonas rurales y contribuir de esta manera a mejorar las condiciones de salubridad en esta población.

CAPÍTULO I

1.1. Identificación del Problema

En el informe de la OMS y el UNICEF (Julio de 2017) titulado Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene nos dice: “Alrededor de 3 de cada 10 personas (2100 millones de personas) carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10 (4500 millones), carecen de un saneamiento seguro en todo el mundo. De los 2100 millones de personas que no disponen de agua gestionada de forma segura, 844 millones no tienen ni siquiera un servicio básico de agua potable. Esto incluye a 263 millones de personas que tienen que emplear más de 30 minutos por viaje para recoger agua de fuentes que se encuentran lejos de su hogar, y 159 millones que todavía beben agua no tratada procedente de fuentes de agua de superficie, como arroyos o lagos”.

En los lugares donde el agua no es de fácil acceso, se podría prevenir la muerte de unos 361000 niños menores de cinco años cada año por la diarrea y enfermedades que son consecuencia de la insalubridad del agua si se contara con un servicio de agua potable.

En las comunidades rurales carecen del servicio de agua potable y esto puede deberse al costo que conlleva construir un reservorio convencional de concreto armado; por el elevado costo de los materiales a utilizar y las dificultades en el acceso a muchas de ellas, además de no contar en nuestro país con una normativa para el diseño estructural de reservorios circulares, debiéndose adoptar diferentes normas y métodos extranjeros que difieren entre sí, obteniéndose diferentes resultados, es por ello que se propone el diseño de reservorios de ferrocemento como una alternativa tecnológica y económica para la construcción de reservorios de agua potable en comunidades rurales ya que estas mismas pueden realizar los trabajos que conlleva su

construcción y así poder mejorar sus condiciones de vida; pues es muy importante contar con agua que sea salubre e ideal para el consumo humano.

1.2. Objetivos

1.2.1. General.

Diseñar la estructura de un reservorio apoyado circular de ferrocemento de 20 m³ como alternativa técnica y económica en el sistema de almacenamiento de agua potable en zona rural.

1.2.2. Específicos.

- Diseñar un reservorio de ferrocemento, realizando el análisis técnico que cumpla los parámetros de diseño de acuerdo a la norma E 030 y ACI 350.3-06, para estructuras contenedoras de líquidos que puedan resistir las presiones hidráulicas y sobrecargas.
- Realizar el análisis y modelamiento del reservorio empleando el software Sap2000 modelo educacional.
- Realizar un análisis comparativo de costos entre el reservorio de ferrocemento y el de concreto armado

1.3. Justificación de la investigación

El Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019 nos dice: "Las infraestructuras de agua siguen siendo sumamente escasas en las áreas rurales pobres, y por tanto son insuficientes para garantizar una cobertura completa de agua y saneamiento para millones de hombres y mujeres en las zonas rurales."

El hombre puede subsistir sin alimentos, pero no lo logra sin agua, es por tanto que todas sus actividades productivas están relacionadas con este recurso; por lo tanto, es vital que se pueda contar con sistemas de abastecimiento de agua potable que garanticen su bienestar.

En nuestro país las construcciones de reservorios ya sean estos para almacenamiento de agua apta para el consumo humano o no, son construidos en su mayoría por concreto armado, utilizando espesores de paredes mayores a 10 cm, lo cual implica un alto costo de construcción, Por ello en la presente tesis se busca brindar un procedimiento de diseño estructural para reservorios circulares apoyados de ferrocemento siendo estos una alternativa económica para la zona rural, teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas nacionales y extranjeras considerando las características y condiciones sísmicas, del suelo, de los efectos del agua y otros que se presentan en los reservorios y que se indican en los reglamentos como el ACI 350.3-06 , ACI 549.1R-93 además de las normas nacionales como la E.020, E.030 y E.060.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Ferrocemento

J. L. Lambot (1814-1885) construye dos botes de más de 3m. De longitud, 1.30m de ancho y 38 mm de espesor, reforzados con mallas de alambre entrelazadas con barras delgadas. Lambot idea el ferrocemento como un material sustituto de la madera en construcciones navales, arquitectónicas y de uso doméstico, que no está sujeto a daños por agua y humedad. El material dispone de malla metálica de alambre adaptable a la forma deseada y rellena de la mezcla cementante (cemento hidráulico). En 1852 Joseph Luis Lambot patenta el material con el nombre de *fercimet*.

En 1972 la Academia Nacional De Ciencias de los Estados Unidos discutió sobre el uso del ferrocemento en los países en vías de desarrollo; el informe de la reunión publicado por primera vez a principios de 1973, ha tenido un gran impacto sobre las aplicaciones del ferrocemento.

En 1976 se estableció el Internacional Ferrocement Information Center, en el Asian Institute of Technology en Bangkok, Tailandia con el apoyo internacional de: Development Research Center de Canadá y de United States Agency for International Development de los Estados Unidos.

A principios de 1977 el American Concrete Institute estableció el comité ACI 549 sobre ferrocemento, para reglamentar la aplicación de esta tecnología.

Según Nieto Abad C. O., Andrés Zhañay W. (2011) Cuenca, Ecuador la correcta aplicación de normas establecidas en lo que se refiere a abastecimiento de agua investigadas para la realización de este proyecto nos permite tener dimensiones acorde a la realidad del medio donde se realizará el proyecto, de esta manera se evitan sobre dimensionamientos y gastos económicos

innecesarios, o peor aún dimensiones menores a las requeridas convirtiéndola en inadecuada y poco funcional para cumplir con las expectativas de la población. Los programas computacionales de cálculo estructural nos permiten obtener los resultados en forma rápida, la base del éxito es saber plasmar los modelos a los efectos que suceden en la realidad.

En Perú, en enero de 1998, FONCODES, organiza un Taller de Tecnologías Apropriadas para el Saneamiento Rural en Cieneguilla, Departamento de Lima, en el cual se presentó el Documento Técnico N°-03-NT-Proyecto WASHED, realizado por el Ing. Remington Pin Silva, así como las Experiencias en el Ecuador (presentadas como borrador para discusión), realizadas por el Ing. Carlos Ibarra, orientado a la Construcción de Tanques de Almacenamiento de Agua Potable con Ferrocemento.

En el año 1998, SANBASUR, institución dedicada a la promoción y financiamiento de proyectos de saneamiento básico rural, basa sus estudios en esta tecnología de acuerdo al Documento Técnico Nro. 03-NT-PROYECTO WASHED, desarrollando primeras experiencias constructivas en comunidades altoandinas con buenos resultados.

Paralelamente la ONG ProAnde en Andahuaylas desarrolla también sus primeras experiencias con la construcción de pequeños tanques con esta tecnología.

En mayo de 1999, SANBASUR organizó un Taller en el cual el Ing. Carlos Ibarra Sandoval, expuso en el Cusco sus experiencias adquiridas en el Ecuador denominado “Tecnologías Apropriadas: Diseño y Construcción de Tanques de Ferrocemento”, habiéndose realizado la construcción de dos tanques de ferrocemento con fines didácticos en este Taller.

En 1998 el proyecto de Saneamiento Básico en la sierra sur (SANBASUR) toma la decisión de experimentar con la tecnología del ferrocemento logrando construir dos reservorios en las

comunidades rurales de Jucuyre y Huancco de 10m³ y 5m³ respectivamente (CEPIS – OPS 2000).

2.2. Propiedades del Ferrocemento

2.2.1. Propiedades del mortero.

El mortero debe tener un espesor de 2 a 5 cm, debe ser de alta calidad, y una impermeabilidad superior a la del concreto convencional. Esta impermeabilidad se logra al usarse arena con preponderancia de partículas redondeadas y con granulometrías adecuadas; además que debe cumplir las siguientes propiedades:

- a. Resistencia.** - Aragón menciona que el mortero debe ser de alta calidad, tener resistencias superiores a 25 MPa y una impermeabilidad superior a la del concreto convencional, la cual se logra incorporando arenas con preponderancia de partículas redondeadas y con granulometrías adecuadas. Los contenidos de cemento se encuentran aproximadamente en los 600 kg / m³ de mortero, la relación agua – cemento oscila entre 0.35 – 0.60 y las relaciones arena – cemento entre 1.5 – 3 (citado en Guerrero, González, 2008)
- b. Módulo de elasticidad.** - Según Jordi Masó Solés, menciona que para el caso del mortero, a falta de otras indicaciones especialmente elaboradas, se puede tomar como referencia la recomendación de la norma rusa para ferro-cemento que permite estimar un módulo de deformación del mortero igual a 0,80*(módulo determinado para un hormigón de la misma resistencia), es decir:

$$\varepsilon_m = 0,80 * \varepsilon_c \quad (ec. 01)$$

$$\varepsilon_c = 15000 * \sqrt{f'_c} \quad (ec. 02)$$

Donde:

E_m : Módulo de elasticidad mortero (kg/cm²)

E_c Módulo de elasticidad concreto armado (kg/cm²).

f'_c : Resistencia del mortero igual al concreto armado (kg/cm²)

c. **Coefficiente de Poisson** .- Según UPCOMMONS, 2011, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Investigación y Tecnología, el valor de poisson del mortero se puede considerar hasta 0.2.

d. **Peso específico** . - Según el CEPIS, 2003, Guía de construcción para estructuras de ferrocemento, “la densidad del mortero que debe tomarse para el cálculo depende de la cantidad de acero de armadura utilizada, por ejemplo: (Cuando las celdas de las mallas son pequeñas).

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

2.2.2. Propiedades de las Mallas y barras de acero

a. Resistencia a la fluencia y módulo de elasticidad.

Los valores mínimos no deben ser menores que los especificados en la figura 1.

Características		Malla Cuadrada Tejida	Malla cuadrada Soldada	Malla Hexagonal	Malla de Metal Expandido	Barras Longitudinales
Esfuerzo de Fluencia	f_y (Kg/cm ²)	4,550	4,550	3,150	3,150	4,200
Módulo Efectivo	E_{f_L} 10 ³ Kg/cm ²)	1,400	2,030	1,050	1,400	2,030
	E_{f_T} 10 ³ Kg/cm ²)	1,680	2,030	700	700	-----

Figura 1: valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulos efectivos para mallas y barras de acero recomendadas por el (ACI 549.1R-93)

Fuente: CEPIS, 2003 (ACI 549.1 R-93).

Según Cabrera Huamán W. DIAZ FERNANDEZ N. (2006) Proceso Constructivo con Ferrocemento, Universidad Nacional de Cajamarca, EPI LAS, la resistencia de diseño para el refuerzo de la malla, debe basarse sobre la resistencia del punto de fluencia f_y del refuerzo, pero no debe exceder de 7000 kg/cm^2 .

Por tanto, el módulo de fluencia último y de diseño a considerar para la malla de gallinero es.

$$f_{y_u} = 7000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3150 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

f_{y_u} = Módulo de fluencia último.

f_y = Módulo de fluencia.

También el módulo de elasticidad para la malla de gallinero es.

$$\varepsilon_{MG} = 1050 * 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

b. Coeficiente de poisson.

Según Maldonado, A, 2005, Ingeniero Civil en su tesis: "Muros de Contención de Ferrocemento", publicada el 2005 en la Universidad Austral de Chile, menciona que la malla de gallinero se forma por el trenzamiento de alambres de acero galvanizados que generalmente se entreteje en patrones hexagonales. El Ingeniero Carlos Esparza en su libro Resistencia de Materiales I, 2000, dice que el módulo de Poisson del acero varía entre:

$$\mu = 0,25 - 0,30$$

Tomándose así el valor mínimo de esta referencia para nuestra malla.

$$\mu_{MG} = 0,25$$

c. *Peso específico.*

Según la Norma E-020-2016, el peso específico del acero es de $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$ y como la malla está hecha de este material, se considerará este valor para la malla de gallinero.

$$\gamma_{MG} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

γ_{MG} = Peso Específico de la malla de gallinero.

2.2.3. *Reservorio*

Los tanques de almacenamiento o reservorios son estructuras civiles destinadas al almacenamiento y regulación del agua. Tienen como función mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.

2.2.3.1. Tipos de reservorio

Los tanques o reservorios pueden ser clasificados de diferentes formas, a continuación se presentan las formas típicas:

a) Considerando la ubicación sobre el terreno.

Pueden estar localizados en tres posiciones:

- Reservorios superficiales
- Reservorios elevados
- Reservorios enterrados y semienterrados

b) Considerando el tipo de alimentación (véase Figura 2)

- Reservorios de cabecera (regulación)

- Reservorios de compensación (cola)

c) Considerando el tipo de material de construcción

- Hormigón Ciclópeo
- Hormigón Armado
- Ferrocemento
- Metálicos
- Plásticos (polímeros)
- Ladrillo

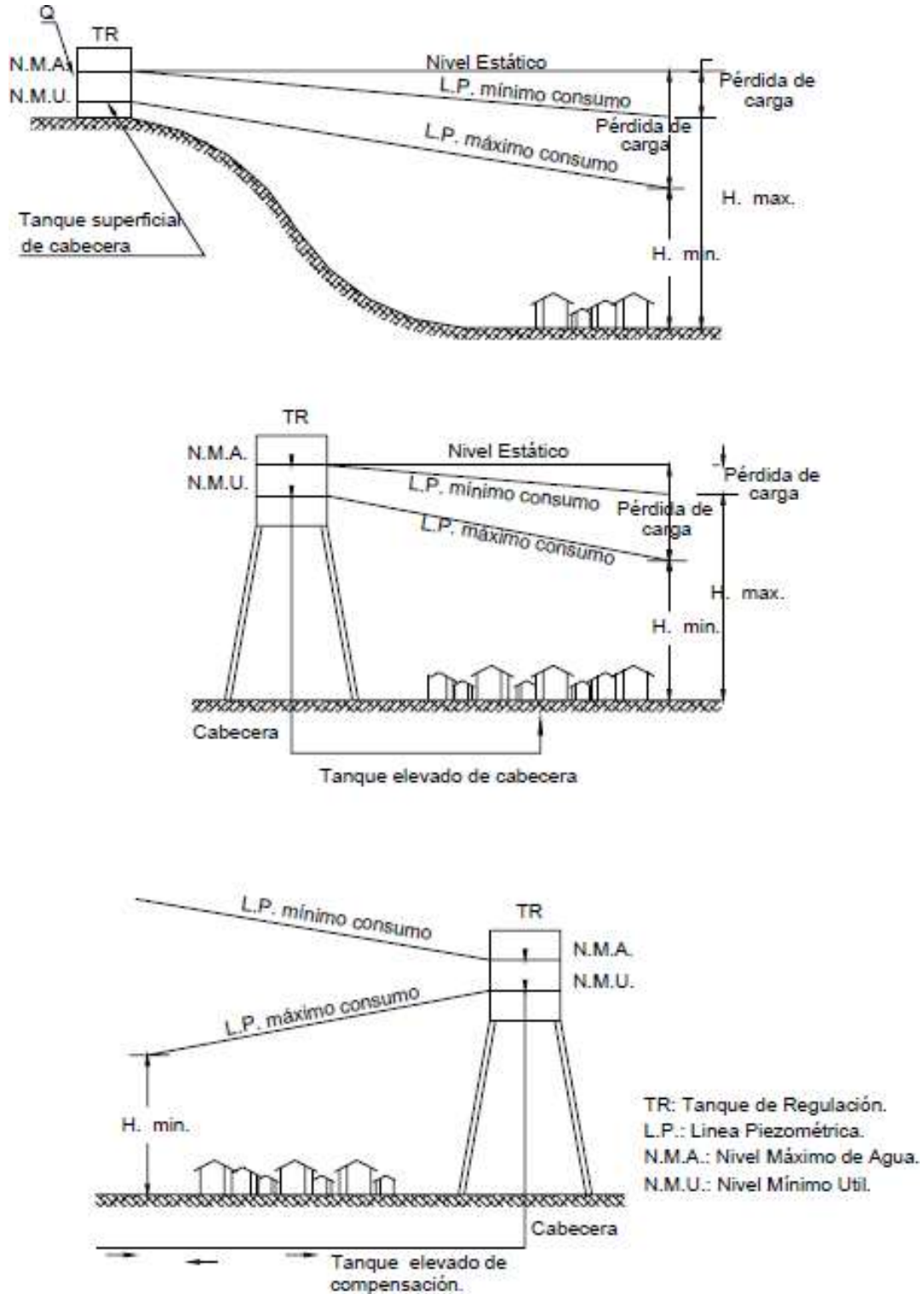


Figura 2: Clasificación de tanques por el tipo de alimentación

fuentes: Guía Técnica de Diseño de proyectos de Agua Potable para Poblaciones Menores a 10.000 Habitantes

2.2.4. Consideraciones para el análisis estructural del reservorio

2.2.4.1. Cargas consideradas para el diseño

a. Carga muerta.

Según la norma E-020-2017, “Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo”.

b. Carga Viva.

Según la norma E-020, 2017, es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación. Para techos curvos, la norma E-020, 2017, dice que se considerará la carga viva de 50 kg/m² en el caso del concreto armado, pero para el fibro-cemento dice que se considerará 30 kg/m².

c. Carga por presión hidrostática (Empuje de agua)

Según Quiroz Torres G., Magíster en Ciencias de Ingeniería Estructural de la Universidad Nacional de Ingeniería, y Jefe de Centro de cómputo de centro de investigaciones sísmicas y desastres (CISMID), en su libro Análisis y Diseño de estructuras con el SAP-2000, considera que la presión en un reservorio se genera en 3 coordenadas globales (x, y, z).

$$P = Ax + By + Cz + D \quad (ec. 03)$$

Dónde:

P: Fuerza

A, B, C y D: Constantes

X: Distancia en x

Y: Distancia en y

Z: Distancia en z (Altura agua llena: HL)

Como las coordenadas X e Y no dependen de las presiones ejercidas por el agua en la pared del reservorio, por lo que las constantes A y B son iguales a O; reduciéndose así la expresión de la presión a:

$$P = Cz + D \quad (ec. 04)$$

Además, como la presión del agua es de forma triangular, la fuerza P será:

$$p = \gamma * HL \quad (ec. 05)$$

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

Se deduce que:

$$P = HL, \text{ cuando } z = 0$$

Obteniéndose la fórmula:

$$HL = Cz + D \quad (ec. 06)$$

d. Carga sísmica.

En Perú no existe una metodología para analizar reservorios, a pesar de ser clasificados como estructuras esenciales, es por ello que se consideró realizar una investigación que evalúe el comportamiento sísmico en reservorios apoyados utilizando como modelo matemático la idealización propuesta por Housner, tomando en cuenta la forma geométrica, el volumen y la zona sísmica teniendo en cuenta las consideraciones establecidas en la norma E-030 Diseño Sismo resistente, 2017 donde:

Factor de Zona (Z):

Factor de Suelo (S):

Periodo Plataforma (TpS)

Factor de Uso (U)

■ **Parámetros para el cálculo de la fuerza sísmica, según aci 350.3-01 sección 4.2 y la Norma E 0.30-2017**

- **Zonas sísmicas y factor de zona Z**

Según el Capítulo 2, Sección 1 del NTP E0.30, el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas (Ver Figura 3). La zonificación propuesta basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características de los movimientos sísmicos de forma general, la información neotectónica y la atenuación de éstos con la distancia epicentral.



Figura 3: Mapa de zonas sísmicas del Perú
Fuente: Norma E.030 Diseño Sismo resistente- 2017

A cada zona se asigna un factor Z (Ver Tabla 1). Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

Tabla 1. Factor de Zona

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: NTP E030 – 2017

- **Geología local y perfiles de suelo. (S)**

Según la Norma peruana E.030 2017, Diseño Sismo resistente. Los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte.

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

- a. Perfil tipo S_0 : Roca Dura.
- b. Perfil tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos.
- c. Perfil tipo S_0 : Suelos Intermedios
- d. Perfil tipo S_0 : Suelos Blandos.
- e. Perfil tipo S_0 : Condiciones Excepcionales.

La figura N^a 4 resume valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo:

CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{s}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Figura 4: Clasificación de los perfiles de suelo.

Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente-2017

■ **Parámetros de Sitio (S, T_P y T_L)**

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos T_P y T_L dados en las figuras N° 5 y 6.

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

Figura 5: factor de suelo (S)

Fuente : E.030 diseño sismorresistente

PERIODOS "T _P " Y "T _L "				
	Perfil del suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Figura 6 : Periodos T_P y T_L

Fuente: E.030 diseño sismorresistente

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

T_p = Periodo que define la plataforma del espectro

T_L = Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante.

● **Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)**

Las estructuras deben ser clasificadas según con las categorías indicadas en la figura N° 7. La norma E.030 diseño sismorresistente considera a los reservorios de agua como edificaciones esenciales por lo tanto el factor de uso o importancia (U), definido para reservorios de agua es de 1.5.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTO R
<p style="text-align: center;">A Edificaciones Esenciales</p>	<p>A1: Establecimientos de Salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de salud.</p> <p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Establecimientos de Salud no comprendidos en la categoría A1. ● Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. ● Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. <p>Se incluyen edificaciones cuyo colapso pueden representar un riesgo adicional tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</p>	<p>1.5</p>

	Edificios que almacenen archivos e información esencial del estado.	
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guarden patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. también se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes	1.0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares	Ver Nota 2

Figura 7: *factor de importancia de las edificaciones.*
Fuente: E.030 diseño sismorresistente

- **Factor de modificación de respuesta R_w**

Según ACI 350.3-06 sección 4.2

Tabla 2. *Factor de modificación de la respuesta R_w*

Tipo de estructura	R_{wi} superficial o en pendiente	Enterrad o*	R_{wc}
(a) Anclados, base flexible.	4.5	4.5++	1.0
(b) Empotrados o simple apoyo	2.75	4	1.0
(c) No anclados, llenos o vacíos **	2.0	2.75	1.0
Estanques elevados	0.4	-	1.0

Fuente: ACI 350.3-06

- **Análisis sísmico**

- **Método estático**

Según el Capítulo 4, Sección 5.1, de la NTP E030 – 2017, “este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.”

Para este método se debe tener en consideración el cálculo de lo siguiente:

- a. **Fuerza Cortante en la Base**

Según el Capítulo 4, Sección 5.2 “La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:”

$$V = \frac{ZU_C S}{R} .P , \quad \frac{C}{R} \geq 0.125 \quad (ec.07)$$

- b. **Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura**

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i, correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = a_i .V \quad (ec.08)$$

- c. **Carga Sísmica de Diseño**

En esta sección indicaremos el cálculo de las cargas sísmicas de diseño para su posterior análisis estático:

- **Peso de la Pared Cilíndrica.**

$$W_w = \pi * H * ((R + t)^2 - R^2) * \gamma_{ferrocemento} \quad (ec. 09)$$

- **Peso de la Cúpula**

$$W_r = \pi * (r^2 + f^2) * t * \gamma_{ferrocemento} \quad (ec.10)$$

- **Coefficiente de Masa Efectiva (ϵ)**

Es un coeficiente que reduce a la masa participativa de la estructura con fines de determinar el peso impulsivo total. Para reservorios circulares se encuentra en la Norma ACI 350.3-06 en la sección 9.5.2

Para reservorios circulares:

$$\epsilon = \left[0.0151 \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \quad (ec. 11)$$

Dónde:

D = Diámetro del reservorio

HL = Altura del nivel del líquido

- **Peso Dinámico Efectivo de la Pared Cilíndrica**

$$W_e = \epsilon W_w \quad (ec.12)$$

- **Peso Total del Líquido Almacenado**

$$W_L = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot HL \cdot \gamma_{agua} \quad (ec.13)$$

- **Modelo Dinámico**

El modelo hidrodinámico de W.G.Housner (1963), es el que hasta ahora sigue siendo el de mayor importancia para las investigaciones por la aproximación al comportamiento hidrodinámico del agua y es utilizado en normas de diseño como la Norma ACI 350.3-06.y los comentarios en el ACI (350.3R-06)

El modelo de Housner de 1963, en la Figura 7, muestra los efectos del comportamiento hidrodinámico del agua idealizando la misma en dos masas sujetadas por resortes; este modelo es considerado en algunas normas internacionales.

Cuando un reservorio que contiene líquido es sometido a vibración, el mismo ejerce una presión hidrodinámica impulsiva y convectiva sobre los muros de la estructura, así como la losa de fondo, sobrepresiones que se adicionan a la presión hidrostática. Estas sobrepresiones son modeladas mediante resortes donde hay una masa impulsiva sujeta de forma rígida a las paredes del reservorio en la parte inferior representando el movimiento inercial propio de la estructura, mientras en la parte superior se concentra otra masa como efecto del chapoteo del agua producto de la vibración del reservorio, a esta masa se le conoce como masa convectiva y a diferencia de la impulsiva, ésta está sujeta por resortes con rigidez K_c (Palomino, 2014).

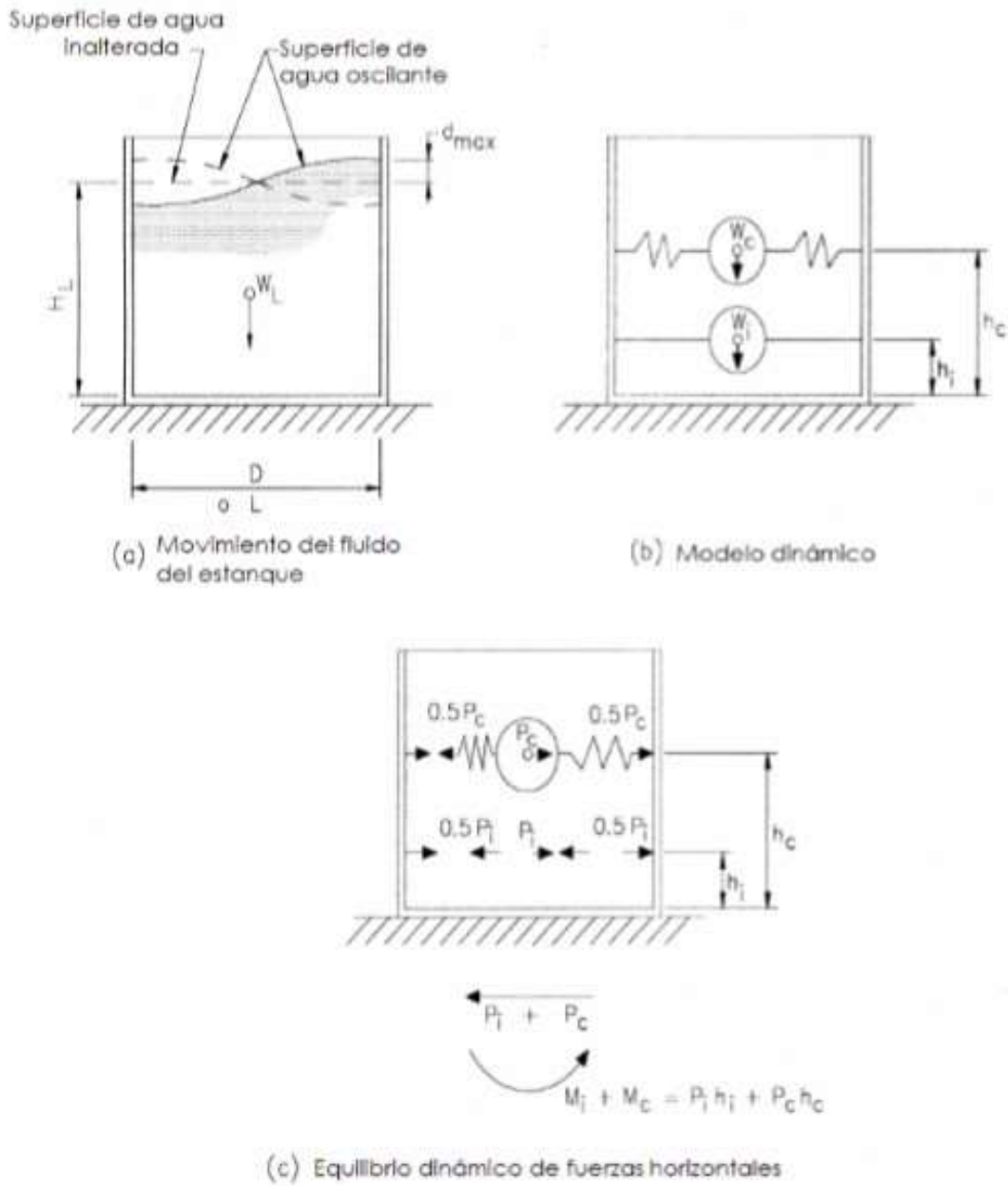


Figura 8: modelo dinámico de estanques contenedores de líquido con soporte rígido sobre el suelo.

Fuente : ACI 350.3-06

En la Norma ACI 350.3-06, se encuentran las propiedades dinámicas del modelo de Housner tanto para reservorios circulares como rectangulares, dichas propiedades se ven a continuación.

- **Masas Equivalentes de Líquidos Acelerados Según sección 9.3.1, ACI 350.3 – 06,**
el cálculo de los pesos impulsivo y convectivo son las siguientes expresiones (Ver Diagrama 1):

- **Peso Equivalente de la Componente Impulsiva**

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh[0.866(D/H_L)]}{0.866(D/H_L)} \quad (ec.14)$$

- **Peso Equivalente de la Componente Convectiva**

$$\frac{W_c}{W_L} = \frac{0.230\left(\frac{D}{H_L}\right)\tanh\left[3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right]}{0.866(D/H_L)} \quad (ec.15)$$

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

W_i = Peso Equivalente de la Componente Impulsiva.

W_c = Peso Equivalente de la Componente Convectiva.

W_L : Peso del agua (Kg).

D = Diámetro de Reservoirio Circular.

H_L = altura del líquido.

RAZON FACTOR DE MASA IMPULSIVO Y CONVECTIVO vs D/HL

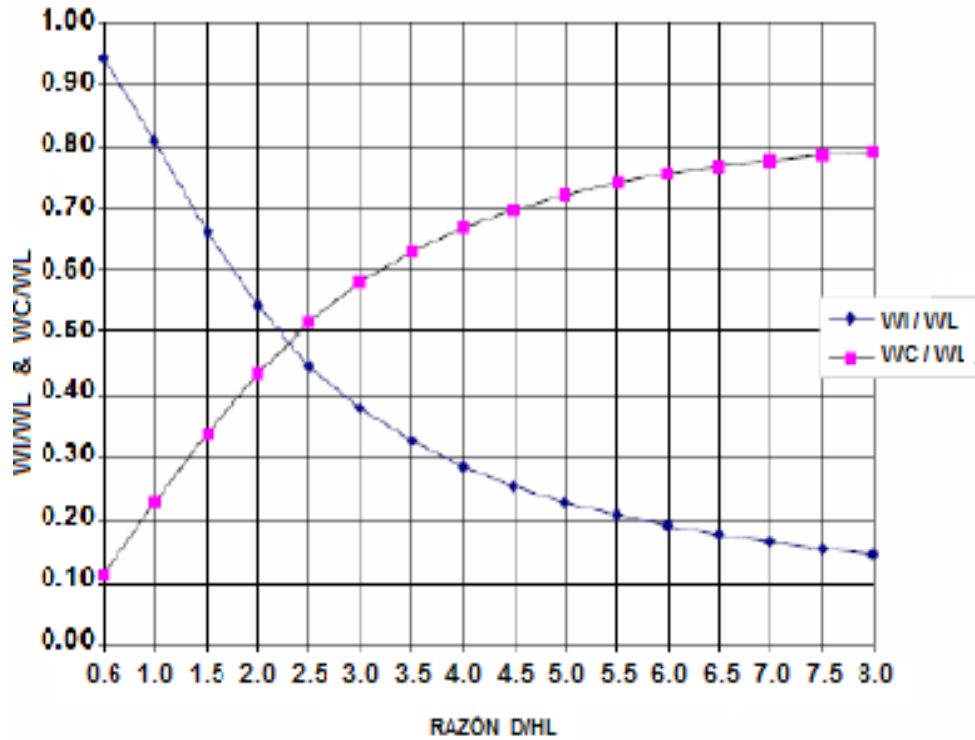


Diagrama 1. Factores W_i/W_L y W_c/W_L versus D/H_L .

Fuente: ACI 350.3 – 06.

- **Alturas a los Centros de Gravedad**

- a. Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad de la fuerza impulsiva.

(excluyendo la presión de la base)

Para estanques con $\frac{D}{H_L} < 1.333$

$$\frac{H_i}{H_L} = 0.5 - 0.009375\left(\frac{D}{H_L}\right) \quad (ec. 16)$$

Para estanques con $\frac{D}{H_L} \geq 1.33$

$$\frac{H_i}{H_L} = 0.375 \quad (ec. 17)$$

b. Altura sobre la base de la pared al centro de gravedad de la fuerza convectiva. El cálculo de ésta, en reservorios circulares se encuentra en la norma ACI 350.3-06 en la sección 9.3.2.

Para reservorios circulares:

$$\frac{H_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68\left(\frac{H_i}{D}\right)\right]^{-1}}{3.68\left(\frac{H_i}{D}\right) \operatorname{csch}\left[3.68\left(\frac{H_i}{D}\right)\right]} \quad (\text{ec. 18})$$

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

H_i = Altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza impulsiva.

H_c = Altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza convectiva.

- **Propiedades Dinámicas Según Sección 9.3.4, ACI 350.3 – 06**, detalla las expresiones para el cálculo del periodo fundamental de la componente impulsiva y la componente convectiva respectivamente.

a. Para el cálculo del periodo fundamental de oscilación del reservorio más la componente impulsiva (T_i).

Usamos las expresiones mostradas en la Norma ACI 350.3-06, en la sección 9.3.4 para reservorios circulares, teniendo un especial cuidado con el uso de unidades.

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (\text{ec. 19})$$

$$\omega = C \frac{L H_L}{12} \sqrt{\frac{\gamma_w}{E_c g}} \quad (\text{ec. 20})$$

$$C_L = 10C_w \sqrt{\frac{I_w}{12r}} \quad (\text{ec. 21})$$

$$C_w = 9.375 \times 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{H_L}{D} \right) - 0.1034 \left(\frac{H_L}{D} \right)^2 - 0.1253 \left(\frac{H_L}{D} \right)^3 + 0.1267 \left(\frac{H_L}{D} \right)^4 - 3.186 \times 10^{-2} \left(\frac{H_L}{D} \right)^5$$

(ec. 22)

Donde:

ω_i : Frecuencia circular para el modo impulsivo (rad/s).

C_L y C_w : Coeficientes para determinar la frecuencia fundamental.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto (psi).

g : Aceleración de la gravedad (ft/s²).

γ_c : Peso específico del concreto.

t_w : Espesor del muro (in).

r : Radio interior del reservorio circular.

Otra alternativa de obtener el coeficiente C_w es mediante el siguiente diagrama que mediante la razón D/H_L se obtiene lo solicitado. (Ver Diagrama 2)

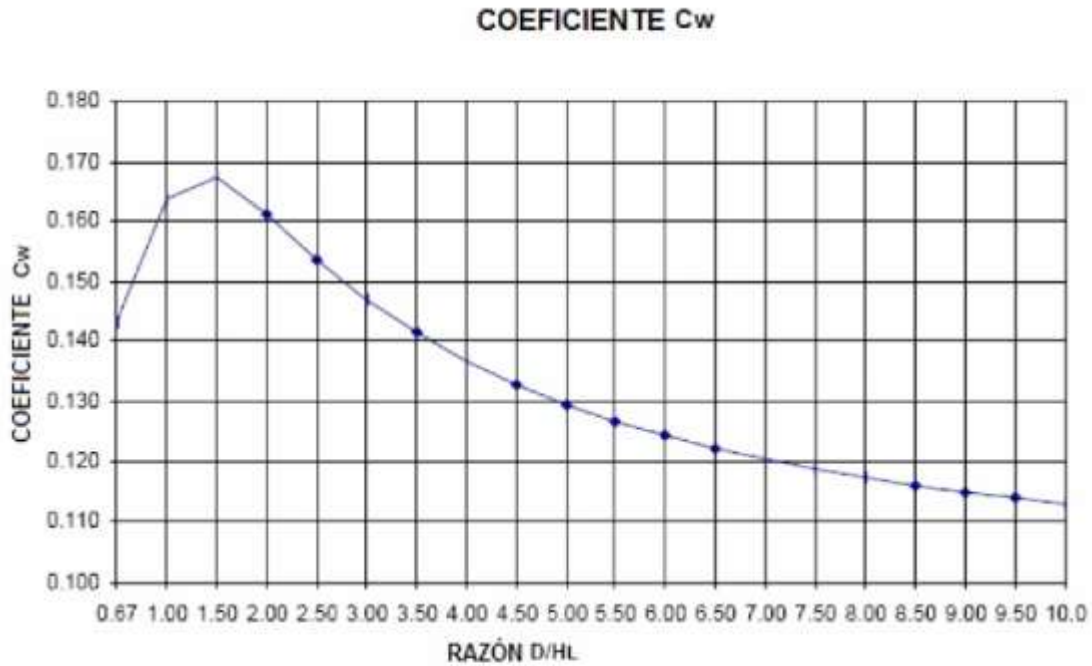


Fig. 9.10 - Coeficiente C_w para estanques circulares

Para $D/H_L > 0.667$:

$$C_w = 9.375 \times 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{H_L}{D}\right) - 0.1034 \left(\frac{H_L}{D}\right)^2 - 0.1253 \left(\frac{H_L}{D}\right)^3 + 0.1267 \left(\frac{H_L}{D}\right)^4 - 3.186 \times 10^{-2} \left(\frac{H_L}{D}\right)^5$$

Diagrama 2. Coeficiente C_w para reservorios circulares.

Fuente: ACI 350.3 – 06

b. Periodo Convectivo (T_c)

El periodo convectivo se puede calcular mediante las expresiones mostradas en la Norma ACI 350.3-06, en la sección 9.3.4.

Para reservorios circulares:

En el sistema internacional

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} \tag{ec. 23}$$

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

ω_c = Frecuencia angular del modo impulsivo de vibración.

Para el cálculo de ω_c y λ se usan las siguientes expresiones:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{D}} \quad (ec. 24)$$

$$\lambda = \sqrt{3,68 g \tanh[3,68(H_L / D)]} \quad (ec. 25)$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{D} \quad (ec. 26)$$

Otra alternativa de obtener el coeficiente $2\pi/\lambda$ es mediante el siguiente diagrama que mediante la razón D/HL se obtiene lo solicitado. (Ver diagrama 3)

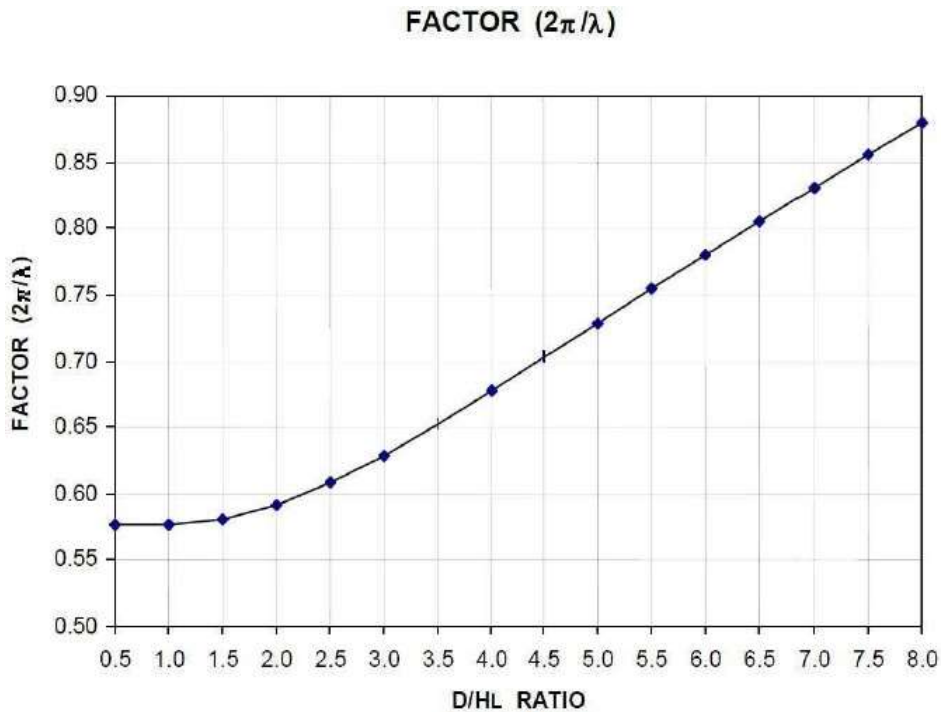


Diagrama 3. Factor $2\pi/\lambda$ para reservorios circulares.

Fuente: ACI 350.3 – 06

c. Rigidez Convectiva (K_C)

Acero y Mejía (2005) obtienen la rigidez convectiva en base a la siguiente expresión.

Para reservorios circulares:

$$K_C = 0.836 \frac{WL}{H_L} \tanh^2[3.68(\frac{HL}{D})] \quad (ec. 27)$$

d. Cálculo de los factores de amplificación espectral C_i y C_c

Según ACI 350.3-06 sección 9.4:

C_i a continuación se indica cómo se determina:

Para $T_i \leq 0.31 S_1$

$$C_i = \frac{2.75}{S} \quad (ec. 28)$$

Para $T_i \leq 0.31 S_1$

$$C_i = \frac{1.25}{T_i^{\frac{2}{3}}} \geq \frac{2.75}{S} \quad (ec. 29)$$

C_c se determina como se indica a continuación:

Para $T_c \geq 2.4 S$

$$C_c = \frac{6.0}{T_c^2} \quad (ec. 30)$$

Si $T_c \leq 2.4s$, puede aproximarse usando la ecuación siguiente:

$$C_c = 1.5 \times \frac{1.25}{T_c^{\frac{5}{3}}} = \frac{1.875}{T_c^{\frac{5}{3}}} \leq \frac{2.75}{S}$$

C_i ó C_c se puede tomar de forma conservadora como $2.75/S$, para cualquier estanque.

e. Cálculo de las fuerzas dinámicas laterales

Según ACI 350.3-06 sección 4.1.1

Las fuerzas dinámicas laterales sobre la base serán determinadas como sigue:

$$P_W = ZSI C_i X \frac{\varepsilon W_w}{R_{wi}} \quad (ec. 31)$$

$$P'w = ZSI C_1 X \frac{\varepsilon W'_w}{R_{wi}} \quad (ec. 32)$$

$$Pr = ZSI C_1 X \frac{\varepsilon W_r}{R_{wi}} \quad (ec. 33)$$

$$Pi = ZSI C_1 X \frac{\varepsilon W_i}{R_{wi}} \quad (ec. 34)$$

$$Pc = ZSI C_c X \frac{\varepsilon W_c}{R_{wc}} \quad (ec. 35)$$

f. Cálculo del cortante basal

Según ACI 350.5-06 Sección 4.1.2

El corte basal debido a fuerzas sísmicas aplicado en el fondo del reservorio será determinado por la siguiente ecuación:

$$V = \sqrt{(P_1 + P_w + P_r)^2 + P_c^2} \quad (ec. 36)$$

g. Distribución vertical de fuerzas laterales

Las fuerzas se distribuyen sobre la altura de la estructura según la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{V_n * P_{ih}}{\sum_{i=1}^n P_{ih}} \quad (ec. 37)$$

Dónde:

F_i = la fuerza que debe aplicarse sobre toda el área del reservorio en el nivel i de la estructura, de acuerdo a su distribución de masa en cada altura.

P_i = peso asignado a cada nivel de la estructura, siendo una fracción de la carga W .

h. Aceleración Espectral.

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

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \quad (\text{ec. 38})$$

2.2.4.2. Combinaciones de carga

Según la norma E-060, 2009, las combinaciones a considerar son:

$$\text{COMB1} = 1,4\text{CM} + 1,7\text{CV}$$

$$\text{COMB2} = 1,25(\text{CM} + 1\text{CV}) + \text{CSX}$$

$$\text{COMB3} = 0,9\text{CM} + 1,25\text{CSX}$$

$$\text{COMB4} = 1,4\text{CM} + 1,7\text{CV} + 1,4\text{CL}$$

También según Ottazzi, 2003 se considera una combinación más, de estado límite de servicio para reservorios destinados a contener agua, este estado controlará el ancho de fisuras y grietas evitando así un deterioro progresivo de las estructuras.

Donde:

CM: carga muerta o peso propio del elemento.

CV: carga viva o sobrecarga.

CSX: carga de sismo.

CL: presión hidrostática

$$\text{COMB5} = \text{CM} + \text{CV} + \text{CL} + \text{CSX}$$

La última combinación, es donde se combinan todas las combinaciones antes mencionadas, en forma envolvente.

$$\text{ENVOLVENTE} = (\text{COMB1}, \text{COMB2}, \text{COMB3}, \text{COMB4}, \text{COMB5})$$

2.2.5. Modelación Computacional mediante el Programa Sap2000

El programa Sap2000 es uno de los softwares líder en la ingeniería estructural. Se pueden analizar cualquier tipo de estructuras con este programa, e incluso diseñar elemento por elemento de manera precisa con los reglamentos más conocidos (ACI en EU, EUROCÓDIGO en Europa, etc.).

Para calibrar las variables de diseño y modelación en el programa Sap2000, se realizan modelos tridimensionales de los reservorios de estudio mediante la aplicación de elementos Shell en las paredes, y una distribución adecuada de las masas que representan los efectos hidrodinámicos del líquido. Los resultados de estos modelos permitirán representar la interacción Fluido – Estructura.

2.2.6. Diseño de Elementos Estructurales

Según Palomino, A. (2014), nos brinda el procedimiento para pre dimensionar todos los elementos estructurales del reservorio según las normas vigentes.

2.2.6.1. Diseño de la losa de fondo del tanque

El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento corresponde al diseño del refuerzo de la zapata corrida las cargas transmitidas por el muro y la losa de cimentación la cual se encarga del peso del fluido y depende de las siguientes consideraciones:

- Se verifica la capacidad de soporte del suelo.
- El nivel freático máximo debe estar por lo menos a 20 cm del fondo del reservorio, caso contrario se debe realizar el diseño de un drenaje.
- La losa de fondo, no se diseña si se tiene un buen control en la construcción o un buen terreno compactado que resista la presión hidrostática del reservorio, esto permitiría que

el Ferrocemento actúe como una capa impermeable sometida solo a compresión, en el desarrollo de la tesis obtendremos el cálculo de todos nuestros elementos

2.2.6.2. Diseño de las paredes del tanque

Diseño por tracción. - Se hallará la Fuerza F11 (**Nn**) de las Paredes Cilíndricas a diferentes alturas del muro para distribuir mejor el refuerzo.

Para el cálculo del acero se utilizará la fórmula siguiente:

$$A_s = Nn/f_y$$

Donde f_y es el esfuerzo de fluencia de la malla utilizada

- **Volumen de refuerzo (V_r)**

El factor de volumen del refuerzo, para malla rectangular o cuadrada se calcula por la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{N * \pi * (d_a)^2}{4 * h} * \left(\frac{1}{D_l} + \frac{1}{D_t} \right) \quad (ec. 39)$$

Donde:

N= número de capas de tela de mallas.

$$\pi = 3.1416$$

d_a = diámetro del alambre de la malla.

d_l = distancia entre los alambres longitudinales.

d_t = distancia entre los alambres transversales.

t = espesor de la lámina de ferrocemento.

Para tela de malla cuadrada $d_l = d_t = d$, entonces el factor de volumen es:

$$V_r = \frac{N * \pi * (d_a)^2}{2 * t * d} \quad (ec. 40)$$

- **Superficie específica (Sr)**

Para mallas cuadradas o rectangulares, se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$Sr = \frac{\text{Area superficial del refuerzo}}{\text{Volumen del compuesto}} = Sr = \frac{N * \pi * d_a}{t} * \left(\frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_t} \right) \quad (\text{ec. 41})$$

Para malla hexagonal, se calculará a partir de la siguiente ecuación

$$Sr = N * \pi * d_a * (4L_1 + 2L_2) / x * y * t \quad \text{cm}^{-1} \quad (\text{ec. 42})$$

Dónde:

N = número de capas de tela de mallas

$\pi = 3.1416$

d_a = diámetro del refuerzo.

d_t = distancia entre los alambres transversales.

d_L = distancia entre los alambres longitudinales.

t = espesor de la lámina de ferrocemento.

L1, L2, x,y se considera según la figura 8:

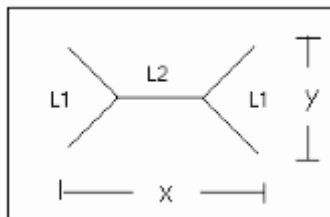


Figura 9. Consideraciones para malla hexagonal

Fuente: OPS/CEPIS/02.62 UNATSABAR

Para tela de malla cuadrada $d_L = d_t = d$, entonces la superficie específica es:

$$Sr = \frac{4 * V_r}{d_a} \quad (\text{ec. 43})$$

2.2.6.3. Diseño de la cúpula

Para el cálculo de la cobertura se analizará (aplicando la teoría de membranas) los esfuerzos que se producen en la cúpula con peso propio, la sobrecarga, así como los efectos de flexión producidos en el apoyo.

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

F11 = Fuerza en la dirección de los paralelos.

F22 = Fuerza en la dirección del meridiano.

a. El cálculo del refuerzo de acero en dirección de meridiano y en dirección paralelo se determina con las siguientes expresiones:

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot t \quad (\text{ec. 44})$$

$$A_s = \frac{F}{f_s} \quad (\text{ec. 45})$$

Teniendo cada variable la siguiente denominación:

f_s = Resistencia del Acero permisible a tensión.

ρ_{min} = 0.0035, Refuerzo mínimo para cargas según reglamento.

b = Ancho Unitario, 1.00m.

t = Espesor de la Cúpula Esférica.

Utilizar una membrana de ferrocemento para formar la cúpula, resulta una opción económica y de fácil construcción, la armadura de ferrocemento requiere que se cumpla que la Superficie específica S_L sea mayor a 0.05 mm^{-1}

2.2.7. Análisis Presupuestal

Costos y presupuesto.

Según Salinas Seminario M., 2007, menciona que los costos y presupuestos son dos términos estrechamente relacionados dado que no puede haber presupuesto sin costos y un costo por sí solo, si el costo es aplicado a una cantidad o metrados, de determinada unidad, constituye ya un presupuesto.

Para el caso de una obra se puede plantear el siguiente esquema:

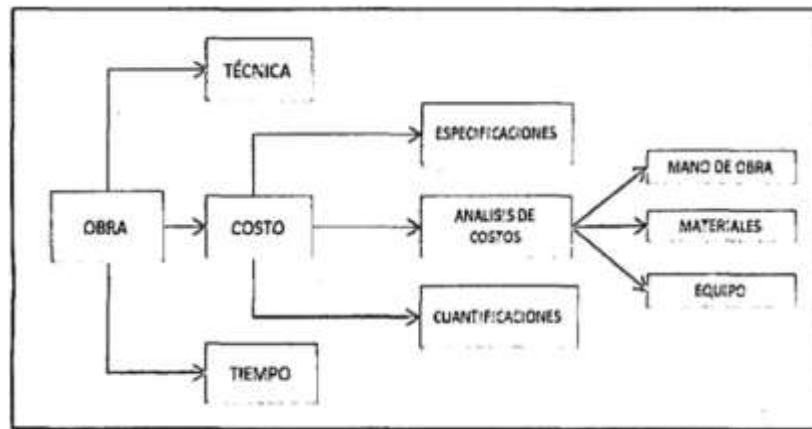


Figura 10. Esquema de costos de una obra.

Fuente: Salinas Seminario M., 2007 costos y presupuestos, ICG

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Definición de términos

- **Acero de armazón:** El hacer de armazón ayuda a dar forma a la estructura del reservorio, las barras de acero se distribuyen uniformemente con un máximo de 30 cm. de separación entre ellos sobre el cual se coloca la armadura de refuerzo, generalmente no son considerados como parte del refuerzo estructural, los diámetros de estos elementos son mucho mayores que el acero de refuerzo.
- **Armadura de Refuerzo:** CEPIS, 2000, Fundamentos para la aplicación de ferrocemento dice:” Es el refuerzo total del sistema que puede estar conformado por malla de

refuerzo y acero del armazón o solamente la primera. Generalmente se considera al acero del armazón como parte del refuerzo total cuando las separaciones de las varillas que lo conforman están a no más de 7.5cm de centro a centro.”

- **Carga de servicio:** son las consideradas en la Norma E.020 Cargas, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- **Carga amplificada o factorizada:** Es la carga utilizada para el diseño de los elementos mediante el método de diseño por resistencia, se considera la carga de servicio multiplicada por los factores de carga apropiados,

- **Diseño Estructural:** Se realiza a partir de un adecuado balance entre las funciones propias que un material puede cumplir, a partir de sus características naturales específicas, sus capacidades mecánicas y el menor costo que puede conseguirse. El costo de la estructura siempre debe ser el menor, pero obteniendo el mejor resultado a partir de un análisis estructural previo.

- **Elementos Estructurales:** Corresponde a aquellos elementos diseñados independientemente para soportar las fuerzas que actúan por interacción de los mismos y fuerzas externas.

- **Ferrocemento:** tipo de mortero reforzado con espesores delgados, en el que generalmente el cemento hidráulico está reforzado con capas de malla continua.

El Instituto americano del Concreto (ACI) Comité 549, define el ferrocemento como un tipo de mortero armado de pared delgada reforzado con capas de malla de diámetro continuo y relativamente pequeño y un cemento hidráulico.

- ***Malla de Refuerzo:*** Las mallas pueden ser entretejidas o soldadas formadas por alambres de diámetro pequeño lo suficientemente flexible. Su principal función es actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco.
- ***Presiones hidrostáticas:*** es la presión o fuerza que experimenta un elemento por el peso que un fluido en reposo puede llegar a provocar.
- ***Modo de vibración Impulsivo:*** componente hidrodinámica asociada a la suposición que una porción del líquido se mueve rígidamente con el reservorio.
- ***Modo de vibración Convectivo:*** componente hidrodinámica asociada al oleaje de la superficie libre del líquido.
- ***Presiones hidrodinámicas:*** la presión que un fluido (agua o aire, por ejemplo) ejerce sobre un cuerpo que se desplaza en su seno ocasionado por fuerzas externas ejemplo sismo.
- ***Método estático:*** Con él la estructura se diseña para resistir una fuerza aplicada en el terreno igual al constante C_s , coeficiente de diseño sísmico, y se multiplica por el peso total de la estructura. Sustituye la fuerza sísmica lateral por una fuerza estática equivalente.
- ***Método Dinámico:*** permite determinar la respuesta de la estructura, diseñada estáticamente bajo la acción de una fuerza dinámica. En este método existen dos formas de encontrar el espectro de respuesta de la estructura: el método elástico e inelástico

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El reservorio circular apoyado de ferrocemento se diseñó para la zona rural de nuestro país. Siendo que esta es la zona donde más se requiere de infraestructura para almacenamiento de agua para consumo humano.

3.2. Diseño metodológico.

Procedimiento

Primero, se debe tener en cuenta las propiedades de los materiales, luego se realizará el pre dimensionamiento del reservorio circular apoyado teniendo en consideración lo estipulado en el capítulo anterior aplicando las recomendaciones estipuladas en Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-06) and Commentary (350.3R-06), además de la guía “Especificaciones técnicas para el diseño de estructuras de ferrocemento”

utilizando el SAP-2000 versión educacional, se calculó así esfuerzos y deformaciones para cada uno de ellos, teniendo en cuenta las propiedades que dependen fundamentalmente del material a utilizar y las dimensiones ya establecidas. Como también las combinaciones de cargas estipuladas en la norma E.020, E.030 y E.060 del reglamento nacional de edificaciones.

Con el resultado de los esfuerzos obtenidos por el programa SAP-2000 versión educacional y utilizando el programa Excel, se realizó el diseño del reservorio de ferrocemento considerando siempre las normativas vigentes, para luego realizar la esquematización del reservorio apoyándose en los cálculos ya realizados en el diseño.

con los esquemas y el diseño terminado, se realizó el presupuesto para el reservorio, teniendo en cuenta el análisis de costo unitario, metrados, etc.

La metodología que se realizó para esta tesis se dividió en dos partes:

- Análisis Estructural.
- Análisis de Costo Directo (presupuesto)

Este análisis se realizó en forma cuantitativo por lo que los resultados se presentan en forma numérica.

3.3.Consideraciones en el diseño estructural.

- El módulo de elasticidad a tracción E_{ft} del ferrocemento, es de 21000 MPa, después del agrietamiento se considera 3300 Mpa.
- El coeficiente de Poisson o módulo de deformación transversal se admite que sea igual a 0,2.
- El coeficiente de deformación lineal de temperatura Δ_{bt} del mortero en un intervalo de (-40) hasta (+50) se considera igual a $1 \times 10^{-5} / C^{\circ}$.
- La resistencia a compresión del mortero se recomienda que debe ser mayor o igual a 210 kg/cm².
- La densidad del ferrocemento va a depender de la cantidad de armadura y mallas que se emplee, 2300 kg/m³ si el elemento está compuesto por una tela de malla pequeña, si son dos telas de malla se considera 2400 kg/m³ y para un número mayor de telas malla la densidad aumenta en 50 kg/m³ por malla adicional.
- Los mínimos valores de resistencia al esfuerzo de fluencia y módulo efectivo de mallas deben considerarse mayores a los especificados en la figura N° 1.

- Para el diseño se utilizó mallas electrosoldadas de 10cm x 10cm de abertura y 6,3mm de espesor, malla de 1 ½” X 1 ½” de abertura Y 4,2 mm de espesor, además malla hexagonal (malla gallinero) calibre 22 con un alambre de 0.71mm de diámetro.
- Se recomienda que el valor máximo del ancho de grieta sea menor que 0.05 mm para reservorios de agua.
- El volumen de refuerzo V_r debe ser mayor de 1,8 considerando ambas direcciones.
- La superficie específica total del refuerzo S_r debe ser mayor de $0,5 \text{ cm}^{-1}$. Se recomienda usar, como mínimo, para depósitos de agua entre 0.8 cm^{-1} y 1.6 cm^{-1}
- El recubrimiento mínimo para el refuerzo es de 6 mm. Es decir, para un ambiente expuesto.
- El método empleado es el elástico, los esfuerzos permisibles para los materiales constitutivos (σ), son los especificados:

 $\sigma_a = 0.5 R_a$ (Esfuerzo de tensión permisible para el acero de estructuras sanitarias)
- El esfuerzo de compresión permisible en el compuesto es de $0,45 R'_b$.
- Se debe usar 2 telas malla como mínimo.
- El espesor (t) de los elementos de ferrocemento se considera entre $12\text{mm} \leq t \leq 50\text{mm}$.
- R_a = Resistencia normativa del acero = 2400 Kg/cm^2 .
- R_b = Resistencia del mortero a la tracción.
- R'_b = Resistencia a compresión del mortero = $0,85f'_c$.
- f'_c = Resistencia a compresión del concreto.
- E_m = Módulo de elasticidad del mortero = $200-300 \times 10^3 \text{ MPa}$.

- $\sigma_a =$ Tensión permisible del acero = 0,60 Ra (en tracción por flexión).
- $\sigma_a =$ Tensión permisible del acero = 0,45- 0,50 Ra (en tracción directa)
- $\sigma_b =$ Tensión permisible a compresión del mortero= 0.45 R'b

Resistencia a la primera grieta bajo carga estática

Namman, en su libro “Reinforcing Mechanisms in Ferrocement”, recomienda una fórmula empírica para llegar a la resistencia de la primera grieta, la cual utilizaremos.

$$\sigma_{cr} = 24,5 * S_r + \sigma_{mu} \text{ (kgcm}^{-2}\text{)} \quad (\text{ec. 43})$$

Donde **Sr** es la superficie específica del refuerzo en la dirección de la carga, en (cm⁻¹).

3.4. Diseño estructural de reservorio apoyado circular de ferrocemento.

Los requisitos considerados para el diseño estructural del reservorio circular de ferrocemento son los estipulados para estructuras de concreto armado en la norma E.060 Concreto Armado, acápite 1.3.

Los componentes de las estructuras del reservorio circular de ferrocemento se diseñaron usando el método de resistencia última considerando las cargas y combinación de éstas estipuladas en la norma E.020 cargas y la norma E.060 capítulo 9; El diseño sísmico se realizó según lo estipulado en Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-06) and Commentary (350.3R-06), la norma E.030 de Diseño Sismorresistente.

Aparte de las combinaciones de cargas consideradas en el capítulo anterior se consideró otras combinaciones a pesar que la norma no considera que se mezclen cargas como sismo y empuje

de agua, sin embargo, por considerar importante ver el comportamiento al máximo de la estructura, por esto se consideró esta última combinación $COMB6 = 1.25(CM+CV+CL)+CSX$

Para este proyecto de tesis, todos los cálculos y diseños se realizaron con la ayuda del software SAP 2000 versión educacional, excel 2016 y S10 para el presupuesto, además de otras investigaciones referidas al tema.

3.5.Análisis Económico

Para el análisis económico se consideró el presupuesto obtenido del diseño del reservorio circular de ferrocemento de 20 m³ y uno de concreto armado con la misma capacidad y características de los elementos los que deben cumplir con los requerimientos técnicos establecidos para reservorios de almacenamiento de agua.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades y Pre dimensionamiento

Determinamos las dimensiones iniciales de cada elemento estructural de nuestro reservorio circular apoyado de ferrocemento, en las que se consideró todas las propiedades y características que mostraremos a continuación:

4.1.1. Propiedades y Características Generales

Se presentan las propiedades de los materiales, características geométricas y características del fluido. (Ver Tabla 3, Tabla 4):

Tabla 3. *Propiedades de los Materiales*

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Peso volumétrico del ferrocemento	γ_{fe}	Kg/m ³	2400
Resistencia a compresión	f'_c	Kg/cm ²	280
Resistencia del acero	f_y	Kg/cm ²	4200
Módulo de elasticidad del mortero	E_m	Kg/cm ²	210000
Módulo de elasticidad del acero	E_s	Kg/cm ²	2100000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4. *Dimensiones Reservorio 20m³*

Parámetros	Valor
Volumen (V)	20 m ³
Altura de la pared (H)	2.1 m
Diámetro (D)	3.6 m
Relación D/H	1.8

Altura del agua (HL)	2 m
Peso específico del agua (γ_{agua})	1000 Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Medrado de Cargas y predimensionamiento de los elementos del reservorio

4.1.2.1. Cargas en la cúpula

Se realizó un Medrado de cargas para determinar posteriormente las dimensiones iniciales para la cúpula.

Tabla 5.

Cargas en la Cúpula Esférica

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Peso propio	Ww	Kg	1085.73
Carga Viva	CV	Kg/m ²	50

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2. Cálculo del Pre dimensionamiento de la Cúpula Esférica

La armadura mínima para el diseño de la cúpula debe tener una superficie específica $SL > 0.5$ cm-1, y volumen de refuerzo $V_f > 1.8$ %.

Se desarrolló según lo indicado anteriormente, calculando la geometría y el espesor de la cúpula:

- a. Cálculo de la flecha de la cúpula.** Para el cálculo de la flecha “f” de la cúpula, sobre el nivel superior de la pared, en la posición radial “ r “ medido desde el centro del reservorio aplicamos la siguiente ecuación:

$$f_{(r)} = \sqrt{(R_c^2 - r^2)} - \sqrt{(R_c^2 - R_t^2)} = \sqrt{(R_c^2 - r^2)} - R_c \cos\theta \quad (ec. 46)$$

Donde:

R_t = radio del reservorio

R_C = radio de la curvatura de la cúpula.

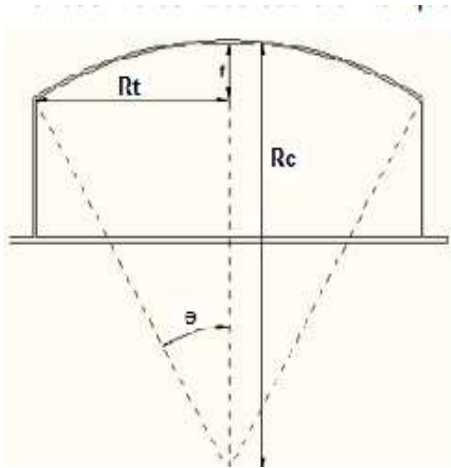


Figura 11. Nomenclatura de la cúpula

Para el centro del reservorio es decir en $r = 0$ nos quedaría:

$$f_{(0)} = \sqrt{(R_C^2 - 0^2)} - \sqrt{(R_C^2 - R_t^2)}$$

$$f_{(0)} = R_C - \sqrt{(R_C^2 - R_t^2)} \tag{ec. 47}$$

Para el borde del reservorio $r = R_t$, entonces:

$$f_{(R_t)} = \sqrt{(R_C^2 - R_t^2)} - \sqrt{(R_C^2 - R_t^2)} = 0 ; f_{(R)} = 0$$

A partir de la ec. 47 iteramos los valores de R_C .

Rt	1.8
Rc	f
2.8	0.66
2.9	0.63
2.95	0.61

3	0.60
3.05	0.59
3.1	0.58
3.2	0.55
3.25	0.54

Entonces $f = 0.60 \text{ m}$.

- b. Cálculo del Radio de la curvatura de la Cúpula (R_c)

$$R_c = 3.0 \text{ m}$$

- c. Cálculo del Angulo Semi central (θ) del arco que forma la cúpula con la estructura.

$$\text{Sen } \theta = R_f/R_c; \text{ Sen } \theta = 1.8/3.0 = 0.60 \text{ por lo tanto:}$$

$$\theta = 36.87^\circ$$

- d. Cálculo del Espesor de la cúpula.

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

4.1.2.3. Cálculo del Predimensionamiento de la Pared Cilíndrica

Por ser una estructura de ferrocemento el espesor del muro debe considerarse menor o igual a 5 cm, por lo tanto, el espesor del muro (t) es considerado como:

$$t = 5 \text{ cm.}$$

- **Cálculo del Predimensionamiento de la losa de cimentación**

Para la losa de cimentación se consideró un radio de 1.8 m y un espesor $e = 5 \text{ cm}$

4.1.3. *Determinación de los Parámetros Sísmicos*

Se determinó los Parámetros Sísmicos según como se expuso anteriormente en las bases teóricas:

- **Según la Norma E030 – 2017**

Se determinó la Categoría de Edificio, el Tipo de Zonificación y los Parámetros de Sitio considerando los siguientes:

Categoría del Edificio	A	U	1.50
Zonificación	3	Z	0.35
Parámetros de Sitio	S ₂	T _p	0.60
		T _L	2.00
		S	1.15

- **Según la Norma ACI 350.3 – 06**

Se determinó el coeficiente de Modificación de Respuesta obtenida de la Tabla 1.

Fuerza Impulsiva $R_{wi} = 2.75$ (Superficial o en pendiente, Empotrados o simple apoyo)

Fuerza Convectiva $R_{wc} = 1.00$ (Empotrados o simple apoyo)

4.1.4. *Procedimiento de Análisis por el Método Estático*

Se desarrollaron los cálculos respectivos para el Método Estático según como se expuso anteriormente en las bases teóricas.

- ***Cálculos de las Cargas Sísmicas de Diseño***

Se determinaron los cálculos de los Pesos a considerar en el análisis:

a. Cálculo del Peso de la Pared Cilíndrica

$$W_w = 2889.64 \text{ kg}$$

Ver ec.09

b. Cálculo del Peso de la Cúpula

$$W_r = 1085.73 \text{ kg} \quad \text{Ver ec.10}$$

c. Cálculo del Coeficiente de Masa Efectiva ε

$$\varepsilon = 0.73 \quad \text{Ver ec.11}$$

d. Cálculo del Peso Dinámico Efectivo de la Pared Cilíndrica

$$W_e = 2109.44 \text{ kg} \quad \text{Ver ec.12}$$

e. Cálculo del Peso Total del Líquido Almacenado

$$W_L = 20357.52 \text{ kg} \quad \text{Ver ec.13}$$

f. Cálculo de la razón Factor de Masa Impulsiva

$$W_i/W_L = 0.59 \quad \text{Ver ec.14}$$

g. Cálculo de la razón Factor de Masa Convectiva

$$W_c/W_L = 0.40 \quad \text{Ver ec.15}$$

h. Cálculo del Peso Equivalente de la Componente Impulsiva

$$W_i = 11952.61 \text{ kg}$$

i. Cálculo del Peso Equivalente de la Componente Convectiva

$$W_c = 8150.20 \text{ kg}$$

● ***Cálculos de las Alturas a los Centro de Gravedad***

a. Cálculo de la Altura de la Fuerza Impulsiva

$$H_i / H_L = 0.375 \quad \text{Ver ec. 17}$$

$$H_i = 0.75 \text{ m}$$

b. Cálculo de la Altura de la Fuerza Convectiva

$$H_c / H_L = 0.623 \quad \text{Ver ec. 18}$$

$$H_c = 1.25 \text{ m}$$

- ***Cálculo de las Propiedades Dinámicas***

Se determinó el cálculo de los Periodos de la Masa Impulsiva y Convectiva para el análisis:

- a.** Cálculo de los factores de amplificación de espectro C_i , C_w para la masa impulsiva

$$C_w = 0.14 \quad \text{Ver ec. 22}$$

$$C_i = 0.0074 \quad \text{Ver ec. 21}$$

- b.** Cálculo de la Frecuencia de la Masa Impulsiva

$$\omega_i = 34.48 \text{ rad/seg} \quad \text{Ver ec. 20}$$

- c.** Cálculo del Periodo de la Masa Impulsiva

$$T_i = 0.18 \text{ seg} \quad \text{Ver ec. 19}$$

- d.** Cálculo del Coeficiente definido para la Masa Convectiva

$$\lambda = 5.91 \quad \text{Ver ec. 25}$$

- e.** Cálculo de la Frecuencia de la Masa Convectiva

$$\omega_c = 3.11 \text{ rad/seg} \quad \text{Ver ec. 24}$$

- f.** Cálculo del Periodo de la Masa Convectiva

$$T_c = 2.06 \text{ seg} \quad \text{Ver ec. 23}$$

- **Cálculos de los Factores de Amplificación Espectral C_i , C_c y C_t**

- a.** Cálculo de la Amplificación Espectral Convectiva, siendo la condición; $T_c > 1.6T_s$:

$$C_c = 1.47 \quad \text{Ver ec. 30}$$

- b.** Cálculo de la Amplificación Espectral Impulsiva, siendo la condición; $T_i \leq T_s$:

$$C_i = 2.29 \quad \text{Ver ec. 28}$$

- **Cálculo de la rigidez convectiva**

$$K_c = 7957.69 \text{ kg.}$$

Ver ec. 27

- **Cálculos de las Presiones Sísmicas sobre la Base**

Se desarrollaron los cálculos de las Fuerzas Dinámicas Laterales y la Cortante Basal Total como se detallan en las bases teóricas.

a. Cálculo de las Fuerzas Dinámicas Laterales

$$P_w = 2197.77 \text{ kg}$$

Ver ec. 31

$$P_r = 570.01 \text{ kg}$$

Ver ec. 33

$$P_i = 6275.12 \text{ kg}$$

Ver ec. 34

$$P_c = 7567.59 \text{ kg}$$

Ver ec. 35

- **Cálculo de la Cortante Basal Total**

$$V = 11791.6253 \text{ kg}$$

Ver ec. 36

Distribución vertical de fuerzas verticales

NIVEL	Pi(Kg)	hi (m)	Pi.hi	Fi (Kg)	Wi=Fi/L
PESO PROPIO	4186.23	1.05	4395.54	2204.14	194.89
CONVECTIVO	8150.20	1.25	10155.03	5092.25	450.25
IMPULSIVO	11952.61	0.75	8964.46	4495.23	397.47
			23515.03	11791.63	

4.1.5. Análisis y modelamiento del reservorio empleando el software Sap2000

Se modeló el reservorio circular apoyado considerando las cargas calculadas anteriormente del método estático y dinámico obteniendo los resultados de los esfuerzos máximos y mínimos de la combinación de ambos métodos.

● Se realizó el modelado de la estructura del reservorio considerando las unidades a trabajar, sus dimensiones, materiales y restricciones en la base, para las paredes definimos un mallado de 8 divisiones de altura y 64 divisiones radiales (ver figura 12)

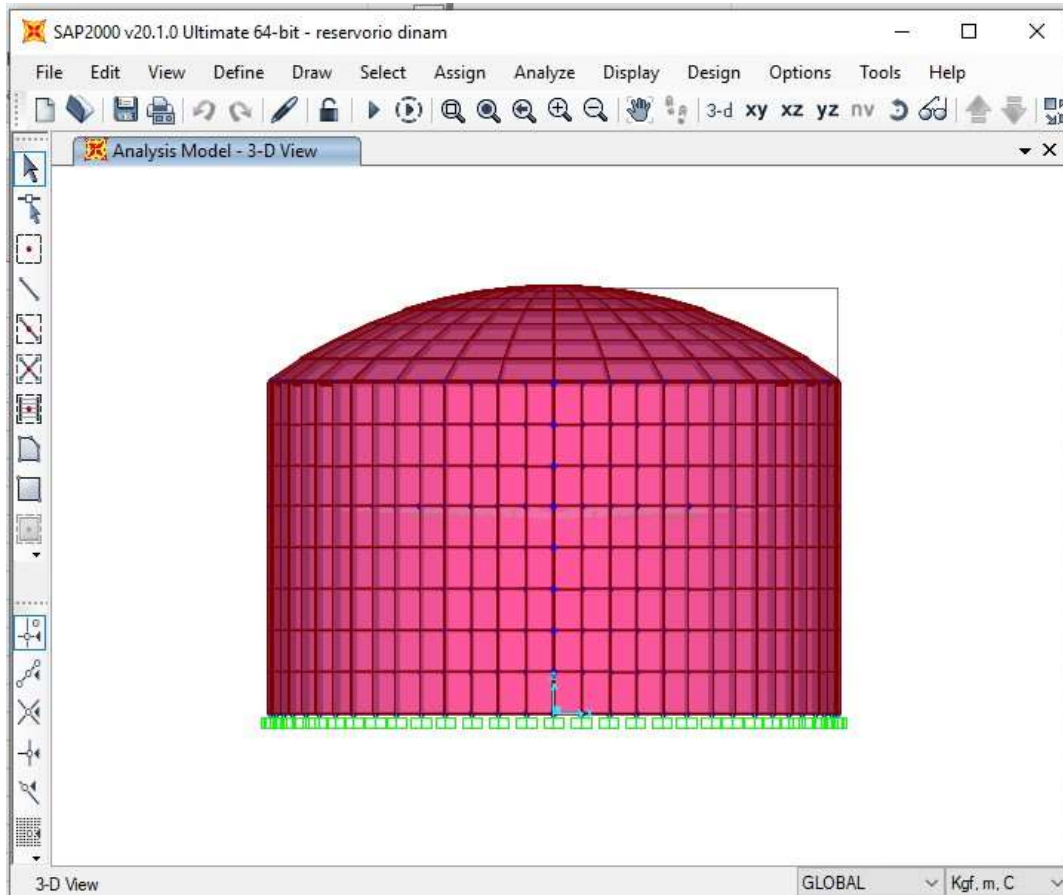


Figura 12: divisiones radiales y restricción en la base

● Definimos las propiedades de los materiales del ferrocemento concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$, módulo de elasticidad 210000, coeficiente de poisson = 0.2, coeficiente de expansión térmica 1×10^{-5} como también se asigna las secciones área (losa, cúpula y muro)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: ferrocemento

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2400.

Mass per Unit Volume: 244.7319

Units

Units: Kgf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 210000

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.100E-05

Shear Modulus, G: 87500.

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 2800000.

Expected Concrete Compressive Strength: 2380000.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty Field]

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 13: definición de las propiedades de los materiales

- Definimos Load Patterns (Ver Figura 14), considerando la cortante impulsiva estática y convectiva como cargas de sismo (csx), usando coeficientes, y las cargas de peso propio (CM), carga viva (CV), presión del agua (PH).

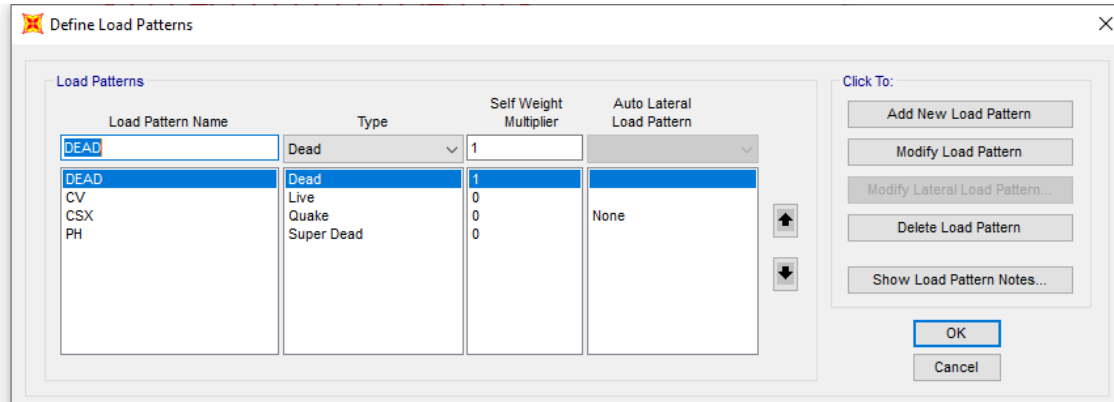


Figura 14: definición de cargas

- Asignamos las cargas laterales estáticas halladas en el método estático, las fuerzas impulsivas y convectivas a la altura de sus masas mediante un elemento frame que no tiene masa ni peso, la carga viva sobre la cúpula.
- La masa convectiva W_c , asociada al movimiento del líquido en la parte superior del reservorio, se ubica a su altura correspondiente $h_c = 1.25$ (Ver Figura 15), y para representar los efectos oscilatorios convectivos, se une la masa convectiva desde el centro del cilindro hacia las paredes y mediante el modelo de resortes se coloca la rigidez convectiva en cada resorte tal que se alcance el periodo convectivo del oleaje del líquido

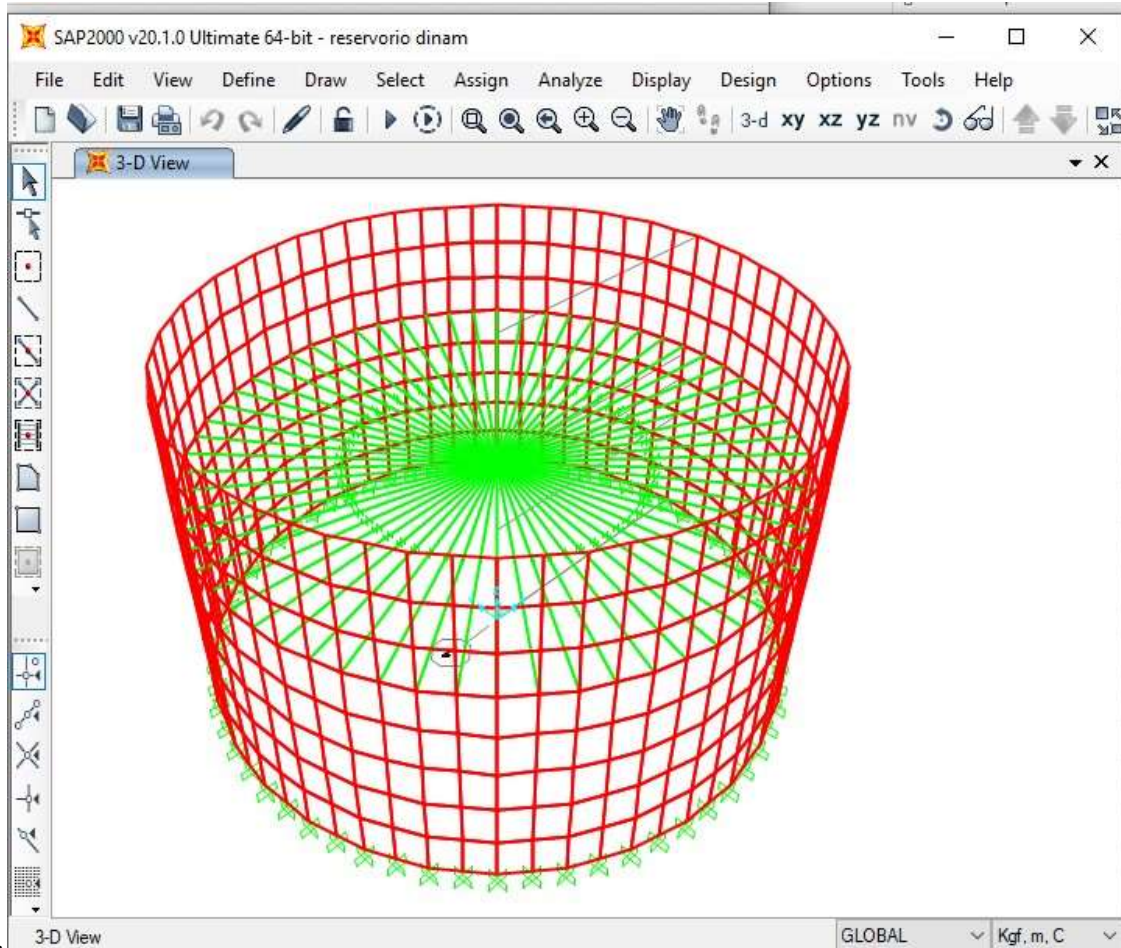


Figura 15: *Asignación de los resorte*

● Para el componente Convectivo del reservorio se obtiene un $K_c = 7957.69$ kg, que se debe dividir entre el número de resortes colocados en el programa (64) y multiplicado por Factor de modificación de respuesta $R_{wi} = 2.75$, obteniéndose una rigidez en cada resorte = 341.932, (Ver Figura 16).

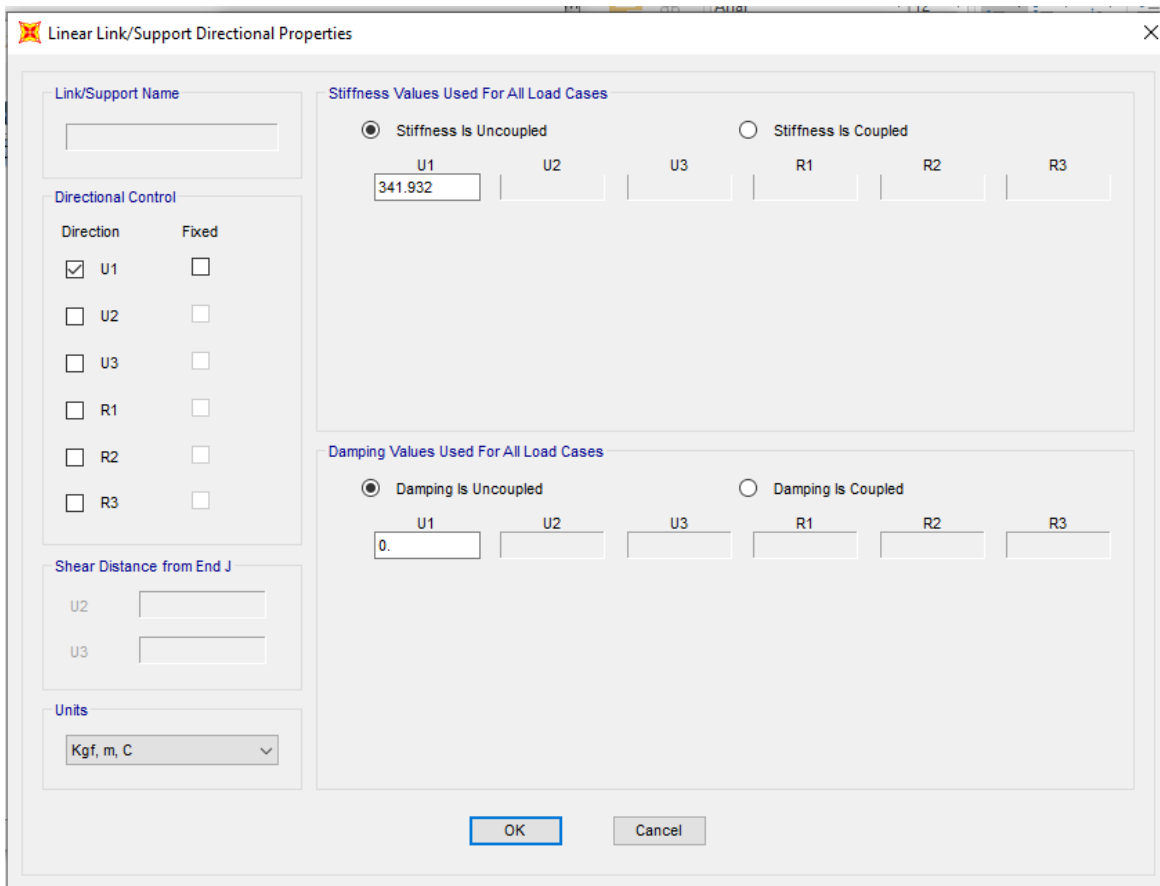


Figura 16: asignación de la rigidez del resorte convectivo

- Mientras que en el centro se coloca la masa convectiva $WC = 8150.20$ multiplicado por Factor de modificación de respuesta $R_{wi} = 2.75$, teniéndose una masa de $22413.5 \text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ (ver figura 17)

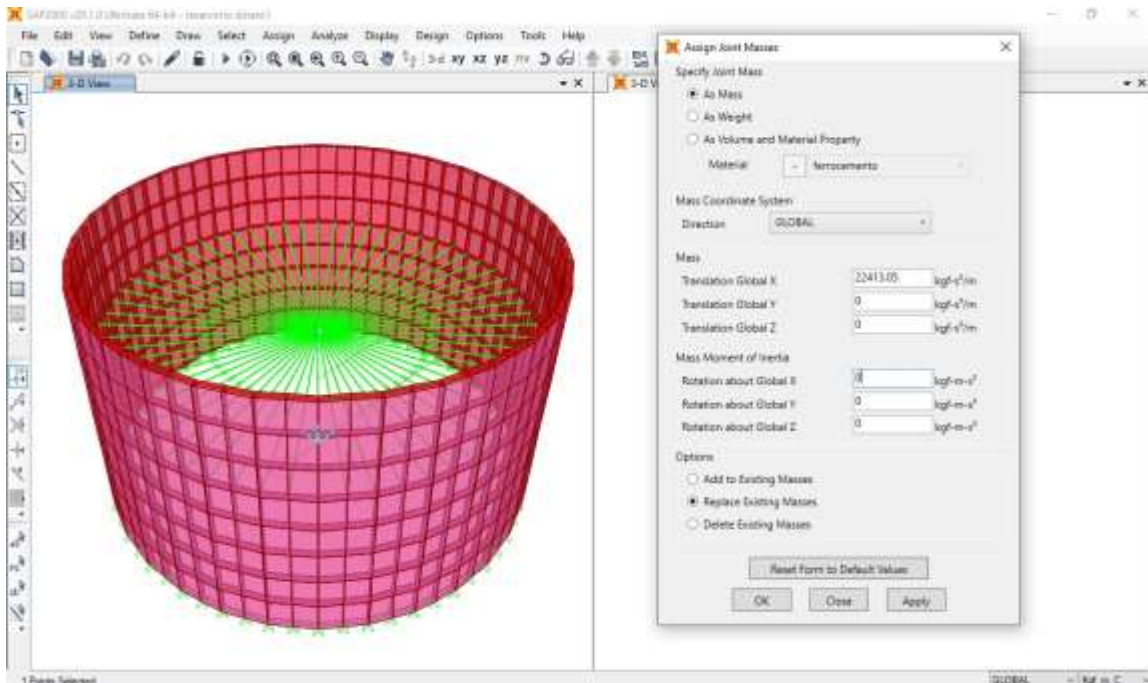


Figura 17: Asignación de la masa convectiva

● la masa de la componente impulsiva $W_i = 11952.61$ se aplica en las paredes desde la base hasta una altura $H_i = 0.75$ m, para ello seleccionamos los puntos colocamos las masas dividiendo $W_i / 64$ y a su vez entre tres teniendo así una masa de 62.25 kg. Por cada punto. (Ver Figura 18).

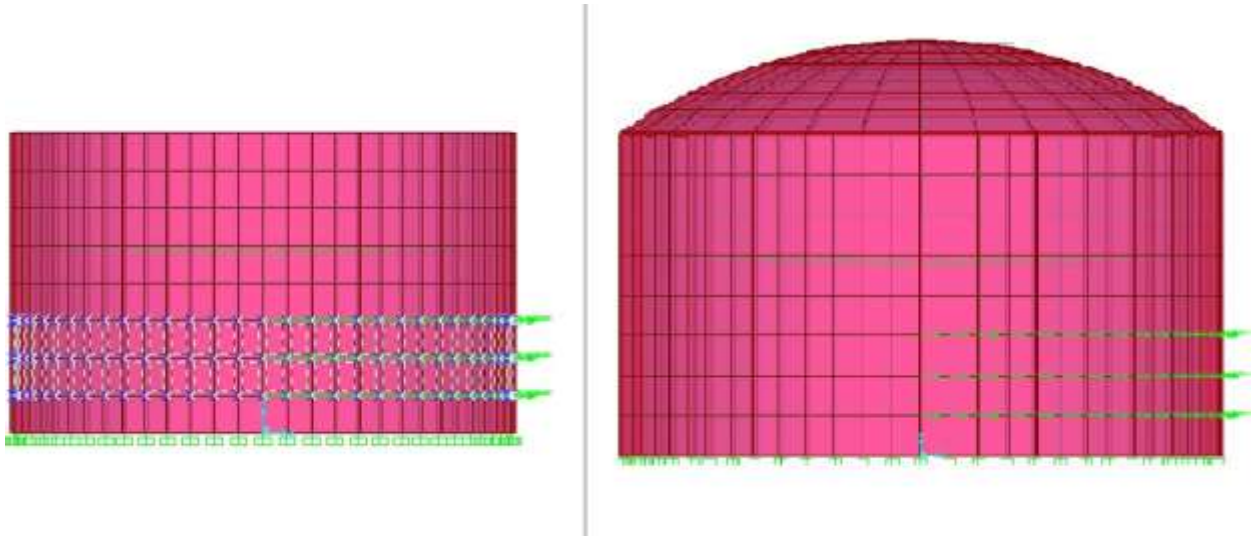


Figura 18: *Asignación de la carga impulsiva*

- Se asigna la carga viva o sobrecarga en la cúpula, $CV = 50 \text{ kg/m}^2$, según la NTP E020.
- Asignamos las cargas hidrodinámicas (*Ver Figura 19*),

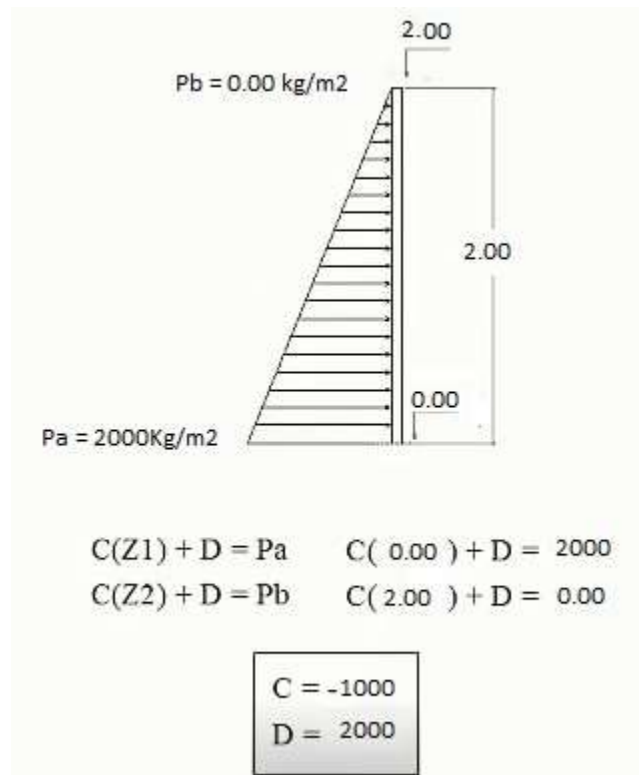


Figura 19: *carga hidrostática*

- Se definen en el software las Combinaciones de Carga visto anteriormente en el capítulo II.
- Adicionalmente se creará el combo envolvente, con todas las combinaciones ya mencionadas en forma de envolvente para así determinar obtener los esfuerzos máximos y mínimos que se presentan en el reservorio.
- Definimos y asignamos nuestro espectro de respuesta, según la norma E.030 diseño sismorresistente. (Ver Figura 20)

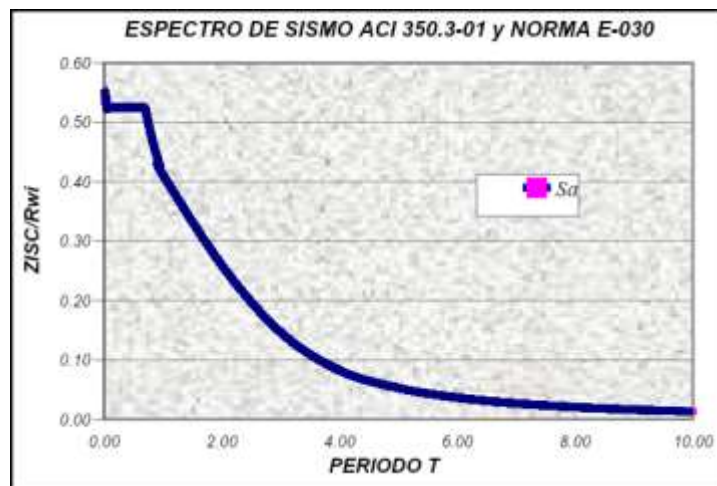


Figura 20. *Espectro de diseño impulsivo*
Fuente : elaboración propia

- hacemos correr el programa y obtenemos los resultados de las fuerzas actuantes y momentos con los que se procederá al diseño del reservorio.

4.1.6. *Análisis e interpretación de los resultados*

Con los resultados obtenidos del análisis del reservorio obtendremos los datos que necesitamos para realizar el cálculo y diseño del refuerzo final.

Desplazamientos

El desplazamiento lateral se realizó con los efectos sísmicos sobre la estructura. Se observa que el desplazamiento espectral con la malla de elementos finitos actual es de 0.004cm para una altura de 2.1 m obteniendo una distorsión de 0.00004 siendo el permitido de 0.003, por lo tanto, cumple. (Ver Figura 21)

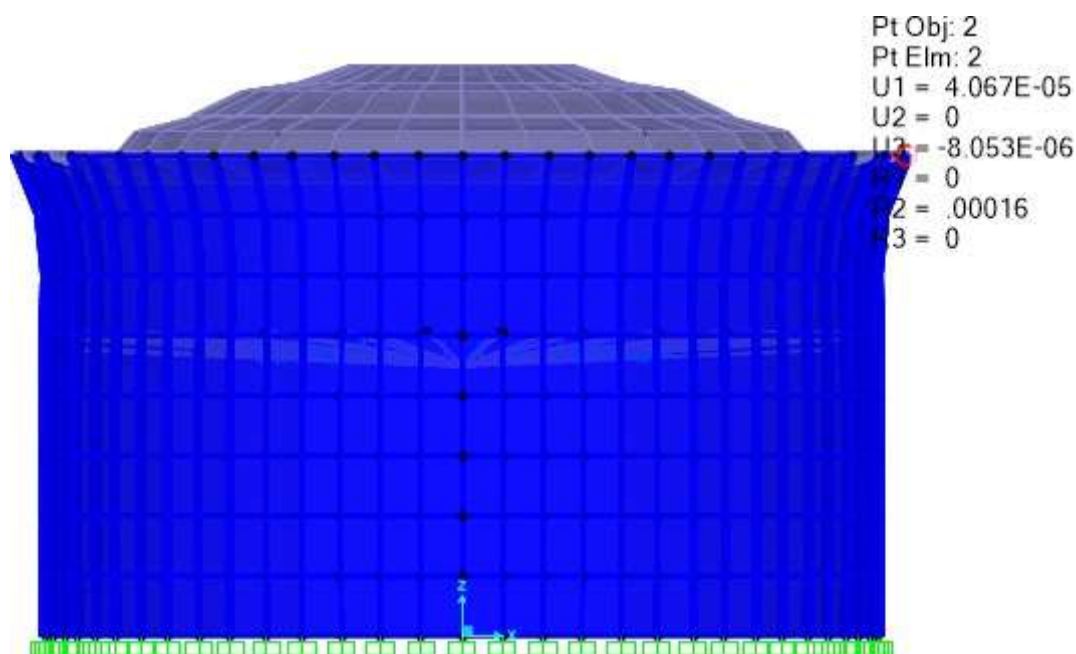


Figura 21. *Desplazamiento lateral del reservorio*

Fuerzas resultantes en el reservorio

Las fuerzas resultantes (F11) por envolvente son menores que las obtenidas en la combinación 4 como se aprecian en las figuras 22 y 23

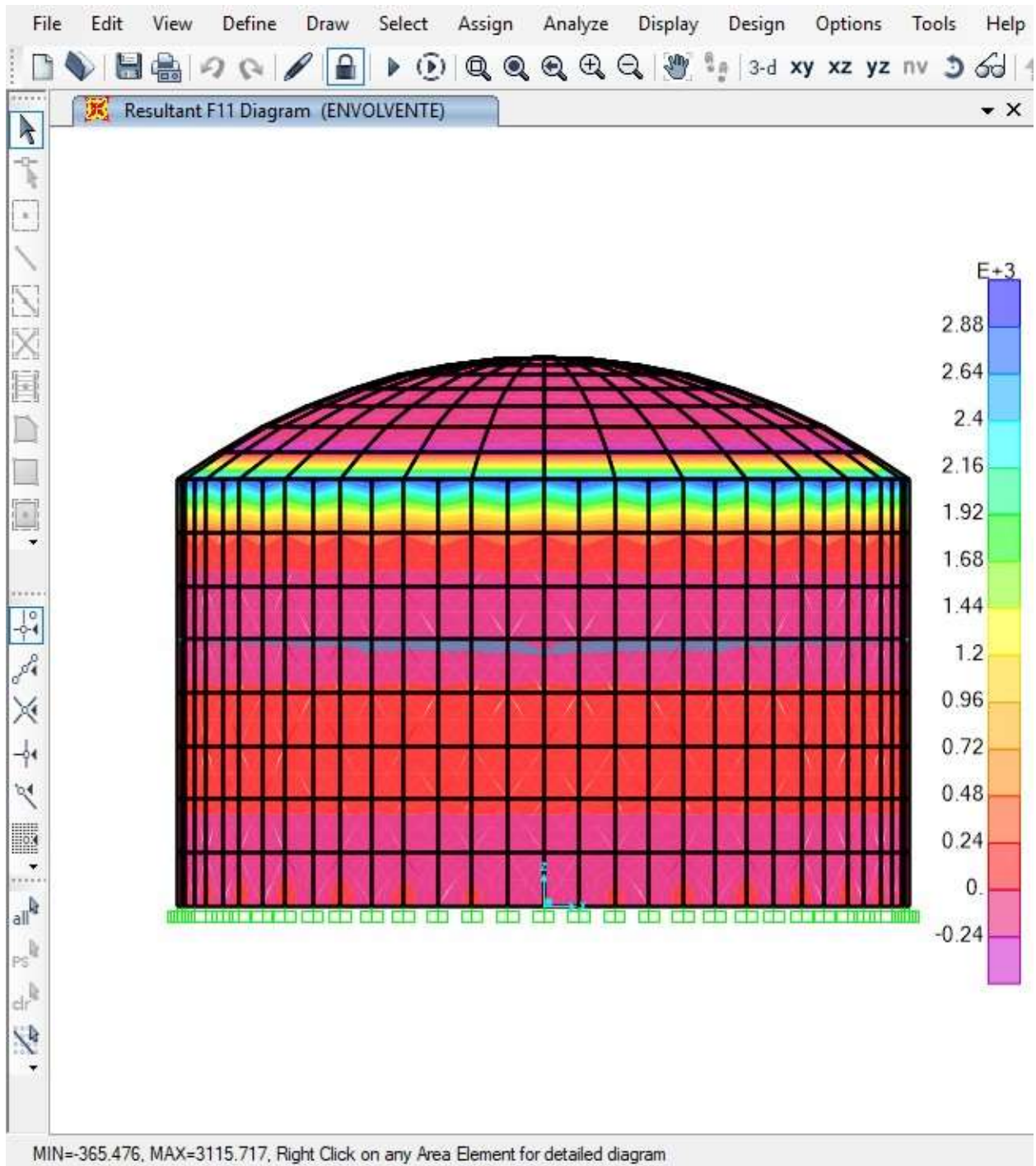


Figura 22. Resultante F11 del reservorio por envoltente
Fuente. Elaboración propia

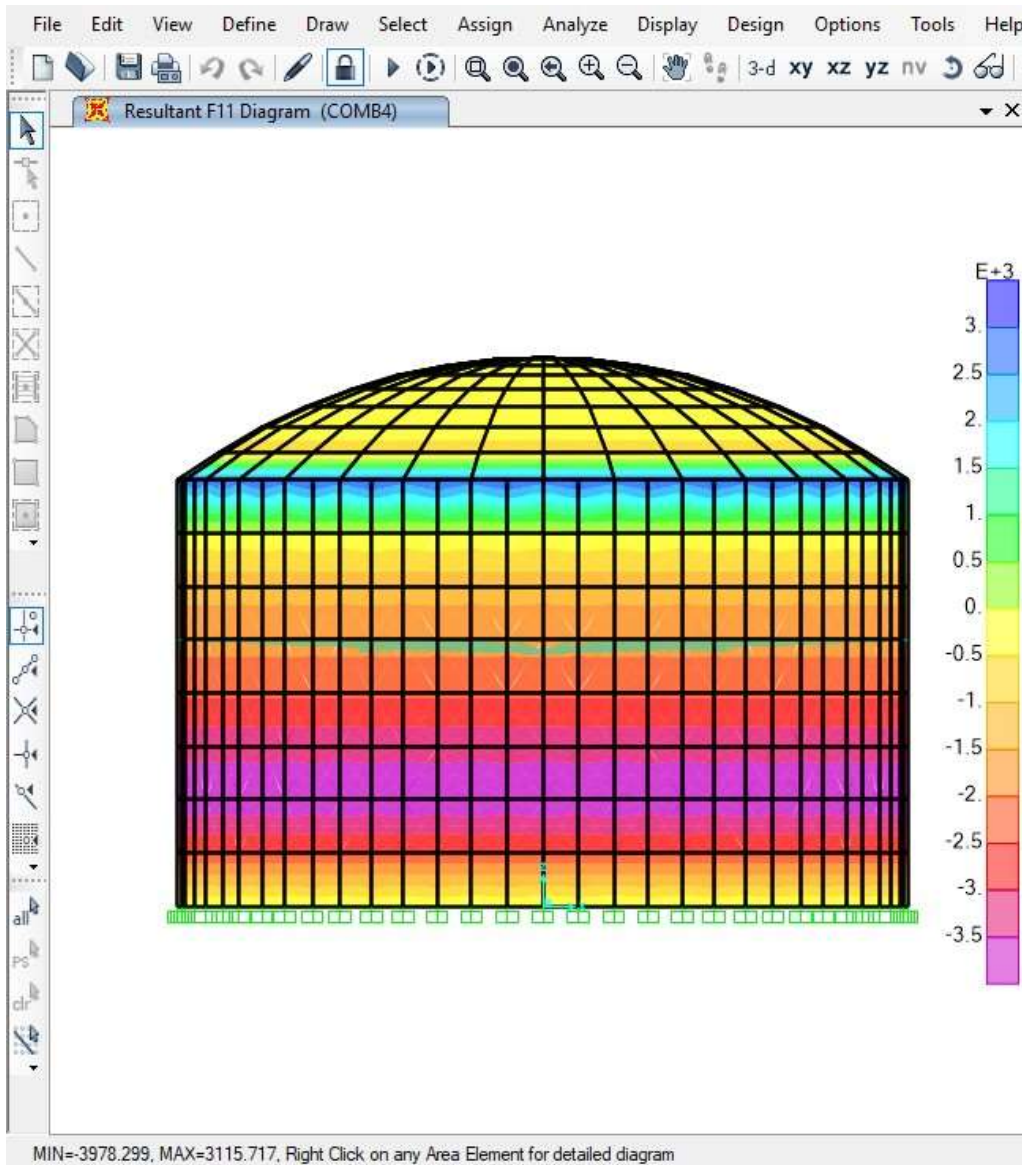


Figura 23. Resultante F11 del reservorio generada por la COMBINACIÓN 4
Fuente. Elaboración propia

4.2. Cálculo del Diseño del refuerzo

4.2.1. Diseño de la Losa:

$$\gamma_{\text{suelo}} = 10000.00 \text{ Kg } l m^2$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 1000.00 \text{ Kg } / m^3$$

Considerando por seguridad se adiciona a la carga del agua un 60% debido al sismo

$$q = \gamma_{\text{agua}} * H = 3200.00 \text{ Kg/m}^2$$

Como la resistencia del suelo es 10000.00 Kg/m² por lo tanto el suelo va a reaccionar con la misma carga a la sometida, es decir 3200.00 Kg/m²; por lo tanto, vamos a considerar la cuantía mínima.

Diseño a Flexión

$$\rho_{\text{min}} = 0.0018$$

Considerando la losa de $h = 10\text{cm}$

$$A_s = 0.0018 * b * d = 1.80 \text{ cm}^2 \text{ (por metro cuadrado de fondo)}$$

Por lo tanto consideramos una malla electrosoldada de ¼” con un espaciamiento longitudinal y transversal de 10 cm y dos mallas hexagonales (malla gallinero) de diámetro de alambre de 0.71mm y abertura de 5/8”

$$\text{Area malla electrosoldada} = 3.12 \text{ cm}^2.$$

4.2.2. Diseño de las paredes del reservorio de ferrocemento

- **Diseño mediante Cargas de Servicio**

$$F_d = 3980.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ (figura 22)}$$

Realizamos una primera aproximación, considerando $\sigma_{\text{aqr}} = 40 \text{ Kg/cm}^2$

$$A = F_d / \sigma_{\text{aqr}} = 99.5 \text{ cm}^2$$


Se adopta una sección de prueba $t \times b$

$$\text{Adoptamos } b = 1\text{m} = 100 \text{ cm}$$

$$t = A/b = 1.00 \text{ cm}$$

$$\text{Asumimos } t = 4\text{cm} = 40\text{mm}$$

Selección de la malla y Cálculo del número de mallas

CARACTERISTICAS DE LAS MALLAS A UTILIZAR		
Tela malla gallinero 3/4"	Diámetro d [mm]	0.71
	Espaciamiento [mm] L1,L2,X,Y	
Malla cuadrada electrosoldada	Diámetro d [mm]	4
	Espaciamiento [mm]	23.9
Acero de esqueleto	Diámetro d1 [mm]	6.35
	Espaciamiento [mm]	100
Resistencia del acero a tracción (Kg/cm2)		4550
Resistencia del mortero a compresión R'b[Kg/cm2]		210
Tensión permisible del conjunto σ_{cr} (Kg/cm2)		50
		27

$$L1 = 12.12 \text{ mm}$$

$$L2 = 13.88 \text{ mm}$$

$$X = 26.00 \text{ mm}$$

$$Y = 21.00 \text{ mm}$$

$$SL = (\pi \cdot d \cdot n) / (a \cdot t) = 0.02629 \text{ n}$$

$$\sigma_{cr} = 245 \cdot SL + \sigma_{mu} = 245 \cdot 0.02629 \text{ n} + 27 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 3.57 ; \text{ asumimos } n = 4 \text{ mallas}$$

Comprobamos la superficie específica y volumen de refuerzo Malla Hexagonal (malla gallinero) de 3/4"

$$SL = (\pi \cdot d \cdot n \cdot (4L1 + 2L2)) / (x \cdot y \cdot t) = 0.031 > 0.05 \text{ mm}^{-1}; \text{ por lo tanto no cumple}$$

$$Vf = (\pi \cdot d^2 \cdot n \cdot (4L1 + 2L2) \cdot 25) / (x \cdot y \cdot t) = 0.55\% > 1.8\%; \text{ por lo tanto no cumple}$$

Adicionamos una malla electrosoldada de 1" x 3 mm de diámetro

Apertura 23.90 mm

Diametro 3.00 mm

$$SL = \frac{4 \cdot Vf}{d} = 0.020 \text{ mm}$$

$$Vf = (\pi \cdot d^2 \cdot n \cdot ((1/Dl) + (1/Dt))) / (4 \cdot t) = 1.48\%$$

Sumando ambas mallas tenemos $SL = 0.51 > 0.05 \text{ mm}^{-1}$, por lo tanto cumple

$$Vf = 2.03 > 1.8\% \text{ por lo tanto cumple}$$

Para las paredes del reservorio se tendrá que colocar 4 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ y una malla electrosoldada de 1" x 3 mm de diámetro.

- **Diseño por el método de resistencia última**

El área de acero por malla necesaria para resistir el esfuerzo en una sección agrietada del ferrocemento, se determina a partir de la siguiente relación:

$$Asi = \eta \cdot V_f \cdot Ac$$

Donde el factor de eficiencia global η puede tomarse de la figura 24:

Características		Malla cuadrada tejida	Malla cuadrada soldada	Malla hexagonal	Malla de metal expandido	Barras longitudinales
Factor de eficiencia global	Longitudinal η	0,50	0,50	0,45	0,65	1,00
	Transversal η	0,50	0,50	0,30	0,20	-
	A 45 grados η_0	0,35	0,35	0,30	0,30	0,70

Figura 24 : Valores de diseño recomendado del factor de eficiencia global del refuerzo para un miembro sometido a tensión o flexión uniaxial

Para la malla hexagonal de 3/4" de acuerdo a la **figura 9** tenemos :

$$L1 = 12.12 \text{ mm} \quad \text{abertura} = 19.05 \text{ mm}$$

$$L2 = 13.88 \text{ mm} \quad \text{diámetro del alambre} = 0.71 \text{ mm}$$

$$X = 26.00 \text{ mm}$$

$$Y = 21.00 \text{ mm}$$

La fuerza F11 que se genera en la pared se muestra en la figura 22 y es

$$N_n = 3980$$

$$F_y = 3150$$

ver fig. 1

$$N_n = A_s * f_y$$

$$\text{Entonces } A_s = N_n / f_y = 1.26$$

$$A_c = b * t = 100 \text{ cm} * 4 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \eta * A_{si} \text{ Entonces ; } A_{si} = 0.45 * (\pi * d^2 * n) / (4 * a * t) * 400 \text{ cm}^2 * 100 = A_s / n$$

$$0.45 * (\pi * [(0.71 \text{ mm})]^2 * n) / (4 * 19.05 * 40 \text{ mm}) * 400 \text{ cm}^2 * 100 = (1.26 \text{ cm}^2 * 100) / n$$

$n = 3.68$ entonces utilizamos 4 mallas

se comprueba la superficie específica y volumen de refuerzo

$$SL = (\pi * d * n * (4L1 + 2L2)) / (x * y * t) = 0.31 \text{ mm}^{-1}$$

$$Vf = (\pi * d^2 * n * (4L1 + 2L2) * 25) / (x * y * t) = 0.55\%$$

Como no cumple adicionamos una malla electrosoldada de 1" x 3mm de diámetro de alambre

$$SL = (4 * Vf) / d = 0.20 \text{ mm}^{-1}$$

$$Vf = (\pi * d^2 * n * (1/D_L + 1/D_T)) / (4 * t) = 1.48 \%$$

Sumando ambas mallas tenemos $SL = 0.051 > 0.05 \text{ mm}^{-1}$, por lo tanto se cumple

$Vf = 2.03\% > 1.8\%$, por lo tanto se cumple.

Para las paredes del reservorio se tendrá que colocar 4 mallas hexagonales de 3/4" y una malla electrosoldada de 1" x 3 mm de diámetro.

4.2.3. *Diseño de la tapa del reservorio (Cúpula)*

En el acápite 4.1.2. y 4.1.3. encontramos las características geométricas de la cúpula

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

$$\text{radio del reservorio } R_r = 1.8$$

$$\text{radio de la curvatura de la cúpula } R_C = 3.00 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo Semi central del arco } \theta = 36.87^\circ$$

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

$$\text{La carga muerta } CM = 0.0024 \text{ kg/cm}^3 * 4\text{cm} = 0.0096 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{La Carga viva } CV = 50 \text{ Kg/m}^2 = 0.005 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{El área de la cúpula } A_{cu} = 11.31 \text{ m}^2 = 113100 \text{ cm}^2$$

Determinando el número de varillas de 8mm

El número de varillas requerida para el borde se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sigma_s * (N_v * A_v)$$

donde :

σ = tensión generada al apoyarse la cúpula en la pared del reservorio Kg/cm².

σ_s = Esfuerzo permisible de la varilla de (2100 kg/cm²)

N_v = número de varillas de 8 mm

A_v = Área de la sección transversal de la varilla (cm²)

$$\sigma = \frac{CT * Ac}{2 * \pi * r * \tan \theta}$$

Donde:

σ = tensión generada al apoyarse la cúpula en la pared del reservorio Kg/cm².

Acu = Área de la cúpula en cm²

CT = Carga total que actúa verticalmente sobre la cúpula del reservorio

Igualando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$\sigma_s * (N_v * A_v) = \frac{CT * Ac}{2 * \pi * r * \tan \theta}$$

despejando N_v se tiene :

$$N_v = \frac{CT * Ac}{2 * \pi * r * \tan \theta * \sigma_s * A_v}$$

$$CT = 0.0096 \text{ kg/cm}^2 + 0.005 \text{ Kg/cm}^2 = 0.0146 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_v = 0.50 \text{ cm}^2$$

$$N_v = \frac{0.0146 \text{ kg/cm}^2 * 113100 \text{ cm}^2}{2 * \pi * \tan 36.87^\circ * 2100 \text{ kg/cm}^2 * 0.50} = 0.334 \text{ varillas}$$

Por lo tanto colocamos 1 varilla de 8mm en el borde.

Refuerzo en la membrana de la cúpula

$$\sigma' b = 0.45 R' b = 0.45 * 178.5 \text{ Kg/cm}^2 = 80.32 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde :

R' b = Resistencia del mortero a compresión por flexión (0.85 f' c)

$\sigma' b$ = Tensión permisible a compresión del mortero

teniendo CT = 0.0146 Kg/cm² y tomando un factor de mayoración de 1.6 tenemos :

$$CT = 0.0146 \text{ Kg/cm}^2 * 1.6 = 0.02336 \text{ Kg/cm}^2$$

Mientras que la tensión permisible a compresión del mortero $\sigma' b = 80.32 \text{ Kg/cm}^2$ Por lo tanto el mortero cumple sin ningún problema la fuerza de compresión

Calculamos el número de mallas considerando la malla electrosoldada de 2" x 3mm de diámetro.

$$Vf = \frac{\pi * d^2 * n * ((\frac{1}{D_L}) + (\frac{1}{D_T}))}{4 * t} = 1.8\%$$

$$\pi * 3^2 * n * (\underline{\quad})$$

$$Vf = \frac{* * * 23.9}{4 * 30} = 0.0197n = 1.8\%$$

$$n = 1.094$$

entonces consideramos 1 malla electrosoldada y 3 mallas hexagonales de ¾"

comprobamos:

$$SL = (\pi * d * n * (4L_1 + 2L_2)) / (x * y * t) = 0.31 \text{ mm}^{-1}$$

$$Vf = (\pi * d^2 * n * (4L_1 + 2L_2) * 25) / (x * y * t) = 0.55\%$$

Como no cumple adicionamos una malla electrosoldada de 1" x 3mm de diámetro de alambre

$$SL = (4 * Vf) / d = 0.020 \text{ mm}^{-1}$$

$$Vf = (\pi * d^2 * n * (1/D_L + 1/D_T)) / (4 * t) = 1.97 \%$$

Sumando las mallas hexagonales y la electrosoldada tenemos:

$$SL = 0.057 \text{ mm}^{-1} \text{ como } 0.057 \text{ mm}^{-1} > 0.05 \text{ mm}^{-1}, \text{ por lo tanto está correcto}$$

$$Vf = 2.52 \% \text{ como } 2.52\% > 1.8\%, \text{ por lo tanto, está correcto}$$

Tabla 6.

Resumen del refuerzo calculado

Piso	1 malla electrosoldada de 10cm x 10cm x 6.3mm 2 mallas hexagonales (malla gallinero) de ¾"
Pared	1 malla electrosoldada de 1" x 1" x 3mm 4 mallas hexagonales (malla gallinero) de ¾"
cúpula	1 malla electrosoldada de 1" x 1" x 3mm 3 mallas hexagonales (malla gallinero) de ¾"

Refuerzo en el borde 1 varilla de 8mm

Fuente : Elaboración propia

4.3. Análisis comparativo de costos

4.3.1. Presupuesto de reservorio de concreto armado de 20 m³

Presupuesto RESERVORIO DE 20 M3 DE CONCRETO ARMADO

**Sub
Presupuesto RESERVORIO DE CONCRETO ARMADO**

Item	Descripción	und	metrado	precio S/.	parcial S/.
1	RESERVORIO DE CONCRETO ARMADO DE 20 M3				7988.68
1.01	Excavación manual en terreno normal	m3	3.04	22.96	69.80
1.02	Trazo y replanteo	m2	15.20	2.65	40.28
1.03	Replanteo de piedra	m2	15.20	51.44	781.89
1.04	Encofrado y desencofrado	m2	64.32	32.85	2112.91
1.05	Concreto f'c =210 kg/cm2	m3	6.92	350	2423.40
1.06	Acero de refuerzo f'y = 4200 kg/cm2	kg	324.80	4.84	1572.03
1.07	Enlucido interior	m2	23.75	38	902.50
1.08	pintura latex	m2	35.05	2.45	85.87
	Costo directo				7988.68

4.3.2. *Presupuesto de reservorio de ferrocemento de 20 m³*

Presupuesto : RESERVORIO DE 20 M3 DE FERROCEMENTO

Sub Presupuesto : RESERVORIO DE FERROCEMENTO

Item	Descripción	und	metrado	precio S/.	parcial S/.
1	RESERVORIO DE FERROCEMENTO DE 20 M3				6323.93
1.01	Excavación manual en terreno normal	m3	3.04	22.96	69.80
1.02	Trazo y replanteo	m2	13.86	2.65	36.73
1.03	Replanteo de piedra	m2	13.86	51.44	712.96
1.04	Concreto simple f'c =210 kg/cm2	m3	1.52	331.21	503.44
1.05	Acero de refuerzo f'y = 4200 kg/cm2	kg	163.84	3.55	581.63
1.06	Malla hexagonal Galvanizada de 3/4"	rl	7.67	86.04	659.93
1.07	Malla Electrosoldada galvanizada H=2m	ml	19.60	44.19	866.12
1.08	Encofrado y desencofrado	m2	36.08	47.6	1717.41
1.09	Mortero 1:2 (cemento- arena) dosificado	m3	1.41	519.28	732.18
1.10	Pintura epóxica	m2	35.05	12.66	443.73
COSTO DIRECTO					6323.93

Según se puede apreciar en la comparación de presupuestos a costo directo el reservorio de concreto armado es más costoso que el de ferrocemento.

4.4. Discusión de resultados.

El presente diseño del reservorio circular apoyado de ferrocemento, se obtuvo primero, cumple con los parámetros de diseño de acuerdo a la norma E 030 y ACI 350.3-06, que es para estructuras contenedoras de líquidos dado que puede resistir las presiones hidráulicas y sobrecargas que se puedan presentar durante la vida útil de este tipo de estructuras.

Con la ayuda de software se pudo modelar y verificar el cumplimiento de los parámetros y análisis estático y dinámico basándose en la Norma ACI 350.3 –06, la cual se ha seguido en esta tesis de tal manera que complementen y tomen una similitud en los expuestos de la propuesta de Norma E030 – 2016, para el análisis sismorresistente obteniéndose una distorsión de 0.00004 siendo menor que 0.007 que es la distorsión mínima que pide la norma peruana. Por lo tanto cumple con los parámetros de la Norma ACI 350.3 – 06 y con los parámetros de la Norma E030 – 2016.

Segundo, en el análisis de costos encontramos que el reservorio de concreto armado es un 26% más costoso que el de ferrocemento, por lo que los reservorios de ferrocemento serian una buena alternativa para ser ejecutados en las zonas rurales porque además como los miembros de las comunidades pueden participar en la construcción dado que no se requiere de mucha mano de obra calificada ya que con un poco de capacitacion cualquier persona puede construirlo, reduciendo aún más los costos de mano de obra pudiéndose ampliar de esta manera este porcentaje.

Finalizando se puede concluir que se puede diseñar reservorios de ferrocemento que cumplan con la normativa peruana y extranjeras para este tipo de estructuras y con un costo menor a los tradicionales de concreto armado.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- Aplicando correctamente diferentes tipos de normas establecidas referente a abastecimiento de agua, se puede llegar a cumplir los parámetros solicitados y lograr un diseño estructural y dimensiones acorde con la realidad del medio donde se realizará el proyecto, evitando sobredimensionamiento y por ende costos innecesarios, haciendo de esta manera al ferrocemento una alternativa técnica y económica para sistemas de almacenamiento de agua potable en la zona rural.
- Se concluye que los parámetros sísmicos de la propuesta de norma E.030, no son los suficientes para poder diseñar un reservorio circular de ferrocemento, pero siendo analizado con el método de la norma ACI 350-01, se cumplen con los parámetros de diseño. El método de esfuerzos admisibles nos permitió dimensionar el tanque de tal forma que las tensiones de tracción y el agrietamiento no sobrepasen las permisibles para este tipo de estructuras.
- Utilizando el software Sap2000, la distorsión del Reservorio en la parte superior del muro es de 0.00004 siendo menor que 0.007 que es la distorsión mínima que pide la norma peruana, siendo así el ferrocemento una buena alternativa en lo que se refiere a diseño y construcción de estructuras contenedoras de líquidos, ya que su diseño no requiere de elaboradas formulaciones y en cuanto a construcción evita el empleo de complejos métodos constructivos.
- Según el presupuesto elaborado vemos que no se requieren grandes inversiones para poder acceder a un bien de mucha importancia para las comunidades rurales como es contar con reservorios de agua potable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la universidad apoyada de docentes y alumnos analizar y realizar la modelación de estos sistemas estructurales considerando los principios del Método de Housner y analizar la interacción fluido- estructura y así ampliar los conocimientos respecto al tema, del mismo modo se recomienda incorporar en la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones parámetros para el Análisis y diseño sísmico en Estructuras de Almacenamiento de Líquidos.
- Es indispensable la elaboración de una normativa técnica en Perú sobre ferrocemento, en relación a la cual se puedan referir proyectos de este tipo, en la cual se considere ensayos de los materiales de nuestro medio.
- Sería ideal el análisis estructural de reservorios y evaluar su comportamiento con la interacción del fluido-estructura considerando las fuerzas hidrodinámicas que se presentan.
- Se recomienda a todas las entidades tanto públicas como privadas que se encargan de realizar proyectos de agua potable tener en cuenta la proyección de reservorios de ferrocemento, ya que presentan un costo menor comparado con los reservorios de concreto armado, y también por presentar un buen comportamiento estructural.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 350.3-01, 350.3R-01, Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos
comentarios
- Carrasco, Víctor. (2003), “Ferrocemento, proyectos y aplicaciones”
- CHAO, E.2005. “Las fuerzas del equilibrio”. Construcción y Tecnología. Pp32-38.
- Crespo, J & Urgilés, E. (2001). Diseño utilizando ferrocemento de una piscina familiar,
incluido Hidromasaje, vestidores y posibilidades de prefabricación. Monografía obtención
título de ing. Civil, universidad de cuenca, Ecuador; Recuperado el 18 de setiembre de 2017
de: <https://es.scribd.com/doc/97919094/PISCINA-Ferrocemento-TESIS>
- Wainshtok Rivas Hugo (1998) “Ferrocemento y Diseño y Construcción”. Guayaquil-Ecuador.
3ra edición
- NAAMAN, A.E. (2000); “Ferrocement and Laminated Cementitious Composites”. Techno
Press-3000, 1st edition.
- Cabrera Huamán W., Díaz Fernández N. (2006) Proceso Constructivo con Ferrocemento,
Universidad Nacional de Cajamarca, EPILAS.
- Masó Solés, J. (2004). "Diseño, cálculo y ejecución de tanques de ferrocemento"; Tesina (Ing.
Civil), Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- Sánchez S. H., Vargas O., S, Análisis Sísmico de Tanques cilíndricos de almacenamiento,
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIA
- <http://www.sencico.gob.pe/gin/investigacion/ESTUDIOFERROCMENTOAPLICADO%20EN%20VIVIENDAS.pdf>
- OPS/CEPIS/04.108, UNATSABAR (2004). Guía para el diseño y construcción de reservorios
apoyados, Lima. Recuperado el 14 de setiembre de 2020 de:
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%202004.%20Dise%C3%B1o%20y%20construccion%20reservorios%20apoyados.pdf

VII. ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

<u>PLANTEAMIENTO</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>HIPOTESIS</u>	<u>VARIABLES E INDICADORES</u>	<u>METODOLOGÍA</u>
<p><u>General:</u> ¿El ferrocemento como alternativa tecnológica satisface los requerimientos de diseño según normativa vigente?</p> <p><u>Específicos:</u></p> <p>¿Los reservorios de ferrocemento satisfacen los requerimientos mínimos de diseño estructural según normativa vigente?</p> <p>Los reservorios de ferrocemento son una alternativa más económica que los convencionales?</p>	<p><u>General:</u> Diseñar la estructura de un reservorio apoyado circular de ferrocemento de 20 m³ como alternativa técnica y económica en el sistema de almacenamiento de agua potable para zona rural.</p> <p><u>Específicos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diseñar un reservorio de ferrocemento, realizando el análisis técnico que cumpla los parámetros de diseño de acuerdo a la norma E 030 y ACI 350.3-06, para estructuras contenedoras de líquidos que puedan resistir las presiones hidráulicas y sobrecargas. ● Realizar el análisis y modelamiento del reservorio empleando el software Sap2000 modelo educacional. ● Realizar un análisis comparativo de costos entre el reservorio de ferrocemento y el de concreto armado 	<p><u>General:</u> Los reservorios de ferrocemento son una alternativa técnica y económica en el sistema de almacenamiento de agua potable para zona rural.</p> <p><u>Específicos</u></p> <p>Los reservorios de ferrocemento satisfacen los requerimientos estructurales de diseño mínimos según norma E 030 y ACI 350.3-06, para estructuras contenedoras de líquidos que puedan resistir las presiones hidráulicas y sobrecargas.</p> <p>Los reservorios de ferrocemento son más económicos.</p>	<p><u>Independiente:</u> Diseño estructural del reservorio de ferrocemento</p> <p><u>Indicadores</u> Fuerzas que actúan para realizar el diseño. Normas que rigen el diseño de reservorios. Diseño de losa de cimentación, paredes y cúpula de reservorio de ferrocemento Costo del reservorio</p> <p><u>Dependiente:</u> Satisfacción estructural de requerimientos mínimos de la norma E020, E030, E060 y ACI 350.3-06.</p> <p><u>Indicadores</u> Análisis estático Análisis dinámico</p>	<p><u>Tipo de Investigación</u> Cualitativo correlacional</p> <p><u>Diseño:</u> Experimental</p> <p><u>Población y Muestra de estudio</u> Reservorio de ferrocemento</p>

ANEXO 2. PRESUPUESTO

Presupuesto

Presupuesto 1201001 RESERVORIO DE FERROCEMENTO DE 20M3
Subpresupuesto 001 RESERVORIO DE FERROCEMENTO
Cliente A.O.S.A.
Lugar PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	RESERVORIO DE 20 M3 DE FERROCEMENTO				6,710.29
01.01	EXCAVACION A MANO EN TERRENO NORMAL	m3	3.04	22.96	69.80
01.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	15.20	2.65	40.28
01.03	REPLANTILLO DE PIEDRA	m2	15.20	51.44	781.89
01.04	CONCRETO SIMPLE $f_c=210$ kg/cm ² DOSIFICADO	m3	2.67	331.21	884.33
01.05	ACERO DE REFUERZO	kg	220.00	0.91	200.20
01.06	MALLA HEXAGONAL GALVANIZADA DE 3/4"	rl	7.67	86.04	659.93
01.07	MALLA ELECTROSOLDADA GALVANIZADA H= 2M	m	19.60	44.19	866.12
01.08	MORTERO 1:2 (cemento - arena) DOSIFICADO	m3	2.87	519.28	1,490.33
01.09	ENCOFRADO	m2	36.08	47.80	1,717.41
	Costo Directo				6,710.29

SON : SEIS MIL SETECIENTOS DIEZ Y 29/100 NUEVOS SOLES

ANEXO 3. ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

Presupuesto : RESERVORIO DE FERROCEMENTO DE 20M3
Subpresupuesto : RESERVORIO DE FERROCEMENTO

Partida 01.01 EXCAVACION A MANO EN TERRENO NORMAL							
Rendimiento	m3/DIA	3.00	EQ	3.00	Costo unitario directo por : m3		22.96
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.0857	0.2286	12.50	2.86
0101010005	PEON		hh	0.8571	2.2857	8.50	19.43
							22.29
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	22.29	0.67
							0.67
Partida 01.02 TRAZO Y REPLANTEO							
Rendimiento	m2/día	200.00	EQ	200.00	Costo unitario directo por : m2		2.65
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0040	12.50	0.05
0101010005	PEON		hh	3.0000	0.1200	8.50	1.02
0101030000005	OPERARIO TOPOGRAFO		hh	1.0000	0.0400	10.00	0.40
							1.47
Materiales							
0231040001	ESTACAS DE MADERA		und		0.1500	1.50	0.23
0240020001	PINTURA ESMALTE		gal		0.0120	38.00	0.46
							0.69
Equipos							
0301000002	NIVEL TOPOGRAFICO		día	1.0000	0.0050	20.00	0.10
03010000110001	TEODOLITO		día	1.0000	0.0050	25.00	0.13
0301000014	MIRAS		día	3.0000	0.0150	10.00	0.15
0301000015	JALONES		día	4.0000	0.0200	2.00	0.04
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	1.47	0.07

0.49

Partida 01.03 REPLANTILLO DE PIEDRARendimiento m2/DIA 15.00 EQ 15.00 Costo unitario directo por : m2 **51.44**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
--------	---------------------	--------	-----------	----------	------------	-------------

Mano de Obra

0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0533	12.50	0.67
0101010003	OPERARIO	hh	0.2000	0.1067	12.00	1.28
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.5333	10.00	5.33
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5333	8.50	4.53
0101010006 0002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	0.2000	0.1067	10.00	1.07

12.88**Materiales**

0207010005 0002	PIEDRA MEDIANA DE 6"	m3		0.2500	50.00	12.50
0207030001	HORMIGÓN	m3		0.9000	0.82	0.74
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		1.0000	22.00	22.00

35.24**Equipos**

0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	12.88	0.39
0301290001 0004	VIBRADOR A GASOLINA	día	1.0000	0.0667	20.00	1.33
0301290003 0001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	0.1500	0.0800	20.00	1.60

3.32**Partida 01.04 CONCRETO SIMPLE f'c=210 kg/cm2 DOSIFICADO**Rendimiento m3/día 10.00 EQ. 10.00 Costo unitario directo por : m3 **331.21**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
--------	---------------------	--------	-----------	----------	------------	-------------

Mano de Obra

0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0800	12.50	1.00
------------	---------	----	--------	--------	-------	------

0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	12.00	9.60
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	10.00	16.00
0101010005	PEON	hh	8.0000	6.4000	8.50	54.40
01010100060 002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.8000	10.00	8.00
						89.00

Materiales

0207010005	PIEDRA MEDIANA	m3		0.4200	50.00	21.00
0207030001	HORMIGÓN	m3		0.9000	0.82	0.74
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.7000	22.00	213.40
						235.14

Equipos

0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	89.00	2.67
03012900010 004	VIBRADOR A GASOLINA	día	1.0000	0.1000	20.00	2.00
03012900030 001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	0.1500	0.1200	20.00	2.40
						7.07

Partida 01.05 ACERO DE REFUERZO

Rendimiento	kg/DIA	250.00	EQ	250.00	Costo unitario directo por : kg	0.91
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	12.50	0.04
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	12.00	0.38
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	10.00	0.32
						0.74
Materiales						
02040100020 001	ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0.0300	5.00	0.15
						0.15

	Equipos	%mo		3.0000	0.74	0.02
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES					0.02

Partida 01.06 MALLA HEXAGONAL GALVANIZADA DE 3/4"

Rendimiento rll/día 15.00 EQ 15.00 Costo unitario directo por : rll **86.04**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
---------------	--------------------------------	---------------	------------------	-----------------	-------------------	------------------------

Mano de Obra

0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.5333	12.00	6.40
------------	----------	----	--------	--------	-------	------

0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5333	8.50	4.53
------------	------	----	--------	--------	------	------

10.93

Materiales

02040100030 002	ALAMBRE GALVANIZADO N°16	kg		0.0200	5.60	0.11
--------------------	-----------------------------	----	--	--------	------	------

02041500010 004	MALLA HEXAGONAL DE 3/4"	rll		1.0000	75.00	75.00
--------------------	----------------------------	-----	--	--------	-------	-------

75.11

Partida 01.07 MALLA ELECTROSOLDADA GALVANIZADA H= 2M

Rendimiento m/día 20.00 EQ 20.00 Costo unitario directo por : m **44.19**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
---------------	--------------------------------	---------------	------------------	-----------------	-------------------	------------------------

Mano de Obra

0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.4000	12.00	4.80
------------	----------	----	--------	--------	-------	------

0101010005	PEON	hh	1.0000	0.4000	8.50	3.40
------------	------	----	--------	--------	------	------

8.20

Materiales

02040100030 002	ALAMBRE GALVANIZADO N°16	kg		0.0200	5.60	0.11
--------------------	-----------------------------	----	--	--------	------	------

0204150001	MALLA ELECTROSOLDADA	m2		1.0250	35.00	35.88
------------	-------------------------	----	--	--------	-------	-------

35.99

Partida 01.08 MORTERO 1:2 (cemento - arena) DOSIFICADO

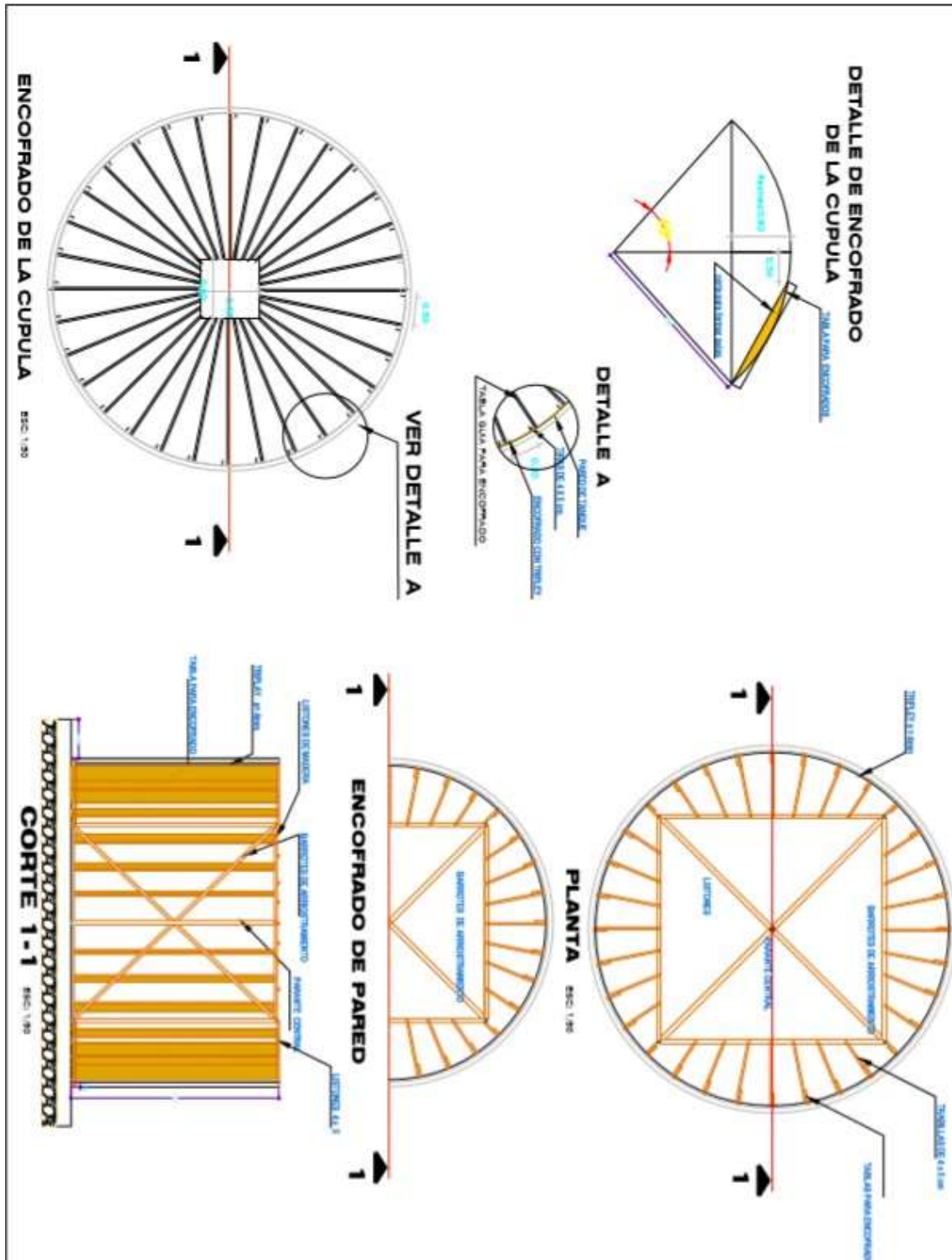
Rendimiento	m3/día	3.00	EQ	3.00	Costo unitario directo por : m3	519.28		
Código	Descripción Recurso			Unidad	CuadrillaCantidad	Precio S/.	Parcial S/	
Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ			hh	0.1000	0.2667	12.50	3.33
0101010003	OPERARIO			hh	1.0000	2.6667	12.00	32.00
0101010004	OFICIAL			hh	1.0000	2.6667	10.00	26.67
0101010005	PEON			hh	8.0000	21.3333	8.50	181.33
243.33								
Materiales								
0207020001	ARENA			m3		1.1500	35.00	40.25
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)			bol		10.2000	22.00	224.40
264.65								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		3.0000	243.33	7.30
0301340003002	ESCALERA METALICA TIJERA			und		0.2000	20.00	4.00
11.30								
Partida	01.09 ENCOFRADO							
Rendimiento	m2/día	18.00	EQ	18.00	Costo unitario directo por : m2	47.60		
Código	Descripción Recurso			Unidad	CuadrillaCantidad	Precio S/.	Parcial S/	
Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ			hh	0.1000	0.0444	12.50	0.56
0101010003	OPERARIO			hh	1.0000	0.4444	12.00	5.33
0101010004	OFICIAL			hh	1.0000	0.4444	10.00	4.44
0101010005	PEON			hh	0.7500	0.3333	8.50	2.83
13.16								
Materiales								
0204010001001	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8			kg		0.1000	5.00	0.50
02041200010	CLAVOS PARA			kg		0.2000	5.50	1.10

005	MADERA CON CABEZA DE 3"				
0231010001	MADERA TORNILLO	p2	2.5000	5.50	13.75
02310500010 003	TRIPLAY DE 1.20X2.40 m X 6 mm	und	0.3400	55.00	18.70
					34.05

Equipos

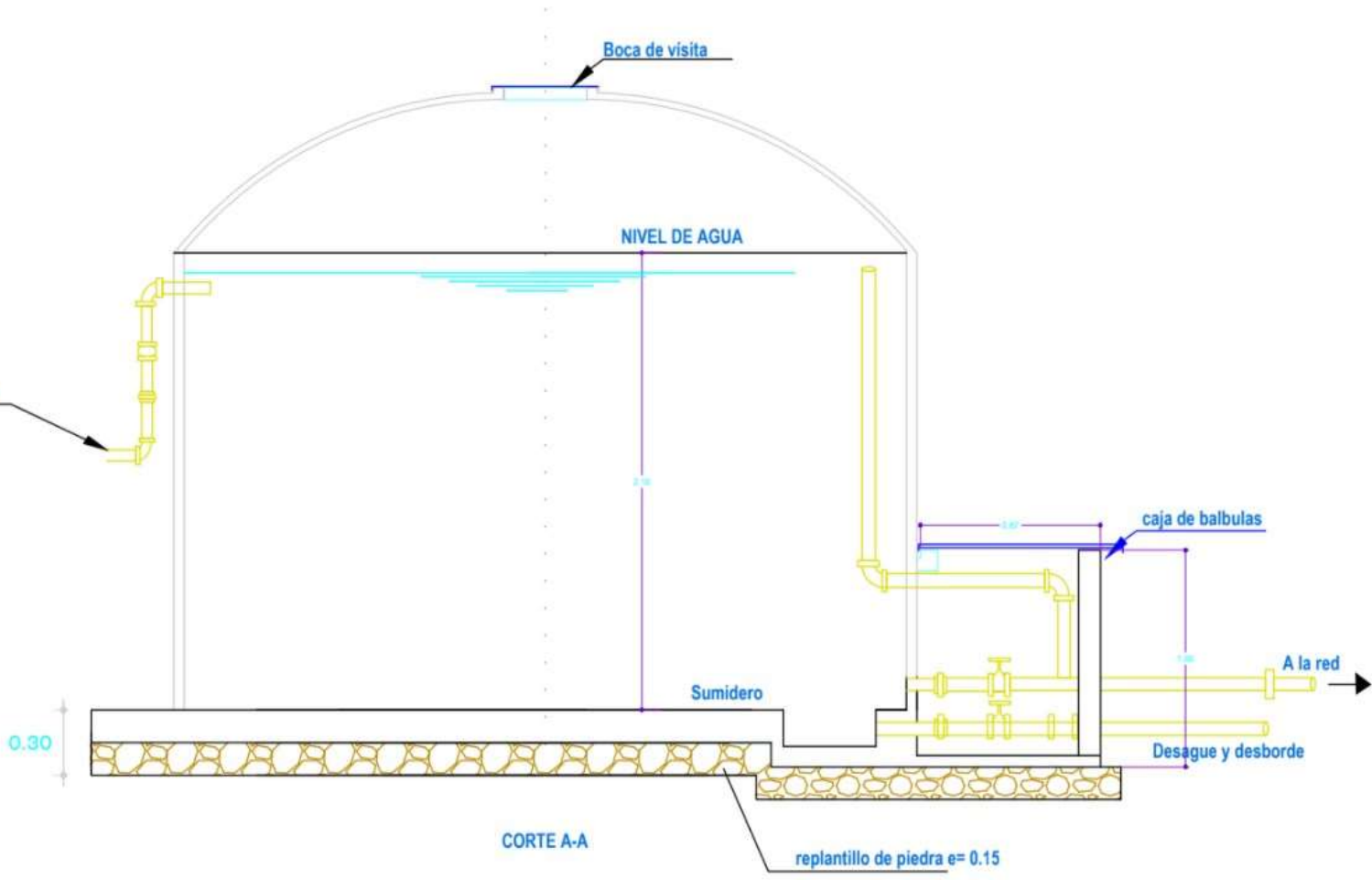
0301010006	HERRAMIEN AS MANUALES	%mo	3.0000	13.16	0.39
					0.39

ANEXO 4. PLANOS
 PLANO DE ENCOFRADOS



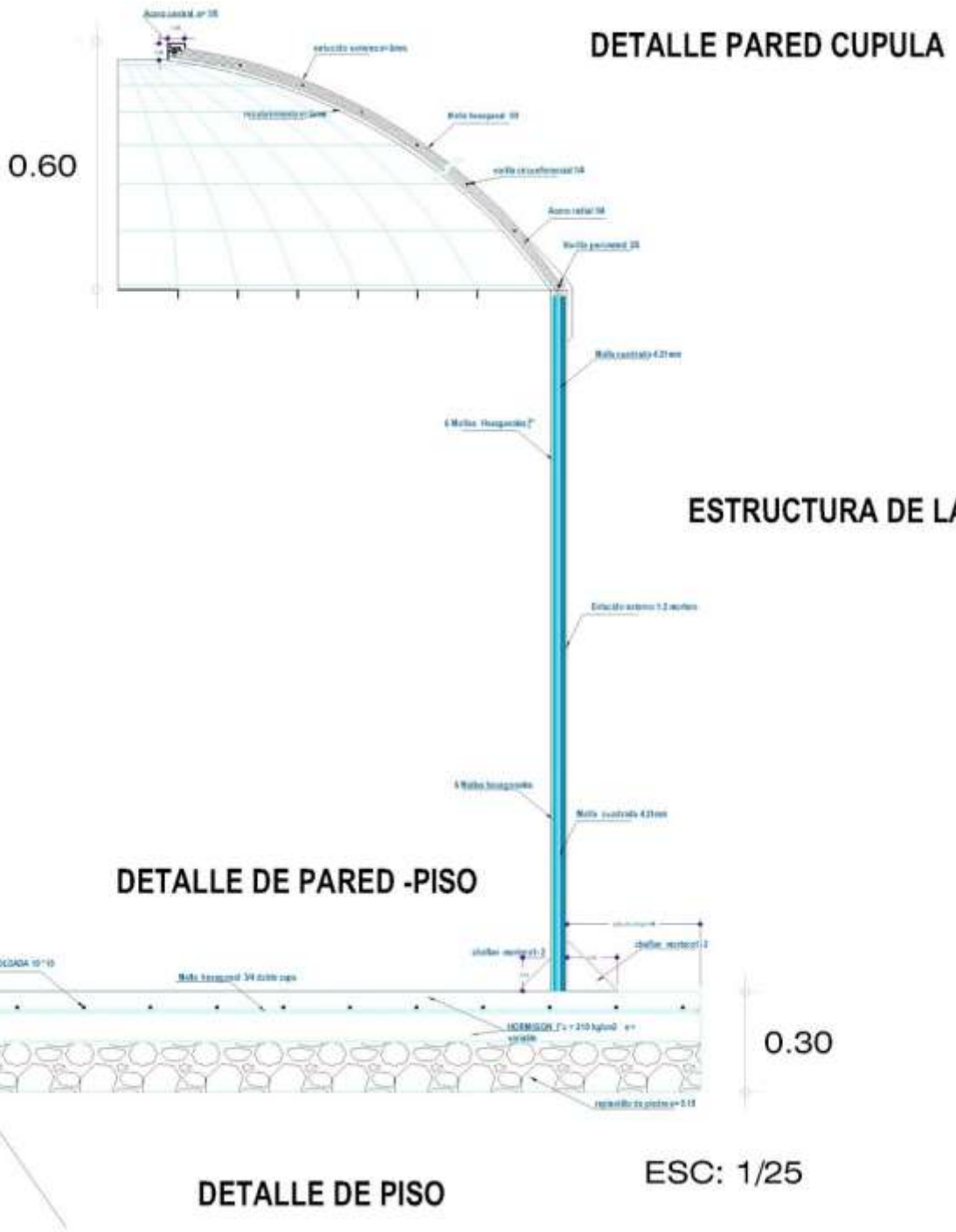
PLANO DE CORTE

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



ESC: 1/100

PLANO DE DETALLES DE PISO, PARED Y CÚPULA



CREADO CON UNA VERSIÓN PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK