

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN TANQUE EN CONCRETO REFORZADO SEGÚN NSR-
10 EN ZONA DE AMENAZA SÍSMICA ALTA, ANÁLISIS DE CASO VEREDA JUAN
BOSCO, VILLAVICENCIO.



CRISTIAN MICHELL GUZMAN GUTIERREZ
VALERIA ORTIZ PINZÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2022

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN TANQUE EN CONCRETO REFORZADO SEGÚN NSR-10 EN ZONA DE AMENAZA SÍSMICA ALTA, ANÁLISIS DE CASO VEREDA JUAN BOSCO, VILLAVICENCIO.

CRISTIAN MICHELL GUZMAN GUTIERREZ
VALERIA ORTIZ PINZÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor
OSCAR FELIPE SAENZ PARDO
Nivel académico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel Mesa Angúlo, O.P.

Rector General

P. Eduardo González Gil, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Luis Fernando Díaz Cruz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstract	12
Glosario	13
Introducción.....	14
1. Título	16
2. Formulación del problema	17
3. Objetivos	19
3.1. Objetivo general.....	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. Justificación.....	20
5. Marcos de referencia	22
5.1. Marco conceptual.....	22
5.1.1 Estimación de la población.....	22
5.1.2 Demanda.....	24
5.1.3 Tanque de almacenamiento	25
5.2. Marco geográfico	27
5.2.1 Localización	27
5.2.2 Temperatura.....	28
5.2.3 Precipitación	28
5.2.4 Amenaza sísmica	29
5.2.5 Descripción de la infraestructura existente.....	29
5.3. Estado del arte.....	29
6. Metodología.....	32
7. Cronograma o flujograma	34
8. Resultados	35

8.1.	Proyección de población y caudal.....	35
8.2.	Diseño estructural del tanque semienterrado de almacenamiento de agua según NSR-10.....	35
8.2.1	Introducción.....	35
8.2.2	Método de análisis	35
8.2.3	Materiales y coeficiente de seguridad.....	35
8.2.4	Requisitos de durabilidad según NSR-10.....	36
8.2.5	Características del suelo según estudio de Villavicencio	39
8.2.6	Evaluación de cargas.....	39
8.3.	Análisis sísmico	42
8.3.1	Generalidades	43
8.3.2	Parámetros sísmicos.....	43
8.3.3	Aceleración espectral de respuesta Sa.....	43
8.3.4	Cálculo de T_o , T_c y T_L	43
8.3.5	Sismo X.....	44
8.3.6	Sismo Y.....	51
8.4.	Diseño de losas	58
8.4.1	Diseño de losa superior	58
8.4.2	Diseño de losa inferior	60
8.5.	Diseño de muros	63
8.5.1	Diseño de muro en sentido X	63
8.5.2	Diseño de muro en sentido Y	66
8.6.	Diseño de viga	69
8.7.	Imágenes del modelo matemático.....	70
8.7.1	Vista 3D del modelo matemático.....	70
8.7.2	Presión hidrostática aplicada a la estructura (Ton/m ²).....	70
8.7.3	Presión por sobrecarga W (Ton/m ²)	71
8.7.4	Presión lateral del suelo aplicada a la estructura (Ton/m ²)	71
8.7.5	Chequeo de desplazamiento	72
8.8.	Presupuesto general del tanque de almacenamiento semienterrado	72
8.9.	Impactos sociales, económicos, académicos y técnicos.....	73

8.10. Especificaciones técnicas.....	74
8.11. Planos.....	74
Conclusiones.....	75
Recomendaciones	77
Referencias bibliográficas	78
Anexos	80

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Coeficiente de Consumo k1	24
Tabla 2 Coeficiente de Consumo k2	25
Tabla 3 Descripción del estado de arte.....	29
Tabla 4 Metodología	32
Tabla 5 Cronograma de actividades	34
Tabla 6 Resumen de presiones.....	56
Tabla 7 Impactos.....	an73

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Ubicación de la vereda	27
Figura 2 Datos temperatura, precipitación y humedad (1991-2021)	28
Figura 3 Durabilidad	37
Figura 4 Requisitos adicionales	38
Figura 5 Protección del concreto	39
Figura 6 Presión hidrostática	39
Figura 7 Presión lateral del suelo	40
Figura 8 Presión por sobrecarga	40
Figura 9 Presión dinámica del suelo	41
Figura 10 Diagrama fuerza impulsiva.....	47
Figura 11 Diagrama fuerza convectiva	48
Figura 12 Diagrama fuerza inercial	49
Figura 13 Diagrama fuerza lateral muro	49
Figura 14 Diagrama vertical.....	50
Figura 15 Fuerza impulsiva.....	53
Figura 16 Diagrama fuerza convectiva	54
Figura 17 Fuerza inercial de cubierta.....	54
Figura 18 Diagrama fuerza lateral	55
Figura 19 Diagrama aceleración	55
Figura 20 Espectro elástico de aceleraciones	57
Figura 21 Momentos	58
Figura 22 Cortantes.....	60
Figura 23 Momentos	61
Figura 24 Cortantes.....	63
Figura 25 Momentos	64
Figura 26 Cortantes.....	65
Figura 27 Momentos y	66

Figura 28 Cortante Y.....	68
Figura 29. Diseño de viga	69
Figura 30 Vista 3D modelo	70
Figura 31 Presión hidrostática en SAP	70
Figura 32 Presión por sobrecarga en SAP.....	71
Figura 33 Presión lateral del suelo en SAP	71
Figura 34 Chequeo de desplazamiento	72
Figura 35 Presupuesto del tanque	72

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1 Especificaciones técnicas del tanque	80
Anexo 2 Presupuesto del tanque	80
Anexo 3 Planos del tanque	80

Resumen

El presente trabajo de grado, tiene como objetivo realizar el análisis y el diseño estructural de un tanque semienterrado de almacenamiento de agua en concreto reforzado según la NSR-10, para la comunidad de la vereda Juan Bosco la cual está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta en la ciudad de Villavicencio, Meta. En este documento se detallan los principales aspectos que se deben tener en cuenta para la realización del proyecto.

La comunidad de Sebastopol presenta desabastecimiento de agua, por lo tanto, se plantea la propuesta para el diseño del tanque de almacenamiento con el fin de resolver esta problemática. Teniendo en cuenta los censos registrados en la comunidad, se realiza la proyección de la población para conocer la demanda de agua requerida, y se elabora el diseño del tanque semienterrado de almacenamiento de agua en concreto reforzado según la NSR-10 en el software SAP 2000, finalmente se realiza la memoria de cantidades de materiales y costos requeridos para llevar a cabo el proyecto. Los resultados obtenidos en este proyecto serán un material muy útil y de gran ayuda para la comunidad, ya que con la construcción del tanque de almacenamiento de agua se podrá evidenciar un gran desarrollo en esta. Del mismo modo, el documento puede ser material de consulta para quien este interesado en diseñar tanques de almacenamiento y estudiar el análisis de la estructura de costos para su construcción.

Palabras Clave: Agua, almacenamiento, tanque, captación, población, reforzado.

Abstract

The objective of this degree work is to carry out the analysis and structural design of a semi-buried water storage tank in reinforced concrete according to NSR-10, for the community of the Juan Bosco village, which is located in a threat zone. high seismic in the city of Villavicencio, Meta. This document details the main aspects that must be taken into account for the realization of the project.

The Sebastopol community has a water shortage, therefore, the proposal for the design of the storage tank is proposed in order to solve this problem. Taking into account the censuses registered in the community, the projection of the population is carried out to know the required water demand, and the design of the semi-buried water storage tank in reinforced concrete is prepared according to the NSR-10 in the SAP program. 2000. Finally, the memory of the amounts of materials and costs necessary to carry out the project is made. The results obtained in this project will be a very useful material and of great help to the community, since with the construction of the water storage tank it will be possible to demonstrate a great development in it. In the same way, the document can be reference material for those who are interested in designing storage tanks and studying the analysis of the cost structure for their construction.

Key Word- Water, storage, tank, catchment, population, reinforced.

Glosario

Agua: Sustancia líquida, insabrosa, ausente de color, la cual cumple una función vital en la vida y está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Real Academia Española, 2021).

Acueducto: Canal de agua conformada por vías y pozos subterráneos o arcos elevados (RAE, 2021).

Demanda: Solicitud o requerimiento de necesidades (RAE, 2021).

Dimensiones: Volumen medible de un espacio (RAE, 2021).

Especificaciones: Explicar con claridad algo (RAE, 2021).

Materiales: Grupo de herramientas, máquinas u objetos necesarios para el desarrollo de alguna actividad o trabajo (RAE, 2021).

NSR-10: Reglamento nacional de construcción sísmo resistente (Pisos, 1984).

Pozo séptico: Método de almacenamiento y tratamiento de agua residual. (Naranjo, 2019).

Refuerzo: Parte o arreglo que se usa para hacer más resistente algo (RAE, 2021).

Sismo: Movimiento brusco de las placas tectónicas de la tierra, ocasionado por fuerzas internas de la tierra (RAE, 2021).

Sequía: Período seco de duración prolongada (RAE, 2021).

Tanque: Cavidad de gran dimensión, cerrada, usada comúnmente para contener gases o líquidos (RAE, 2021).

Introducción

Los tanques de hormigón armado se han empleado durante varias décadas para el almacenamiento y/o reserva de agua, su diseño solicita un cuidado especial para garantizar su función estructural, también se debe tener en cuenta las solicitaciones de servicio y la protección del medio ambiente cuando contengan sustancias nocivas que amenazan la vida. El principio esencial en el diseño de tanques de almacenamiento es resistir las cargas demandadas durante su periodo de vida sin que se agrieten y provoquen fugas; Sus elementos como muros, losa superior e inferior trabajan bajo fuerzas de flexión y cortante, por lo que es necesario un diseño y una construcción adecuada con materiales apropiados, con dimensiones que garanticen rigidez a la flexión y resistencia a las fuerzas de corte.

En Colombia y en otros lugares del planeta, surge la necesidad de almacenar agua; las obras que sirven para dar cumplimiento a aquellas necesidades son los tanques, los cuales deben tener un desarrollo constructivo que sea eficiente; deben ser resistentes, durables y tener la capacidad de no dejar pasar líquidos. Esto se consigue mediante el empleo de métodos de diseño, basados en el Código del Medio Ambiente ACI-350, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y las Recomendaciones para requisitos Sísmicos de Estructuras diferentes de edificaciones AIS 180-13.

Este diseño enfocará el análisis sísmico de un tanque semienterrado a lo referido en la norma (ACI 350.3-06), reglamento en que se utiliza el método de Housner para calcular la presión hidrodinámica del agua sobre los muros del tanque a causa de la carga sísmica; también se utiliza el método de Mononobe Okabe en donde se tiene en cuenta la presión dinámica del suelo. El método de Housner indica que la presión resultante se puede calcular como la suma de la componente impulsiva, la cual realiza la componente del agua que se mueve al mismo tiempo con la estructura en su periodo elemental de vibración; y por otro lado la componente convectiva, que representa el resultado del movimiento de oleaje del agua en su periodo elemental de vibración. Las distintas normas de diseño enmarcadas por el ACI 350, son avaladas a nivel nacional como reglamentos plenamente utilizables a estructuras en concreto impermeabilizado.

Finalmente se realizará la memoria de costos de materiales y personal que se necesita para realizar el tanque teniendo en cuenta los análisis de precios unitarios del departamento del Meta,

conjuntamente se tendrá un documento con las especificaciones técnicas de la construcción del tanque de almacenamiento de agua. También se propone en los planos un mejoramiento del terreno para reforzar la seguridad de la estructura.

1. Título

Diseño estructural de un Tanque en concreto reforzado según NSR-10 en zona de amenaza sísmica alta, análisis de caso vereda Juan Bosco, Villavicencio.

2. Formulación del problema

El agua es una necesidad vital para todas las personas siendo así un bien de primera necesidad para los seres vivos, a pesar de su importancia muchas comunidades no tienen acceso a esta, y tienen que recurrir a diferentes métodos para contar con ella en sus hogares. La situación en las zonas rurales del país presenta un panorama desfavorable: unos 3 millones de personas que viven en la Colombia rural carecen de acceso a los servicios básicos de agua potable, lo que equivale a cerca del 28% de la población rural. (ASIR-SABA, 2019).

La comunidad de la vereda Juan Bosco, compuesta por los sectores Maderos 1 Y 2, Piñera 1 y 2, Alex, Marlon, Andy y La Esperanza; presentan una limitada entrada de agua y posible contaminación a esta. La cobertura del sistema de acueducto y alcantarillado no alcanza a llegar a la vereda Juan Bosco, de acuerdo con los planos de perímetro de sistemas de acueducto y alcantarillado (EAAV,2022), por lo tanto, las personas tienen que construir sus propios aljibes y captaciones subterráneas para obtener el agua que será consumida en la vivienda y realizar su propio pozo séptico para depositar los residuos líquidos.

En los últimos años, según los censos realizados por la presidenta de la junta de acción comunal de la vereda se puede establecer que el crecimiento poblacional en esta comunidad ha aumentado debido a la llegada de nuevos habitantes que han comprado terrenos allí, y realizan subdivisiones en los lotes para venderlos, por lo tanto, cada vez van quedando áreas más reducidas, aumentando así el número de aljibes y pozos sépticos construidos en la vereda, ocasionando que estos queden más cerca entre sí y generando la contaminación del agua limpia de los aljibes por la mezcla con los desechos de los pozos sépticos en temporadas de precipitaciones altas.

Una de las desventajas de los aljibes es que el nivel freático puede contaminarse con la filtración de aguas residuales (Chávez et al., 2013). Los contaminantes se filtran debido a las actividades en la superficie terrestre y se mueven al nivel del agua de un aljibe; cuando llegan al agua, estas sustancias se mueven con ellos y pueden transferirse de un aljibe a otro (Pulido et al., 1997). Con esta perspectiva se podría determinar que la mayoría de los problemas que están relacionados con el recurso hídrico subterráneo son causados por el hombre.

Por otra parte, la carencia de sistemas de alcantarillado en zonas rurales obliga a la comunidad a buscar diferentes formas de transporte del agua residual, afectando así la calidad

microbiana del agua para consumo humano y convirtiéndola en un riesgo para la salud del consumidor (Reales et al., 2014). Esto es una problemática muy grande ya que conlleva a enfermedades causadas por microorganismos que habitan en las aguas contaminadas o no tratadas, perjudicando a los habitantes de la comunidad con posibles enfermedades e infecciones gastrointestinales; en Colombia el agua y su disponibilidad se encuentran amenazadas debido a su mal manejo, lo cual implica retos decisivos ante el saneamiento y la higiene de la población y los ecosistemas que se encuentren relacionados (PNUD, 2018).

Las estructuras para la toma, almacenamiento y distribución del agua son muy escasas en diferentes comunidades del país, por lo tanto, el diseño de un tanque de almacenamiento en particular es una gran ventaja; algunos de los beneficios que trae la implementación de un tanque de almacenamiento son: compensar las variaciones en el consumo de agua durante el día, tener una reserva de agua para atender los casos de incendio, disponer de un volumen adicional para casos de emergencia, accidentes, reparaciones entre otros y además para dar una presión adecuada y un suministro continuo. (López, 2003)

A través de la red de juntas de acción comunal se identificó que los habitantes de un sector de la vereda Juan Bosco, no tienen fácil acceso a la red de acueducto del municipio, por esto se recomendará un tanque con tapa hermética para que no se generen eventos de contaminación en caso de inundación, se realizará el diseño en concreto reforzado de un tanque de almacenamiento que cumpla con las disposiciones del RAS-2000 y de la NSR-10.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Realizar el análisis y el diseño estructural de un tanque semienterrado de almacenamiento de agua para una comunidad en la ciudad de Villavicencio.

3.2. Objetivos específicos

Realizar los cálculos pertinentes para dimensionar el tanque de almacenamiento con el fin de satisfacer la demanda requerida de agua en la comunidad.

Proyectar el diseño a largo plazo para que pueda ser utilizado en un futuro cercano, calculando el caudal para un periodo de retorno de 25 años.

Generar especificaciones de construcción del tanque de almacenamiento.

4. Justificación

Hace referencia (Aguilar, 2002), que el agua es el elemento responsable principal de la vida de todos los seres vivos. El cuerpo humano está formado en su mayor proporción por agua, constituye el 70% de su organismo. El desarrollo del proyecto beneficiará a la comunidad de la vereda Juan Bosco, por cuanto se espera diseñar un tanque de almacenamiento en concreto reforzado según NSR-10 en zona de amenaza sísmica alta, el cual será diseñado a un periodo de retorno de 25 años beneficiando a las generaciones futuras según el crecimiento poblacional que tenga esta comunidad.

El tanque de almacenamiento sirve para almacenar la cantidad suficiente de agua requerida por la población y regular la presión del sistema de distribución con el fin de reducir las fugas, la explosión de tuberías y que al momento de llegar a la vivienda tenga suficiente presión para llegar a todos los accesorios de la red. El tanque de almacenamiento consta de dos estructuras principales: la primera, el depósito de almacenamiento y, la segunda, la caseta (cámara) de válvulas” (Agüero, 2004).

La necesidad de este proyecto radica en la importancia de que las viviendas tengan acceso al agua, es indispensable contar con una fuente de almacenamiento de agua que funcione correctamente en todas las horas del día.

La comunidad contará con un plano de diseño en donde tendrán las dimensiones necesarias para la realización del tanque de almacenamiento, esto les permitirá iniciar el proceso de construcción ya que también tendrán la cantidad de materiales requeridos y el costo de cada uno de estos.

Para la población es muy importante que se realice esta estructura ya que se resolverá el problema que tienen en los periodos de lluvias constantes; debido a que llevan años viviendo sin un sistema de acueducto y alcantarillado, donde tienen que hacer sus propios aljibes y pozos sépticos, por lo tanto, cuando hay inundaciones en cada uno de sus sectores se terminan mezclando las aguas residuales de los pozos sépticos con el agua de consumo para la vivienda, “las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado” (Romero Rojas, 2008).

La implementación y el desarrollo de esta propuesta permiten a la comunidad el acceso al agua de una forma constante, ya que el tanque almacena la cantidad suficiente de agua para satisfacer la demanda de los habitantes de la Vereda Juan Bosco. De esta manera, con el presente proyecto se busca dar una solución controlada para mejorar la calidad de vida de la población con el suministro de agua sin importar los periodos de lluvia o sequía.

5. Marcos de referencia

5.1. Marco conceptual

5.1.1 Estimación de la población

La estimación de la población es el aspecto principal en la definición del nivel de complejidad. Este manual establece que esa población debe corresponder a la proyectada al final del periodo de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto (RAS, 2000).

Para la estimación de la población se debe recolectar información de censos de población del DANE realizados en años anteriores y con base en los datos recolectados deben obtenerse los parámetros que determinan el crecimiento de la población. En el caso de la vereda Juan Bosco no se cuenta con censos realizados por el DANE, sin embargo, se tienen censos realizados por la comunidad (presidencia de la junta de acción comunal) de años anteriores.

Métodos de cálculo

Método aritmético

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Ecuación 1 Método aritmético

Nota. Tomado de RAS 2000

Pf = Población futura final.

Pci= Población censo inicial.

Tci = Tiempo censo inicial.

Puc= Población último censo.

Tuc = Tiempo último censo.

Tf = Tiempo final.

Se supone como un método balanceado debido a que tiene en cuenta la emigración y la mortalidad de la población; en la siguiente ecuación se observa los parámetros a tener en cuenta para el cálculo de este método.

Método geométrico

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad r = \left[\left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1 \right]$$

Ecuación 2 Método geométrico

Nota. Tomado de RAS 2000

Pf = Población futura final.

Puc= Población último censo.

Pci= Población censo inicial.

Tuc = Tiempo último censo.

Tci = Tiempo censo inicial.

Tf = Tiempo final.

r = Tasa de crecimiento anual.

Es un método usado en poblaciones donde se ve una actividad económica significativa, donde se evidencia desarrollo y áreas de expansión.

Método exponencial

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})} \quad k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Ecuación 3 Método exponencial

Nota. Tomado de RAS 2000

Pcp = Población censo posterior.

Pca= Población censo anterior.

Tcp = Tiempo censo posterior.

Tca = Tiempo censo anterior.

Este método se aplica para las poblaciones donde se aprecie desarrollo y existan áreas de expansión, para este método es necesario tener datos de tres censos.

Método de Wappus

$$P_f = P_{ci} \left[\frac{200 + i*(T_f - T_{ci})}{200 - i*(T_f - T_{ci})} \right] \quad i = \frac{200*(P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci})*(P_{uc} + P_{ci})}$$

Ecuación 4 Método Wappus

Nota. Tomado de López 2013

Pf = Población futura final.

Puc= Población último censo.

Pci= Población censo inicial.

Tuc = Tiempo último censo.

Tci = Tiempo censo inicial.

Tf = Tiempo final.

i = Tasa de crecimiento.

5.1.2 Demanda

Caudal medio diario (Qmd). Se define como el caudal medio que se calcula para la población proyectada incluyendo la dotación bruta asignada, siendo el promedio de los consumos diarios en un periodo de un año.

$$Qmd = (p .dbruta)/86400$$

Ecuación 5 Caudal medio diario

Nota. Tomado de López 2013

Caudal máximo diario (QMD). Es el consumo máximo que se registra en un tiempo de 24 horas durante un periodo de un año. Para calcularlo se multiplica el coeficiente de consumo diario *k1* por el caudal medio diario.

$$QMD = Qmd . k1$$

Ecuación 6 Caudal máximo diario

Nota. Tomado de López 2013

Para obtener el coeficiente *k1* se realiza una relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario en un periodo mínimo de un año. Para nuevos sistemas este coeficiente depende del nivel de complejidad del sistema.

Tabla 1

Coficiente de consumo k1

Nivel de complejidad del sistema	Coficiente de consumo máximo diario k1
Bajo	1.3
Medio	1.3
Medio alto	1.2
Alto	1.2

Nota. Tomado de RAS 2000

Caudal máximo horario. Es el consumo máximo que se registra en una hora en un periodo de un año en el que no se tiene en cuenta el caudal de incendio. Para calcularlo se multiplica el caudal máximo diario por el coeficiente de consumo máximo horario k_2 .

$$QMH = QMD \cdot k_2$$

Ecuación 7 Caudal máximo horario

Nota. Tomado de López 2013

Para calcular k_2 se relaciona QMH y QMD durante un periodo mínimo de un año y sin incluir los días en que el servicio falle. El nivel de complejidad del sistema y el tipo de red de distribución son dos factores que influyen para seleccionar k_2 en nuevos acueductos.

Tabla 2

Coeficiente de consumo k_2

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.50	1.45	1.40
Alto	1.50	1.45	1.40

Nota. Tomado de RAS 2000

5.1.3 Tanque de almacenamiento

Debido a que el consumo de agua de la población no es constante, sino que, por el contrario, varía según la hora del día, y dado que el suministro es un caudal constante (caudal máximo diario), es necesario la construcción de un tanque regulador (López, 2003). Los tanques pueden ser superficiales, semienterrados o enterrados, en algunos casos se requieren tanques elevados lo cual implica un tanque de succión y una estación de bombeo, estos son diseñados para el volumen horario demandado por la comunidad.

Tanque semienterrado. Los tanques semienterrados son aquellos en la que una porción de la construcción se encuentra bajo el nivel del terreno y otra parte sobre éste. La construcción de este tipo de depósito está definida por razones de topografía o cuando el costo de excavación es muy alto y permiten un acceso a las instalaciones más fácil que el de los depósitos totalmente enterrados.

Numero de tanques y periodo de diseño. El número de tanques debe establecerse con posterioridad al cálculo del volumen requerido para la regulación de la demanda de la población, la atención de incendios y el cumplimiento de la presión de diseño de la red de distribución. Para poblaciones pequeñas, el tanque puede ser de compartimiento sencillo, pero se recomienda que para ciudades intermedias y mayores el tanque sea como mínimo de compartimiento doble. Igualmente, el número de tanques y el número de compartimientos dependerá del periodo de diseño, el cual se encuentra entre 25 y 30 años (López, 2003).

Método de la curva integral. A partir de la curva de distribución horaria se define la curva integral, teniendo en cuenta los valores del consumo acumulado en un periodo de 24 horas. Esta curva es siempre ascendente, la pendiente en cualquier punto representa el consumo instantáneo y la coordenada en cualquier punto representa el consumo total hasta ese momento.

Una vez determinada la curva integral del consumo se debe establecer la curva del suministro, la cual depende del tipo de tanque que se tenga, si es por gravedad o por bombeo.

Volumen del tanque. Para el cálculo del volumen del tanque es necesario conocer el volumen para regulación de la demanda doméstica (consumo diario) y el porcentaje del consumo máximo diario. Para hallar el volumen se hace mediante la siguiente ecuación:

$$V = 1,2 * \% \text{ Consumo maximo diario} * \text{Volumen para regulaci3n de la demanda domestica (consumo diario)}$$

Ecuaci3n 8 Volumen del tanque

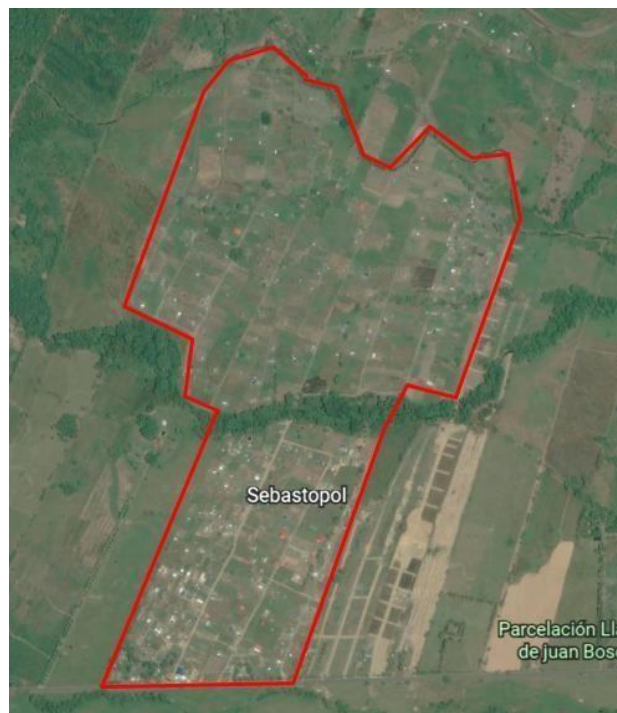
5.2. Marco geográfico

5.2.1 Localización

Villavicencio es una ciudad colombiana, capital del departamento del Meta, y es el centro comercial más importante de los Llanos Orientales. Está situada en el Piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en la margen izquierda del río Guatiquía y cuenta con una población urbana de 452.472 habitantes en 2010. (Alcaldía de Villavicencio, 2021).

La vereda Juan Bosco está ubicada hacia el oriente de la ciudad de Villavicencio, por la vía Catama a una distancia de 15.5km desde el hotel El Campanario, se encuentra cerca al río Guatiquia, la cual se encuentra distribuidas en 8 sectores (Piñeras 1 y 2, Maderas 1 y 2, Marlon, Andy, La Esperanza y Alex). Se encuentra en zona de amenaza sísmica alta.

Figura 1 Ubicación de la vereda



Nota. Tomado de Google earth

5.2.2 Temperatura

Debido a su cercanía a la línea del ecuador y su baja altitud, comparte el clima monzónico Am, la ciudad tiene un clima cálido con temperaturas desde la mínima 20 °C, hasta la máxima 39 °C, anuales promedio durante el día que van desde 21 hasta 36 grado Celsius. La temperatura guarda cierta relación con la precipitación, de manera que los meses más calurosos son aquellos en que la lluvia es menor, en especial febrero y marzo, en los cuales la temperatura máxima sobrepasa en la zona urbana los 35 °C, y los meses más frescos son aquellos considerados como los meses más lluviosos, en enero mayo y julio siendo la temperatura máxima alrededor de 29 y 32 °C. (IDEAM, 2015)

5.2.3 Precipitación

La temperatura promedio en Villavicencio es 24.0 °C. La precipitación es de 1120 mm al año.

El valor más bajo de la humedad relativa se mide en febrero (60.51 %). La humedad relativa es más alta en mayo (79.43 %).

En promedio, la menor cantidad de días lluviosos se mide en enero (5.40 días) el promedio de este mes es 32 mm, el mes con más días lluviosos es mayo (20.00 días), y la mayor cantidad de precipitación ocurre en abril, con un promedio de 176 mm.

Figura 2 Datos temperatura, precipitación y humedad (1991-2021)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	24.4	25.1	25	24.1	23.7	23.2	23	23.8	24.5	24.2	23.7	23.9
Temperatura min. (°C)	19.6	20.3	20.5	20.3	20.1	19.7	19.4	19.5	19.7	19.7	19.5	19.4
Temperatura máx. (°C)	29.6	30.4	29.8	28.3	27.5	26.9	26.9	28.2	29.3	28.8	28.1	28.6
Precipitación (mm)	32	42	93	176	157	100	81	42	44	127	162	64
Humedad(%)	64%	61%	67%	77%	79%	78%	76%	72%	69%	75%	79%	74%
Días lluviosos (días)	4	5	9	13	15	14	12	9	9	11	12	7
Horas de sol (horas)	9.3	9.4	9.3	9.0	8.8	9.0	9.2	9.9	10.0	9.4	8.8	9.1

Nota. Tomado de <https://es.climate-data.org/>

5.2.4 Amenaza sísmica

El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2009) y la Norma Colombiana de Construcciones Sismo resistentes (NSR-10), clasifican el territorio de Villavicencio como una zona de amenaza sísmica alta.

Los valores de la aceleración pico efectiva (A_a) y especialmente de la aceleración para el Umbral de Daño (A_d) que deben ser usadas en el diseño y construcción de edificaciones vitales como hospitales, iglesias, escuelas, subestaciones, plantas eléctricas y plantas de tratamiento de agua, entre otras, son de 0,30 y 0,03 respectivamente.

5.2.5 Descripción de la infraestructura existente

Actualmente la Vereda Juan Bosco no cuenta con un tanque de almacenamiento para toda la población de la comunidad, tampoco cuenta con un sistema de acueducto o alcantarillado de la ciudad de Villavicencio, por este motivo los habitantes de esta vereda construyen sus propios aljibes para obtener el agua que será consumida en la vivienda mediante captaciones subterráneas y también realizan su propio pozo séptico para depositar los residuos líquidos.

5.3. Estado del arte

Tabla 3

Descripción del estado de arte

Titulo	Descripción	Referencia bibliográfica
Diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, Casillas, Santa Rosa.	Este trabajo de grado para título de maestría habla sobre la realización de una propuesta de diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, para mejorar el servicio municipal de agua en Casillas, Santa Rosa. En este trabajo se realiza un estudio de la situación actual del sistema de captación y purificación en el municipio, dando a conocer un panorama preliminar para la propuesta de diseño. Se obtienen los resultados mediante la realización de trabajos de campo en el área de captación, en este proyecto se plantean las dimensiones del tanque, la capacidad óptima de este, sus materiales y su sistema constructivo; proponiendo el uso de mampostería de piedra, pegada con mortero, alisando los muros internos	<i>Hernández Choc, M. (2017). Diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, Casillas, Santa Rosa. Guatemala.</i>

Tabla 3 Continuación

Titulo	Descripción	Referencia bibliográfica
<p>Construcción Tanque Centro Poblado Barro Blanco Entrerriós Antioquia</p>	<p>para evitar cualquier infiltración o contaminación del agua. La base del tanque se construirá con concreto armado al igual que la tapa, buscando aislar totalmente los agentes externos.</p> <p>Este trabajo de grado para título de especialización habla sobre la construcción del Tanque de Almacenamiento de Agua Potable para Acueducto del Centro Poblado Barro Blanco en el Municipio Entrerriós, Antioquia. Se busca diseñar el sistema de almacenamiento de agua potable integrado al sistema de acueducto, ejecutando los trabajos de obra civil, instalaciones y de estructura de acuerdo con el diseño del sistema de almacenamiento de agua potable. También se busca efectuar las pruebas de presión para verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño del sistema construido. En este proyecto se plantea una estimación de costos de las actividades involucradas en la construcción del tanque, que van desde la recolección de información preliminar hasta la construcción, monitoreo y entrega final del proyecto. Este tanque de reserva se ubica en una zona alejada del casco urbano, con un terreno en ladera, tiene una cimentación en concreto reforzado con capacidad de soportar cargas vivas y muertas ocasionadas por el peso del agua, la estructura, vientos y posibles sismos. El tanque tiene una capacidad de 45 m3 construido en acero, con una estructura de soporte compuesta por perfiles de acero estructural, y una bomba auxiliar propulsada por motor. Se ubica en un punto bastante alto con relación a las viviendas para realizar el suministro a través de gravedad reduciendo el tiempo de bombeo de agua.</p>	
<p>Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m3</p>	<p>Este trabajo de grado, trata sobre el análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto reforzado, que cuenta con una capacidad de 2000 m3 de almacenamiento de agua. Es un tanque elevado tipo intze, el cual cuenta con un análisis dinámico y estático, teniendo en cuenta que el suelo es rígido y se encuentra localizado en la ciudad de Lima. En el análisis dinámico se usó el esquema de isoaceleraciones espectrales para el cálculo de espectro de respuesta sísmica obteniendo como resultado un periodo de $T=4.01s$ y una cortante de $V=1496.68\text{Ton-f}$. Por otra parte, el análisis estático se realizó el modelamiento en el software SAP2000, con las combinaciones</p>	<p><i>Coral Carrera, K. & Fernandez Arana, S. (2018). Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m3. Lima, Perú.</i></p>

Tabla 3 Continuación

Titulo	Descripción	Referencia bibliográfica
Diseño del tanque de almacenamiento en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua	<p>de cargas respectivas de las normas ACI318, ACI370 y E060, dando como resultado un desplazamiento máximo en el eje x de 0,041m.</p> <p>Este proyecto se enfoca en el diseño del tanque del cantón Tisaleo ubicado en la provincia de Tungurahua, con la finalidad de satisfacer el servicio básico de agua potable a los habitantes del sector teniendo en cuenta los diferentes parámetros de diseño y las características geológicas de la zona. La estructura del tanque consiste básicamente en una losa de cimentación, paredes y tapa en concreto reforzado de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se considero el acero de refuerzo con un límite de fluencia de 4200 Kg/cm² para toda la estructura y el hormigón con una resistencia de 210 Kg/cm²</p>	<p><i>Moreta Capuz, J. S. (2022). Análisis del sistema de agua potable enfocado al diseño del tanque de almacenamiento y ampliación de la red de distribución desde la comunidad El Chilco hasta el caserío San Antonio, en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil).</i></p>

Nota. Recolección de trabajos de investigación relacionados con el tema. (2022).

6. Metodología

- Fase I

Realizar reunión con la presidenta de la junta de acción comunal de la vereda Juan Bosco y realizar encuestas a la comunidad para conocer la problemática y la necesidad que tienen.

- Fase II

Dar a conocer la propuesta planteada para el diseño del tanque de almacenamiento, realizar la preparación del anteproyecto y definir el alcance del proyecto.

- Fase III

Hacer el diseño del tanque de almacenamiento con sus respectivos cálculos según la demanda de agua requerida por la población en un periodo de 25 años.

- Fase IV

Realizar los planos del tanque de almacenamiento de concreto reforzado según los videos del curso, una memoria de cantidades de materiales y costos.

- Fase IV

Hacer conclusiones y recomendaciones para los futuros trabajos relacionados con este tema.

Tabla 4

Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Determinar la necesidad de la comunidad frente a la obtención de agua para las viviendas.	Revisar mecanismos previos de la población utilizados para obtener agua en sus viviendas.	Realizar estudios previos, encuestas, entrevistas y charlas con las personas de esta vereda con el fin de establecer los recursos disponibles y la fuente de captación del proyecto.	Comunidad académica. Sociedad general.
Realizar un estudio de suelos en el lugar donde se localizó el tanque de almacenamiento	Hacer el estudio de suelos con la ayuda de la comunidad	Hacer la respectiva excavación para obtener las muestras del suelo que serán estudiadas para determinar si se puede realizar el tanque allí.	Comunidad académica. Sociedad general.

Tabla 4*Continuación*

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Realizar la memoria de cálculos del diseño del tanque de almacenamiento para la comunidad	Realizar los cálculos que se requieren para el diseño de un tanque de almacenamiento de agua.	Hacer los respectivos cálculos en Excel según la población actual, población a futuro, altura del municipio y caudal requerido.	Comunidad académica.
Realizar los planos del tanque de almacenamiento en SAP2000, los cuales serán entregados a la comunidad.	Ver los videos del curso de diseño de tanques de almacenamiento y realizar los planos.	Según los videos del curso y las memorias de cálculo planteadas anteriormente, realizar el diseño en SAP2000 del tanque de almacenamiento	Comunidad académica.
Hacer en Excel la memoria de cantidades de materiales y sus respectivos costos.	Determinar la cantidad de materiales que se requieren para realizar la construcción del diseño previamente planteado.	Realizar una memoria con los materiales y los costos de cada uno de ellos para entregar un presupuesto a la comunidad.	Comunidad académica.

Nota. Esta tabla demuestra el objetivo de la metodología y la respectiva descripción de cada una de las actividades. (2022).

7. Cronograma o flujograma

Tabla 5

Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Revisión bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Entrevistas y charlas	x	x															
Recolección de información			x	x	x	x	x										
Estudio de suelos				x	x	x	x	x	x	x							
Realización de memoria de cálculos					x	x	x	x	x	x	x	x					
Realización de memoria de cantidad de materiales y costos										x	x	x	x				
Realización de planos														x	x	x	
Elaboración de documento final														x	x	x	x

Nota. Esta tabla muestra las semanas en las que se realizan cada una de las actividades. (2022)

8. Resultados

8.1. Proyección de población y caudal

De acuerdo a los cálculos hechos se estima con el método aritmético que la población de estudio para el año 2047 mu probablemente será de 5265 habitantes y tendrá un caudal medio diario (Qmd) de 12.51 l/s, un caudal máximo diario (QMD) de 16.27 l/s y un caudal máximo horario (QMH) de 26.03 l/s.

8.2. Diseño estructural del tanque semienterrado de almacenamiento de agua según NSR-10

8.2.1 Introducción

Diseño estructural de un tanque semienterrado de capacidad de 520 m³, localizado en Villavicencio- Meta, zona de amenaza sísmica ALTA, con los siguientes parámetros sísmicos:

Perfil de Suelo=D, Aa= 0.35, Av= 0.30, Fa= 1.15, Fv= 1.80, I= 1.50.

Se siguieron los lineamientos de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y del Código Americano del Concreto 350-06. Se manejaron las unidades en Ton-m.

8.2.2 Método de análisis

Modelo matemático tridimensional utilizando el software SAP2000. La presión dinámica del suelo ante una sollicitación sísmica para el tanque es calculada mediante método de Mononobe-Okabe. El método de diseño utilizado es el de la resistencia última.

8.2.3 Materiales y coeficiente de seguridad

Materiales

Concretos:

Concreto de limpieza: $f'c=14\text{MPa}$.

Concreto para zapatas, columnas y vigas: $f'c=31\text{Mpa}$.

Concreto para muros y losas de tanque:	$f'c=31\text{Mpa}$
Aceros:	
Acero para barras de refuerzo $\phi \geq 3/8''$	$f_y=420\text{MPa}$.
Acero para barras de refuerzo $\phi \leq 3/8''$	$f_y=240\text{MPa}$.
Módulo de elasticidad para concreto $f'c=31\text{Mpa}$:	$E = 23.384\text{MPa}$.
Módulo de elasticidad para el acero:	$E = 200.000\text{MPa}$.
Coefficientes de seguridad para diseño de concreto	
Secciones controladas por tracción	$\phi = 0.90$
Secciones controladas por compresión	
- Elementos con refuerzo en espiral según C.10.9.3	$\phi = 0.75$
- Otros elementos reforzados	$\phi = 0.65$
Cortante y torsión	$\phi = 0.75$
Aplastamiento en el concreto (excepto para anclajes de pos tensado y modelos puntales – tensor)	$\phi = 0.65$
Coefficientes de seguridad para diseño de acero	
Fluencia por tensión sobre el área bruta	$\phi\tau = 0.90$
Rotura por tensión sobre el área neta	$\phi\tau = 0.75$
Rotura por cortante sobre el área neta efectiva	$\phi\tau = 0.75$
Flexión	$\phi\beta = 0.90$
Cortante	$\phi\varpi = 0.90$
Torsión	$\phi\tau = 0.90$

8.2.4 Requisitos de durabilidad según NSR-10

Categoría y clase de exposición de acuerdo a la tabla C.4.2.1: la estructura se clasifica como C1 debido a que estará expuesta a la humedad.

Figura 3 Durabilidad

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO₄) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO₄) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	Moderada	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500 agua marina
	Severa	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 0.50	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Nota. Tomado de NSR-10

Requisitos para el concreto según la clase de exposición:

Relación a/mc máx.: 0.50. Contenido máximo de iones de cloruro soluble en agua en el concreto: 0.30 (porcentaje por peso de cemento).

Figura 4 Requisitos adicionales

Clase de Exposición	Rel. a/mc máx.±	f' _c min. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Límites en los cementantes
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F2	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F3	0.45	31	tabla C.4.4.1			tabla C.4.4.2
			Tipos de material cementante*			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	28	II ^{†‡}	IP(MS), IS(<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V [‡]	IP(HS), IS(<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V puzolanas o escoria [§]	IP(HS) y puzolanas o escoria [§] o IS(<70) (HS) y puzolanas o escoria [§]	HS y puzolanas o escoria [§]	No se permite
P0	N/A	17	Ninguna			
P1	0.50	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos relacionados	
			Concreto reforzado	Concreto Preesforzado		
C0	N/A	17	1.00	0.06	Ninguno	
C1	0.50	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06	7.7.6, 18.16 ^{**}	

Nota. Tomado de NSR-10

Protección de concreto para el refuerzo en estructuras ambientales

Figura 5 Protección del concreto

Condición			Concreto construido en sitio	Concreto prefabricado <small>Nota-1</small>	Concreto preesforzado vaciado en sitio
(a) Concreto vaciado contra la tierra y en permanente contacto con ella			75 mm	No aplica	75 mm
(b) Concreto expuesto a la tierra, líquidos, intemperie, o en losas que sostienen rellenos de tierra	Losas y viguetas		50 mm	40 mm	40 mm
	Vigas y columnas	Estribos y espirales	50 mm	40 mm	40 mm
		Refuerzo principal	65 mm	50 mm	50 mm
	Muros		50 mm	40 mm	40 mm
	Zapatillas y losas de base	Superficies vaciadas contra formaleta	50 mm	No aplica	No aplica
		Superficie superior de zapatas y losas de base	50 mm	No aplica	No aplica
Cascarones y losas plegadas		40 mm	25 mm	25 mm	
(c) Condiciones no cubiertas en (a) o (b)	Losas y viguetas	Barras No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menores	20 mm	20 mm ^{Nota-2}	20 mm
		Barras No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55 mm)	40 mm	40 mm ^{Nota-3}	40 mm
	Vigas y columnas	Estribos y espirales	40 mm	25 mm	25 mm
		Refuerzo principal	50 mm	40 mm	40 mm
	Muros	Barras No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menores	20 mm	20 mm ^{Nota-2}	20 mm
		Barras No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menores	40 mm	40 mm ^{Nota-3}	40 mm
	Cascarones y losas plegadas	Barras No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm), alambre MW30 o MD30 (6.2 mm de diámetro), o menores	13 mm	20 mm	20 mm
		Barras No. 6 (3/4") ó 20M (20 mm) y mayores	20 mm	25 mm	25 mm

Nota. Tomado de NSR-10

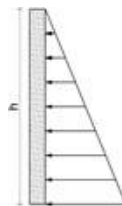
8.2.5 Características del suelo según estudio de Villavicencio

Tomado del estudio de suelos: Peso específico γ : 1.86 ton/m³, Cohesión: 7.63 ton/m², Angulo de fricción: 30°, K_o: 0.50, K_a: 0.33.

8.2.6 Evaluación de cargas

Presión hidrostática (F)

Figura 6 Presión hidrostática



Nota. Método Housner

$$F = \gamma_{AGUA} * h = 3.20 \text{ Ton/m}^2$$

Ecuación 9 Presión hidrostática

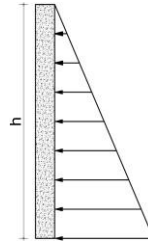
Nota. Método de Housner

$\gamma_{\text{agua}} = 1.000 \text{ Ton/m}^3$

$h = 3.20 \text{ m}$

Presión lateral del suelo (H)

Figura 7 Presión lateral del suelo



Nota. Método de Housner

$$H = \gamma_{\text{SUELO}} * K_O * h = \quad \mathbf{1.40 \text{ Ton/m}^2}$$

Ecuación 10 Presión hidrostática

Nota. Método de Housner

$\gamma_{\text{suelo}} = 1.86 \text{ Ton/m}^3$

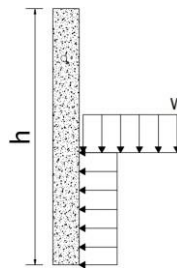
$K_O = 0.50$

$h = 1.50$

$\phi = 30^\circ$

Presión por sobrecarga W (L)

Figura 8 Presión por sobrecarga



Nota. Método de Housner

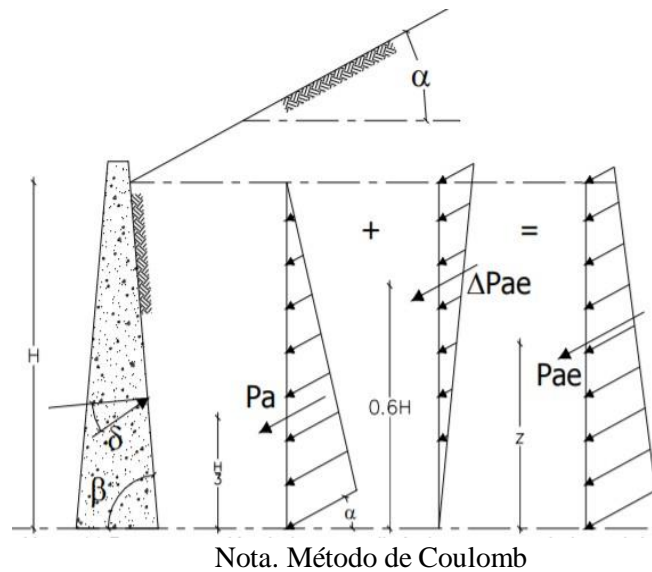
$$L = K_a * W = \quad \mathbf{.17 \text{ Ton/m}^2}$$

Ecuación 11 Presión por sobrecarga

Nota. Método de Housner

Presión dinámica del suelo (sismo). Se debe considerar la presión dinámica del suelo ante una sollicitación sísmica. Se usa el método de Mononobe-Okabe, basado en la teoría de la presión activa de Coulomb, en el que adicional al empuje estático del suelo se incluye el efecto dinámico como una carga triangular inversa a la carga estática.

Figura 9 Presión dinámica del suelo



Donde:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * (1 - k_v) * K_{ae}$$

Ecuación 12 Carga inversa

Nota. Método de Mononobe-Okabe

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\phi + Q - \theta)}{\cos \theta * \sin^2(Q) * \sin(Q - \theta - \delta) * T}$$

Ecuación 13 coeficiente

Nota. Método de Mononobe-Okabe

$$T = \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + Q) * \sin(\phi - \theta - a)}{\sin(Q - \delta - \theta) * \sin(a + Q)}} \right)^2$$

Ecuación 14

Nota. Método de Mononobe-Okabe

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

Ecuación 15

Nota. Método de Mononobe-Okabe

$$\gamma_{SUELO} = 1.86 \text{ Ton/m}^3$$

$$A_a = 0.35$$

$$h = 1.50 \text{ m}$$

$$K_h = 0.5 * A_a * F_a * I = 0.27$$

$$K_v = 0.7 * K_H = 0.19$$

$$K_a = 0.33$$

$$\phi = 30.0^\circ$$

$$Q = 90.0^\circ$$

$$\delta = \frac{2}{3} \phi = 20.0^\circ$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right) = 18.24^\circ$$

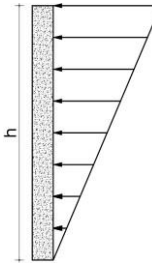
$$a = 0.0^\circ$$

$$T = \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + Q) * \sin(\phi - \theta - a)}{\sin(Q - \delta - \theta) * \sin(a + Q)}} \right)^2 = 2.173$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(Q + \phi - \theta)}{\cos \theta * \sin^2(Q) * \sin(Q - \theta - \delta) * T} = 0.591$$

$$K_{eq} = K_{ae} - K_a = 0.258$$

$$Sismo = \gamma_{SUELO} * K_{eq} * h = 0.720 \text{ Ton/m}^2$$



8.3. Análisis sísmico

El análisis sísmico se realizará por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente. El programa de análisis estructural SAP2000 realiza directamente el análisis sísmico utilizando. Las fuerzas elásticas de diseño construidas con los siguientes parámetros:

8.3.1 Generalidades

Localización: Villavicencio

Tipo de suelo: D (según estudio de suelos)

Grupo de importancia: 4 (edificaciones indispensables)

Zona de amenaza sísmica: Alta

Capacidad de disipación: DES (capacidad especial de disipación de energía)

8.3.2 Parámetros sísmicos

I	=	1.50	<i>Coficiente de Importancia</i>
Aa	=	0.35	<i>Coficiente de aceleración horizo</i>
Av	=	0.30	<i>Coficiente de veloc</i>
Fa	=	1.02	<i>Coficie</i>
Fv	=	1.50	
Ss	=		
S1			

8.3.3 Aceleración espectral de respuesta S_a :

Para periodos de vibración entre T_0 y $T_s = 0,82$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_S$$

Ecuación 16
Nota. Tomado de NSR-10

Para un periodo de 1 seg = 0.50

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1$$

Ecuación 17
Nota. Tomado de NSR-10

8.3.4 Cálculo de T_0 , T_c y T_L

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.12$$

Ecuación 18 T_0

Nota. Tomado de NSR-10

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.61$$

Ecuación 19 Ts

Nota. Tomado de NSR-10

8.3.5 Sismo X

Peso de la componente impulsiva W_i

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

Ecuación 20 Componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

WL= 600 ton

Wi= 110.9 Ton

HL= 3.20m

L= 20 m

Peso de la componente convectiva W_c

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

Ecuación 21 Componente convectiva

Nota. Tomado de ACI 350

WL= 600 ton

Wc= 461.8 Ton

HL= 3.20m

L= 20 m

Altura de la componente impulsiva h_i

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{H_L}$$

Ecuación 22 Componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 23 Componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$\frac{L}{H_L} = 6.25 \quad h_i = 1.20 \text{ m}$$

Altura de la componente convectiva h_c

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

Ecuación 24 Componente convectiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$\frac{L}{H_L} = 6.25 \quad h_c = 1.63 \text{ m}$$

Cálculo del periodo convectivo T_c

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

Ecuación 25

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 26

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 27 Periodo convectivo

Nota. Tomado de ACI 350

$$\lambda = 3.80 \quad T_c = 7.39 \text{ seg}$$

Cálculo de la rigidez del resorte convectivo K_c

$$K_c = \frac{5 W_L}{6 H_L} \tanh^2 \left(\sqrt{10} \frac{H_L}{L} \right)$$

Ecuación 28 Rigidez

Nota. Tomado de ACI 350

$$K_c = 34.05$$

Factores de amplificación espectral

$$C_i = S_{ds} = 0.816$$

$$\text{Para } T_c \leq \frac{1.60}{T_z}$$

$$C_e = \frac{1.5 S_{1.0}}{T_c} \leq 1.5 S_{DS}$$

Ecuación 29 Amplificación espectral
Nota. Tomado de ACI 350

$$\text{Para } T_c \geq \frac{1.60}{T_z}$$

$$C_e = \frac{2.4 S_{DS}}{T_c^2}$$

Ecuación 30 Amplificación espectral
Nota. Tomado de ACI 350

$$C_c = 0.036$$

$$C_t = 0.4 * S_{ds} = 0.326$$

Altura libre para oleaje

$$d_{\max} = \frac{L}{2} C_e I$$

Ecuación 31 Altura libre
Nota. Tomado de ACI 350

$$I = 1.50$$

$$d_{\max} = 0.5 \text{ m}$$

Cargas dinámicas de diseño

$$R_i = 2$$

$$R_c = 1$$

Fuerza impulsiva**Figura 10** Diagrama fuerza impulsiva

$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i}$$

Ecuación 32 Fuerza impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$y = 0 \text{ m}$$

$$y = 3.2 \text{ m}$$

$$B = 9.4 \text{ m}$$

$$P_i = 67.8 \text{ Ton}$$

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

Ecuación 33 Fuerza impulsiva y

Nota. Tomado de ACI 350

$$P_{iy} = 1.97 \text{ Ton/m}^2$$

$$p_{iy} = 0.28 \text{ Ton/m}^2$$

Fuerza convectiva**Figura 11** Diagrama fuerza convectiva

$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c}$$

Ecuación 34 Fuerza convectiva

Nota. Tomado de ACI 350

P_c= 24.8 Ton

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

Ecuación 35 Fuerza convectiva y

Nota. Tomado de ACI 350

y= 0 m

y= 3.2 m

B= 9.40 m

P_{cy}= 0.39 Ton/m²P_{cy}= 0.44 Ton/m²**Fuerza inercial de cubierta**

$$P_r = I C_i \frac{W_r}{R_i}$$

Ecuación 36 Fuerza inercial

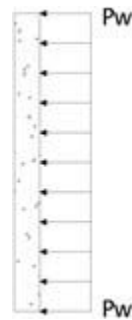
Nota. Tomado de ACI 350

Figura 12 Diagrama fuerza inercial

$$e = 0.30\text{m}$$

$$W_r = 135.4 \text{ Ton}$$

$$P_r = 82.8 \text{ Ton}$$

Fuerza inercial lateral del muro**Figura 13** Diagrama fuerza lateral muro

$$P'_w = I C_i \varepsilon \frac{W'_w}{R_i}$$

Ecuación 37 Fuerza inercial del muro

Nota. Tomado de ACI 350

$$e = 0.35$$

$$W_w = 25.3 \text{ Ton}$$

$$\varepsilon = 0.991$$

$$B = 9.40 \text{ m}$$

$$P_w = 15.3 \text{ Ton}$$

$$P'_{wy} = \frac{P'_w}{H_w B}$$

Ecuación 38 Fuerza inercial del muro y

Nota. Tomado de ACI 350

$$P'_{wy} = 0.51 \text{ Ton/m}^2$$

Aceleración vertical del líquido

Figura 14 Diagrama vertical



$$p_{vy} = \ddot{u}_v q_{hy}$$

Ecuación 39 Aceleración vertical

Nota. Tomado de ACI 350

$$\ddot{u}_v = C_t \cdot I \cdot \frac{b}{R_{wi}}$$

Ecuación 40

Nota. Tomado de ACI 350

$$q_{hy} = 3.20 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_{hy} = 0.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$\ddot{u}_v = 0.163$$

$$P_{vy} = 0.52 \text{ Ton/m}^2$$

$$P_{vy} = 0.0 \text{ Ton/m}^2$$

El cortante basal resultante de las fuerzas sísmicas aplicadas en la base del muro del tanque se calcula utilizando el método aproximado de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (En SAP 2000 SRSS).

$$V = \sqrt{(P_l + P_w + P_r)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2}$$

Ecuación 41 Cortante

$$M_b = \sqrt{(M_l + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$$

Ecuación 42 Momento

8.3.6 Sismo Y

Peso de la componente impulsiva W_i

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

Ecuación 43 Peso componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

$W_L = 600$ ton

$W_i = 233$ Ton

$H_L = 3.20$ m

$L = 9.40$ m

Peso de la componente convectiva W_c

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

Ecuación 44 Peso componente convectiva

Nota. Tomado de ACI 350

$W_L = 600$ ton

$W_c = 368.3$ Ton

$H_L = 3.20$ m

$L = 9.40$ m

Altura de la componente impulsiva h_i

$$\frac{L}{H_L} < 1.333 \quad \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{H_L}$$

Ecuación 45 Altura componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 46 Altura componente impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$\frac{L}{H_L} = 2.94$$

$$h_i = 1.20 \text{ m}$$

Altura de la componente convectiva h_c

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

Ecuación 47 Altura componente convectiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$\frac{L}{H_L} = 2.94 \quad h_c = 1.74 \text{ m}$$

Cálculo del periodo convectivo T_c

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

Ecuación 48

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 49

Nota. Tomado de ACI 350

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

Ecuación 50 Periodo convectivo

Nota. Tomado de ACI 350

$$\lambda = 4.95 \quad T_c = 3.89 \text{ seg}$$

Cálculo de la rigidez del resorte convectivo K_c

$$K_c = \frac{5 W_L}{6 H_L} \tanh^2 \left(\sqrt{10} \frac{H_L}{L} \right)$$

Ecuación 51 rigidez resorte convectivo

Nota. Tomado de ACI 350

$$K_c = 97.99$$

Factores de amplificación espectral

$$C_i = S_d = 0.816$$

$$\text{Para } T_c \leq \frac{1.60}{T_s}$$

$$\text{Para } T_c \geq \frac{1.60}{T_s}$$

$$C_c = \frac{1.5S_{1.0}}{T_c} \leq 1.5S_{DS}$$

$$C_c = \frac{2.4S_{DS}}{T_c^2}$$

$$C_c = 0.130$$

$$C_t = 0.4 * S_{ds} = 0.326$$

Cargas dinámicas de diseño

$$R_i = 2$$

$$R_c = 1$$

Fuerza impulsiva

Figura 15 Fuerza impulsiva



$$P_i = I C_i \frac{W_i}{R_i}$$

Ecuación 53 Fuerza impulsiva

Nota. Tomado de ACI 350

$$y = 0 \text{ m}$$

$$y = 3.2 \text{ m}$$

$$B = 20 \text{ m}$$

$$P_i = 142.6 \text{ Ton}$$

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

Ecuación 54 Fuerza impulsiva y

Nota. Tomado de ACI 350

$$P_{iy} = 1.95 \text{ Ton/m}^2$$

$$p_{iy} = 0.28 \text{ Ton/m}^2$$

Fuerza convectiva

Figura 16 Diagrama fuerza convectiva



$$P_c = I C_c \frac{W_c}{R_c}$$

Ecuación 55 Fuerza convectiva
Nota. Tomado de ACI 350

Pc= 71.6 Ton

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

Ecuación 56 Fuerza convectiva y
Nota. Tomado de ACI 350

y= 0 m

y= 3.2 m

B= 20 m

Pcy= 0.41 Ton/m²

Pcy= 0.70 Ton/m²

Fuerza inercial de cubierta

$$P_r = I C_i \frac{W_r}{R_i}$$

Ecuación 55 Fuerza convectiva
Nota. Tomado de ACI 350

Figura 17 Fuerza inercial de cubierta



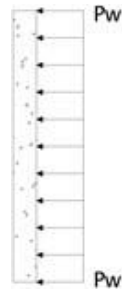
e= 0.30m

Wr= 135.4 Ton

Pr= 82.8 Ton

Fuerza inercial lateral del muro

Figura 18 Diagrama fuerza lateral



$$P'_w = I C_i \varepsilon \frac{W'_w}{R_i}$$

Ecuación 56 Fuerza inercial lateral

Nota. Tomado de ACI 350

$$e = 0.35$$

$$W_w = 53.8 \text{ Ton}$$

$$\varepsilon = 1.0$$

$$B = 20 \text{ m}$$

$$P_w = 32.9 \text{ Ton}$$

$$p'_{wy} = \frac{P'_w}{H_w B}$$

$$P'_{wy} = 0.51 \text{ Ton/m}^2$$

Ecuación 57 Fuerza inercial lateral y

Nota. Tomado de ACI 350

Aceleración vertical del líquido

Figura 19 Diagrama aceleración



$$p_{vy} = \ddot{u}_v q_{hy}$$

Ecuación 58 Aceleración vertical

Nota. Tomado de ACI 350

$$\ddot{u}_y = C_r \cdot I \cdot \frac{b}{R_{mf}}$$

Ecuación 59

Nota. Tomado de ACI 350

$$q_{hy} = 3.20 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_{hy} = 0.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$\ddot{U}_v = 0.163$$

$$P_{vy} = 0.52 \text{ Ton/m}^2$$

$$P_{vy} = 0.0 \text{ Ton/m}^2$$

El cortante basal resultante de las fuerzas sísmicas aplicadas en la base del muro del tanque se calcula utilizando el método aproximado de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (En SAP 2000 SRSS)

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

Ecuación 60 Cortante

$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$$

Ecuación 61 Momento

Resumen de presiones ejercidas en el tanque

Tabla 6*Resumen de presiones*

Presión	Valor (Ton/m ²)	Forma
Hidrostática	3.20	Triangular
Lateral del suelo	1.40	Triangular
Sobrecarga	0.17	Lineal
Dinámica del suelo	0.72	Triangular

Espectro elástico de aceleraciones de diseño

T (seg)	Sa (g)
0	0.33
0.05	0.53
0.12	0.82
0.2	0.82
0.3	0.82
0.4	0.82
0.5	0.82
0.61	0.82
0.7	0.71
0.8	0.63
0.9	0.56
1	0.50
1.2	0.42
1.4	0.36
1.6	0.31
1.8	0.28
1.9	0.26
1.98	0.25
2.2	0.23
2.4	0.21
2.6	0.19
2.8	0.18
3	0.17
3.5	0.14
4	0.13

Tabla 11.4-1 de ASCE 7-10
Coeficiente de sitio F_s

Tipo de Perfil	Valor obtenido de los mapas para el Máximo Sismo Considerado (MCE _s) para el parámetro espectral de aceleraciones de período corto				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Véase la Sección 11.4.7 de ASCE 7-10				

Nota: se permite interpolar linealmente para valores intermedios de S_S

Tabla 11.4-2 de ASCE 7-10
Coeficiente de sitio F_v

Tipo de Perfil	Valor obtenido de los mapas para el Máximo Sismo Considerado (MCE _s) para el parámetro espectral de aceleraciones de un segundo				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.9	2.4	2.4
F	Véase la Sección 11.4.7 de ASCE 7-10				

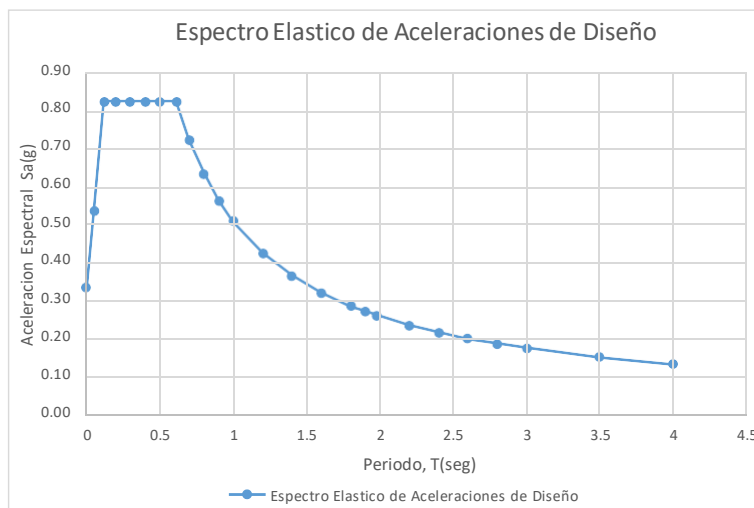
Nota: se permite interpolar linealmente para valores intermedios de S_1

I^*	=	1.00
T_0	=	0.12
T_s	=	0.61
T_L	=	4

S_{ds}	=	0.82
S_{d1}	=	0.50

*Se toma 1.00 debido a que se incluye en los calculos de las cargas dinamicas

Figura 20 Espectro elástico de aceleraciones



8.4. Diseño de losas

8.4.1 Diseño de losa superior

Materiales

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 310 \text{ kg/cm}^2$

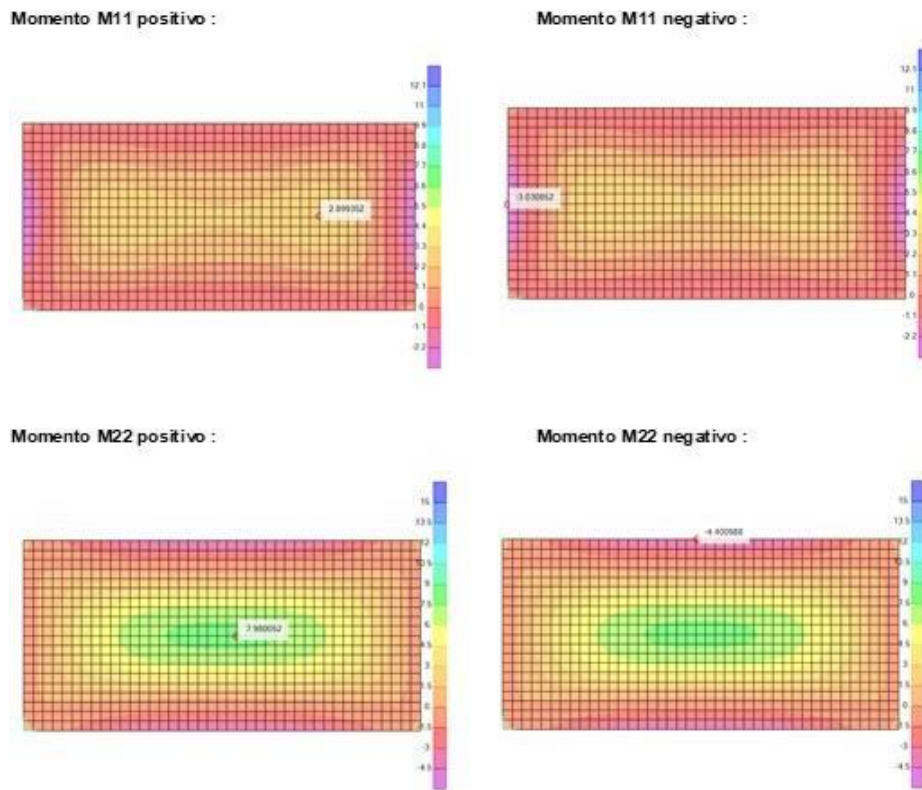
Diseño por metro de ancho

$b = 100 \text{ cm}$ $e = 30 \text{ cm}$ $d_{\text{ext}} = 25 \text{ cm}$ $d_{\text{int}} = 22.5 \text{ cm}$

Momentos

Debido a todas las cargas impuestas en la estructura, mediante el programa SAP2000 se calculan los respectivos momentos positivos y negativos generados por estas, para determinar la cantidad de acero, esto se hace para cada elemento del tanque

Figura 21 Momentos



	M_u	ρ_{cal}	ρ_{min}	ρ_{def}	A_{sdef}^*	#barra	s
M11 (+)	2.90 Ton.m	0.0020	0.0030	0.0030	9.0 cm ²	#5	22 cm
M11 (-)	3.03 Ton.m	0.0021	0.0030	0.0030	9.0 cm ²	#5	22 cm
M22 (+)	7.98 Ton.m	0.0035	0.0030	0.0035	7.8 cm ²	#5	25 cm
M22 (-)	4.40 Ton.m	0.0025	0.0030	0.0030	9.0 cm ²	#5	22 cm

*Si $\rho_{def} = \rho_{min} A_s = \rho * b * e$; si $\rho_{def} \neq \rho_{min} A_s = \rho * b * d$

Chequeo fs max=

$$f_s = \frac{57000}{\beta \sqrt{s^2 + 4(50 + \frac{d_b}{2})^2}} \quad (C.23 - 2)$$

$$\beta = 1.35 \quad (C.23 - C.10.6.4.4)$$

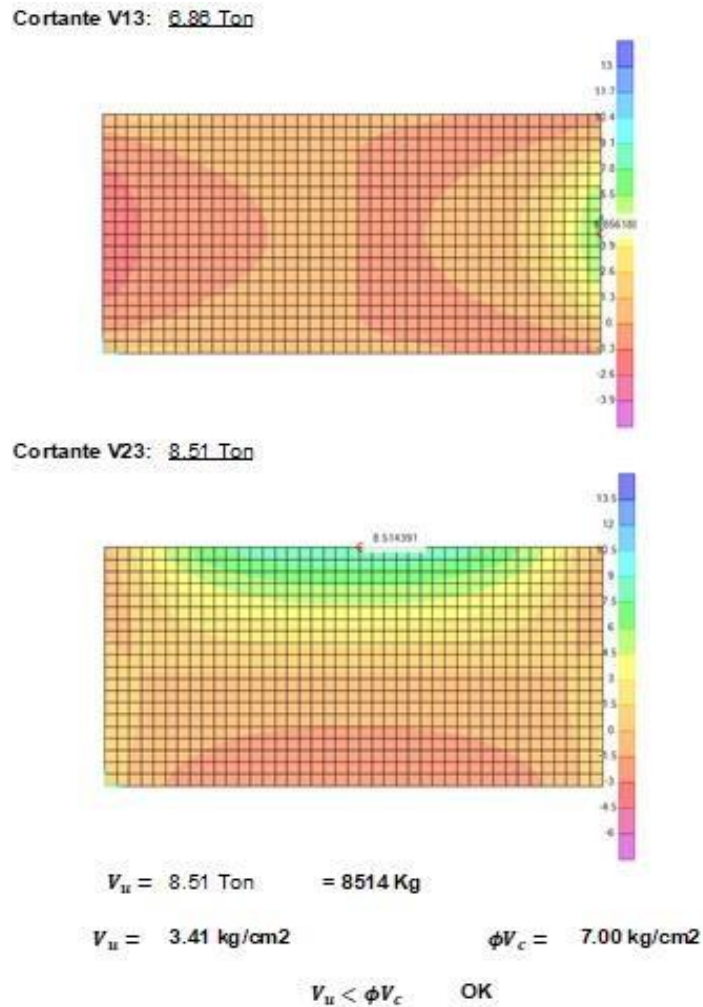
$$4(50 + \frac{d_b}{2})^2 = 15625 \quad (C.23 - C.10.6.4.3)$$

f_s		
166 MPa	<250 MPa	Cumple
166 MPa	<250 MPa	Cumple
149 MPa	<250 MPa	Cumple
166 MPa	<250 MPa	Cumple

Revisión a cortante

Debido a todas las cargas impuestas en la estructura, mediante el programa SAP2000 se calculan los respectivos cortantes y así determinar que la verificación cumple. Esto se hace en cada elemento del tanque.

Figura 22 Cortantes



8.4.2 Diseño de losa inferior

Materiales

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \quad f_c = 310 \text{ kg/cm}^2$$

Diseño por metro de ancho

b= 100 cm

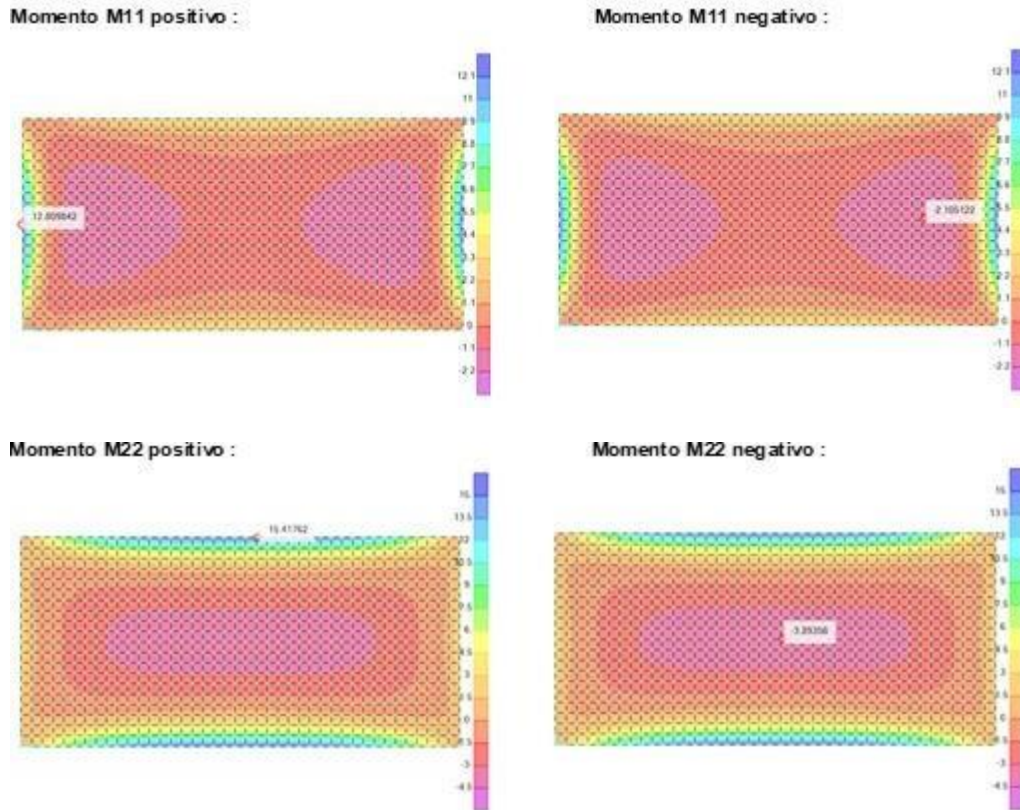
e= 50 cm

d ext= 45 cm

d int= 42.5 cm

Momentos

Figura 23 Momentos



	M_{II}	ρ_{cal}	ρ_{min}	ρ_{def}	A_{sdef}^*	#barra	s
M11 (+)	12.81 Ton.m	0.0025	0.0030	0.0030	15.0 cm ²	#8	19 cm
M11 (-)	2.11 Ton.m	0.0004	0.0030	0.0030	15.0 cm ²	#8	19 cm
M22 (+)	15.42 Ton.m	0.0027	0.0030	0.0030	15.0 cm ²	#8	19 cm
M22 (-)	3.89 Ton.m	0.0007	0.0030	0.0030	15.0 cm ²	#8	19 cm

*Si $\rho_{def} = \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * e$; si $\rho_{def} \neq \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * d$

Chequeo f_s max=

$$f_s = \frac{57000}{\beta \sqrt{s^2 + 4\left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2}} \quad (C.23 - 2)$$

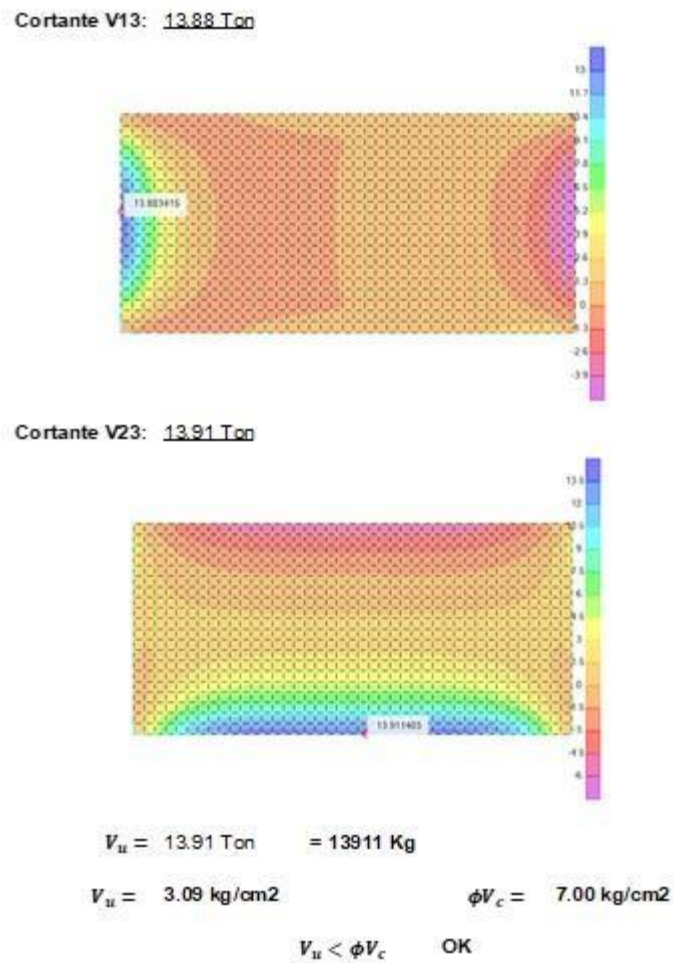
$$\beta = 1.2 \quad (C.23 - C.10.6.4.4)$$

$$4\left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2 = 15625 \quad (C.23 - C.10.6.4.3)$$

f_s		
209 MPa	<250 MPa	Cumple
209 MPa	<250 MPa	Cumple
209 MPa	<250 MPa	Cumple
209 MPa	<250 MPa	Cumple

Revisión a cortante

Figura 24 Cortantes



8.5. Diseño de muros

8.5.1 Diseño de muro en sentido X

Materiales

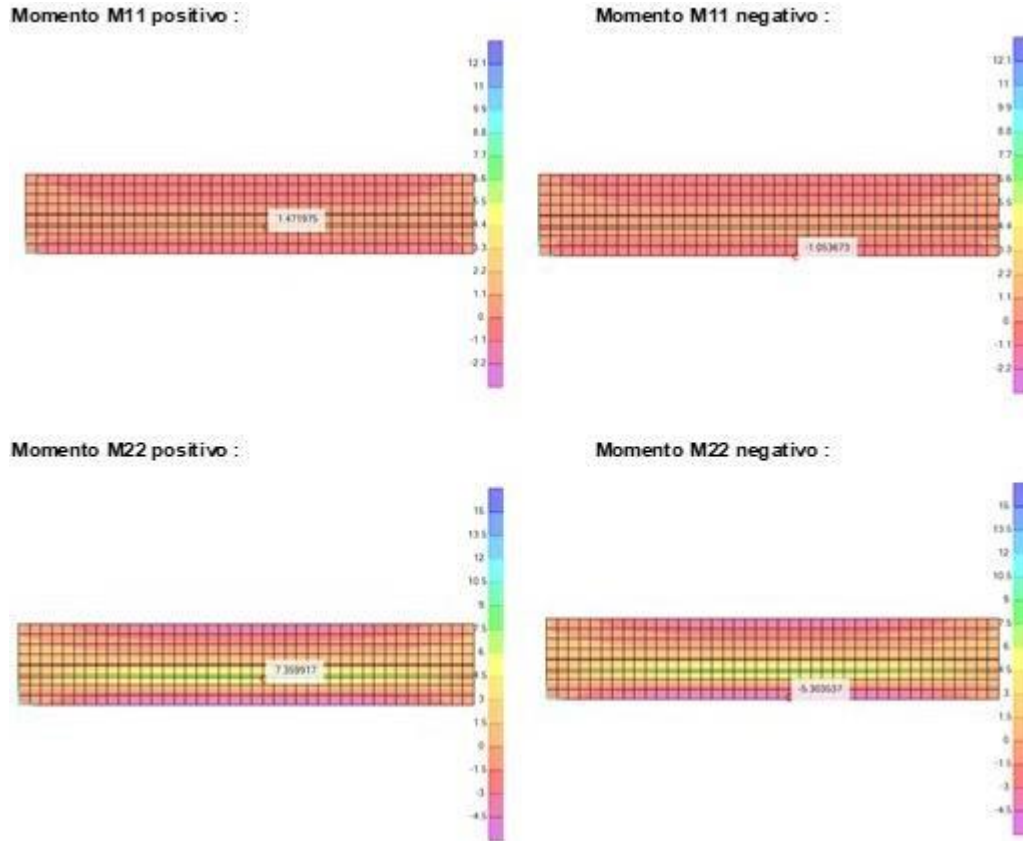
$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \quad f'_c = 310 \text{ kg/cm}^2$$

Diseño por metro de ancho

$$b = 100 \text{ cm} \quad e = 35 \text{ cm} \quad d_{\text{ext}} = 30 \text{ cm} \quad d_{\text{int}} = 27.5 \text{ cm}$$

Momentos

Figura 25 Momentos



	M_{11}	ρ_{cal}	ρ_{min}	ρ_{def}	A_{sdef}	#barra	s
M11 (+)	1.47 Ton.m	0.0007	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M11 (-)	1.05 Ton.m	0.0005	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M22 (+)	7.36 Ton.m	0.0029	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M22 (-)	5.30 Ton.m	0.0021	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm

*Si $\rho_{def} = \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * e$; si $\rho_{def} \neq \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * d$

Chequeo fs max

$$f_s = \frac{57000}{\beta \sqrt{s^2 + 4(50 + \frac{d_b}{2})^2}} \quad (C.23 - 2)$$

$$\beta = 1.35 \quad (C.23 - C.10.6.4.4)$$

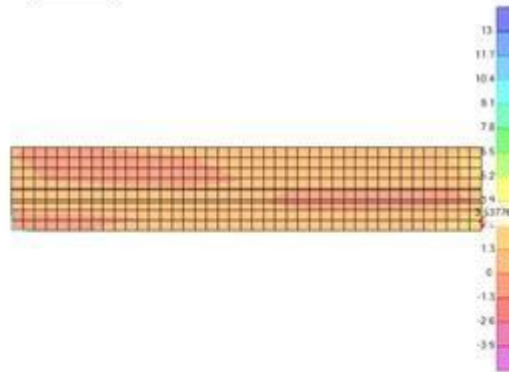
$$4(50 + \frac{d_b}{2})^2 = 15625 \quad (C.23 - C.10.6.4.3)$$

f_s		
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple

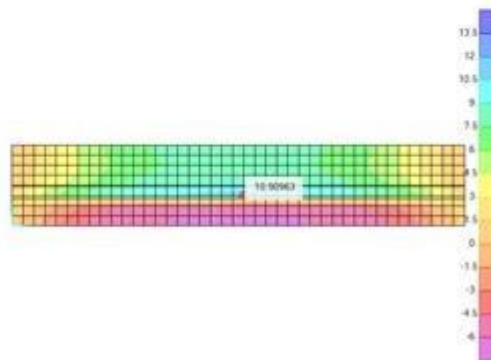
Revisión a cortante

Figura 26 Cortantes

Cortante V13: 3.54 Ton



Cortante V23: 10.91 Ton



$$V_u = 10.91 \text{ Ton} = 10909 \text{ Kg}$$

$$V_u = 3.64 \text{ kg/cm}^2 \quad \phi V_c = 7.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u < \phi V_c \quad \text{OK}$$

8.5.2 Diseño de muro en sentido Y

Materiales

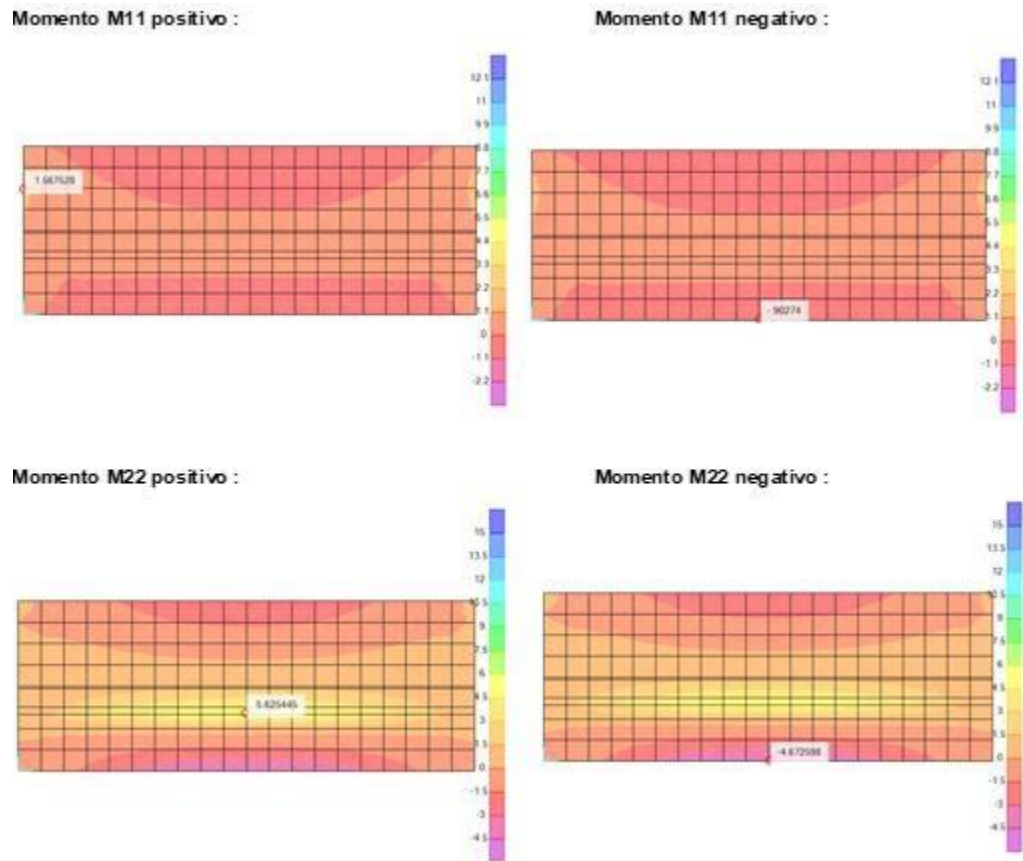
$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 310 \text{ kg/cm}^2$

Diseño por metro de ancho

$b = 100 \text{ cm}$ $e = 35 \text{ cm}$ $d_{\text{ext}} = 30 \text{ cm}$ $d_{\text{int}} = 27.5 \text{ cm}$

Momentos

Figura 27 Momentos y



	M_u	ρ_{cal}	ρ_{min}	ρ_{def}	A_{sdef}	#barra	S
M11 (+)	1.57 Ton.m	0.0007	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M11 (-)	.90 Ton.m	0.0004	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M22 (+)	5.63 Ton.m	0.0022	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm
M22 (-)	4.67 Ton.m	0.0019	0.0030	0.0030	10.5 cm ²	#5	19 cm

*Si $\rho_{def} = \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * e$; si $\rho_{def} \neq \rho_{min}$ $A_s = \rho * b * d$

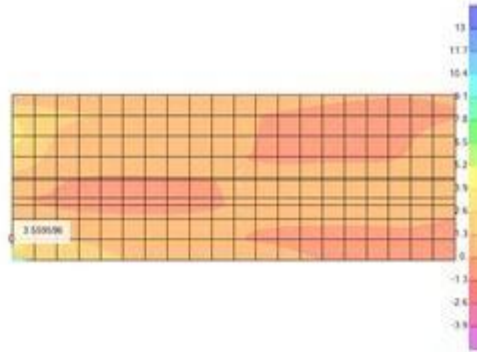
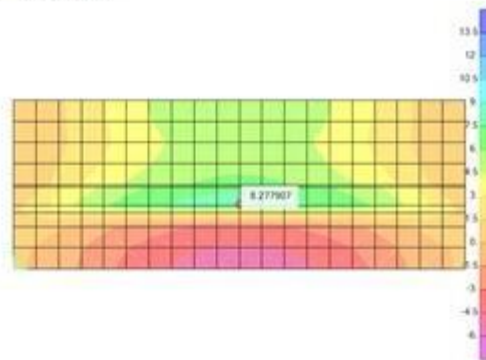
Chequeo f_s max

$$f_s = \frac{57000}{\beta \sqrt{s^2 + 4(50 + \frac{d_b}{2})^2}} \quad (C. 23 - 2)$$

$$\beta = 1.35 \quad (C. 23 - C.10.6.4.4)$$

$$4(50 + \frac{d_b}{2})^2 = 15625 \quad (C. 23 - C.10.6.4.3)$$

f_s		
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple
186 MPa	<250 MPa	Cumple

Revisión a cortante**Figura 28** *Cortante Y*Cortante V13: 3.56 TonCortante V23: 8.28 Ton

$$V_{u2} = 8.28 \text{ Ton} = 8277 \text{ Kg}$$

$$V_{u2} = 2.76 \text{ kg/cm}^2 \qquad \phi V_c = 7.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{u2} < \phi V_c \quad \text{OK}$$

8.6. Diseño de viga

Figura 29. Diseño de viga

DATOS DE ENTRADA			
f'_c	=	31000	kN/m ²
f_y	=	420000	kN/m ²
DIMENSIONES			
b	=	0.40	m
h	=	0.60	m
Recubrimiento	=	0.075	m
Longitud crítica	=	9.40	m
CARGAS:			
CARGA MUERTA:			
Peso Propio			= 0.58 kN/m ²
Losa	0.3	X	24 = 7.20 kN/m ²
			Σ = 7.78 kN/m ²
CARGA VIVA:			
L			L = 1.00 kN/m ²
Area aferente =			48.2 m ²
Qu=			= 56.05 kN/ml
d=			= 0.525 m

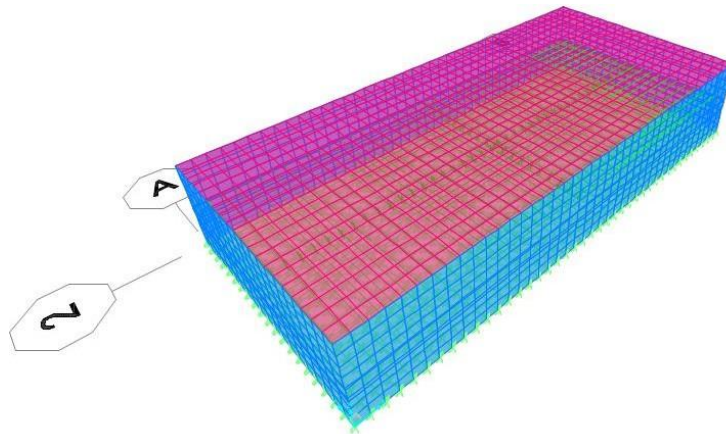
DISEÑO A FLEXION			
M _{umax}	=	412.73	kN-m
K	=	3743.5	kN/m ²
R _o	=	0.0108	
A _s	=	22.764	cm ² /ml Usar 3 #7 y 3#7
A _{smin}	=	6.930	cm ² /ml Usar 3 #7 y 3#7

DISEÑO A CORTANTE			
V _u	=	263.44	kN
V _u "d"	=	225.61	kN
V _c	=	122.99	kN
V _s	=	102.6	kN
S para fleje 3/8" de 3 ramas	=	0.343	m

8.7. Imágenes del modelo matemático

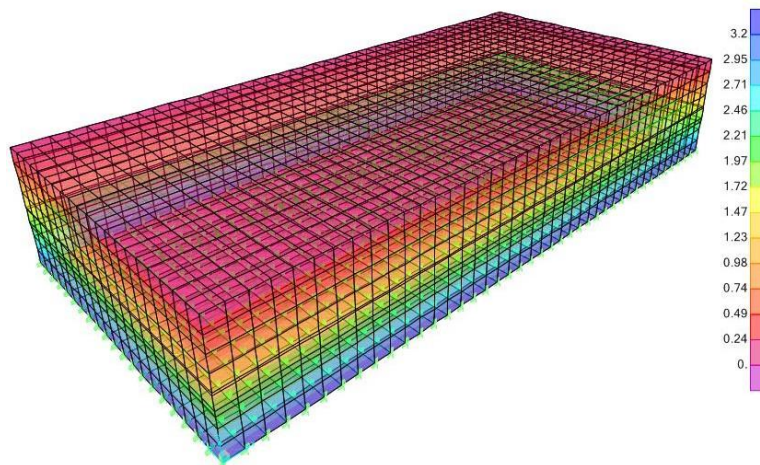
8.7.1 Vista 3D del modelo matemático.

Figura 30 Vista 3D modelo



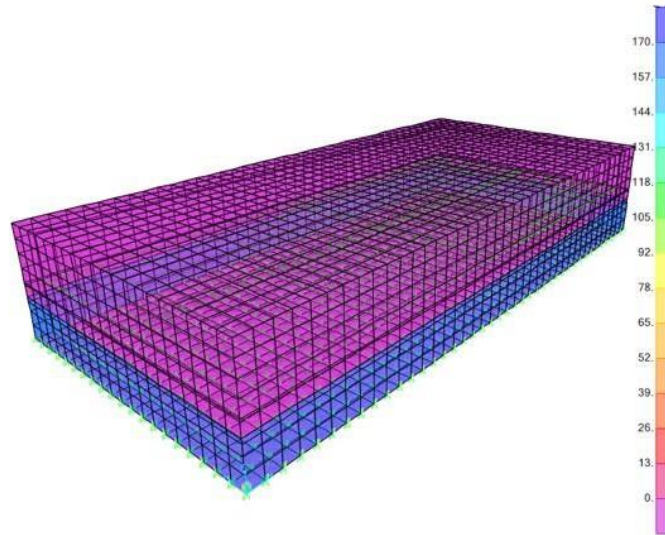
8.7.2 Presión hidrostática aplicada a la estructura (Ton/m²)

Figura 31 Presión hidrostática en SAP



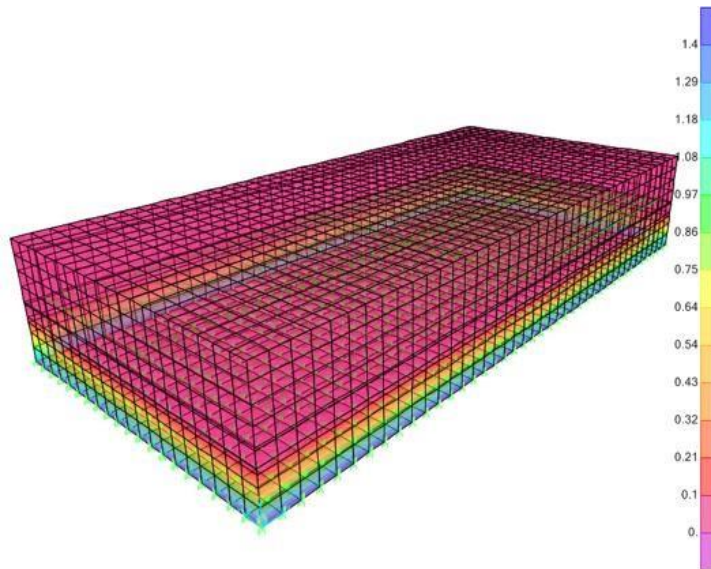
8.7.3 Presión por sobrecarga W (Ton/m²)

Figura 32 Presión por sobrecarga en SAP



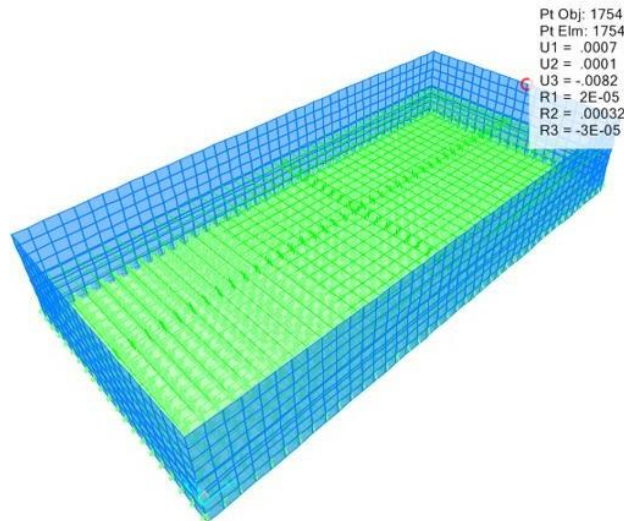
8.7.4 Presión lateral del suelo aplicada a la estructura (Ton/m²)

Figura 33 Presión lateral del suelo en SAP



8.7.5 Chequeo de desplazamiento

Figura 34 Chequeo de desplazamiento



8.8. Presupuesto general del tanque de almacenamiento semienterrado

Figura 35 Presupuesto del tanque

PRESUPUESTO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SEMIENTERRADO, VEREDA JUAN BOSCO VILLAVICENCIO-META					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CAT	V. UNIT	V. TOTAL
TANQUE DE ALMACENAMIENTO					
1	LOCALIZACIÓN, TRAZADO Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO ZONA RURAL ÁREA ABIERTA - CANCHAS DEPORTIVAS. INCLUYE EQUIPO AUTOMÁTICO DE PRECISIÓN, CARTERA Y PLANOS	M2		210 \$ 4.366	\$ 916.885
2	EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL COMUN H= 2.01 - 4.00 M INCLUYE CARGUE	M3		330 \$ 104.763	\$ 34.571.711
3	TRANSPORTE DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS Y SOBRES	VJ		30 \$ 248.900	\$ 7.467.000
4	SOLADO, LIMPIEZA EN CONCRETO 13,8 MPa (2000 PSI)	M3		105 \$ 643.849	\$ 67.604.113
5	PLACAS DE ACCESO EN CONCRETO 4000 PSI SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN	M3		167 \$ 1.040.684	\$ 173.794.173
6	BOX, ALETAS, MUROS ARMADOS CONCRETO 27,6 Mpa (4000 PSI) SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN	M3		61 \$ 1.181.946	\$ 72.098.718
7	VIGA EN CONCRETO 31.5 MPa (4500 PSI) PREMEZCLADO ACCELERADO A 3 DÍAS. SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN	M3		2,3 \$ 1.226.147	\$ 2.820.138
8	IMPERMEABILIZACION DE CONCRETO 4000 PSI = 27,6 MPa	M3		230 \$ 57.033	\$ 13.117.638
9	ACERO DE REFUERZO FY= 4200 Mpa (KG/CM2, G60) INCLUYE SUMINISTRO, FIGURADO, ARMADO, COLOCACIÓN Y AMARRE.	KG		60797 \$ 7.116	\$ 432.601.899
10	SELLO PARA JUNTAS DE PUENTES CON CINTA FLEXIBLE PVC 22CM. SUMINISTRO E INSTALACIÓN	ML		120 \$ 64.270	\$ 7.712.389
VALOR TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 812.704.664
A.I.U 31%					\$ 243.811.399
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$ 1.056.516.064

Para ver detalladamente el presupuesto y los análisis de precios unitarios, véase el pdf de ANEXO 2

8.9. Impactos sociales, económicos, académicos y técnicos

Tabla 7

Impactos

Aspecto	Impacto	Plazo
Social	La población de la comunidad Sebastopol contará con herramientas útiles que el proyecto les brindará, permitiéndoles conocer las especificaciones técnicas del tanque, su diseño estructural, sus planos, las cantidades de materiales a utilizar y los costos de las actividades a realizar.	Corto plazo
Económico	El proyecto tiene un gran impacto económico ya que la inversión necesaria para la construcción de este es \$1.056.516.064 en pesos colombianos, además habrá actividad económica por la generación de nuevos empleos para su proceso constructivo.	Largo plazo
Académico	El proyecto responde a las necesidades educativas ya que en el marco de la proyección social de la facultad de ingeniería civil se están buscando alternativas de saneamiento básico en torno a la problemática de la contaminación del agua.	Mediano plazo
Técnico científico	Este trabajo permitirá conocer las especificaciones técnicas de la construcción de un tanque de almacenamiento de agua, sirviendo como guía para los futuros trabajos relacionados con este tema.	Mediano plazo

8.10. Especificaciones técnicas

Para ver las especificaciones técnicas véase el pdf de ANEXO 1.

8.11. Planos

Para ver a detalle los planos los cuales contienen las dimensiones del mismo y la distribución a detalle del acero véase el pdf de ANEXO 3.

Conclusiones

Se logró elaborar el diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua semienterrado siguiendo los lineamientos de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y del Código Americano del Concreto 350-06, donde se concluye que debe tener una capacidad de 520 m³ con el fin de satisfacer la demanda de agua requerida en la comunidad para un periodo de retorno de 25 años, también se lograron abordar las principales características del suelo el cual tiene un perfil tipo D según estudio de suelos de Villavicencio, y está ubicado en zona de amenaza sísmica alta.

El proyecto del diseño estructural del tanque semienterrado de almacenamiento de agua es una herramienta muy útil, que será de gran ayuda para la comunidad de la Vereda Juan Bosco de Villavicencio al momento de llevar a cabo el proceso constructivo ya que esto les permite tener bases y conocimientos sobre sus especificaciones técnicas, diseño de planos, cantidades de materiales a utilizar y costos de las actividades a realizar.

Según el presupuesto se concluye que el costo total del tanque de almacenamiento de agua es \$1.056.516.064, y la actividad más costosa es la instalación del acero.

Al momento de contratar se debe tener en cuenta las unidades en las que se pagan los materiales; para la excavación manual de material común se debe pagar en m³, el solado o concreto de limpieza en m², el transporte de escombros en viajes, el acero de refuerzo en kilogramos y los elementos de concreto en m³.

Según las especificaciones el personal que se debe contratar son 1 oficial de construcción y 4 obreros, para la elaboración del tanque.

Se determinó el periodo de diseño mediante el artículo 40 de la Resolución 0330, el cual dice que se debe adoptar un periodo de 25 años para este tipo de estructuras.

Se realizó la proyección de la población a un periodo de 25 años mediante el método Aritmético del RAS 2000 con los censos hechos por la presidenta de la junta de acción comunal durante los dos últimos años. Si se realiza la proyección de la población con nuevos censos en el futuro, se podría llegar a tener un tanque más pequeño ya que al contar con un mayor número de censos se puede obtener una medida más cercana al crecimiento poblacional real.

Según los resultados obtenidos y analizando la estructura, se puede decir que la presión hidrostática es mayor que la presión lateral del suelo, ya que la altura de la superficie del fluido supera la altura lateral del terreno, lo que significa que la mayor parte del tanque no se encuentra enterrada.

Para el análisis del tanque de almacenamiento se realizó el modelo matemático tridimensional utilizando el software SAP2000. La presión dinámica del suelo ante sismos se calculó mediante el método de Mononobe-Okabe, basado en la teoría de presión activa de Coulomb que adicional al empuje estático del suelo incluye el efecto dinámico como una carga triangular inversa a esta.

Las presiones hidrodinámicas que se producen en el tanque debido a un sismo se conocen como convectivas e impulsivas, la presión convectiva se da en la parte superior de la ola que se presenta en el líquido y la presión impulsiva es causada en la parte inferior del líquido contenido. Se determina que tanto en X como en Y el peso y la altura de la componente convectiva es mayor que el de la componente impulsiva, y la fuerza impulsiva es mayor que la convectiva porque estas van aumentando a medida que se profundizan.

Debido a que el tanque es en concreto y estará expuesto a la humedad se clasifica en la categoría de exposición C1 moderada según la NSR-10 para cumplir con los requisitos de durabilidad.

Recomendaciones

En el marco de la proyección social de la facultad de ingeniería civil se están buscando alternativas de saneamiento básico en torno a la problemática de la contaminación del agua en el sector, por lo tanto, el presente trabajo se debe articular con los resultados de dicho proceso.

Es importante enfatizar que las regulaciones y/o estándares son condiciones implementadas para asegurar que las estructuras funcionen efectivamente durante su diseño o vida útil. A pesar de ello, es responsabilidad del diseñador considerar las posibles condiciones para el comportamiento del diseño si los requisitos mínimos no son suficientes.

Para la construcción del diseño del tanque se plantea un mejoramiento como recomendación para la construcción del tanque, ya que con este mejoramiento se pretende hacer una estructura más conservadora y segura.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute (ACI). (2001). Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 320)". American Concrete Institute,
- Aguero R. (2004). Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. 2022, de Organización Panamericana de la Salud (OPS) <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55282>
- Aguilar, M. Sáez, J. Llorens, M. Soler, A. Ortuño, J. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales. Editorial Universidad de Murcia.
- Cardona, O. Ordaz M. (2009). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica (AIS). http://www.rcrisis.com/Content/files/EstudioGeneraldeAmenazaSismicadeColombia2009_AIS_lowres.pdf
- Alcaldía de Villavicencio. (18 de Marzo de 2021). Información del municipio. Obtenido de <https://www.villavicencio.gov.co/micrositio/informacion-del-municipio-237>
- ASIR-SABA. (9 de Febrero de 2019). La realidad del acceso al agua en zonas rurales de Colombia. <https://asirsaba.com.co/2019/02/la-realidad-del-acceso-al-agua-en-zonas-rurales-de-colombia/>
- Chávez, M. Rivera, G. Romero, T. Vizcarra, I. (2013). El pozo: usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. <https://www.google.com/url?q=https://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v21n41/v21n41a11.pdf&source=gmail-imap&ust=1674745357000000&usg=AOvVaw0n4cl7-9Aw-8oghf4GT9va>.
- Alcaldía de Villavicencio. (26 de Mayo de 2022). Cobertura Acueducto y Alcantarillado. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio. <https://www.eaav.gov.co/#/contenido/49/Cobertura>
- López, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados 2.a ed., Vol.2. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Naranjo, D. (2019). Pozos sépticos en el departamento del Quindío y solución alternativa con humedales subsuperficiales. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/44484>
- Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). NSR10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- https://www.andi.com.co/Uploads/Reglamento_colombiano_construccion_sismo_resistente_636536179523160220.pdf
- Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica (1984). NSR10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente Título E Casas de uno y dos pisos. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/5titulo-e-nsr-100.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). ODS en Colombia: Los retos para 2030. <https://www.undp.org/es/colombia/publications/ods-en-colombia-los-retos-para-2030>
- Pulido, A. Navarrete, F. Martínez, J. Molina, L. Sánchez, F. Vallejos, A. Martín, W. (1997). La contaminación en los acuíferos del Campo de Dalías y Delta del Andarax (Almería). Instituto de Estudios Almerienses. https://www.researchgate.net/publication/28152149_La_contaminacion_en_los_acuiferos_del_Campo_de_Dalias_y_Delta_del_Andarax_Almeria
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2000). RAS Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- Real Academia Española. (2022). Diccionario de la lengua española, 23.^a ed. <https://dle.rae.es/>
- Reales, R., De Castro, D. & Viana, D. (2014). Percepción del agua como Derecho Fundamental: Los efectos producidos por la prestación del servicio de agua potable en los habitantes del municipio de Santa Lucía, Atlántico. *Justicia*, 26, 69–80. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-74412014000200006&lang=es
- Romero, J. (2008). Caracterización de aguas residuales en Tratamiento de Aguas Residuales. 3a ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas

Anexos

A continuación, se encontrará la lista de anexos en formato .pdf que contiene información importante del presente trabajo de grado:

Anexo 1 Especificaciones técnicas del tanque

Anexo 2 Presupuesto del tanque

Anexo 3 Planos del tanque