

# **Diseño de un tanque de almacenamiento de 2000 m<sup>3</sup> para el acueducto de Río Claro de Golfito.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**  
**CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Diseño de un tanque de almacenamiento de 2000 m3 para el acueducto de Río Claro de Golfito.**

Llevado a cabo por el estudiante:

Zúñiga Picado José Miguel

Carné: 2013050715

Proyecto de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el viernes 28 de abril de 2023 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

Firmado digitalmente por  
JOSE ANDRES ARAYA  
OBANDO (FIRMA)  
Fecha: 2023.05.11  
10:03:15 -06'00'

---

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando  
Director de la Escuela

**MAURICIO  
CARRANZA  
SOLANO  
(FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por MAURICIO  
CARRANZA SOLANO  
(FIRMA)  
Fecha: 2023.05.09  
16:02:10 -06'00'

---

Ing. Mauricio Carranza Solano  
Profesor Lector

**GUSTAVO  
ADOLFO ROJAS  
MOYA (FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por GUSTAVO ADOLFO  
ROJAS MOYA (FIRMA)  
Fecha: 2023.05.09  
13:38:16 -06'00'

---

Ing. Gustavo Rojas Moya, MSc.  
Profesor Guía

**HUGO EDUARDO  
NAVARRO  
SERRANO (FIRMA)**

Firmado digitalmente por  
HUGO EDUARDO NAVARRO  
SERRANO (FIRMA)  
Fecha: 2023.05.10 19:07:51  
-06'00'

---

Ing. Hugo Navarro Serrano, MSc.  
Profesor Observador

# Abstract

The proposal presented in this document shows the process of selection and design of a storage tank of 2000 cubic meters for the aqueduct located in the community of Río Claro, head community of the Guaycara district, belonging to the canton of Golfito. This aqueduct currently has problems in the storage capacity and in the distribution of the resource in certain areas of the community, which is a limitation for the residential, commercial, and industrial development of the community, so that with the construction of the new tank not only the capacity is improved of storage, but also the existing infrastructure is optimized. The type of tank to be designed will be selected from an evaluation matrix, where different options of materials and construction procedures will be reviewed, selecting the one that best suits the conditions present in the construction site. In this case, vitrified steel is selected as the most viable option in solving the problem posed. The design process for the selected tank is also detailed, as well as an estimate of the cost involved in the work.

*Keywords: Water, aqueduct, tank, storage, vitrified steel, design, concrete, masonry.*

# Resumen

La propuesta presentada en este documento muestra el proceso de selección y diseño de un tanque de almacenamiento de 2000 metros cúbicos para el acueducto ubicado en la comunidad de Río Claro, comunidad cabecera del distrito Guaycara, perteneciente al cantón de Golfito. Dicho acueducto actualmente presenta problemas en la capacidad de almacenamiento y en la distribución del recurso en ciertas zonas de la comunidad, lo cual es una limitante para el desarrollo residencial, comercial e industrial de la comunidad, por lo que con la construcción del nuevo tanque no solo se mejora la capacidad de almacenamiento, sino que también se optimiza la infraestructura existente. El tipo de tanque a diseñar se seleccionará a partir de una matriz de evaluación, donde se revisará distintas opciones de materiales y procedimientos constructivos, seleccionando el que se ajuste mejor a las condiciones presentes en el sitio de construcción en este caso se selecciona el acero vitrificado como la opción más viable en la solución del problema planteado. También se detalla el proceso de diseño para el tanque seleccionado, así como una estimación del costo involucrado de la obra.

*Palabras Clave: Agua, acueducto, tanque, almacenamiento, acero vitrificado, diseño, concreto, mampostería.*

# **Diseño de un tanque de almacenamiento de 2000 m<sup>3</sup> para el acueducto de Río Claro de Golfito.**

JOSE MIGUEL ZUÑIGA PICADO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Abril del 2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO.....	6
CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA.....	6
CLIMA.....	6
TOPOGRAFÍA.....	6
TIPO DE SUELO.....	6
PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	7
ALTERNATIVA 1: DISEÑO EN CONCRETO.....	8
ALTERNATIVA 2: DISEÑO EN MAMPOSTERÍA .....	12
ALTERNATIVA 3: DISEÑO EN PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.....	14
ALTERNATIVA 4: DISEÑO EN ACERO VITRIFICADO.....	16
MATRIZ MULTICRITERIO.....	19
METODOLOGÍA.....	25
RESULTADOS.....	27
MATRIZ DE COMPARACIÓN.....	27
SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	28
DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	29
DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA..	29
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	30
DEFINICIÓN DE CARGAS.....	30
COSTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA. .....	35
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ...	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	48
APÉNDICES.....	51

# Prefacio

Uno de los recursos más importantes para el desarrollo de cualquier comunidad es indudablemente el agua, este líquido es vital para todos los seres vivos y también es utilizado en infinidad de actividades, es por esto que siempre es un tema de interés común la disponibilidad de dicho recurso. Debido a esta necesidad el desarrollo de infraestructura que permita recolectar, potabilizar y distribuir de manera eficiente dicho recurso a cada uno de los habitantes de una región es un tema muy importante, sin embargo, en Costa Rica desde hace ya varios años ha existido un problema de desperdicio del recurso hídrico disponible.

Este problema fue expuesto por el informe del estado de la Nación en el año 2020, donde se menciona que aproximadamente el 50% del recurso se desperdicia (PEN,2020), cifra que si se toma en cuenta solo el acueducto metropolitano representa aproximadamente 90 millones de metros cúbicos por año, lo cual es una cifra alarmante (May, 17 de noviembre 2020). Entre las razones que menciona el informe para tales cifras se tiene que las pérdidas físicas representan el 58% del desperdicio, el 32% son por pérdidas comerciales y el 10 % restante corresponde a consumo no autorizado (May, 17 de noviembre 2020).

Este alto porcentaje en pérdidas físicas, está relacionado a la obsolescencia de muchos tramos de los acueductos del país, que en su mayoría representa infraestructura muy vieja de aproximadamente 30 o 40 años según lo mencionando por Álvaro Barrantes (ARESEP) (Cordero y Córdoba, 17 de marzo 2020), a este problema también se le puede sumar la poca capacidad de almacenamiento del líquido que tiene muchos de los acueductos del país y las fallas en las distintas redes de distribución entre otros problemas relacionado.

En el caso específico de este proyecto realizado en el distrito de Guaycara en el cantón de Golfito, se tiene un alto porcentaje de agua no

contabilizada debido precisamente a la poca capacidad de almacenamiento que posee el acueducto el cual actualmente cuenta únicamente con tanque de 300 m<sup>3</sup>, en otras palabras esta poca capacidad de almacenamiento, obliga a liberar en los meses de invierno, entre abril y noviembre, grandes cantidades de agua para evitar sobrepresiones en las líneas de conducción y distribución del acueducto que pueda causar daños al mismo, por otro lado, debido al aumento demográfico de la zona, en la época seca, en los meses de diciembre a marzo, el acueducto no es capaz de solventar la necesidad del líquido. Para solventar un poco este problema, el acueducto adopto la racionalización del líquido en los meses de diciembre a marzo, realizando cortes del servicio durante algunas horas del día con el fin de que el tanque existente actualmente pueda volver a recargarse del recurso hídrico. Con este contexto y a petición del ingeniero de Acueductos y Alcantarillados a cargo de la zona, se presenta la alternativa de diseñar un nuevo y moderno tanque de almacenamiento de 2000 m<sup>3</sup> que permitan mejorar el servicio brindado por el acueducto, teniendo suficiente recurso hídrico para solventar tanto el crecimiento demográfico como el desarrollo y crecimiento económico de la zona.

Agradezco a todas las personas que de una u otra manera ha apoyado y aportado información para la realización de este proyecto, especialmente a la institución AyA por abrirme las puertas a realizar esta práctica, al ingeniero Álvaro Barrantes Leiva, y el gestor general Freddy Matarrita Vásquez, por la información brindada y las recomendaciones realizadas durante esta práctica, así como también al ingeniero Gustavo Rojas por su colaboración como profesor guía durante este proceso.

Dedico y agradezco a Dios este trabajo ya que sin Él nada de esto hubiese sido posible, también dedico y agradezco a mis padres Iliana Picado y Rodolfo Zuñiga por su apoyo incondicional a lo largo de vida, que me han permitido llegar a donde estoy hoy, por último, pero no menos importante agradezco a mis hermanos y amigos porque a lo largo de esta vida, siempre han estado apoyando, aconsejando y motivando cada uno de los sueños y proyectos en los que he participado.

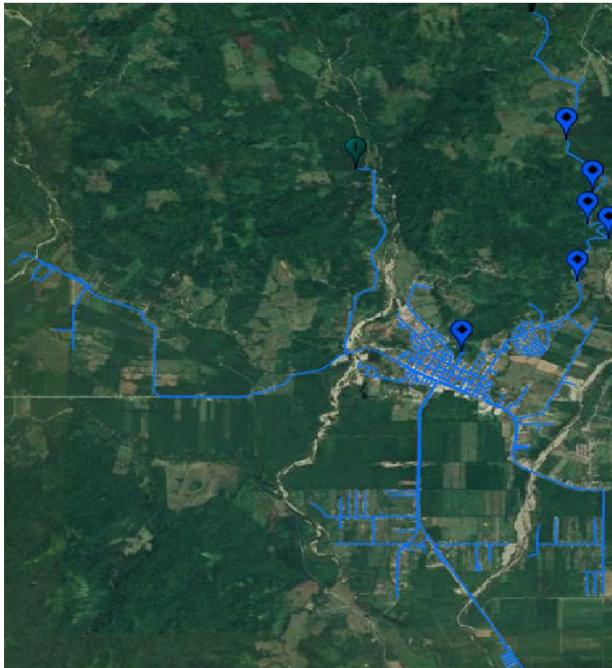
# Introducción

El agua es indudablemente uno de los recursos más importantes para el desarrollo de cualquier comunidad, este líquido es vital para todos los seres vivos y también es utilizado en infinidad de actividades, es por esto que siempre es un tema de interés común la disponibilidad de dicho recurso. En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), en conjunto de otras instituciones como las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS), municipales y empresas privadas son las encargadas de suministrar tan importante recurso a toda la población, tanto rural como urbana. Sin embargo, a través de los años, el aumento poblacional y la poca inversión en la mejora, renovación y ampliación de la red ha generado que muchas comunidades alrededor del país comiencen a presentar problemas en el abastecimiento del servicio. Una de las comunidades que empiezan a presentar problemas es Río Claro, la cual es la cabecera del distrito de Guaycara en el cantón de Golfito, según Matarrita (2022), dicha comunidad actualmente presenta durante los meses de la época seca un desabastecimiento parcial del líquido, esto quiere decir que existen picos en el día donde no es posible abastecer del líquido a ciertos sectores de la comunidad, por lo que en los últimos años el acueducto ha optado por realizar racionamientos como un paliativo para poder cumplir con el servicio de la mejor manera posible. Barrantes (2022), asegura que el problema del acueducto radica en la poca capacidad de almacenamiento que presenta el acueducto, de ahí surge la necesidad de plantear y diseñar un nuevo tanque de almacenamiento que permita mejorar la calidad del servicio brindado a la comunidad y potenciar el desarrollo de la zona, ya que actualmente se encuentran diversos proyectos industriales e inmobiliarios congelados debido a que no existe la

infraestructura para cubrir esa demanda del líquido. Es debido a esta situación que en este trabajo se estudian diversas alternativas de tanques que permitan solucionar este problema, esto quiere decir que el objetivo principal de este trabajo es realizar el diseño de un tanque de almacenamiento de agua potable como propuesta de mejora del acueducto de Río Claro de Golfito, para lograr esto se definen 4 objetivos específicos los cuales se enumeran a continuación:

1. Identificar el sitio adecuado dentro de la localidad para la construcción del tanque de almacenamiento.
2. Determinar los posibles tipos de tanque a construir según las condiciones existentes en la localidad.
3. Elegir el tipo de tanque más conveniente según las condiciones presentes.
4. Diseñar el tanque seleccionado.

Dentro del primer objetivo lo que se busca es poder caracterizar las condiciones físicas y climatológicas de la zona donde se desarrollara el proyecto, para esto se realiza una investigación que confirma la presencia de un clima tropical muy húmedo, caracterizado por altas temperaturas durante todo el año, así como un elevado promedio de precipitación anual, que impacta en los altos niveles de humedad de la zona, esta información es relevante porque indica que la solución seleccionada debe ser altamente resistente a la intemperie y todos sus efectos, como la corrosión, la adherencia de microorganismos a la estructura del tanque, o el deterioro de la pintura del tanque, también se analiza la topografía la cual a partir de puntos tomados a través de GPS se determina que el sitio de construcción se encuentra en una topografía ondulada, por último en esta sección se hace una caracterización visual del suelo, sin embargo al no haber realizado el estudio de suelo correspondiente se asume la recomendación del código sísmico, de utilizar para los cálculos un tipo de suelo S3, el cual según la tabla 2.2 de dicho código posee una resistencia de entre 0.5 y 0.75 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Imagen satelital del acueducto de Río Claro, en las líneas azules se observa las líneas de conducción y distribución del acueducto.  
Fuente: Barrantes, 2022.

Durante el desarrollo del segundo objetivo es cuando se realiza la investigación más exhaustiva, por medio de entrevistas, visitas a proyectos, e investigación a través de fuentes digitales de las diferentes alternativas propuestas, las cuales son la construcción de un tanque de concreto, un tanque de mampostería, un tanque de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), o un tanque de acero vitrificado, la investigación de estas alternativas, busca identificar las principales características de cada alternativa, sus ventajas, desventajas, su costo aproximado de construcción y el proceso constructivo que se debe ejecutar para completar el proyecto. Una vez concluida esta etapa, se inicia con la creación de una matriz de evaluación que permita seleccionar la mejor alternativa según las condiciones del sitio, para esto se revisa lo mencionado por Ortiz (2021), y AEC (2019) con respecto a la creación de una buena matriz de evaluación, los factores que se debe tomar en cuenta para realizar una evaluación correcta y como estos interactúan con cada una de las alternativas. Esta matriz es de suma importancia, ya que a través de ella es que se escoge la alternativa que soluciona el problema de una forma más eficiente considerando el contexto

del proyecto. En esta matriz se utilizan como rubros de evaluación, el costo del proyecto, la duración del proyecto, la disponibilidad de los materiales, el impacto ambiental, la necesidad de acceso a recursos como la electricidad y agua para el desarrollo del proyecto, y la durabilidad de cada una de las alternativas, así como el mantenimiento requerido por cada una de las opciones una vez terminado el proyecto. Una vez aplicada esta matriz de evaluación, se determinó que la alternativa más viable es la construcción del tanque en acero vitrificado, debido a su gran capacidad de soportar el efecto de la intemperie, la facilidad de su ensamble, la rapidez con que se puede ejecutar el proyecto, así como su costo menor con respecto a las demás opciones. Esta solución se ha venido implementando dentro del AyA, precisamente por las ventajas que ha mostrado comparado con la forma tradicional de construir tanques de almacenamiento, se puede mencionar algunos tanques como el construido en Playas del Coco, en Guanacaste, o bien en el acueducto de Nicoya, además en la zona sur se implementó uno en el acueducto de Buenos Aires, por lo que se puede notar que para la institución ha resultado ser una buena alternativa para solucionar problemas de almacenamiento.



**Figura 2.** Tanque de acero vitrificado en Playas del Coco.  
Fuente: CUBIC Cubero Ingeniería Civil S.A, 2020.

Una vez determinado que la alternativa a diseñar es la de acero vitrificado, se procedió con el diseño

de la misma, para esto inicialmente se contactó a personal de la empresa Florida-Aquastore, especialistas en este tipo de tanques, con el fin de ampliar los conocimientos sobre el proceso constructivo y aspectos técnicos importantes a considerar en el proceso de diseño, se realizó además una visita a un proyecto que se estaba ejecutando por dicha empresa, en el cual se observó el proceso de la instalación de los paneles del tanque.



**Figura 3.** Tanque de acero vitrificado en Nicoya.  
Fuente: Heredia Hoy, 2021.

Para el diseño de la estructura se toma en consideración lo estipulado tanto en la Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (AyA, 2017), Código sísmico de Costa Rica (2010), Código de Cimentaciones (2010), así como en las normas internacionales referentes a tanques de almacenamiento de agua como la Norma para Tanques de Agua para la Protección contra Incendios Privada (NFPA 22, 2018), La norma Factory-Coated Bolted Carbon Steel Tanks for Water Storage (ANSI / AWWA D103, 2009), el código STANDAR API 650 (2007), entre otras como las normas ASTM, y ACI con respecto al concreto a utilizar en la cimentación. Una vez finalizado el proceso de diseño, se tiene que el tanque de almacenamiento estará compuesto por 6 anillos de 26 paneles de acero vitrificado, cada panel es de 140 x 265 cm, por lo tanto, el diámetro del tanque es de 21.93 metros y posee una altura 8.64 metros. Por último, se calcula el costo aproximado del proyecto a través de 3 ejes principales, el primero es el costo de importación de la estructura del tanque el cual incluye todos los materiales, la herramienta y el

equipo necesario para su ensamble, el segundo es el cálculo del costo de la estructura de la cimentación y por último el costo de la mano de obra del proyecto incluidas las cargas sociales, lo que al final da como resultado la suma de 707,613,334.22 colones. Finalmente se documentaron las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo de esta investigación.

Dentro de las principales limitaciones que se encontraron en este proyecto, fue la poca información sobre proyectos realizados en la zona que pudiesen servir como fuente para este trabajo, información desactualizada referente a las condiciones climáticas, topografía y de tipos de suelos presentes en la zona, por lo cual se optó por utilizar la recomendaciones establecidas en el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010) con respecto al tipo de suelo a utilizar para el diseño de la cimentación, poca disponibilidad de recursos económicos para realizar un estudio geotécnico de los posibles terrenos donde se desarrolla el proyecto, lo que podría implicar diferencias en los costos calculados para el proyecto.

A través de este proyecto se definió una alternativa útil a la solución de un problema real que presenta esta comunidad sureña, con la cual de ejecutarse puede contribuir en gran medida al desarrollo de la zona en caso de ser ejecutado, además demuestra que el acero vitrificado es una gran alternativa para crear grandes espacios de almacenamiento, la cual debería ser estudiada más profundamente y monitorear las estructuras actuales para conocer que problemas pueden surgir a través del tiempo.

# Marco Teórico

A la hora de realizar un proyecto es necesario ejecutar un debido planteamiento y proponer alternativas de diseño que se acoplen a las condiciones del sitio y las necesidades que se requieren solventar, tomando en cuenta factores favorables tanto para la persona o empresa que ejecuta, como para el beneficiario de la obra y entorno (sociedad y ambiente). Entre estos factores están: los económicos, sociales, ambientales, seguridad, uso, estética, entre otros. Debido a esto, es importante caracterizar la zona en la cual se desarrollará el proyecto, ya que esto le brinda al desarrollador información necesaria para proponer una alternativa que se pueda ajustar o adaptar de una mejor forma a las necesidades del o los beneficiarios.

## Caracterización de la zona.

El proyecto se realiza en la comunidad de Río Claro la cual es la cabecera del distrito de Guaycara que a su vez pertenece al cantón de Golfito en la zona sur de Costa Rica, por lo que a continuación se mostrara algunas de las características más importantes con respecto al clima, la topografía y el tipo de suelo existente en la zona donde se desarrolla el proyecto

### Clima.

El Cantón de Golfito en general presenta un clima que se puede clasificar como tropical húmedo (López et al, 2016), sin embargo, existe variedad de condiciones climatológicas, esto debido a las diferencias topográficas, régimen fluvial influenciado por una topografía accidentada y las corrientes de aires marítimos provenientes del Golfo Dulce.

Según Munguía y Zuñiga (2013), esta zona presenta una temperatura promedio anual de entre 24 y 30 grados Celsius, además presenta dos estaciones, de abril a noviembre, la estación lluviosa, el cual es el periodo de mayor humedad en la zona la cual ronda el 95 %, siendo octubre el mes más lluvioso, por otro lado, la estación seca del área se extiende de diciembre a marzo, siendo febrero y marzo los meses con menos lluvias a su vez los meses donde se registran las temperaturas más altas de la zona, sin embargo, es importante mencionar que es común que caigan fuertes lluvias aún en los meses de verano.

Esta es una de las zonas más lluviosas del país registrando en promedio 5000 mm anuales (Munguía y Zuñiga, 2013), además es importante mencionar que durante el periodo de mayor precipitación la evaporación sobrepasa más de dos veces a la precipitación esta es una de las razones por la que se mantiene una alta humedad relativa. En algunas áreas se presenta un déficit importante del factor hídrico, siendo mayor esta problemática durante los meses de febrero y marzo.

### Topografía.

A pesar de que la zona en donde se realiza el proyecto es en su mayoría plana, conformada por llanuras aluviales, el sitio específico donde se desarrolla el proyecto se encuentra a una altura promedio de 355 metros sobre el nivel del mar, el cual se ubica aproximadamente a 3.7 kilómetros de la comunidad de Río Claro. Según los datos recolectados a través de un GPS, se determinó que el terreno cuenta con una pendiente aproximada de 16 al 17 %, lo que lo calificaría según el reglamento de tarifas de honorarios para los profesionales de agrimensura, geomática, geodesia topografía e ingeniería topográfica (Colegio de Ingenieros Topógrafos, 2016) en el artículo 1 como un terreno de topografía ondulada.

### Tipo de Suelo.

El proyecto se realizará en lo que el informe hidrogeológico del plan regulador de la municipalidad de Corredores (2010) conoce como la cordillera costeña, dicha cordillera se encuentra ubicada entre la frontera con Panamá, hasta el

sector de Uvita, y es únicamente interrumpida por el paso del río Térraba, además el informe menciona que el tipo de roca más común es del tipo sedimentario, principalmente calizas.

Por otro lado, el informe de caracterización básica del territorio sur bajo (Corredores, Golfito, Osa) INDER (2014), menciona que el tipo de suelo predominante en este sitio es el inceptisol, el cual se caracteriza por ser un suelo rojo profundo, bajo en bases, asociado con suelos con muy poco desarrollo y delgados, y suelos un poco más desarrollados, pero poco profundos; en relieves acolinados y de montaña, lo cual se pudo corroborar por medio de una inspección visual en la zona. Esta caracterización a pesar de estar realizada para aspectos agrícolas permite crear una idea de la composición física del suelo en el cual se desarrolla el proyecto.



**Figura 4.** Perfil de suelo característico en la zona.  
Fuente: Imagen propia.

Según las características descritas anteriormente y la inspección visual realizada en el sitio, se puede decir que el suelo encontrado se puede clasificar como S2, tomando como base los descritos en la sección 2.2 del código sísmico de Costa Rica (CSCR, 2010), ya que se puede considerar como un suelo moderadamente denso y poco profundo, sin embargo, al no conocer a detalle todas las propiedades y características del suelo en sitio de cimentación, se acoge la recomendación que el código sísmico expone, es

por esta razón que se asuma un suelo S3, el cual según la tabla 2.2 de dicho código posee una resistencia al corte no drenada de entre 0.50 y 0.75 kg/cm<sup>2</sup>.

Este dato es importante ya que mediante él se puede hacer una aproximación de la resistencia a la compresión del suelo, el cual es importante en los cálculos del diseño del cimiento del tanque.

Para esto se debe tomar en cuenta la relación que existe entre la resistencia al corte y la resistencia a la compresión por medio de la siguiente fórmula:

$$C_u = \frac{1}{2} q_u$$

Donde:

C<sub>u</sub> = Resistencia al corte no drenado

q<sub>u</sub> = Resistencia a la compresión

Aplicando la fórmula descrita anteriormente y asumiendo un valor 0.75 kg/cm<sup>2</sup> basado en las características del suelo encontrado, se determina que la resistencia a la compresión es de 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale a 15 ton/m<sup>2</sup>, por lo que para el diseño de la cimentación del presente trabajo se asume una resistencia a la compresión del suelo de 15 ton/m<sup>2</sup>.

## Planteamiento de Alternativas.

Conociendo la necesidad existente por la cual se da este proyecto (mejorar las condiciones actuales del Acueducto de Río Claro) ubicado en el cantón de Golfito, y de acuerdo con el objetivo de este trabajo que es el de diseñar un nuevo tanque que le permita mayor capacidad de almacenamiento, se plantean 4 posibles alternativas, las cuales se enfocan en los sistemas constructivos más utilizados en este tipo de obras. Con el estudio de alternativas se puede generar un mejor análisis de tal manera que se pueda brindar una mejor solución al problema o la necesidad existente, llevando a cabo la comparación de las diferentes propuestas y calificando los factores que cada una de las alternativas presenta, con el fin de valorar la mejor opción. En este caso para el diseño del tanque de almacenamiento de agua potable del acueducto de Río Claro de Golfito, se utilizaron como alternativas para el diseño, tanques en concreto, mampostería, fibra de vidrio y acero vitrificado.

Estas alternativas se encuentran relacionadas a la construcción de tanques de almacenamiento donde también se analizan aspectos importantes involucrados a lo largo del ciclo de vida del proyecto, así como luego de este, como lo son; el costo de construcción, el impacto social y ambiental, el mantenimiento y durabilidad de la estructura, disponibilidad de recursos, normativa nacional, entre otros. Lo anterior se relaciona por medio de un análisis multicriterio, dando un porcentaje de importancia a cada uno de los aspectos mencionados. Al determinar el impacto que tiene cada una de las alternativas planteadas sobre los aspectos o factores seleccionados que afectan; antes, durante y después de la construcción, es posible realizar una adecuada selección de la mejor propuesta, que se adapte a las condiciones existentes y que sea la más viable para ejecutar.

A continuación, se presenta una breve explicación de lo que constituye e implica cada una de las alternativas planteadas.

## Alternativa 1: Diseño en concreto

El concreto es un material muy duradero que se ha utilizado en la construcción durante siglos, favorecido por su fuerza y resiliencia, una de sus ventajas es que se puede moldear en prácticamente cualquier forma, lo que permite a los constructores fabricar tanques, estructuras y cimientos resistentes que sean capaces de repeler las condiciones ambientales, como la lluvia, la humedad, el viento, la radiación solar y el ataque de microorganismos, sin embargo la construcción de tanques de concreto también se caracteriza por ser un proceso complejo, con muchos factores a tomar en cuenta ya que está compuesto generalmente por muros, losas, vigas y columnas de concreto reforzado.

Quizás esta sea la alternativa que más años lleva la institución (AyA) utilizando y la que más regulada está, sin embargo, a lo largo de los años en algunos de los proyectos se han tenido problemas con la impermeabilización de los tanques debido a las fisuras que se le suelen hacer debido a la poca flexibilidad del material lo cual hace que se le dificulte estar sujeto a la expansión y contracción por cambios de temperatura. También han existido problemas debido a malos procesos constructivos que han dado como resultados tanques poco funcionales que no

pueden mantener el nivel o la calidad del agua (Barrantes,2022). Este tipo de tanque tiene como ventaja que es muy resistente al vandalismo debido a su fuerte estructura, también la capacidad para mantener la temperatura dentro del tanque lo que mantiene el agua fresca durante cualquier momento del día, por otro lado, tenemos como desventaja que el concreto al ser un material poroso tiene mayor posibilidades de reproducción de algas y microorganismos dentro de este, otra desventaja es que con el paso del tiempo y el contacto constante con el agua el concreto tiene a degradarse ocasionando fugas, también tienen costos de reparación comparativamente más altos que el resto de las opciones aquí analizadas (Barrantes, 2022).

Por último, según Chaves (2016), el costo de construcción de un tanque de concreto de 1000 metros cúbicos es de entre 295000 y 340000 colones por metro cúbico, lo que actualizado a Noviembre del 2022 por el índice de precios de la construcción da como resultado un precio de entre 468755 a 540260 colones por metro cúbico. Para realizar el cálculo del ajuste porcentual se utilizan los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), los cuales están adjuntos en la sección de anexos de este documento, donde se toma el índice de junio del 2016 el cual equivale a un valor de 97.697 y el de noviembre de 2022 el cual corresponde a 155.245 ambos toman como base febrero del 2012 y a través de la siguiente fórmula se determina la variación porcentual que existe en determinado periodo de tiempo:

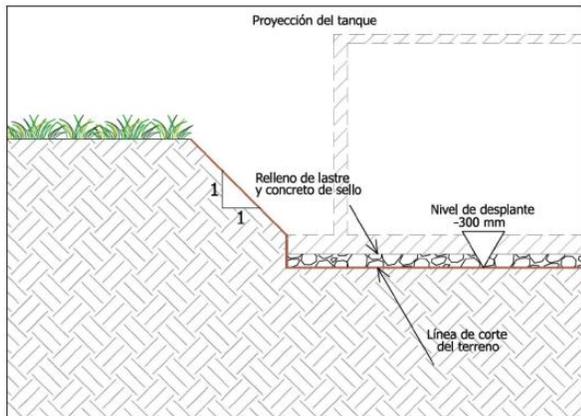
$$\% \text{ variacion} = \left( \frac{IP \text{ construccion}_{anterior}}{IP \text{ construccion}_{actual}} - 1 \right) * 100$$

Por lo tanto, la variación entre junio 2016 y noviembre de 2022 da como resultado un incremento en los precios de aproximadamente un 58.9%, el cual se aplica al costo descrito por Chaves (2016) para actualizar al costo actual de dicha estructura.

## Proceso constructivo.

Como en toda obra se inicia con la limpieza del terreno la cual consiste en eliminar la capa vegetal que existe sobre el terreno, dicha capa contiene residuos orgánicos que pueden afectar a largo

plazo la estabilidad de la estructura, una vez terminada la labor de limpieza se procede a colocar las instalaciones provisionales, como lo son la bodega, la oficina, las cabañas sanitarias, el taller de armadura y el cerramiento provisional del proyecto, seguidamente se procede con el movimiento de tierras, para la construcción de la cimentación, según Chaves (2016) supone la creación de cuatro taludes con pendientes de 45 grados, donde la base del talud debe coincidir con la parte superior de la losa de cimentación, posteriormente se realiza un corte de 30 cm por debajo del nivel de desplante, para colocar 20 cm de lastre y un sello de concreto de 10 cm.



**Figura 5.** Perfil de corte de terreno para el movimiento de tierras de un tanque de concreto semienterrado.  
Fuente: Chaves, 2016

Luego se procede con la elaboración del acero de refuerzo de la losa de cimentación, según indique el plano, considerando los empalmes y los ganchos especificados, se elaboran los helados ya sea de concreto o de plástico, estos tienen la función de que durante el colado se respete el recubrimiento del acero y que el acero no desplace en ninguna dirección, dichos elementos deben colocarse a mínimo 1 metro de distancia entre ellos, en ambas direcciones.

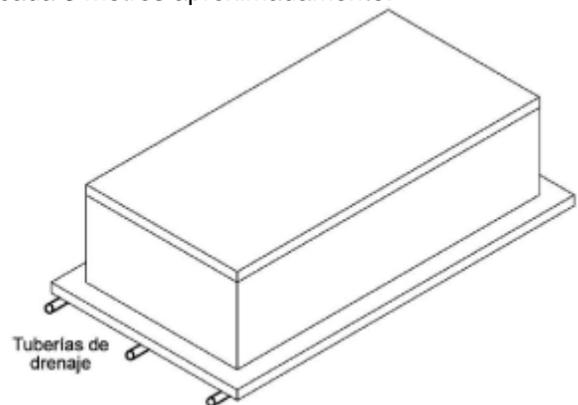
Cuando se ha colocado el acero de refuerzo se inicia la fase de colado de concreto, donde el utilizado comúnmente es el concreto premezclado y es colocado a través de bombeo telescópico.



**Figura 6.** Armadura de refuerzo en losa de cimentación.  
Fuente: Chaves, 2016.

En el momento del colado se debe tener cuidado con el proceso de vibrado del concreto el cual debe hacerse uniformemente, para que no se forme burbujas de aire dentro del concreto evitando segregación de la mezcla. Posterior al colado y vibrado, cuando aún el concreto este fresco se realiza el proceso de codaleo el cual da el acabado de la losa.

En el caso de los tanques de concreto es necesario que exista un sistema de drenajes por debajo de la losa de cimentación, por lo que según el AyA, previo a que se coloque el sello de concreto es necesario colocar un sistema de tuberías de drenaje, las cuales poseen perforaciones en toda su longitud, el tamaño de la tubería y la distancia a la que se deben colocar se definirán por el diseñador, sin embargo para tanques medianos de entre 200 y 300 metros cúbicos se utilizan tuberías de 4 pulgadas o 100 milímetros de diámetro y a cada 3 metros aproximadamente.



**Figura 7.** Ejemplo de tuberías de drenaje bajo la losa de cimentación.  
Fuente: Chaves, 2016.

Una vez colocadas las tuberías de drenaje se coloca el concreto de sello y sobre este sello se inicia la colocación de la armadura de la losa, en

esta fase también se coloca el acero vertical de las bases de los muros las cuales deben quedar embebidas en el concreto de la fundación y correctamente anclado al acero del cimiento con sus respectivos ganchos.

En este caso no es necesario colocar formaleta en los laterales ya que la losa de fundación se cuela directamente sobre el terreno. Es importante que el colado de la losa se realice sin dejar juntas frías, sin embargo, entre la losa de cimentación y los muros laterales existirá una junta fría, a la cual se le debe colocar una cinta elástica impermeable de PVC, conocida como waterstop la cual debe colocarse antes de colar las paredes del tanque.



**Figura 8.** A la izquierda cinta de PVC impermeable (waterstop) antes de ser colocada y a la derecha waterstop colocado.  
Fuente: Chaves, 2016.

Posterior a la fragua de la losa de cimentación se procede a terminar con el acero de refuerzo de los muros, el cual se debe colocar según las especificaciones definidas por el diseñador en los planos, en la dirección establecida y en el espaciamiento indicado, además se deben colocar los ganchos correspondientes y amarrar las varillas entre ellas con el alambre de acero comúnmente denominado “alambre negro”.

Una vez concluida esta etapa se procede a colocar la formaleta para el colado de los muros, actualmente el método más utilizado es el de formaletas metálicas modulares que consiste en una serie de paneles que se unen a través de ties y cuñas. A los paneles se les coloca una capa de desmoldante en la superficie que entra en contacto con el concreto con el fin de facilitar el desencofrado.

El colado de los muros generalmente se realiza con concreto premezclado, el cual se coloca por medio de una bomba telescópica y un vibrador que asegura que la mezcla quede uniformemente distribuida a lo largo de la formaleta con el fin de que no queden espacios vacíos que al fraguar se conviertan en hormigueros.

Según las normas técnicas del AyA el proceso de desencofrado debe realizar después de 48 horas del colado, también indica que, durante el proceso de colado, la altura máxima que se puede colocar en una sola colada es de 2 metros, por lo que si los muros presentan más de 2 metros de altura deben colarse en tramos de máximo 2 metros de altura y que en cada corte de colada se debe colocar cinta elástica de PVC (waterstop), especial para evitar fugas en las juntas.

El AyA en su norma técnica también especifica que, en la base de los muros, en la unión con la losa se debe dejar un espaciamiento de 40 mm x 20 mm que posterior al colado de los muros debe rellenarse con una masilla elástica a base de polietileno, con el fin de reforzar las zonas de unión y evitar que existan filtraciones o fugas en dichas zonas críticas.



**Figura 9.** Encofrado para colado de muros.  
Fuente: Chaves,2016.

Se debe tomar en cuenta que en el último tramo de los muros es necesario colocar el acero correspondiente a la losa del techo para que este quede correctamente anclado al acero de los muros, una vez terminado esta fase se procede a colar la estructura del techo, también en concreto.



**Figura 10.** Fondo de losa.  
Fuente: Chaves, 2016.

Se debe colocar una estructura que consiste en puntales que soportan las viguetas metálicas, conocida como fondo de losa, esta estructura también sirve de apoyo a los paneles metálicos. Por otro lado, se deben dejar las previstas para las cavidades de acceso a través de la losa de techo, por lo que en estas zonas no se coloca fondo de losa, sino que se le da forma a través de elementos de madera.

Una vez armada toda la base de formaleta se procede a colocar la formaleta lateral y todo el acero correspondiente a la losa del techo, la cual se coloca sobre helados para que la armadura posea el recubrimiento necesario y no se desplace con respecto a lo especificado en planos, dicha armadura debe anclarse al acero de los muros del tanque según lo descrito en los planos.

Seguidamente se procede con el colado del concreto premezclado con bombas telescópicas al igual que en las etapas anteriores, y con el correcto vibrado para un acabado uniforme, por otro lado, al igual que en las fundaciones se debe codlear el concreto antes de que fragüe con el fin de dar acabado y nivel requerido.

Por último, se realiza el proceso de desencofrado, el cual es el mismo que en las etapas anteriores, con la diferencia que las formaletas deben permanecer al menos 15 días colocadas para

evitar la deformación de la losa, dicho proceso de desencofrado al realizarse en un ambiente confinado debe contar con los equipos de aireación adecuados para salvaguardar la salud de los colaboradores.



**Figura 11.** Impermeabilización de muros.  
Fuente: Chaves, 2016.

Cuando se ha finalizado la construcción de la estructura se inicia el proceso de impermeabilización, mediante el uso de repello cementicio y emulsión asfáltica, el repello cementicio se utiliza en todas las secciones del tanque, muros y losas, tanto en la parte externa como la interna, mientras que la emulsión asfáltica se aplica externamente en la sección del tanque que está en contacto directo con el suelo.

En cuanto a los accesorios mínimos necesarios que se deben instalar están las escaleras, las tapas metálicas y las ventilaciones del tanque. En este tipo de tanques es importante dejar como mínimo 2 accesos diferentes con sus respectivas tapas y escaleras, dichas escaleras serán de la altura del tanque en la parte interna, y para la parte externa se deberá tomar en cuenta la condición de desplante del tanque.



**Figura 12.** Accesorios en tanque de concreto terminado.  
Fuente: Chaves, 2016.

## Alternativa 2: Diseño en mampostería

Esta alternativa mezcla el concreto estructural con los muros de mampostería confinada, lo cual es un sistema muy común en la construcción de estructuras en Costa Rica, según Marinilli y Castilla (2007), dicho sistema consiste básicamente en un paño de mampostería el cual está rodeado en todo su perímetro por elementos de concreto reforzados colados in situ luego de la construcción del paño. Dichos paños son usualmente fabricados con bloques de concreto huecos, antiguamente era común que se realizara con ladrillos de arcilla o bien con bloques huecos de arcilla, en el caso de nuestro país lo más común es la mampostería hueca de concreto, también se puede mencionar que es uno de los sistemas clásicos utilizados por el AyA para elaborar tanques de almacenamiento, sin embargo, al igual que los tanques de concreto, se han encontrado que comúnmente se presentan fallas en la impermeabilización del tanque, esto quiere decir que tienen a formarse grietas o fisuras debido a la rigidez del material, lo cual permiten que se fugue el agua (Matarrita 2022), por otro lado, al ser un material poroso y áspero tiende a facilitar la generación de algas a lo interno del tanque y la reproducción de otros microorganismos, lo que conlleva a requerir un mantenimiento constante, también se puede mencionar que tienen costos de

reparación comparativamente más altos que el resto de las opciones aquí analizadas inclusive en algunos casos puede superar los costos de reparación de los tanques de concreto. Se pueden mencionar dentro de sus ventajas su alta resistencia estructural, lo que evita que sean objetivo del vandalismo, además su estructura permite mantener una temperatura interna con pocas variaciones, favoreciendo a los consumidores entregando siempre agua fresca (Barrantes, 2022).

Por último, según Chaves (2016), el costo de construcción de un tanque de mampostería de 1000 metros cúbicos es de entre 240000 y 275000 colones por metro cúbico, lo que actualizado a noviembre del 2022 por el índice de precios de la construcción y el procedimiento descrito anteriormente nos da un costo entre 381360 a 436975 colones por metro cúbico.

## Proceso constructivo

Al igual que con el tanque de concreto descrito anteriormente se inicia el proceso con la limpieza del terreno, la cual consiste en eliminar la capa vegetal que existe sobre el terreno, eliminando los residuos orgánicos que pueden afectar a largo plazo la estabilidad de la estructura e igualmente se colocan las instalaciones provisionales, como lo son la bodega, la oficina, las cabañas sanitarias, el taller de armadura y el cerramiento provisional del proyecto.

Luego se procede con el movimiento de tierras el cual es muy similar al descrito para los tanques de concreto, donde supone la creación de cuatro taludes con pendientes de 45 grados, donde la base del talud debe coincidir con la parte superior de la losa de cimentación, luego se realiza un corte de 30 cm por debajo del nivel del fondo de la losa de cimentación, para colocar 20 cm de lastre y un sello de concreto de 10 cm.

Seguidamente se procede con la elaboración del acero de refuerzo de la losa de cimentación, según indique el plano, considerando los empalmes y los ganchos especificados. Igualmente se elaboran los helados ya sea de concreto o de plástico, los cuales tienen la función de que durante el colado se respete el recubrimiento del acero y que el acero no desplace en ninguna dirección, como se mencionó anteriormente dichos elementos deben colocar a mínimo 1 metro de distancia entre ellos, en ambas direcciones.

Una vez colocado el acero del cimiento y la losa se coloca el concreto el cual es comúnmente premezclado y colocado a través de bombeo telescópico, teniendo cuidado con el proceso de vibrado del concreto el cual debe hacerse uniformemente, para que no se forme burbujas de aire dentro del concreto evitada segregación de la mezcla, por último, se da el proceso de codaleo el cual da el acabado de la losa.



**Figura 13.** Colado de cimentación en tanque de mampostería.  
Fuente: Chaves, 2016.

Es importante tener en cuenta previo al colado de la losa que es necesario dejar las varillas verticales para los muros, contemplando siempre la ubicación de las mismas, ya que deben coincidir con las celdas de los bloques de mampostería.

Posterior al colado de la losa se comienza a colocar las primeras hiladas de bloques de los muros, las cuales se deben colocar traslapadas con respecto a la fila anterior. Según Carranza (2021), la altura máxima de colado de las celdas deber ser de 1.2 metros, sin embargo, el AyA recomienda construir vigas medianeras cada 4 o 6 filas según el volumen del tanque, esto quiere decir cada 0.8 o 1.2 metros.

Debido a esto, el proceso constructivo consiste en colocar de 4 a 6 hileras de bloques, rellenar las celdas de cada uno de estos, para seguidamente colocar el acero de la viga medianera y la formaleta para colar el elemento, también es importante considerar que en las intersecciones de los muros de mampostería, se debe colar una columna de concreto, por lo que el acero de refuerzo de las columnas debe construirse paralelamente a los muros hasta alcanzar la altura total, momento en el cual se coloca la formaleta para colar las columnas.

Una vez colocada la viga medianera se procede con la colocación de otras 4 o 6 hileras de bloques, se rellenan las celdas, se arma y coloca el acero de refuerzo, se coloca el encofrado y se cuela la siguiente viga medianera y así sucesivamente hasta alcanzar la altura especificada en los planos.



**Figura 14.** Colocación de muros de mampostería.  
Fuente: Chaves, 2016.

Con respecto a la losa del techo el proceso constructivo es prácticamente el mismo al descrito en los tanques de concreto, primeramente, se debe tomar en cuenta que en el último tramo de los muros es necesario colocar el acero correspondiente a la losa del techo para que este quede correctamente anclado al acero de los muros, una vez terminado esta fase se procede a colar la estructura del techo, también en concreto. Para esta fase se debe colocar igual el fondo de losa que soporta las viguetas metálicas, dejando los espacios de los accesos libres, dándoles forma con elementos de madera, se coloca el encofrado necesario para el techo y luego se coloca el acero de refuerzo de este y seguidamente se da el colado y vibrado del concreto para dar un acabado uniforme.



**Figura 15.** Encofrado del acceso al tanque en la losa de techo.  
Fuente: Chaves, 2016.

Por último, se realiza el proceso de desencofrado, el cual es el mismo que en las etapas anteriores, con la diferencia que las formaletas deben permanecer al menos 15 días colocadas para evitar la deformación de la losa, dicho proceso de desencofrado al realizarse en un ambiente confinado debe contar con los equipos de aireación adecuados para salvaguardar la salud de los colaboradores.

Según Chaves (2016), el proceso de impermeabilización de los tanques de mampostería consiste en la colocación de malla electrosoldada sobre la parte interna de los muros para luego colocar un repello de al menos 1.5 cm, además para todas aquellas áreas que no estén en contacto con el suelo se debe colocar el mismo espesor de repello, pero sin la malla electrosoldada.



**Figura 16.** Impermeabilización interna de los muros.  
Fuente: Chaves, 2016.

Por otro lado, con respecto a los accesorios se indica que para los tanques de mampostería se deben dejar 4 entradas humanas con sus respectivas tapas metálicas y escaleras.

### **Alternativa 3: Diseño en plástico reforzado con fibra de vidrio**

El plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) según Parrilla (1993), es un material compuesto, constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante de las mismas, donde el refuerzo de fibra de vidrio provee al compuesto resistencia mecánica, resistencia al calor y estabilidad dimensional y por otro lado la resina plástica aporta resistencia química dieléctrica y resistencia a la intemperie, esta alternativa se ha estado adoptando recientemente debido a sus características, ya que este material tiene propiedades anticorrosivas, es inerte a diversos compuestos químicos y tiene un peso aproximado de 1800 kg/m<sup>3</sup> por lo que permite crear estructuras livianas. Este material es flexible, o sea, que se comporta de forma elástica, sin embargo, presenta un tipo de falla frágil la cual es una de sus desventajas, otra desventaja es que al ser un material liviano puede ser vulnerable al vandalismo.

Por otro lado, dentro de sus ventajas esta que al ser inerte es un material que no es atacado por microorganismos ni se le adhieren sustancias a su superficie lo que reduce la frecuencia de mantenimiento necesario para mantener la estructura limpia a lo interno, además por su liviana estructura es un sistema de rápida instalación, también posee una alta resistencia a la corrosión en suelos agresivos.

Con respecto al costo de construir una infraestructura de este tipo, Chaves (2016) menciona que el costo de construcción de un tanque de plástico reforzado con fibra de vidrio de 1000 metros cúbicos ronda de entre 210000 y 245000 colones por metro cúbico, lo que actualizado a julio del 2022 por el índice de precios de la construcción y siguiendo el procedimiento descrito anteriormente en la alternativa 1, da como resultado un precio entre 333690 a 389305 colones por metro cúbico, esto quiere decir que es una opción más económica comparada con las alternativas de concreto y mampostería.

## Proceso Constructivo

Como en toda obra constructiva se inicia con la limpieza del terreno, que consiste en eliminar la capa vegetal que existe sobre el terreno, para eliminar los residuos orgánicos que pueden afectar a largo plazo la estabilidad de la estructura, luego se procede con la colocación de las instalaciones provisionales, como lo son la bodega, la oficina, las cabañas sanitarias, el taller de armadura y el cerramiento provisional del proyecto.

Seguidamente se procede con el movimiento de tierras que consiste en la excavación de las dimensiones de la placa de fundación, en este caso tiende a ser más sencillo que los movimientos de tierra para tanques de concreto o de mampostería, ya que solo consiste en un corte del tamaño de la huella de fundación con 30 cm de profundidad en los cuales se coloca 20 cm de lastre y 10 cm concreto para sello.

Seguidamente se procede con la elaboración del acero de refuerzo de la losa de cimentación, según indique el plano, considerando los empalmes y los ganchos especificados, de igual forma se elaboran los helados ya sea de concreto o de plástico, los cuales tienen la función de que durante el colado se respete el recubrimiento del acero y que el acero no desplace en ninguna dirección, dichos elementos deben colocar a mínimo 1 metro de distancia entre ellos, en ambas direcciones.



**Figura 17.** Helados de concreto.  
Fuente: Chaves, 2016.

Luego se inicia con el colado de la losa, proceso que se realiza comúnmente con concreto premezclado y colocado a través de bombeo telescópico, considerando el proceso de vibrado el cual es muy importante para evitar que la mezcla se segregue y como se ha mencionado anteriormente, posterior al colado y vibrado,

cuando aún el concreto este fresco se realiza el proceso de codaleo el cual da el acabado de la losa.



**Figura 18.** Colado de losa circular.  
Fuente: Chaves, 2016.

La losa en este tipo de tanques presenta diferencias con respecto a los tanques de mampostería y a los tanques de concreto ya que generalmente son de forma circular y además se construyen en un nivel de desplante cero, por lo que tampoco es necesario colocar drenajes bajo la losa.



**Figura 19.** Pernos de unión para los paneles del tanque.  
Fuente: Chaves, 2016.

Para las paredes del tanque, lo primero es crear los paneles con las dimensiones necesarias según el tamaño de tanque que se necesite, comúnmente la creación de los moldes y la fabricación de los paneles comienza inclusive antes de comenzar la limpieza o el movimiento de tierras en el sitio, el acabado de los paneles depende del

acabado que tengan los moldes, por lo que, si el acabado del molde es fino, los paneles serán más brillantes y pulidos.

Cuando ya todas las piezas que conforman el tanque están listas y la losa tiene al menos 15 días de colada se procede a trasladar las piezas al sitio para comenzar con su ensamblaje. Se inicia anclando el primer anillo a la losa de fundación a través de pernos una vez finalizado el primer anillo se cubre toda la parte interna con resina y fibra de vidrio. Luego se procede a colocar los paneles del siguiente anillo haciendo que coincidan en los puntos de unión, manteniéndolos firmes con prensas tipo C para luego fijarlas firmemente con los pernos.



**Figura 20.** Colocación de los paneles de fibra de vidrio.  
Fuente: Chaves, 2016.

La estructura del techo al igual que las paredes consiste en paneles modulares que se deben fabricar en el taller y ser transportados al sitio cuando ya tengan el acabado deseado para su debida instalación. Se utilizan andamios para ir colocando cada panel en su sitio y se fijan con pernos.

Según Chaves (2016), para la impermeabilización final se le aplican 2 capas de resina y una capa de "Gelcoat" para asegurar que no existan filtraciones de ningún tipo.



**Figura 21.** Aplicación del impermeabilizante Gelcoat.  
Fuente: Chaves, 2016.

Finalmente, se le colocan los accesorios como las escaleras de acceso y el andén perimetral con su respectiva baranda.



**Figura 22.** Tanque terminado con sus respectivos accesorios.  
Fuente: Chaves, 2016.

## Alternativa 4: Diseño en acero vitrificado

El acero vitrificado es un material resultante de la fusión de vidrio con acero, cada uno de los paneles de acero vitrificado están compuestos por una placa de acero al carbono el cual posee un sistema de recubrimiento de 3 capas de vidrio interno y 2 capas de vidrio externo, cada una de las capas de vidrio se fusionan con el acero aplicando una temperatura de 890 °C en el proceso de fabricación. Este recubrimiento combina las extraordinarias propiedades químicas y físicas del

del vidrio mejorado con titanio el cual proporciona una mayor resistencia a la corrosión, con las propiedades del acero al carbono, material dúctil con gran resistencia.

Según Gómez (2022), dentro de las principales ventajas que posee dicho material es que no es atacado por microorganismos ni se le adhieren sustancias a su superficie, debido a su superficie pulida, gracias a esto también es una superficie muy fácil de limpiar, también al ser un material resistente a la corrosión se puede utilizar en suelos agresivos. Es un material liviano de rápida instalación y también al ser modular, dicho material se puede dismantelar y ser reinstalado en otra ubicación con relativa facilidad, además requiere de mínimo mantenimiento preventivo, donde básicamente nunca tiene que repintarse.

A pesar de las ventajas descritas para este sistema es importante mencionar que dicho material puede ser afectado por el vandalismo, debido al pequeño espesor del panel, sin embargo, esta debilidad también permite mencionar que en caso de reparaciones se puede hacer una sustitución rápida de los paneles dañados, ya que estos están unidos los unos a otros a través de pernos.

Según Madrigal (2022), el costo de construcción de un tanque de acero vitrificado de 1000 metros cúbicos rondaba antes de la pandemia por COVID-19 entre 250000 y 280000 colones por metro cúbico, aproximadamente a mediados del 2019, por lo tanto actualizado a noviembre del 2022 por el índice de precios de la construcción y siguiendo el procedimiento descrito anteriormente en la alternativa 1, da como resultado un precio entre 354000 a 396480 colones por metro cúbico esto quiere decir que es una de las opciones más económica comparada con las alternativas estudiadas en este proyecto.

## Proceso Constructivo

Se inicia con la limpieza del terreno la cual consiste en eliminar la capa vegetal que existe sobre el terreno, eliminando los residuos orgánicos que pueden afectar a largo plazo la estabilidad de la estructura, como se ha mencionado anteriormente se procede a colocar las instalaciones provisionales, como lo son la bodega, la oficina, las cabañas sanitarias, el taller de armadura y el cerramiento provisional del proyecto.



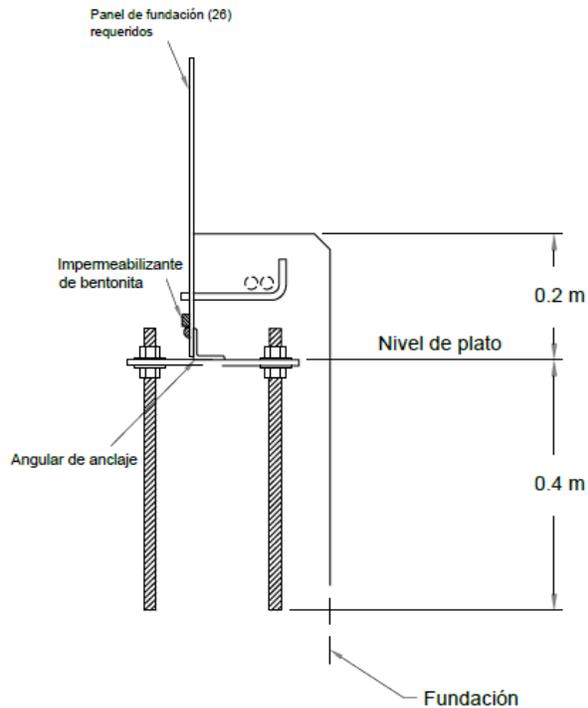
**Figura 23.** Limpieza de terreno.  
Fuente: Chaves, 2016.

Luego se procede con el movimiento de tierras y la sustitución de suelo en caso de ser necesario, en este mismo proceso se inicia con la excavación de la zanja donde ubicara el anillo de arranque, dicho anillo es una viga perimetral la cual se encarga de trasladar los esfuerzos generados al suelo. Paralelamente se procede con la elaboración del acero de refuerzo tanto de la viga como de la losa de cimentación según indique el plano, considerando los empalmes y los ganchos especificados. En el caso de la losa de cimentación generalmente se utiliza una configuración de doble malla.

Se elaboran los helados ya sea de concreto o de plástico, estos tienen la función de que durante el colado se respete el recubrimiento del acero y que el acero no desplace en ninguna dirección, una vez colocado los helados y elaborado el acero de refuerzo se procede a colocarlo y a fijarse a través de los empalmes y los ganchos para crear una estructura uniforme que transmita los esfuerzos de forma eficaz.

El siguiente paso es empotrar el primer anillo de paneles de acero vitrificado al acero de refuerzo del anillo de arranque, para esto se debe hacer uso de los platos niveladores y angulares para

asegurar que este anillo quede perfectamente nivelado ya que es el arranque para la colocación de los demás anillos de la estructura del tanque. Un pequeño error en la nivelación puede tener graves consecuencias en el armado de los demás anillos del tanque afectando su estabilidad estructural.



**Figura 24.** Detalle de las placas niveladoras y anclaje de los paneles de acero vitrificados a la viga de arranque. Fuente: Gómez, 2022

Una vez colocado el acero de refuerzo de la losa, la viga, la acera perimetral y el primer anillo de acero vitrificado se procede a colocar un sello de bentonita solo en la parte interna del anillo de arranque, este sello se expande al entrar en contacto con el agua y se utiliza para evitar que existan filtraciones a través de la cimentación. Una vez terminado la colocación del sello de bentonita se procede al colado de concreto, el cual es comúnmente premezclado y colocado a través de bombeo telescópico, es importante que el colado del concreto se realice en una sola etapa esto para evitar la formación de juntas frías que puedan disminuir la capacidad del concreto, además de esta forma se asegura que toda la estructura del cimiento funcione de manera uniforme como un solo elemento monolítico, otro aspecto importante a tener en cuenta en el colado

es que se debe tener cuidado con el proceso de vibrado del concreto el cual debe hacerse uniformemente, para que no se forme burbujas de aire dentro del concreto evitando segregación de la mezcla.



**Figura 25.** Colado de la losa de cimentación. Fuente: Chaves, 2016.

Posterior al colado y vibrado, cuando aún el concreto este fresco se realiza el proceso de codaleo el cual da el acabado de la losa, y en los casos que así se requiera se procede a pulir la losa para dar acabado lujado.

Una vez finalizada esta etapa de la cimentación se procede a instalar las paredes del tanque, las cuales están compuestas por los paneles de acero vitrificado y unidas por medio de pernos. Para colocar estos paneles se debe primero colocar una capa de silicón especial llamado "m Manus Bond" al anillo inicial que ya se encuentra empotrado en el cimiento, luego se alinea por medio de punzones y se le colocan los pernos que fijan el panel al anterior.

Este proceso se repite en la colocación de cada uno de los paneles, además conforme se van colocando los pernos que sujetan cada panel a estos también se les coloca una capa de este silicón especial para evitar que existan filtraciones en cada uno de ellos, dichos paneles se van colocando en forma de anillos esto quiere decir que hasta que se termine un anillo se prosigue con el siguiente, este proceso de construcción también se puede realizar de 2 formas a través de andamios o a través de gatas.



**Figura 26.** Colocación de los paneles de acero vitrificado.  
Fuente: Imagen propia.

En caso de que se realice con andamios, se va colocando cada anillo uno encima del anterior hasta alcanzar la altura máxima, los anillos superiores utilizan andamios y grúas para elevar las piezas y colocarlas, de igual forma la estructura del techo se coloca hasta que esté finalizado el proceso de construcción de las paredes del tanque, esta estructura de techo generalmente se arma en el suelo y luego se eleva y se coloca en la cima con ayuda de una grúa.

En el caso de que se utilicen gatas, el proceso varía un poco, ya que cada anillo construido se eleva con ayuda de las gatas y el siguiente anillo es colocado a nivel del suelo, o sea, en la parte inferior del anillo colocado, este proceso tiene la ventaja de que la estructura de techo se puede instalar aun cuando el tanque tiene una baja altura, generalmente al finalizar el segundo o tercer anillo de la pared, evitando así tener que contratar una grúa para la instalación del techo y este proceso de elevar cada anillo terminado se repite hasta que el tanque alcanza la altura de diseño.



**Figura 27.** Colocación de paneles con gatas.  
Fuente: AquaStore, 2012.

Una vez terminada la construcción de las paredes se procede a realizar la perforación para la entrada

de los ductos de alimentación del tanque y la colocación de los accesorios, como las escaleras, los andenes perimetrales y los accesos al tanque.

## Matriz Multicriterio.

Cuando es necesario tomar una decisión con respecto a varias alternativas que pueden solucionar un problema, es de gran ayuda analizarlas a través de un análisis multicriterio el cual según Ortiz (2021) “es un instrumento que se utiliza para evaluar posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios, se utiliza para apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente” (p. 2).

Según la Asociación Española para la Calidad (AEC, 2019): La matriz de priorización o matriz multicriterio es una herramienta que se utiliza para evaluar distintas opciones puntuándolas respecto a criterios de interés para un problema, de manera que se intenta objetivar la elección.

Para elaborar y utilizar la matriz multicriterio debemos seguir rigurosamente los siguientes pasos:

1. Elaborar una lista con las opciones del problema a calificar.
2. Escoger criterios.
3. Diseñar la matriz señalando las opciones y los criterios.
4. Establecer una comparación para evaluar las diferentes opciones.
5. Otorgar a cada opción un valor, resultando de operar las calificaciones de cada criterio.
6. Valorar los resultados.

Un ejemplo de aplicación de la matriz multicriterio, son las aplicadas por Ficalora, Rimauro y Zafrán (2016), en el documento llamado: Matriz multicriterio para planificación de pasos bajo nivel en zonas urbanas, en donde son aplicadas para medir factores de densidad vial, interrupción de circulación, entre otros factores analizados para cada oferta vial propuesta.

Para este proyecto específico se definen los siguientes criterios de evaluación que se aplicaran a cada una de las alternativas a evaluar, es importante aclarar que la definición de dichos criterios se realizó siguiendo las recomendaciones

de diversos expertos en el diseño y construcción de estructuras para acueductos como los son los ingenieros Álvaro Barrantes, ingeniero de AyA encargado de la región Brunca, Aaron Gómez, ingeniero de Florida AquaStore experto en el diseño y construcción de tanques de almacenamiento, Anthony Madrigal, ingeniero de la empresa Lucas Electrohidráulica, además de la colaboración del gestor general de AyA para la región Brunca Freddy Matarrita.

1. Plazo de ejecución: Este criterio compara cada una de las opciones para determinar cuál proceso constructivo requiere de mayor o menor para la finalización de la obra.

2. Factor económico: Dicho criterio se enfoca en comparar el costo aproximado de realizar el proyecto con cada una de las alternativas de estudio.

3. Factor ambiental: A través de él se analiza el impacto ambiental ocasionado por el proyecto, enfocándose en cual alternativa genera menor cantidad de residuos o bien cuál de las alternativas podría tener una mejor gestión de los residuos.

4. Disponibilidad de recursos: Este criterio analiza si en el país están disponibles todos los materiales, equipos y mano de obra necesaria para desarrollar el mismo, o bien si existe alguna empresa que facilite la importación de los recursos que no estén directamente disponibles en el país.

5. Mantenimiento y Durabilidad: A través de este criterio se analiza cuanto mantenimiento requiere la alternativa de estudio para que se conserve en buenas condiciones a través del tiempo.

6. Sitio de construcción: Analiza la necesidad de acceso a servicios públicos como agua y electricidad que requiere cada una de las alternativas, así como la facilidad de acceso a los proveedores de materiales hasta la zona del proyecto.

A continuación, se mostrará una serie de cuadros donde se relacionan cada una de las alternativas con los criterios de evaluación definidos anteriormente:

<b>CUADRO 1. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS Y SUS FACTORES PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL TANQUE DE CONCRETO.</b>	
Plazo de Ejecución	Esta alternativa requiere de un proceso más lento ya que se debe considerar el armado del acero, el armado de las formaletas, el tiempo de colado y fraguado del concreto y el desmolde de los elementos, además una vez terminada la parte estructural se requiere impermeabilizar correctamente las paredes y el fondo del tanque.
Factor Económico	En esta alternativa el costo es uno de los más elevados en relación con la capacidad de almacenamiento del tanque, se puede decir que este mayor costo es debido a los materiales y a la mano de obra ya la estructura requiere de un mayor plazo de ejecución.
Factor Ambiental	Es uno de los elementos más amigables ya que a la hora de construir los elementos, se tratan los desperdicios en cada uno de los procesos de confección y no llega a contaminar el lugar donde se deseen ser instalados.
Disponibilidad Recursos	Se cuentan con los recursos para construir todo en el sitio o bien se puede conseguir el concreto premezclado de manera sencilla por lo cual se tiene la disponibilidad de ser adquiridos en el país y trasladados a la zona.
Mantenimiento y durabilidad	Requiere mantenimiento periódico, tanto en limpieza como en pintura exterior, ya que internamente si no se le agrega la cantidad justa de cloro se pueden formar focos de microorganismos como algas dentro del tanque, además a nivel externo la pintura se desgasta por agentes naturales externos, porque se debe está repintando el tanque cada cierta cantidad de tiempo.
Sitio de Construcción	Requiere de un alto uso de servicios como agua y electricidad, además se requiere transportar gran cantidad de materiales al sitio de construcción para el armado de la estructura, así como el alquiler de los paneles de encofrado para muros, columnas, vigas y losas.

Fuente: Elaboración Propia.

<b>CUADRO 2. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS Y SUS FACTORES PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL TANQUE DE MAMPOSTERIA.</b>	
Plazo de Ejecución	La alternativa tiene un proceso algo tardado debido a que al igual que el concreto la losa, las columnas y las vigas, requieren acero de refuerzo y contemplar el tiempo de colocación de formaletas, colado y fraguado del concreto; y desmolde de los elementos. Por otro lado, se debe considerar que no se pueden realizar la colocación y colado de más de 6 hileras de block por día y también se requiere de aplicar un repello y uniones impermeabilizantes entre las hileras de block, vigas y columnas para garantizar la nula presencia de fugas.
Factor Económico	Para esta alternativa el costo relacionado es muy similar al tanque de concreto, tiende a ser un costo elevado si se compara con las otras 2 alternativas, además se debe considerar el costo de la impermeabilización tanto interna como externa del tanque.
Factor Ambiental	Esta alternativa puede ser amigable con el ambiente siempre y cuando exista un adecuado manejo de los desechos en cada una de los procesos y una buena modulación de las dimensiones con el fin de disminuir los desperdicios en cada etapa
Disponibilidad Recursos	En la zona se cuentan con los recursos necesarios para construir el tanque por lo cual se tiene la disponibilidad de ser adquiridos y trasladados al sitio de construcción sin mayores complicaciones.
Mantenimiento y durabilidad	Al igual que los tanques de concreto requiere mantenimiento periódico, tanto en limpieza como en pintura exterior, ya que internamente si no se le agrega la cantidad justa de cloro se pueden formar focos de microorganismos como algas dentro del tanque, además a nivel externo la pintura se desgasta por agentes naturales externos, porque se debe está repintando el tanque cada cierta cantidad de tiempo. Por otro lado, también es importante checar la impermeabilización de la estructura ya que el block al ser un material poroso aumenta las probabilidades de que existan filtraciones
Sitio de Construcción	Requiere de un alto uso de servicios como agua y electricidad, además se requiere transportar gran cantidad de materiales al sitio de construcción para el armado de la estructura, así como el alquiler de los paneles de encofrado para, columnas, vigas y losas.

Fuente: Elaboración Propia.

<b>CUADRO 3. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS Y SUS FACTORES PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL TANQUE DE PRFV.</b>	
Plazo de Ejecución	Esta alternativa también es de las más rápidas, al igual que el acero vitrificado, se ensambla por medio de paneles atornillados lo que hacen que la construcción sea rápida, sin embargo, hay que contemplar el tiempo necesario para impermeabilizar los paneles internamente por medio de resina.
Factor Económico	Esta alternativa es menos costosa en relación con las primeras 2 alternativas, al ser una estructura que se ensambla rápidamente los costos de mano de obra tienen a ser menores, se debe recordar incluir el costo de impermeabilización interna de los paneles con la resina.
Factor Ambiental	La fabricación de los elementos de este sistema constructivo suele ser más controlada por las empresas que lo diseñaron y fabricaron, ya que el hecho de que los elementos se trasladen listos para colocar permite una reducción significativa o casi nula de los residuos al requerir solo ser instalada en el sitio.
Disponibilidad Recursos	Los materiales pueden ser adquiridos ya sea desde la fábrica de producción y trasladarlos al sitio de la construcción, sin embargo, dichas fabricas se encuentran lejos de la zona del proyecto por lo que la accesibilidad de los materiales no es la más optima.
Mantenimiento y durabilidad	Suele tener costos bajos de mantenimiento ya que es un material que no es atacado por microorganismos ni se le adhieren sustancias a su superficie, sin embargo, se debe considerar pintarlo externamente cada cierto tiempo.
Sitio de Construcción	Al ser un sistema prefabricado, donde todas las piezas se envían juntas, facilita la distribución de los materiales en el sitio, no se requiere de grandes cantidades agua ni de electricidad en su proceso constructivo.

Fuente: Elaboración Propia.

<b>CUADRO 4. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS Y SUS FACTORES PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL TANQUE DE ACERO VITRIFICADO.</b>	
Plazo de Ejecución	Una de las alternativas más rápidas para construir un tanque ya que se trabaja con módulos prefabricados los cuales se instalan por medio de pernos, se instalan aproximadamente entre 6 y 8 semanas para tanques de entre 500 y 1000 m3.
Factor Económico	Esta alternativa es menos costosa en relación con las primeras 2 alternativas, al ser una estructura que se ensambla rápidamente los costos de mano de obra tienen a ser menores, no necesita de gastos extras para la impermeabilización luego de concluir el ensamblaje del mismo.
Factor Ambiental	Al igual que la alternativa 3, la fabricación de los elementos de este sistema constructivo suele ser más controlada por las empresas que lo diseñaron y fabricaron, ya que el hecho de que los elementos se trasladen listos para colocar permite una reducción significativa de los residuos o bien una generación casi nula de los residuos, al requerir solo ser instalada en el sitio.
Disponibilidad Recursos	Al igual que la alternativa de tanque en fibra de vidrio, los paneles de acero vitrificado y todos los elementos que componen la estructura del tanque pueden ser adquiridos por medio de proveedores especializados que se ubican generalmente en el área metropolitana por lo que se tiene accesibilidad de los materiales, pero se deben considerar los costos de acarreo.
Mantenimiento y durabilidad	Mínimo mantenimiento preventivo, básicamente nunca tiene que pintarse ya que el color está impregnado en la capa vítrea, por otro lado, es muy resistente a la corrosión y es un material que no es atacado por microorganismos ni se le adhieren sustancias a su superficie.
Sitio de Construcción	No requiere de grandes cantidades de agua ni electricidad en su proceso constructivo ya que los paneles se unen por medio de pernos al igual que el techo, por otro lado, en el colado de la losa se usa concreto premezclado, reduciendo significativamente el uso de agua para elaboración de concreto. Al ser un sistema prefabricado, donde todas las piezas se envían juntas, facilita la distribución de los materiales en el sitio.

Fuente: Elaboración Propia.

# Metodología

El proyecto propuesto se desarrolló basándose en la investigación de los distintos tipos de tanques de almacenamiento de agua que se pueden construir, considerando las condiciones geográficas y climáticas de la localidad, con el fin de encontrar el tanque que se ajuste mejor a las necesidades.

Para esto el primer paso que se ejecutó fue reunirse con los encargados de la institución (AyA), para tener un primer acercamiento sobre el proyecto, y de la importancia de ejecutarlo, en dicha reunión inicial se coordinó una visita al sitio de construcción previsto para dicho tanque en acompañamiento del gestor general de la zona.

El día de la visita a la zona propuesta para el proyecto se recolectaron datos de la altitud de la zona, la distancia al centro de población que se beneficia del proyecto, así como una inspección visual de las condiciones del suelo y reconocimiento de la topografía presente en el sitio. Luego de esta visita se inició una investigación, sobre el clima de la zona buscando las características principales, como la temperatura promedio anual, la humedad relativa presente a lo largo del año, así como la cantidad de lluvia que impacta la zona, con el fin de detectar los principales factores ambientales que pueden afectar la estructura del tanque, seguidamente se realizó una investigación, sobre los principales tipos de suelos que se encuentran en la zona, con el fin de delimitar las principales características físicas y mecánicas del suelo, así como los posibles problemas que puedan surgir relacionados al tipo de suelo, para efectos de este trabajo no se realizó el respectivo estudio geotécnico debido a limitantes económicas, por lo que se asume la recomendación del código sísmico, de utilizar para los cálculos del diseño del cimiento un tipo de suelo S3, el cual según la tabla 2.2 de dicho código posee una resistencia de entre 0.5 y 0.75 kg/cm<sup>2</sup>.

Una vez concluido el primer objetivo el cual hace referencia a las condiciones del sitio donde se desarrolla el proyecto, se inicia con las investigaciones de los principales tipos de tanques de almacenamiento que se pueden construir, en

esta etapa se definieron como objetos de estudio, 2 tipo de tanques tradicionales (Tanque de concreto y tanque de mampostería), los cuales son los que tradicionalmente la institución ha desarrollado, y a su vez los que más normalizados se encuentran, y, por otro lado, 2 tipos de tanques novedosos, como lo son el tanque de fibra de

vidrio y el tanque de acero vitrificado, ambos como fuertes candidatos debido a su tiempo de instalación y costos menores con respecto a los tradicionales.

Luego de definir las opciones de estudios se realizó una investigación a través de fuentes electrónicas, para determinar las principales características de cada tipo de tanque como el tipo de materiales que utilizan, costos aproximados de construcción, así como detallar su proceso constructivo, luego a partir de esta información se procedió a enlistar las principales ventajas y desventajas de cada uno de los objetos de estudio con el fin de ilustrar de mejor manera los puntos fuertes y débiles de cada sistema considerando las condiciones climáticas y ambientales a las que se pueden ver expuestas en la zona del proyecto.

Luego se procede a realizar una matriz multicriterio donde se evalúen los diferentes sistemas investigados anteriormente, tomando en consideración las condiciones presentes en el sitio, con el fin de determinar cuál de los sistemas es el más óptimo entre los diferentes tipos de tanque, considerando como más óptimo el que mejor se adapte a las condiciones de la localidad.

Dicha matriz multicriterio se realizó en conjunto con el profesional a cargo de la práctica, expertos de la empresa Lucas Electrohidráulica, el gestor general de Acueductos y Alcantarillados de la región Brunca y el profesor guía, considerando las recomendaciones que ellos externaban. Una vez terminada la matriz de evaluación, se procedió a evaluar cada uno de los sistemas que se definieron como objetos de estudio, se llegó a la selección de uno de ellos para el diseño, en este caso específico se seleccionó el tanque de acero vitrificado.

Una vez realizada la selección, se realizó una investigación sobre la normativa vigente que se

debe aplicar en el diseño y construcción de tanque de almacenamiento. Dentro de la normativa revisada se encuentra la norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial emitida por Acueductos y Alcantarillados (AyA) (2017), norma para tanques de agua para la protección contra incendios privada NFPA 22 (2018), tanques de acero al carbono atornillados revestidos de fábrica para almacenamiento de agua de la American Water Works Association (AWWA D103-09) (2009), código sísmico de Costa Rica (CSCR-2010), código de cimentaciones de Costa Rica (CCCR-2009), requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318), componentes del sistema de agua potable - efecto en la salud (NSF 61/ANSI)(2016), entre otras normas y especificaciones ASTM para ensayos y materiales.

Luego de la revisión de normativas se contactó a la empresa Lucas electrohidráulica, empresa especialista en el diseño, construcción, mantenimiento, instalación de equipo hidráulico y electromecánico, tratamiento de aguas para el consumo humano y calidad de agua, la cual actualmente posee dentro de su catálogo de proyectos la importación e instalación de tanque de acero vitrificado. Con dicha empresa se coordinó una visita en sus instalaciones para observar de cerca como es el proceso constructivo de los tanques de acero vitrificado, así como los costos relacionados, por otro lado, se consultó sobre el proceso de diseño de los tanques de acero vitrificado y su proceso de importación.

El siguiente proceso del proyecto fue el dimensionamiento y diseño del tanque de acero vitrificado y el diseño de la cimentación en la cual se colocaría dicho tanque, considerando lo revisado en la normativa mencionada anteriormente y las recomendaciones brindadas por el ingeniero a cargo de la práctica supervisada, para esto se utilizó la herramienta Excel y seguidamente se realizaron los planos del proyecto a través del programa AutoCAD. Por último y para concluir con los objetivos del proyecto se elaboró el presupuesto de la obra para determinar cuál sería el costo de desarrollar el proyecto para el presupuesto también se utilizó la herramienta Excel.

# Resultados

## Matriz de comparación.

A continuación, se muestra la matriz multicriterio realizada con el fin de evaluar las alternativas propuestas, dicha matriz consiste en presentar los principales criterios tomados en cuenta de manera cuantitativa, para el análisis de las alternativas de diseño y asignar un puntaje a la manera en que se desarrolla cada uno de estos criterios. Es importante mencionar que los puntajes asignados a los criterios de la matriz están en una escala de 1 a 3 variando de la calificación más negativa a la más positiva respectivamente, las cuales son especificadas en el cuadro 5.

Dicho puntaje se estableció en esa escala considerando las observaciones y recomendaciones de los expertos consultados y mencionados anteriormente en la definición de los criterios de evaluación de la matriz multicriterio, los cuales son los ingenieros Álvaro Barrantes, Aaron Gómez y Anthony Madrigal, así como el gestor general de AyA de la región Brunca, Freddy Matarrita.

<b>CUADRO 5. DESCRIPCION DEL PUNTAJE PARA CADA FACTOR.</b>			
<b>Parámetros a evaluar</b>	<b>Puntaje</b>		
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Costo</b>	Costo menos elevado, menos recursos necesarios	Requerimiento de recursos moderado con un costo moderado	Alto consumo de recursos con un alto costo
<b>Disponibilidad de Recursos</b>	Alta disponibilidad de recursos	Disponibilidad de algunos de los recursos	Poca disponibilidad de recursos
<b>Impacto Ambiental</b>	Menor cantidad de desperdicios y afectación al medio ambiente	Desperdicios moderados con una contaminación ambiental apreciable	Mucha generación de desperdicio con alta contaminación ambiental
<b>Mantenimiento y Durabilidad</b>	Poco mantenimiento y gran durabilidad	Mantenimiento y durabilidad moderada	Mucho mantenimiento y durabilidad moderada
<b>Tiempo de construcción</b>	Plazo menor	Plazo intermedio	Plazo mayor
<b>Sitio de Construcción</b>	Poca necesidad de acceso a servicios públicos	Necesidad intermedia de acceso a servicios públicos	Alta demanda de acceso a servicios públicos

Fuente: Elaboración Propia.

# Selección de la Alternativa.

En esta sección se evidencia la utilización de un método de identificación de la alternativa más viable según porcentajes de importancia (PI) preestablecidos para cada criterio, dichos porcentajes se determinaron en conjunto con los supervisores de la práctica y según parámetros que se consideró relevantes para ser evaluados y contemplando las necesidades de la estructura a construir. Por lo tanto, a cada parámetro se asigna un puntaje que va de 1 a 3, donde 1 es la calificación más baja, 2 es la calificación media y 3 es la mejor calificación, tal y como se observa en el cuadro 5.

Seguidamente se pondera cada puntaje, a través de la fórmula que se muestra a continuación y por último se suma dicho puntaje ponderado para obtener un porcentaje ponderado de viabilidad total de cada alternativa. Tal y como se observa en el cuadro 6.

$$\text{Valor ponderado} = \frac{\text{Puntaje Asignado} * \text{PI}}{3}$$

Donde:

PI = Porcentaje de importancia

<b>CUADRO 6. PUNTUACION PONDERADA PARA CADA ALTERNATIVA.</b>									
Parámetros a evaluar	Porcentaje de importancia	Concreto		Mampostería		Fibra de Vidrio		Acero Vitrificado	
		Puntaje	Valor (%)	Puntaje	Valor (%)	Puntaje	Valor (%)	Puntaje	Valor (%)
Costo	25%	2	16.67%	1	8.33%	3	25.00%	2	16.67%
Disponibilidad de Recursos	10%	3	10.00%	3	10.00%	2	6.67%	2	6.67%
Impacto Ambiental	10%	2	6.67%	2	6.67%	3	10.00%	3	10.00%
Mantenimiento y Durabilidad	20%	2	13.33%	2	13.33%	2	13.33%	3	20.00%
Tiempo de construcción	20%	1	6.67%	1	6.67%	2	13.33%	3	20.00%
Sitio de Construcción	15%	2	10.00%	1	5.00%	3	15.00%	3	15.00%
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>63%</b>		<b>50%</b>		<b>83%</b>		<b>88%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Con base al cuadro anterior, que evidencia los resultados obtenidos por este método de evaluación de alternativas, se decide seleccionar la alternativa 4 debido a que en la sumatoria general tuvo un mejor puntaje de evaluación, dicha alternativa corresponde a la construcción del tanque con acero Vitrificado. A pesar de que el tanque en fibra de vidrio, triunfa en el rubro más

importante que es el costo, el sistema de construcción en acero vitrificado triunfa sobre el tanque de fibra de vidrio en el rubro de mantenimiento y durabilidad, ya que el mantenimiento preventivo necesario para conservar la estructura es menor comparado con cualquier otra de las alternativas evaluadas parámetros seleccionados.

Por su parte con respecto al tiempo de construcción, se tiene que el tanque de acero vitrificado es el de más rápida instalación ya que se instala por medio de pernos y no necesita de ningún recubrimiento adicional o algún impermeabilizante debido a la composición de sus paneles, procedimiento que si debe realizar en cualquiera de las otras 3 alternativas.

Por otra parte con respecto al rubro sitio de construcción, vemos que no requiere de gran consumo de servicios públicos debido a su facilidad de instalación, además según Gómez (2022), el proveedor de los tanque de acero vitrificado, aporta todos materiales y las herramientas necesarias para su instalación, desde los platos niveladores y anclajes hasta la estructura del techo, pasando por los pernos, silicones y sellos necesarios, por lo que en el sitio de desarrollo del proyecto solo se debe coordinar los materiales, herramientas y maquinaria para la construcción del cimiento.

En el rubro de impacto ambiental, la alternativa seleccionada, posee también ventaja sobre las alternativas tradicionales, ya que, al ser un sistema modular, donde todas las piezas encajan, se tiene un mínimo desperdicio de materiales, otra ventaja es que puede ser desplazada de zona por lo que en caso de querer proteger el área donde se desarrolla el proyecto, se puede desinstalar y reinstalar el tanque en otra zona que los gestores ambientales consideren oportuna.

Por último, con respecto a la disponibilidad de materiales a pesar de que las opciones tradicionales tienen acceso a todo lo necesario dentro del mercado nacional, el proceso de importación del acero vitrificado no es difícil ya que existen varios proveedores de ese sistema y ellos mismos dan el servicio de instalación, y supervisión de la obra, por lo que el hecho de que el material deba importarse no significa que sea un proceso significativamente complicado.

## Diseño de la alternativa seleccionada.

A continuación se mostrara un repaso general del proceso de diseño del tanque, el cual corresponde al dimensionamiento de la estructura, y diseño de la cimentación necesaria para que soporte las cargas presentes, es importante mencionar que el diseño estructural del techo del tanque según

Gómez y Madrigal (2022), es realizado por la empresa proveedora según las dimensiones que de la estructura, por lo que para efectos de esta sección, el techo no será contemplado, sin embargo para efecto de la carga sobre la cimentación se realiza un cálculo aproximado del peso del mismo.



**Figura 28.** Estructura del domo del techo.  
Fuente: AquaStore, 2012

## Dimensionamiento de la estructura.

En esta etapa se inició considerando que el volumen requerido de almacenamiento es de 2000 m<sup>3</sup>, a partir de esto y considerando un radio de almacenamiento de 10 metros, se calculó una altura requerida para el tanque la cual dio 6.37 metros. Seguidamente se calculó la circunferencia de un círculo de radio 10 metros dando como resultado una distancia de 62.84 metros. Seguidamente y contemplando el dato de las dimensiones del panel se determinó la cantidad de paneles por anillo dividiendo la medida de la circunferencia por la longitud de un panel y la cantidad de anillos necesarios para almacenar el volumen requerido dividiendo la altura requerida por la altura de un panel, dando como resultado que se requiere un tanque de 5 anillos de 24 paneles, esto significa un tanque de 20.25 metros de diámetro y 7.25 metros de altura. Sin embargo, luego de varias iteraciones y buscando la geometría que mejor se adapte a las condiciones del proyecto se le agrega un anillo más y 2 paneles más por anillo debido a las consideraciones sísmicas que se explican más adelante dando como dimensiones definitivas un radio de 21.93 metros y una altura de 8.64 metros.

Con respecto a la altura del techo se obtiene que la flecha debe ser de 1/6 del diámetro del tanque, por lo que dicho valor es de 3.66 metros, dándole una altura final al tanque de 12.30 metros.

Con respecto al espesor de los paneles de acero vitrificado a utilizar en cada anillo se utilizó la siguiente fórmula extraída del API 650:

$$t_t = \frac{4.9 D (H - 0.3)}{S_t}$$

Donde:

Tt= Espesor de la lamina (m).

D= Diámetro del tanque (m)

H= Nivel del líquido de diseño (m)

St= Esfuerzo de prueba hidrostática (kPa)

Dando como resultado que para el anillo de arranque y el primer anillo se requiere un espesor mínimo de 4.17 mm, para el segundo anillo 3.35 mm, para el tercer anillo 2.52 mm, y para los anillos 4, 5 y 6 se requiere un espesor mínimo de 2.34 mm.

<b>CUADRO 7. DIMENSIONES DEL TANQUE</b>	
Radio	10.96 m
Diámetro	21.93 m
Circunferencia	62.84 m
Altura	8.64 m
Altura del agua	5.38 m
Borde libre del tanque	3.26 m
Espesor promedio de lamina	4 mm
Altura de domo	3.66 m
Volumen máximo del tanque	2033 m3
Volumen nominal	2000 m3

Fuente: Elaboración Propia

## Caracterización de materiales.

Para la construcción de estructuras de acero vitrificado, se utilizan paneles de 265mm\*140mm de dicho material los cuales están compuestos por una placa de acero y 2 o 3 recubrimientos de vidrio tanto en la cara interna como externa del panel. Este material posee una dureza de 6 Mohs y un módulo de elasticidad de 1200000 kg/cm<sup>2</sup>.

Para el acero grado 50 el cual es el que se utiliza para los pernos tenemos un esfuerzo de fluencia mínimo de 3515 kg/cm<sup>2</sup>, un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 4570 kg/cm<sup>2</sup> a 6330 kg/cm<sup>2</sup>, además, de contar con un módulo de elasticidad que equivale a 2039432 kg/cm<sup>2</sup>. También se utilizará una tuerca que tenga la misma resistencia

que el perno, una arandela plana y una arandela de seguridad todos de acero galvanizado, con el fin de asegurar la estabilidad de la estructura. En consecuencia, se establece que el diámetro de los agujeros para los pernos no será superior que el diámetro nominal del perno más 1,5 mm, para el buen funcionamiento de estos.

Para el cimiento se estará utilizando concreto con f'c= 280 kg/cm<sup>2</sup>, y el acero de refuerzo será grado 60, el cual posee un esfuerzo mínimo de fluencia de 4280 kg/cm<sup>2</sup>, un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 6730 kg/cm<sup>2</sup>

## Definición de cargas.

### Cargas gravitacionales.

Las cargas son provocadas por la fuerza de atracción de la tierra; estas se pueden clasificar en cargas vivas y muertas. Para la estructura correspondiente, las cargas vivas consisten principalmente en las provocadas por el peso del personal y el equipo que este utilice; durante la instalación, reparación o revisión rutinaria. Las cargas muertas de la estructura pueden generar debido al peso propio de la estructura y a la carga debido al peso del agua que se almacenara en el tanque. Para el tanque se calculó un peso de la estructura de 36 481 kg, el cual considera la totalidad de los paneles que lo componen, la estructura del techo y todos los pernos que unen cada una de las partes de la estructura, por otro lado, la totalidad peso del agua es de 2 032 120 kg, considerando que el tanque este ocupado al máximo de su capacidad, dando como resultado un peso total de 2 068 701 kg.

### Cargas sísmicas.

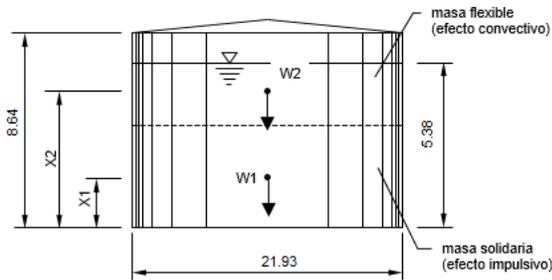
Para el cálculo de las fuerzas sísmicas del tanque en estudio, se utilizó el procedimiento descrito en el Código Sísmico de Costa Rica. Se tomó en cuenta que esta será instalada en Guaycara de Golfito el cual es clasificación zona IV y posee en un sitio de cimentación tipo S3, según el Código Sísmico se escoge un aef =0,44. Es importante recalcar que el uso de la estructura en diseño será utilizado para el almacenamiento de agua potable, por esta razón se escoge un valor de importancia de I=1,25.

Además, el sistema estructural del tanque clasifica como "Otros" según el código sísmico ya que no se ajusta a ninguno de los descritos en el código, asimismo, se observa la regularidad de la estructura y se escoge como regular tanto en planta como en altura al tratarse de un cilindro.

Al ser una estructura nueva posee una ductilidad local óptima, por lo tanto y considerando la regularidad presenta una ductilidad global asignada de  $\mu=1,0$ .

A partir de este punto, se utiliza el modelo de Housner, el cual según Compagnoni et al (2012), este modelo desarrolla en forma más acabada la teoría de las presiones sísmicas en los tanques de almacenamiento de líquido y establece un modelo simplificado, en el cual la parte media e inferior del contenido líquido (correspondiente a la componente de masa impulsiva) se movía rígidamente con el depósito y que la porción superior restante (componente de masa convectiva) actuaba como una masa sujeta a las paredes por medio de resortes, representando la acción del oleaje del líquido, por lo tanto a través de este modelo se puede determinar tanto el comportamiento estático de la estructura, así como su comportamiento dinámico considerando el líquido que contiene.

Para esto el modelo según Housner (1963), relaciona cada fase descrita anteriormente (fase impulsiva y fase convectiva) con una masa ( $W1$  y  $W2$ ) y una altura ( $X1$  y  $X2$ ) a la cual se aplica el modelo como se puede observar en la siguiente imagen.



**Figura 29.** Dimensiones generales del tanque y modelo de Housner.

Fuente: Imagen Propia

Por lo tanto, es el primer paso ejecutar es calcular cada una de estas masas y alturas a través de las siguientes formulas:

$$W_1 = W * \frac{\tan(0.866*(d/H_L))}{0.866*(d/H_L)}$$

$$W_2 = W * 0.23 * \frac{d}{H_L} * \tan\left(3.67/\left(\frac{d}{H_L}\right)\right)$$

$$X_1 = H_L * \left(0.5 - 0.094\left(\frac{d}{H_L}\right)\right)$$

$$X_2 = H_L * \left(1 - \left(\frac{\cosh\left(3.67/\left(\frac{d}{H_L}\right)\right) - 1}{\left(3.67/\left(\frac{d}{H_L}\right)\right) * \sinh\left(3.67/\left(\frac{d}{H_L}\right)\right)}\right)\right)$$

Donde:

$W$  = Masa total de agua en el tanque.

$W1$  = Masa de agua relacionada rígidamente al tanque (efecto impulsivo).

$W2$  = Masa de agua oscilatoria en la parte superior del tanque (efecto convectivo).

$X1$  = Altura a la cual se analiza el efecto impulsivo.

$X2$  = Altura a la cual se analiza el efecto convectivo.

$d$  = Diámetro del tanque.

$H_L$  = Nivel máximo del agua dentro del tanque.

A partir de las fórmulas anteriores obtenemos que dichos valores son:

$$W = 2\,032\,120 \text{ kg}$$

$$W1 = 574\,684 \text{ kg}$$

$$W2 = 1\,408\,269 \text{ kg}$$

$$X1 = 2.02 \text{ m}$$

$$X2 = 5.02 \text{ m}$$

Seguidamente se calcula los periodos que afectan la estructura, tanto para su parte rígida como para el fluido fluctuante a través de las siguientes formulas:

$$T1 = 1.762(H_L/0.42) * \sqrt{\gamma L / (g * Es)}$$

$$T2 = \frac{20\pi * \sqrt{d/2g}}{\sqrt{1.84 * \tanh(1.84 H_L/0.5d)}}$$

Donde:

$T1$  = Periodo de la estructura rígida

$T2$  = Periodo del modo convectivo (flexible)

$H_L$  = Nivel máximo del líquido.

$d$  = diámetro del tanque

$ES$  = Modulo de elasticidad del acero

$g$  = Gravedad

$\gamma_L$  = Peso específico del líquido.

Según lo descrito anteriormente el período de la estructura analizada es de  $T_1= 0,157$  y  $T_2= 5.781$ . Para calcular el coeficiente sísmico descrito en el Código Sísmico de Costa Rica se utiliza el periodo de la estructura rígida  $T_1$ , para esto a partir de la tabla E.7, ubicada en Anexo E del código sísmico de Costa Rica se determinó un FED de 1 y  $SR=1.2$ . De este modo el Coeficiente sísmico se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_s = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}$$

Donde:

$C_s$ = Coeficiente sísmico.

$a_{ef}$ = aceleración pico efectiva de diseño.

FED= Factor espectral dinámico.

SR = factor de sobrerresistencia.

Sustituyendo los valores tenemos que:

$$C_s = \frac{0.44 * 1.25 * 1}{1.2}$$

$$C_s = 0.458$$

Por otro lado, este modelo de Housner permite determinar los efectos de la presión hidrodinámica que actúa sobre las paredes del depósito, para esto se deben calcular las ordenadas de la respuesta elástica tanto para el efecto impulsivo horizontal de la estructura ( $Ad_1$ ) como para el efecto convectivo horizontal del agua ( $Ad_2$ ), a partir de los periodos correspondiente para cada escenario los cuales detallan su cálculo en la respectiva memoria de cálculo adjunta en el Apéndice 1.

$$Ad_1 = 0.224 * (1 + 6T_1)$$

$$Ad_1 = 0.434$$

$$Ad_2 = 0.523 * \left(\frac{3}{T_2}\right)^{2.1}$$

$$Ad_2 = 0.132$$

Donde:

$Ad_1$  = Ordenada del espectro para el modo inductivo horizontal

$Ad_2$  = Ordenada del espectro para el modo convectivo horizontal

$T_1$  = Periodo de la estructura rígida

$T_2$  = Periodo del modo convectivo (flexible)

Seguidamente a partir de los periodos y las ordenadas del espectro calculadas tanto para el efecto impulsivo como el convectivo se determinó que la altura máxima a la que oscila el agua con el sismo de diseño es de 2.73 metros, dato obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$h = 0.48 * D * Ad_2$$

Donde:

$h$  = Altura máxima de oscilación (m).

$D$  = Diámetro del tanque (m).

$Ad_2$  = Ordenada del espectro para el modo convectivo horizontal.

Debido a que la altura máxima de oscilación es de 2.73 se decidió agregar el sexto anillo de paneles para tener una cámara de aire con una altura mayor a la de la oscilación, ya que con 5 anillos se hubiese obtenido un borde libre de agua de 1.86 m, el cual no satisface el diseño, por otro lado, al agregar un anillo más a la estructura del tanque, obtenemos que la altura de cámara de aire es de 3.26 metros, la cual si satisface el diseño.

Seguidamente se calcularon las fuerzas cortantes y los momentos de volcamiento en la base del tanque generados por el sismo, detallado en el anexo de memoria de cálculo y los cuales se muestran resumidos en el siguiente cuadro.

<b>CUADRO 8. CORTANTES Y MOMENTOS DE VOLCAMIENTO EN LA BASE</b>	
Cortante modo impulsivo	265 480 kg
Cortante modo convectivo	185 826 kg
Cortante último	325 054 kg
Cortante de servicio	259 243 kg
Momento modo impulsivo	605 477 kg-m
Momento modo convectivo	932 914 kg-m
Momento último	1 112 174 kg-m
Momento de servicio	889 739 kg-m

Fuente: Elaboración Propia

## Cargas de viento.

Para elaborar esta sección se toma en consideración lo estipulado en el Lineamiento para el Diseño por Viento en Edificaciones en Costa Rica, publicado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), donde como primer paso debemos clasificar la estructura según la importancia de su ocupación o su función, conforme a lo indicado en la tabla 2.1 de dicho documento, en el caso de este proyecto, se considera la estructura como una tipo A, o sea una estructura Esencial, ya que de ella depende el acceso a agua potable de toda una comunidad, seguidamente según la tabla 2.2 se define un nivel de demanda muy alta ya que se trata de una estructura esencial y debe estar operativa ante cualquier situación, posteriormente, basándose en la tabla 2.4 de dicho documento, se clasifica el nivel de desempeño como completamente operativo, esto significa que en caso de un evento de muy alta intensidad la estructura debe mantener la integridad del sistema estructural y los sistemas electromecánicos deben estar completamente operativos.

Seguidamente se determina la velocidad básica del viento la cual según la ubicación geográfica se divide en 5 zonas, para el caso de este proyecto y considerando la tabla 3.1 del código de viento se tiene que el proyecto está ubicado en zona II por lo que posee una velocidad básica del viento de 100 km/h.

A partir de la velocidad básica del viento ( $V_b$ ) según la zonificación, se puede calcular la presión básica del viento mediante la siguiente ecuación:

$$q_b = 0.005 * V_b^2$$

$$q_b = 0.005 * 100km/h^2$$

$$q_b = 50 \frac{kg}{m^2}$$

Dando como resultado que la presión estándar a 10 metros de altura de 50 kg/m<sup>2</sup>. Seguidamente se calcula la presión del viento evaluada a una altura "z" a través de la siguiente formula:

$$q(z) = q_b * C_e(z) * C_r * C_t * C_d$$

Donde:

$q(z)$  = Presion del viento a una altura z

$q_b$  = Presion basica del viento

$C_e(z)$  = Coeficiente de exposicion a una altura z

$C_r$  = Coeficiente de recurrencia

$C_t$  = Coeficiente topografico

$C_d$  = Coeficiente de doreccionalidad

Cada uno de los coeficientes anteriores se determinan a partir de los descrito en las secciones 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4 del código de viento de Costa Rica, por lo que se tiene que:

$$C_e(z) = 0.69$$

$$C_r = 1.83$$

$$C_t = 1.22$$

$$C_d = 0.95$$

Por lo tanto, se tiene que la presión del viento a la altura máxima del tanque corresponde a 73,17 kg/m<sup>2</sup>:

$$q(8.64) = 50 * 0.69 * 1.83 * 1.22 * 0.95$$
$$q(8.64) = 73.17 \text{ kg/m}^2$$

Con estos datos y la siguiente fórmula se calcula la fuerza horizontal resultante de diseño en la pared del tanque la cual tiene un valor de 11784 kg.

$$Fvh = q(z) * G * Cf * Af$$

Donde:

Fvh = Fuerza horizontal resultante.

G= Efecto de ráfaga.

Cf= Coeficiente de presión.

$q(z)$ = Presión del viento a una altura z

Af= Área Lateral proyectada

Con el resultado de la fuerza horizontal resultante se obtiene el momento de volcamiento que genera el viento sobre el tanque el cual se calcula multiplicando la fuerza horizontal resultante por la mitad de la altura del tanque dando un valor de 50910 kg-m.

## Diseño del cimiento.

Para diseño del cimiento se considera las cargas permanentes la cuales se generan debido al peso propio de la estructura, el peso del líquido contenido y el peso de los elementos mecánicos y accesorios que se encuentran ligados a la

estructura, también se consideran las cargas temporales las cuales se definen en la tabla 6.1 del CSCR 2010 y se aplicaron a la cúpula del techo la cual se define en 100 kg/m<sup>2</sup> la cual aplica para azoteas con pendiente mayor al 5%. Se consideran también las cargas de sismo y de viento que afectan a la estructura las cuales se calcularon anteriormente y a través de los resultados se determina que el diseño se rige por la carga de sismo ya que es evidentemente mayor a la aplicada por el viento, y por último se considera el empuje horizontal del suelo y las subpresiones en la losa. Estos valores de las cargas a considerar se pueden ver en la siguiente tabla.

CUADRO 9. CARGAS PARA DISEÑO DE CIMIENTO	
CARGAS PERMANENTES (CP)	5734 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TEMPORALES (CT)	100 kg/m <sup>2</sup>
CARGA SISMICA (CS)	324 024 kg
CARGAS DE VIENTO (CV)	11 784 kg
CARGA DE EMPUJE LATERAL DEL SUELO (CE)	567 kg/m <sup>2</sup>
SUBPRESION DEL SUELO BAJO LA LOSA	1960 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se puede observar la forma en que estas cargas se aplican a la estructura para el caso del sismo y seguidamente para el caso en donde se aplica la carga de viento.

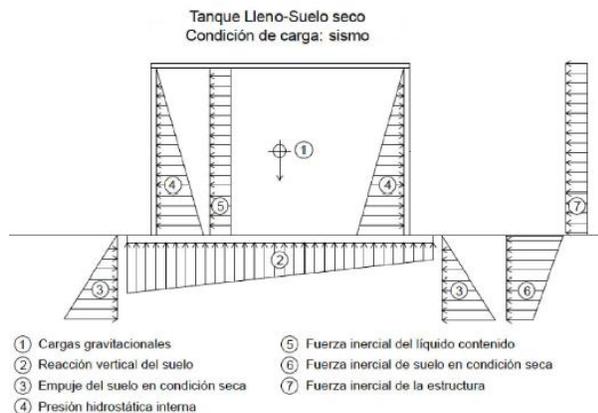


Figura 29. Distribución de las cargas caso Sismo  
Fuente: Imagen Propia

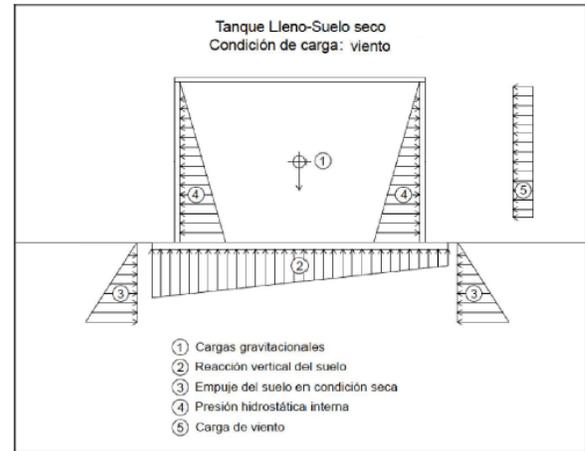


Figura 31. Distribución de las cargas caso Viento.  
Fuente: Imagen Propia

También es importante mencionar que para el diseño de la estructura se toma en consideración las combinaciones de carga descritas en la sección 6.2 del CSCR 2010, para el ejercicio de diseño no se consideran las combinaciones para la carga de viento debido a que para el diseño de la estructura rige la carga sísmica sobre la carga de viento. Estas combinaciones de carga se muestran en las siguientes formulas:

$$CU = 1.4 CP$$

$$CU = 1.2 CP + 1.6 f_r CT + 1.6 CE$$

$$CU = 1.05 CP + f_1 f_r CT + CE \pm CS$$

$$CU = 0.95 CP + CE \pm CS$$

Donde:

- CU = Carga ultima de diseño.
- CP = Cargas permanentes.
- CT = Cargas temporales
- CE = Carga por empuje.
- CS = Carga sísmica
- f<sub>r</sub> = Factor de reducción de carga temporal

Según toda la información previa el cimiento del tanque estará compuesto por una viga perimetral y una losa colada in situ de forma monolítica con concreto premezclado con una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>. La viga perimetral tendrá como dimensiones de 50 cm de ancho y 70cm de profundidad, y utilizara como acero de refuerzo 6 varillas #6 y 4 varillas #3, así como aros #3 a cada 20 cm a lo largo de toda la circunferencia, además en esta viga es donde se anclan los paneles de fundación del tanque o anillo de arranque a través

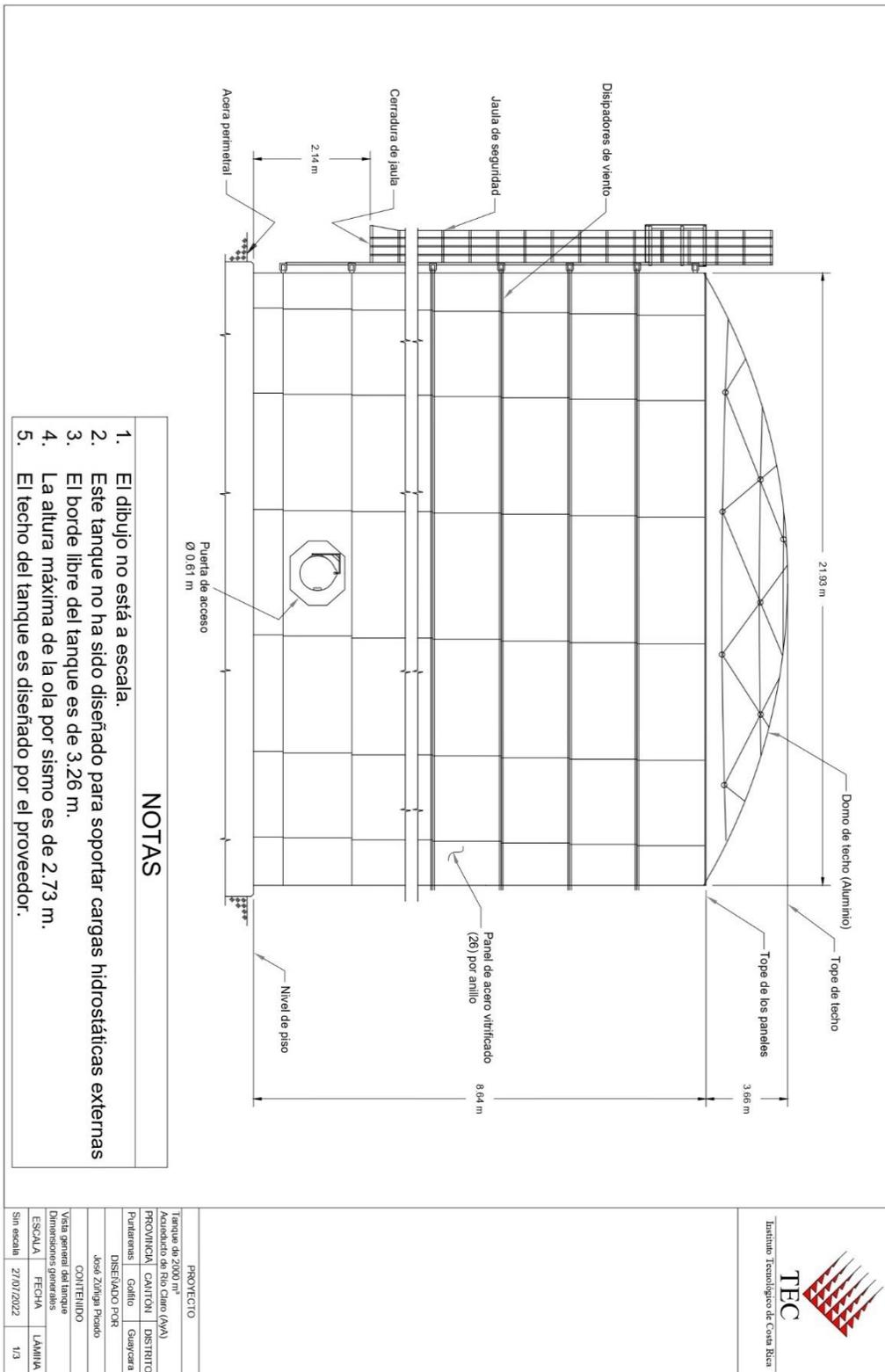
de los platos niveladores y los angulares que se detallan en el plano, todos estos elementos deben ser instalados previo a la colocación del concreto. Por otro lado, el acero de refuerzo de la losa estará compuesto por un sistema de doble malla de varilla #4, la cuales estarán a una separación de 20 cm.

## Costo de la alternativa seleccionada.

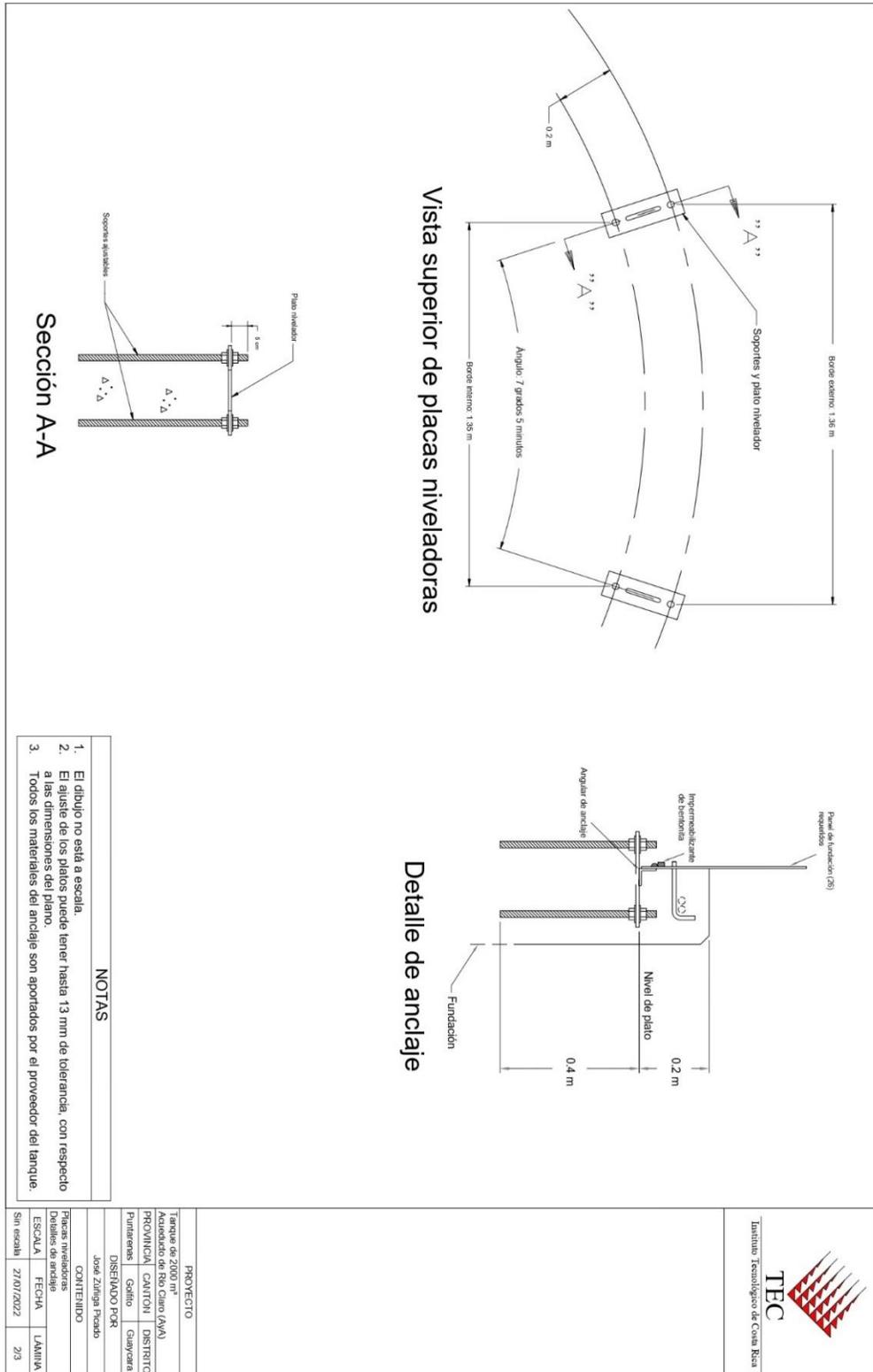
Para esta sección es importante separar la obra en 2 rubros principales, por un lado, se tiene la estructura de la cimentación y por el otro se tiene la estructura del tanque como tal, compuesta por los paneles, pernos, tuercas, anclajes, platos niveladores, estructura del techo, silicones, y todo aquel material o herramienta necesario para su montaje. Con respecto a la estructura del cimiento se realiza una investigación de mercado para determinar los costos unitarios para las obras preliminares, movimientos de tierra, compactación de material, el acero de refuerzo, el concreto y todo aquel herramienta y equipo necesario para culminar esta etapa. Con respecto a la estructura del tanque se cotiza a la empresa Florida Aqua Store, el costo de importación y traslado al sitio de construcción de la estructura previamente diseñada. A continuación, se muestra una tabla que resume el costo total de la obra.

<b>CUADRO 10. RESUMEN DEL COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	
COSTOS DIRECTOS	₡ 615,315,942.80
COSTOS INDIRECTOS	₡ 92,297,391.42
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>₡ 707,613,334.22</b>

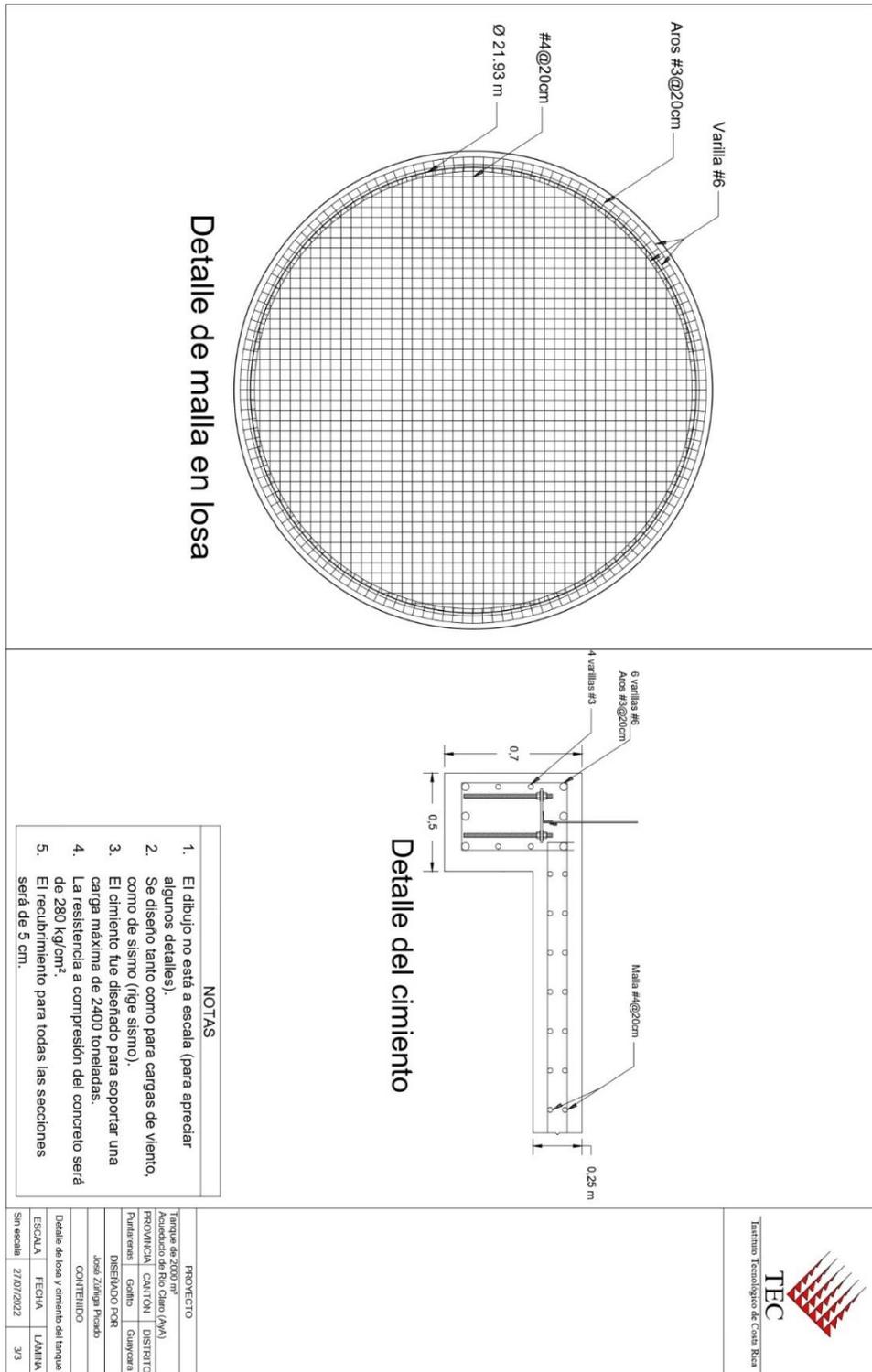
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 32.** Dimensiones generales del tanque.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 33.** Detalle del anclaje.  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 34.** Detalle de la cimentación.  
Fuente: Elaboración Propia.

# Análisis de los resultados

En la primera fase de la investigación se busca la determinación del contexto ambiental del sitio de construcción, donde a través de diversas fuentes podemos determinar que el clima predominante es el tropical muy húmedo, que durante todo el año existen altas temperaturas y altos niveles de humedad, que el desarrollo del proyecto es sobre un terreno ondulado, por lo cual es necesario la construcción de una terraza sobre la cual se instale el tanque, así como el tipo de suelo que se considera para su diseño, esto es información muy importante porque permite hacer una primer acotamiento sobre las estructuras que puede resolver dicho problema. En el caso específico de este proyecto se analiza la construcción de un tanque de concreto, uno de mampostería, uno de fibra de vidrio y otro de acero vitrificado.

Estos primeros indicios del contexto del sitio nos podrían indicar que las opciones más viables para la construcción del tanque sería el concreto o el de mampostería, ya que son los que la institución tiene mejor regulados y con los cuales tienen mayor experiencia.

Sin embargo debido a que durante el diseño y ejecución de un proyecto se deben analizar diversos factores y diversas posibles soluciones, se procede a realizar una investigación más exhaustiva, sobre las 4 principales alternativas planteadas, dando pie a la segunda fase del proyecto, donde se analizan las principales ventajas y desventajas de la alternativa, así como su proceso constructivo, con el cual se puede hacer una idea de la duración de cada proceso, la cantidad de materiales que se necesitan los tipos de materiales, la cantidad de herramienta y equipo, así como los periodos de tiempo que se requieren dichas herramientas o equipos, en esta segunda fase ya se empieza a deducir que el acero vitrificado es una fuerte opción, ya que posee un proceso constructivo rápido comparado con las demás alternativas, es un material liviano, el cual es beneficioso, ya que abarata costos en la construcción del cimiento, y además es un

material muy resistente a la intemperie, o sea, es muy resistente a altos índices de humedad, y muy resistente a agentes biológicos debido a su capa vítrea.

En la tercera fase del proyecto se procede a crear la matriz de evaluación considerando conceptualmente lo que mencionan Ortiz (2021) y AEC (2019), esta herramienta es la que permite clasificar cada una de las alternativas de mayor a menor, en las cuales se evalúan los 6 aspectos que se pueden observar en los cuadros 1,2,3 y 4, estos aspectos son plazos de ejecución, factor económico, factor ambiental, disponibilidad de recursos, mantenimiento y durabilidad, y sitio de construcción. Cada uno de estos factores puede representar una ventaja o una desventaja de cada alternativa dependiendo del enfoque con que se le analice.

Para este trabajo en específico se toma la variable de plazo de ejecución como el tiempo necesario para finalizar el proyecto desde la fase de inicio hasta la entrega del mismo, en el cuadro 6 de este trabajo, muestra claramente que la alternativa más rápida a desarrollar es el acero vitrificado, la cual según Gómez (2022), un tanque de 2000 m<sup>3</sup> puede ser finalizado en un plazo de 12 a 16 semanas, este es un factor importante a tomar en cuenta ya que si es necesario construir el tanque rápidamente, evitando contratiempos por efecto de las precipitaciones, se podría desarrollar el proyecto casi por completo en la época seca de la zona, la cual según Munguía y Zuñiga (2013) y datos del instituto meteorológico nacional, consta de aproximadamente 12 semanas, considerando que se encuentre entre los meses de enero a marzo. Por otro lado, si se quisiera desarrollar la alternativa del concreto o la mampostería, se podría duplicar el tiempo de ejecución del proyecto, haciendo más atractiva la alternativa del acero vitrificado.

Con respecto a la alternativa en fibra de vidrio se puede decir que es casi tan rápida como la del acero vitrificado en cuanto a la construcción de

cimientos y ensamblaje del tanque, sin embargo, es necesario contemplar un tiempo adicional de una o dos semanas para finiquitar el proceso de impermeabilización de las paredes del tanque, lo que hace esta alternativa un poco menos atractiva que la de acero vitrificado.

El siguiente aspecto que se analiza en el cuadro 6 referente a la matriz de evaluación es la disponibilidad de recurso en la zona cercana al proyecto o bien en el país, en este aspecto las alternativas convencionales, concreto y mampostería, son las que poseen la ventaja, ya que en la zona se puede encontrar todos los materiales necesarios para la ejecución del proyecto, sin embargo, a pesar de que en la zona sur no es posible conseguir inmediatamente los paneles o tanques completos elaborados con fibra de vidrio o acero vitrificado, a nivel país es posible encontrar proveedores que elaboren los tanque de fibra de vidrio, o bien que importen toda la estructura de tanques de acero vitrificado.

A partir del cuadro 6 también se observa el rubro de impacto ambiental, el cual está enfocado principalmente a la generación y manejo de los desechos dentro del proceso constructivo, en este rubro la alternativa seleccionada es la que mejor desempeño muestra en la matriz de evaluación, ya que al ser un sistema modular, compuesto por piezas prefabricadas y a la medida, la cantidad de residuos generados durante la instalación es mínima, otra ventaja de este sistema es que al venir todas las piezas prediseñadas, se reducen en gran medida los desechos por errores humanos en la fabricación de los elementos en el sitio, como ocurre con los tanques de concreto, por ejemplo en la fabricación del acero de refuerzo donde pueden existir desperdicios por errores en el dimensionamiento o los cortes de las varillas. En el caso de la fibra de vidrio también se tiene una baja generación de residuos que se le atribuye a lo modular de su sistema al igual que el acero vitrificado.

Uno de los aspectos más importantes analizados en la matriz de evaluación representada en el cuadro 6 es el costo estimado del proyecto, en cual como se puede observar en el marco teórico varía de una alternativa a otra. Se puede observar que la alternativa más económica es la de fibra de vidrio, la cual según los datos emitidos por Chaves (2016) y actualizados a la fecha, puede ser hasta un 3 o 4 % más económica que la alternativa de acero vitrificado, a su vez se puede observar que un tanque de mampostería es de un 10 hasta un

16% más costosa que la alternativa seleccionada, y contemplando la alternativa de concreto se calcula que es de un 26 a un 32% más costosa que la alternativa seleccionada.

En la misma matriz se puede observar el rubro de mantenimiento y durabilidad, en el cual el acero vitrificado vuelve a ser el mejor calificado, ya que debido a sus características físicas y químicas es un sistema de mínimo mantenimiento preventivo, básicamente nunca tiene que pintarse ya que el color está impregnado en la capa vítrea, es muy resistente a la corrosión lo cual es muy importante considerando las condiciones climatológicas de la zona y es un material que no es atacado por microorganismos ni se le adhieren sustancias a su superficie.

En el caso de la fibra de vidrio, se tienen características similares a las mencionadas anteriormente, donde se encuentra un material con alta resistencia a los factores ambientales, así como también resistente al ataque de microorganismos, sin embargo, este material si debe ser pintado periódicamente para alargar su vida útil. En el otro extremo tenemos el concreto y la mampostería, los cuales, si se debe tener un constante proceso de mantenimiento tanto en limpieza como en pintura exterior, internamente se debe mantener los correctos niveles de cloro con el fin de evitar que se pueden formar focos de microorganismos como algas dentro del tanque, también es importante checar la impermeabilización de la estructura ya que al ser un material poroso aumenta las probabilidades de que existan filtraciones.

Por último, este cuadro 6 muestra el rubro de sitio de construcción el cual está enfocado principalmente en la facilidad de acceso a servicios públicos como el agua o la electricidad, que pueden ser necesarios en el proceso constructivo, así como la facilidad de acceso para el ingreso de los materiales necesarios, como se ha visto anteriormente la alternativa más viable es la del acero vitrificado, ya que al ser una estructura modular unidad mediante pernos, no requiere de grandes cantidades de agua ni electricidad en su proceso constructivo, por otro lado según Gómez (2022) es un material fácil de transportar, debido al tamaño de sus elementos. En el caso del concreto y la mampostería se requiere de un alto uso de servicios como agua y electricidad, además se requiere transportar gran cantidad de materiales al sitio de construcción para el armado

de la estructura, así como el alquiler de los paneles de encofrado para muros, columnas, vigas y losas. Una vez definido el acero vitrificado como la alternativa más viable a ejecutar se procede con el diseño de la misma siguiendo la normativa vigente por el AyA, el código sísmico de Costa Rica, el código de cimentaciones de Costa Rica, pero también contemplando normativa internacional como la API 650, NFPA 22, AWWA D103-09 y las normas ASTM, podemos ver en el cuadro 7 las dimensiones de la estructura, la cuales se determinaron a través de un proceso iterativo, en el cual en cada paso se iban realizando los ajustes necesarios para asegurar la estabilidad de la estructura, al inicio del proceso iterativo se propuso un diámetro de 20 metros y una altura de 6.4 metros la cual no contemplaba el borde libre de agua que se diseña luego. En el diseño final el tanque se contempla que este compuesto por 6 anillos de 26 paneles por anillo, estas dimensiones contemplan la altura libre de agua mínima necesaria para poder soportar el sismo de diseño, para esto se considera el modelo de Housner para determinar los efectos de la presión hidrodinámica que actúa sobre las paredes del depósito, este modelo divide el tanque y el contenido en 2 secciones principales, la zona inferior se mueve como un conjunto rígido, o sea, el agua actúa rígidamente en un solo conjunto con la estructura del tanque y a esto se llama efecto impulsivo (Housner, 1963) y por otro lado, la parte superior de la estructura funciona como un sistema masa resorte el cual representa la oscilación del líquido, llamado efecto convectivo (Compagnoni et al, 2012) , es por esto que se determinan los efectos impulsivo horizontal y convectivo del agua, y para encontrar estos efectos se calculan los periodos correspondientes en cada escenario.

Seguidamente a partir de los periodos y las ordenadas del espectro calculadas tanto para el efecto impulsivo como el convectivo se determinó que la altura máxima a la que oscila el agua con el sismo de diseño es de 2.73 metros. Un esquema de este modelo de Housner se puede observar también en la figura 29, donde se señalan las alturas de los puntos donde se calculan los diversos periodos, relacionados a las masas solidarias y masas flexibles.

El diámetro del tanque se define en 21.9 metros, considerando que en caso de ser menor, el suelo no podría soportar la presión ejercida por la estructura y el peso del agua, y se requeriría hacer una sustitución profunda de suelo, para efectos de

este trabajo y tomando como referencia el código sísmico de Costa Rica (2010) se considera que el suelo tiene una resistencia de 15 ton/m<sup>2</sup>, por otro lado considerando el diámetro mencionado anteriormente y un carga aproxima de 2400 toneladas, la cual considera el peso de la estructura y el peso del agua, se calcula que la presión ejercida por la estructura sobre el suelo es de aproximadamente 7 ton/m<sup>2</sup>, la cual el suelo puede soportar satisfactoriamente. Otro motivo por el cual se define el diámetro del tanque es que al reducir el diámetro se debería aumentar la altura de este, para poder tener la misma capacidad de almacenamiento, lo que aumentaría la cantidad de anillos necesarios para construir el tanque y a su vez la cantidad de paneles necesarios para la construcción de los mismos, esto puede aumentar los costos debido al mayor requerimiento de materiales.

El espesor de los paneles se calcula utilizando lo normado en el API 650 a través del método de 1 pie, dando como resultado un espesor promedio de 4 milímetros, sin embargo, para cada uno de los anillos se calcula un espesor específico, en el caso del anillo de arranque y el primer anillo se deben colocar paneles de 4.17 mm, el segundo anillo usa paneles de 3.35 mm, el tercer anillo de 2.52 mm y el cuarto, quinto y sexto anillo paneles de 2.34 mm son suficientes para soportar la fuerza hidrostática generada por el agua.

Es importante aclarar que el método utilizado para calcular estos espesores esta descrito en la norma API 650 (American Petroleum Institute, 2022) y puede ser utilizado únicamente en los casos en que el diámetro del tanque sea inferior a 200 pies o bien 60.96 metros, para el caso de este proyecto se comprueba que el método es útil ya que el diámetro del tanque es menor a 60.96 metros.

En el cuadro 8 se observan los momentos y cortantes más importantes para diseñar la cimentación del tanque, estos momentos corresponden a los generados por el sismo ya que, las cargas por sismo son mayores a las cargas ocasionadas por el viento, las cuales se pueden ver en el apéndice 1 correspondiente a la memoria de cálculo. En las figuras 33 y 34 se puede observar el detalle de la cimentación la cual se compone de una viga de arranque perimetral de 50 cm de ancho y 70 cm de profundidad colada con concreto premezclado con un  $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ , dentro de esta estructura se fijan los anclajes del anillo de arranque del tanque a través de los platos niveladores y los angulares. Por otro lado, se tiene

la losa del tanque la cual tiene un espesor de 25 cm, compuesta por una doble malla de acero #4 a cada 20 cm, para soportar los esfuerzos aplicados sobre esta. Se observa a través de este proceso de diseño y según lo mencionado por Gómez y Madrigal (2022), que esta solución es técnicamente sencilla de ejecutar comparado con las otras alternativas planteadas, donde una de las fases más complejas es la colocación del acero de refuerzo de la losa y la viga arranque, y la fijación de los anclajes de la estructura del tanque, sin embargo, es un proceso que se puede realizar con equipo de trabajo con un poco de experiencia, o sea, no se requieren de expertos para poder ejecutarlo, de igual forma la instalación de los paneles es un proceso muy sencillo, lo cual permite ejecutarlo con un equipo de trabajo pequeño y en periodos cortos de tiempo. Esta baja necesidad de personal permite reducir los costos de mano de obra del proyecto comparado con las demás alternativas planteadas en donde se requiere de una mayor fuerza laboral.

Por último, se tiene en el cuadro 9 el costo total aproximado del proyecto, este costo se calcula a través de 3 ejes principales, el primer eje es el costo de importación del el tanque mismo, este costo incluye todos los materiales, equipos y herramientas necesarios para su ensamblaje en sitio así como los costos de traslado hasta el sitio de construcción, dicho costo se obtiene a través de una cotización realizada a la empresa Florida-Aquastore, empresa dedicada a la fabricación, comercialización y ensamblaje de tanques a nivel latinoamericano. Esta cotización quedo tasada en 567 190 588.24 colones.

El segundo eje analizado tiene que ver con los costos relacionados a la construcción de la cimentación del tanque, en este eje se incluyen los costos de movimiento de tierras, excavación, acero de refuerzo y concreto utilizado, el cual da un costo aproximado de 15 559 173.68 colones. Por último, el tercer eje analizado se refiere a los costos de mano de obra del proyecto, para esto se considera una planilla de 10 personas integradas por el ingeniero a cargo de la obra, 2 maestros de obra y 7 peones, en un periodo estimado de 16 semanas e incluyendo las cargas sociales impuestas por la ley, dando como resultado un costo en colones de 23 566 180.88. Si agrupamos estos tres ejes principales tenemos los costos directos aproximado del proyecto, el cual haciende a 615,315,942.80 colones y sumado a los costos indirectos tenemos un costo total de proyecto de

707,613,334.22 colones, este valor se puede relacionar con el que estima Madrigal (2022), para la construcción de este tipo de estructuras, dicha fuente menciona que una estructura de acero vitrificado cueste entre ₡280,000 y ₡300,000 el metro cúbico, y en este caso se puede observar que cuesta aproximadamente ₡353,806.67, este valor representa aumento en el costo del proyecto de entre 18 y un 23 por ciento según los estimado por Madrigal (2022), esto se puede explicar y relacionar por medio de los efectos secundarios causados por la pandemia de COVID-19 presentada entre los años de 2020 y 2022, la cual ocasiono un aumento en los precios del acero a nivel mundial, así como un aumento de los combustibles utilizados para el traslado de los materiales, herramientas y equipos, estos a su vez aumento los costos de acarreo y por conclusión influyen en el aumento del costo del proyecto. Un artículo del periódico digital La Republica.Net (agosto, 2022), afirma que los materiales de construcción han aumentado hasta un 40% con respecto a febrero de 2020, debido a efectos colaterales generados por la pandemia, como por ejemplo la crisis de los contenedores, que han aumentado considerablemente el costo de los fletes marítimos, afectando directamente cada uno de los productos que se mueven vía marítima alrededor del mundo.

# Conclusiones y recomendaciones.

- Se caracterizó las condiciones del sitio y entorno del lugar del proyecto por medio de la información recolectada en las visitas, así como de la información recolectada a través de la revisión bibliográfica, dando la información necesaria para realizar un diseño adaptado a las condiciones presentes en el sitio.
- El sitio del proyecto se encuentra en una topografía ondulada y presenta un clima tropical muy húmedo, este resultado se obtuvo a partir de la información recolectada en la primera etapa del proyecto, con el fin de adaptar el diseño del tanque seleccionado.
- A través de la matriz de evaluación se determinó que la alternativa que mejor se ajusta a las condiciones del sitio es el tanque de acero vitrificado ya que esta opción es la que obtuvo el mayor puntaje.
- La alternativa seleccionada es una de las más amigables con el ambiente, debido a que es un sistema modular altamente optimizado genera muy pocos residuos, lo que implica ajustarse mejor a los requerimientos establecidos de sostenibilidad.
- Según el análisis realizado de los diversos sistemas constructivos de las alternativas planteadas, el acero vitrificado es la opción más veloz ya que el proyecto se proyectó con una duración de 12 a 16 semanas, esto implica ahorro de costos de mano de obra comparado con las demás opciones.
- Se diseñó la alternativa seleccionada de manera que cumpliera con las especificaciones dispuestas en la normativa y códigos correspondientes, así como contemplando las condiciones específicas del sitio y los requerimientos de interés del cliente.
- Se cuantificó el costo total de la obra (C\$ 705,678,260.68) a partir del presupuesto detallado de materiales, equipos, mano de obra y subcontratos y de la cotización realizada a través de la empresa Florida Aqua Store.
- El costo del proyecto es de entre un 18 y un 23 % mayor a lo estimado preliminarmente para aplicar la matriz de evaluación de las alternativas, este aumento se debe a los efectos directos e indirectos de la pandemia de COVID -19.
- Se recomienda hacer una estimación más detallada de los costos constructivos de todas las alternativas de diseño para la correcta influencia del factor económico en la selección de la alternativa.
- Se recomienda la elaboración de un estudio geotécnico para tener certeza de las capacidades mecánicas del suelo donde se desarrolla el proyecto.
- Además, se recomienda realizar el estudio geotécnico ya que puede afectar el costo total del proyecto.
- Se recomienda aplicar a la estimación de los costos constructivos, los efectos directos e indirectos ocasionados por la pandemia de COVID-19.
- Es recomendable realizar un cronograma de las tareas a ejecutar de manera que se conozca la ruta crítica del proyecto y generar un costo de la obra más detallado y preciso.
- Se recomienda ejecutar la obra entre los meses de diciembre a marzo, ya que, al ser la temporada seca, la incidencia de lluvias que puedan retrasar el proceso constructivo disminuye considerablemente.

# Referencias

- American National Standard, & NSF International Standard. (2016). Drinking Water System Components - Health Effects (26th ed.). NSF International. Extraído de: [https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/NSF-ANSI\\_61\\_watermarked.pdf](https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/NSF-ANSI_61_watermarked.pdf).
- American Petroleum Institute. (2022). API 650. American Petroleum Institute. Extraído de: <https://es.scribd.com/document/400330311/API-650-2016-Traduccion>.
- American Water Works Association. (2009). Factory-Coated Bolted Carbon Steel Tanks for Water Storage (2nd ed.). ANSI/AWWA. Extraído de: <https://vdocuments.mx/awwa-d103-09.html?page=1>
- Asociación Española para la Calidad (AEC). (2019). AEC. España. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/matriz-de-priorizacion>
- Barrantes, A. (Mayo 2022). Aspectos a considerar en el diseño de tanques de almacenamiento de agua potable. (J. Zuñiga, entrevistador).
- Chaves, A. (2016). Análisis comparativo entre tanques de concreto, mampostería y plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), para agua potable (Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica. Extraído de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/5942>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). Código de Cimentaciones de Costa Rica. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). Código Sísmico de Costa Rica Revisión 2014 (CSCR-2010/2014). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica. Extraído de: <https://www.codigosismico.or.cr/descargas/CSCR2010.pdf>
- Colegio de Ingenieros Topógrafos. (2016). REGLAMENTO DE TARIFAS DE HONORARIOS PARA LOS PROFESIONALES DE AGRIMENSURA, GEOMÁTICA, GEODESIA TOPOGRAFÍA E INGENIERÍA TOPOGRÁFICA. Extraído de: <https://www.colegiotopografoscr.com/comunicados/2016/Reglamento%20final.pdf>
- Compagnoni, M., Curadelli, R., & Martinez, C. (2012). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE TANQUES CILÍNDRICOS BAJO EXCITACIÓN SÍSMICA. Mecánica Computacional, 2219-2230. Extraído de: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4187/4113>.
- Cordero, M., & Córdoba, J. (2020). Agua hay, pero ¿Por qué nos falta?. Semanario Universidad. Extraído de: <https://semanariouniversidad.com/ultima-hora/agua-hay-pero-por-que-nos-falta/>.
- CUBIC Cubero Ingeniería Civil S.A. (2021, Diciembre 13). *Tanque de Acero Vitificado para la ASADA de Paquera* [Video]. YouTube. Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=tg65glEV0hQ>
- CUBIC Cubero Ingeniería Civil S.A. (2020, Noviembre 26). *Tanque PERMASTORE proyecto Playas del Coco* [Video]. YouTube. Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=3jxRYJZiqys&t=80s>

- Fernández, D., Zamora, E., Barajas, J., & Martínez, M. *Tanques de almacenamiento en concreto y mampostería*. Extraído de: [https://sswm.info/sites/default/files/referen ce\\_attachments/SAGARPA%20s.f.%20T anques%20de%20almacenamiento%20e n%20concreto%20y%20mamposter%20 %ADa.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/referen ce_attachments/SAGARPA%20s.f.%20T anques%20de%20almacenamiento%20e n%20concreto%20y%20mamposter%20 %ADa.pdf)
- Ficalora, D., Rimauro, C., & Zafran, D. (2016). Matriz Multicriterio para la planificación de Pasos Bajo Nivel en zonas urbanas. ResearchGate. Extraído de: [https://www.researchgate.net/publication/316596132\\_Matriz\\_Multicriterio\\_para\\_la\\_planificacion\\_de\\_Pasos\\_Bajo\\_Nivel\\_en\\_z onas\\_urbanas](https://www.researchgate.net/publication/316596132_Matriz_Multicriterio_para_la_planificacion_de_Pasos_Bajo_Nivel_en_z onas_urbanas)
- Gómez, A. (Junio, 2022). Aspectos técnicos a considerar en la construcción de tanques de acero vitrificado. (J. Zuñiga, entrevistador).
- INAPA. (2019). Especificaciones técnicas TANQUES EMPERNADOS EN ACERO VITRIFICADO (1st ed.). Extraído de: <http://file:///F:/Downloads/INAPA-CCC-CP-2019-0087%20ESPECIFICACIONES%20TEC NICAS%20TANQUE%20VITRIFICADO%201.pdf>.
- INGLESA. (2003). Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento. Extraído de: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lcul o+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/c f73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Normas para el Diseño de Proyectos de abastecimiento de Agua Potable en Costa Rica. (2017). Extraído de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/N ormativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.as px?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47113&nValor3=109666&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/N ormativa/Normas/nrm_texto_completo.as px?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47113&nValor3=109666&strTipM=TC)
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DE SANEAMIENTO Y PLUVIAL (2017). Extraído de: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Document s/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20con struccion%20sistemas%20agua,%20sane amento%20y%20pluvial.pdf>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2021). Norma Técnica para Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. (3rd ed.). Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados. Extraído de: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Document s/Norma%20Tecnica%20dise%C3%B1o %20y%>
- INEC. (2016). Índice de precios de la construcción. Base Febrero de 2012. Índices y variaciones. Julio 2016 Extraído de: <https://inec.cr/es/tematicas/listado?topics =134&filtertext=%25C3%258Dndices%25 20de%2520Precios%2520de%2520la%2 520Construcci%25C3%25B3n.%2520Bas e%2520Febrero%25202012.%2520%25C 3%258Dndices%2520y%2520variaciones -Noviembre%25202016&startdate=2016- 01-20&enddate=2017-03-30>
- INEC. (2022). Índice de precios de la construcción. Base Febrero de 2012. Índices y variaciones. Diciembre 2022. Extraído de: <https://inec.cr/es/tematicas/listado?topics =134%252C617&page=3>
- López, G., Madrigal, J., Zúñiga, L., Castillo, A., Méndez, G., & Arguedas, F. (2016). Golfito. Propuesta plan de turismo municipal. (1st ed.). Municipalidad de Golfito. Extraído de: <file:///F:/Downloads/Proyecto%20Final Plan%20de%20Turismo%20Municipal %20de%20Golfito.pdf>
- Madrigal, A. (Junio 2022). Proceso constructivo de tanques de acero vitrificado y costos estimado. (J. Zuñiga, entrevistador).
- Marinilli, A., & Castilla, E. (2007). Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones. *Boletín Técnico*, (ISSN 0376-

- 723X). Extraído de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0376-723X2007000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200004).
- Matarrita, F. (Abril 2022). Funcionamiento de tanque de almacenamiento y distribución de agua potable. (J. Zuñiga, entrevistador).
- May, S. (2020). Mitad de agua extraída por el AYA se desperdicia. Delfino. Extraído de: <https://delfino.cr/2020/11/mitad-de-agua-extraida-por-el-aya-se-desperdicia>.
- Munguía, Y., & Zúñiga, S. (2013). CARACTERIZACION DEL CANTON DE GOLFITO, CORREDOR FRONTERIZO ZONA SUR. MIVAH. Extraído de: [file:///F:/Downloads/DIAGNOSTICO\\_GOLFITO\\_FRONTERA.pdf](file:///F:/Downloads/DIAGNOSTICO_GOLFITO_FRONTERA.pdf)
- National Fire Protection Association. (2018). NFPA 22. Norma para Tanques de Agua para la Protección contra Incendios Privada. NFPA. Extraído de: [http://file:///F:/Downloads/NFPA%2022%20-%20Norma%20para%20tanques%20de%20agua%20para%20la%20proyeccion%20contra%20incendios%20\(2018%20-%20ES\).pdf](http://file:///F:/Downloads/NFPA%2022%20-%20Norma%20para%20tanques%20de%20agua%20para%20la%20proyeccion%20contra%20incendios%20(2018%20-%20ES).pdf).
- Núñez, P. (2014). Prefabricación, transporte y ensamblaje de la estructura metálica de un tanque de almacenamiento de agua potable para Los Chiles (Licenciatura en Ingeniería en Construcción). Tecnológico de Costa Rica.
- Ortiz Quesada, G. (2021). Análisis multicriterio. Cartago, Costa Rica. Extraído de <https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/CO/CO5056/S-2-2021.CA.CO5056.1/file-storage/view/Apuntes%2F06-Analisis-Multicriterio.pdf>
- Programa Estado de la Nación (2020). *Decimosexto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Pavas, Costa Rica: Programa Estado de la Nación. Extraído de: <https://estadonacion.or.cr/informes/>
- Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (PRODUS). (2010). Plan Regulador Cantonal de Corredores. Informe Hidrogeológico. Municipalidad de Corredores. Extraído de: [file:///F:/Downloads/ESTUDIO\\_HIDROGEOLOGICO\\_DE\\_CORREDORES.pdf](file:///F:/Downloads/ESTUDIO_HIDROGEOLOGICO_DE_CORREDORES.pdf)
- Redacción Heredia Hoy. (2021, July 22). AYA INAUGURA EL TANQUE DE ACERO VITRIFICADO MÁS GRANDE DEL PAÍS. *Heredia Hoy*. Extraído de: <https://herediahoy.com/destacadas/aya-inaugura-el-tanque-de-acero-vitrificado-mas-grande-del-pais/>
- Redacción La República. (2022). Materiales de construcción suben 40% por crisis de contenedores. *La Republica.Net*. Extraído de: <https://www.larepublica.net/noticia/materiales-de-construccion-suben-40-por-crisis-de-contenedores>.
- Rodríguez, I. (2019). PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA COMUNIDAD DE MATAPALO EN EL SUR PACIFICO DE COSTA RICA (Máster En El Ámbito De La Cooperación Internacional Para El Desarrollo). Universidad Politécnica de Madrid. Extraído de: [file:///F:/Downloads/TFM\\_IAGO\\_RODRIGUEZ\\_ROMERO.pdf](file:///F:/Downloads/TFM_IAGO_RODRIGUEZ_ROMERO.pdf)
- Rojas, E., & Ruiz, P. (2019). Construcción de Tanque de Almacenamiento de Agua Potable para Acueducto del Centro Poblado Barro Blanco en el Municipio Entreríos – Antioquia (Trabajo de grado para optar al título de Especialización en Gerencia de Proyectos). Universidad Piloto de Colombia. Extraído de: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6772/TRABAJO%20FINAL%20VERSION%204%20%282%29%20oct%2024.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Salazar, K. (2017). "Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua de consumo de Ciudad de los Niños y elaboración de una propuesta de diseño (Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Tecnológico de Costa Rica. Extraído de: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9689/diagnostico\\_sistema\\_abastecimiento\\_agua\\_consumo\\_cuidad\\_ni%C3%B1os\\_elaboracion\\_propuesta\\_dise%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9689/diagnostico_sistema_abastecimiento_agua_consumo_cuidad_ni%C3%B1os_elaboracion_propuesta_dise%C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

# ANEXOS

<b>ÍNDICES DE PRECIOS DE LA CONSTRUCCIÓN, BASE FEBRERO 2012</b>				
<b>Índices y variaciones porcentuales</b>				
<b>Por: Tipo de Índice</b>				
<b>Julio 2016</b>				
<b>Índices</b>		<b>Índice Junio 2016</b>	<b>Índice Julio 2016</b>	<b>Variación mensual</b>
1	Índice de Precios de Edificios	97.697	97.971	0.28
2	Índice de Precios de Vivienda de Interés Social	100.971	100.992	0.02
<b>Índices de Precios de Insumos y Servicios Especiales</b>				
3	Índice de Precios de Costo de Posesión de Maquinaria y Equipo	111.477	111.729	0.23
4	Índice de Precios de Repuestos	107.582	107.855	0.25
5	Índice de Precios de Llantas	92.389	92.574	0.20
6	Índice de Precios de Combustibles	65.716	78.359	19.24
7	Índice de Precios de Lubricantes	110.873	115.165	3.87
8	Índice de Precios de Asfálticos	51.927	54.689	5.32
9	Índice de Precios de Cemento Pórtland	123.883	123.883	0.00
10	Índice de Precios de Adquisición de Áridos	105.361	105.361	0.00
11	Índice de Precios de Encofrados	107.388	109.377	1.85
12	Índice de Precios de Tuberías de Plástico	101.779	101.779	0.00
13	Índice de Precios de Tuberías de Concreto	100.414	100.414	0.00
14	Índice de Precios de Hierro Fundido	96.570	99.924	3.47
15	Índice de Precios de Hierro Dúctil	100.547	100.547	0.00
16	Índice de Precios de Acero de Refuerzo	97.610	98.423	0.83
17	Índice de Precios de Acero Estructural	60.700	60.766	0.11
18	Índice de Precios de Acero Estructural de Importación	73.735	72.618	-1.51
19	Índice de Precios de Cable Eléctrico	66.593	65.375	-1.83
20	Índice de Precios de Señalización y Demarcación Vial	78.062	78.062	0.00
21	Índice de Precios de Explosivos	154.324	154.870	0.35

Costa Rica. Índices de Precios de la Construcción base febrero 2012  
**Índices y variaciones porcentuales**

**Por: tipo de índice**

**Noviembre 2022**

No.	Índices	Índice octubre 2022	Índice noviembre 2022	Variación mensual
1	Índice de Precios de Edificios	157.892	155.245	-1.68
2	Índice de Precios de Vivienda de Interés Social	142.051	140.174	-1.32
<b>Índices de Precios de Insumos y Servicios Especiales<sup>1/</sup></b>				
3	Índice de Precios de Costo de Posesión de Maquinaria y Equipo	148.116	146.831	-0.87
4	Índice de Precios de Repuestos	163.767	160.221	-2.17
5	Índice de Precios de Llantas	82.559	79.199	-4.07
6	Índice de Precios de Combustibles	149.975	145.011	-3.31
7	Índice de Precios de Lubricantes	160.933	159.404	-0.95
8	Índice de Precios de Asfálticos	175.493	144.034	-17.93
9	Índice de Precios de Cemento Pórtland	125.951	125.951	0.00
10	Índice de Precios de Adquisición de Áridos	111.568	111.568	0.00
11	Índice de Precios de Encofrados	140.814	139.176	-1.16
12	Índice de Precios de Tuberías de Plástico	294.137	276.537	-5.98
13	Índice de Precios de Tuberías de Concreto	105.462	105.462	0.00
14	Índice de Precios de Hierro Fundido	128.223	125.601	-2.04
15	Índice de Precios de Hierro Dúctil	109.379	109.370	-0.01
16	Índice de Precios de Acero de Refuerzo	131.008	126.423	-3.50
17	Índice de Precios de Acero Estructural	150.289	149.736	-0.37
19	Índice de Precios de Cable Eléctrico	141.504	144.314	1.99
20	Índice de Precios de Señalización y Demarcación Vial	100.662	103.934	3.25
21	Índice de Precios de Explosivos	205.746	199.306	-3.13

1/ La serie del Índice de Precios de Acero Estructural de Importación se calculó hasta setiembre del 2017 debido a que a partir de octubre del 2017 no se cuenta con la fuente para obtener el precio del acero estructural de importación.

Fuente: INEC-Costa Rica, Índices de Precios de la Construcción base febrero 2012, 2022.

## ÍNDICES DE PRECIOS DE LA CONSTRUCCIÓN BASE FEBRERO 2012

### Índices y variaciones porcentuales

Por: tipo de índice

Agosto 2019

No.	Índices	Índice julio 2019	Índice agosto 2019	Variación mensual
1	Índice de precios de edificios	110.495	110.193	-0.27
2	Índice de precios de vivienda de interés social	108.975	108.894	-0.07
<b>Índices de precios de insumos y servicios especiales<sup>1/</sup></b>				
3	Índice de precios de costo de posesión de maquinaria y equipo	121.453	121.159	-0.24
4	Índice de precios de repuestos	128.994	127.696	-1.01
5	Índice de precios de llantas	76.636	76.577	-0.08
6	Índice de precios de combustibles	92.354	93.584	1.33
7	Índice de precios de lubricantes	132.363	132.474	0.08
8	Índice de precios de asfálticos	105.908	98.807	-6.71
9	Índice de precios de cemento pórtland	124.033	124.033	0.00
10	Índice de precios de adquisición de áridos	103.486	103.486	0.00
11	Índice de precios de encofrados	124.470	124.297	-0.14
12	Índice de precios de tuberías de plástico	158.000	158.000	0.00
13	Índice de precios de tuberías de concreto	96.920	96.920	0.00
14	Índice de precios de hierro fundido	103.017	103.745	0.71
15	Índice de precios de hierro dúctil	101.261	103.290	2.00
16	Índice de precios de acero de refuerzo	99.236	97.911	-1.33
17	Índice de precios de acero estructural	83.995	80.368	-4.32
19	Índice de precios de cable eléctrico	89.664	89.369	-0.33
20	Índice de precios de señalización y demarcación vial	84.246	84.406	0.19
21	Índice de precios de explosivos	189.586	190.148	0.30

1/ La serie del índice de precios de acero estructural de importación se calculó hasta setiembre del 2017 debido a que a partir de octubre del 2017 no se cuenta con la fuente para obtener el precio del acero estructural de importación.

Fuente: INEC, Unidad de Índices de Precios, 2019.

# Apéndices

Apéndice 1 Memoria de  
Cálculo.

Apéndice 2 Planos.

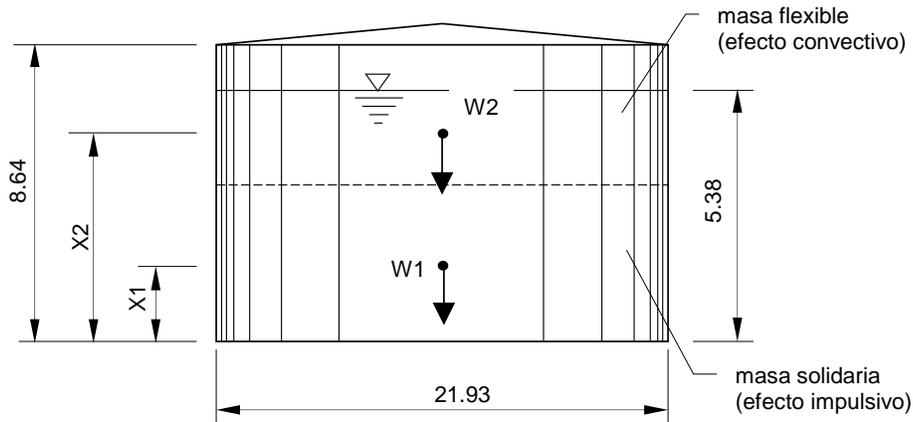
PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	REVISADO: Gustavo Rojas
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA: 15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:

**DISEÑO DE LOSA DE FUNDACION OCTAGONAL  
PARA TANQUE CILINDRICO METALICO**

(Ref. PDVSA JA-221 y FJ-251)

**1. DATOS PARA EL DISEÑO**

DIAMETRO DEL TANQUE:	d =	21.93 m
ALTURA DEL TANQUE:	H =	8.64 m
PESO ESPECIFICO DEL LIQUIDO:	$\gamma_L$ =	1,000 kg/m <sup>3</sup>
NIVEL MAXIMO DEL LIQUIDO:	$H_L$ =	5.38 m
PESO PARED DEL TANQUE:	Ws =	18,691 kg
PESO TECHO DEL TANQUE:	Wr =	17,790 kg
PESO FONDO DEL TANQUE:	Wb =	0 kg
ALTURA CENTRO DE GRAVEDAD (CUERPO):	Xs =	4.32 m
ESPEJOR PROMEDIO PAREDES DEL TANQUE:	tm =	4.0 mm
ESPEJOR PLANCHA BASE DEL TANQUE:	tb =	0.0 mm
PESO UNITARIO DEL SUELO:	$\gamma_s$ =	1,800 kg/m <sup>3</sup>
ANGULO DE FRICCION INTERNA DEL SUELO:	$\phi$ =	30 °
CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO:	Rs =	1.50 kg/cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA A COMPRESION CONCRETO:	f'c =	280 kg/cm <sup>2</sup>
PESO UNITARIO DEL CONCRETO:	$\gamma_c$ =	2,500 kg/m <sup>3</sup>
RESISTENCIA A FLUENCIA ACERO REFUERZO:	Fy =	4,200 kg/cm <sup>2</sup>



PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

## 2. CALCULO DE PESOS y ALTURAS EFECTIVOS

### Pesos efectivos

Peso total del líquido:

$$W = \pi d^2 H_L \gamma_L / 4 = 2,032,120 \text{ kg}$$

$$d / H_L = 4.08$$

$$H/D = 0.25$$

$$W_1 / W = \frac{\tanh(0,866 (d / H_L))}{0,866 (d / H_L)} = 0.283$$

$$W_2 / W = 0,23 (d / H_L) \tanh(3,67 / (HL / D)) = 0.693$$

$$W_1 = 574,684 \text{ kg}$$

$$W_2 = 1,408,269 \text{ kg}$$

### Alturas efectivas

$$X_1 / H_L = 0,5 - 0,094 (d / H_L) = 0.375$$

$$X_2 / H_L = 1 - \frac{\cosh(3,67 / (d / H_L)) - 1}{(3,67 / (d / H_L)) \sinh(3,67 / (d / H_L))} = 0.933$$

$$X_1 = 2.02 \text{ m}$$

$$X_2 = 5.02 \text{ m}$$

## 3. CALCULO DE FUERZAS SISMICAS

### Parámetros que definen la zona sísmica

Ubicación de la estructura: Rio Claro, Golfito

$$a^* = 44 \text{ cm/s}^2$$

$$\gamma = 4.3$$

### Características del contenido y riesgos asociados

El contenido del tanque es : no inflamable

$$\text{Grado de Riesgo} = B$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

Probabilidad de excedencia anual del movimiento sísmico de diseño

$$p1 = 0.001$$

**Aceleración horizontal máxima del terreno**

$$a = a^* (-\ln(1 - p1))^{-1/\gamma}$$

$$a = 219.32 \text{ cm/s}^2$$

$$A_o = a / g$$

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

<b>Ao = 0.224</b>
-------------------

**Valores que definen el espectro de respuesta**

$$\begin{aligned} \text{Perfil de suelo} &= S3 \\ \varphi &= 1.00 \\ \beta &= 2.8 \\ T^o &= 0.3 \text{ s} \\ T^* &= 1.2 \text{ s} \end{aligned}$$

**Condición inicial de anclaje asumida para el tanque**

$$\text{Condición de anclaje} = \text{anclado}$$

Nota: En el caso de " no anclado " esta condición deberá ser verificada en el cálculo de la estabilidad

**Coficiente de amortiguamiento equivalente**

a) Efecto impulsivo horizontal

$$\begin{aligned} \zeta &= 0.05 \\ \beta^* &= \beta / 2.3 (0.0853 - 0.739 \ln \zeta) \\ \beta^* &= 2.798961 \end{aligned}$$

b) Efecto convectivo

$$\begin{aligned} \zeta &= 0.005 \\ \beta^* &= 4.870 \end{aligned}$$

**Períodos de vibración**

a) Modo impulsivo horizontal

$$T_1 = 1,762 (H_L / K_h) (\gamma_L / g^* E_s)^{1/2}$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:
			15/01/2023

$$\begin{aligned}
 tm / 1000 (0,5d) &= 0.00036 \\
 H_L / 0,5d &= 0.49 \\
 K_h &= 0.420 \\
 E_s &= 2,1 \cdot E06 \quad \text{kg/cm}^2 \\
 T_1 &= 0.157 \quad \text{s}
 \end{aligned}$$

b) Efecto convectivo

$$T_2 = \frac{20 \pi (d / 2g)^{1/2}}{(1,84 \tanh (1,84 H_L / 0,5 \cdot d))^{1/2}}$$

$$T_2 = 5.781 \quad \text{s}$$

#### Ordenadas de los espectros de diseño para la componente horizontal

$$\begin{aligned}
 Ad &= (\varphi A_o (1 + T (\beta^* - 1)) / (1 + (T / T^+)^c (D - 1))) && \text{para } T < T^+ \\
 Ad &= \varphi A_o \beta^* / D && \text{para } T^+ \leq T \leq T^* \\
 Ad &= \varphi A_o \beta^* (T^* / T)^{0,8} / D && \text{para } T^* \leq T \leq 3 \\
 Ad &= (\varphi A_o \beta^* / D) (T^* / 3)^{0,8} (3 / T)^{2,1} && \text{para } T > 3 \\
 c &= (D / \beta^*)^{1/4}
 \end{aligned}$$

#### Factor de ductilidad

$$\begin{aligned}
 D &= 1 \\
 T^+ &= 0.1 \cdot (D - 1) = 0
 \end{aligned}$$

como debe cumplirse  $T^o \leq T^+ \leq T^*$  entonces

$$T^+ = T^o = 0.30 \quad \text{s}$$

a) Ordenada del espectro para el modo impulsivo horizontal

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 0.157 \quad \text{s} \\
 Ad_1 &= 0.434 && T < T^+
 \end{aligned}$$

b) Ordenada del espectro para el modo convectivo horizontal

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 5.781 \quad \text{s} \\
 Ad_2 &= 0.132 && T > 3
 \end{aligned}$$

#### Altura máxima de oscilación del líquido

$$\begin{aligned}
 h &= 0,48 \cdot d \cdot Ad_2 = 1.39 \quad \text{m} && h < h (\text{camara aire}) \\
 h (\text{camara aire}) &= 8.6 - 5.4 = 3.26 \quad \text{m} && \text{OK}
 \end{aligned}$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

### Fuerza cortante en la base del tanque

a) Modo impulsivo:

$$V_1 = Ad_1 ( W_1 + W_s + W_r )$$

$$V_1 = 265,480 \quad \text{kg}$$

b) Modo convectivo:

$$V_2 = Ad_2 * W_2$$

$$V_2 = 185,826 \quad \text{kg}$$

c) Cortante Basal máximo probable:

$$V = ( V_1^2 + V_2^2 )^{1/2}$$

$$V = 324,054 \quad \text{kg} \quad (\text{cortante último})$$

d) Cortante Basal reducida en la base:

$$V_r = 0,8 V$$

$$V_r = 259,243 \quad \text{kg} \quad (\text{cortante de servicio})$$

### Momento de volcamiento en la base del tanque

a) Modo impulsivo:

$$M_1 = Ad_1 ( W_1 * X_1 + W_s * X_s + W_r * X_r )$$

$$M_1 = 605,477 \quad \text{kg*m}$$

b) Modo convectivo:

$$M_2 = Ad_2 * W_2 * X_2$$

$$M_2 = 932,914 \quad \text{kg*m}$$

c) Momento de volcamiento máximo probable:

$$M = ( M_1^2 + M_2^2 )^{1/2}$$

$$M = 1,112,174 \quad \text{kg*m} \quad (\text{momento último})$$

d) Momento de volcamiento reducido en la base:

$$M_r = 0,8 M$$

$$M_r = 889,739 \quad \text{kg*m} \quad (\text{momento de servicio})$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

#### 4. CALCULO DE FUERZAS DE VIENTO

VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO :	V =	100	km/hr
PRESION STANDARD A 10 m DE ALTURA :	qs =	60	kg/m <sup>2</sup>
TIPO DE EXPOSICION :		C	
COEFICIENTE DE PRESION :	Cq =	0.80	
COEFICIENTE COMBINADO :	Ce =	1.31	
FACTOR DE IMPORTANCIA :	Iw =	1.15	

Fuerza horizontal resultante en la pared del tanque :

$$F_{vh} = C_e * C_q * I_w * q_s * A_L$$

$$A_L = d * H = 189.48 \text{ m}^2$$

$$F_{vh} = 11,784 \text{ kg} \quad 62.19$$

Momento de volcamiento :

$$M_v = F_{vh} * H/2$$

$$M_v = 50,907 \text{ kg*m}$$

#### TABLA 16 - F

PRESION STANDARD DE VIENTO A 10 m DE ALTURA ( qs )

VELOCIDAD DE VIENTO mph ( km/hr )	70 (113)	80 (129)	90 (145)	100 (160)	110 (177)
PRESION qs ( kg/m2 )	61.5	80.00	101.6	125.0	151.4

#### TABLA 16 - G

COEFICIENTE COMBINADO DE ALTURA, EXPOSICION Y RAFAGA (Ce)

ALTURA SOBRE EL SUELO (m)	EXPOSICION		
	B	C	D
0.0 - 4.5	0.62	1.06	1.39
4.5 - 6.0	0.67	1.13	1.45
6.0 - 7.5	0.72	1.19	1.50
7.5 - 9.0	0.76	1.23	1.54
9.0 - 12.2	0.84	1.31	1.62
12.2 - 18.3	0.95	1.43	1.73
18.3 - 24.4	1.04	1.53	1.81
24.4 - 30.5	1.13	1.61	1.88
30.5 - 36.6	1.20	1.67	1.93
36.6 - 48.8	1.31	1.79	2.02

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

## 5. VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD

Límite elástico de la plancha base del tanque :

$$F_{by} = 2,533 \text{ kg/cm}^2$$

**Peso máximo del contenido que resiste el volcamiento**

$$W_L = 3,16 t_b (F_{by} * G * H_L)^{1/2} = 0 \text{ kg/m}$$

$$W_{L \text{ max}} = 20 * G * H_L * d = 2,360 \text{ kg/m}$$

$$W_L = 0 \text{ kg/m}$$

**Peso de tanque vacío por unidad de circunferencia ( solo pared y techo )**

$$W_t = (W_s + W_r) / \pi d = 530 \text{ kg/m}$$

**Factor de estabilidad**

$$SF = Mr / d^2 (W_t + W_L)$$

$$SF_{\text{sismo}} = 3.49 > 1,57 \quad (\text{tanque lleno} \Rightarrow W_L \neq 0)$$

$$SF_{\text{viento}} = 0.20 < 0,785 \quad (\text{tanque vacío} \Rightarrow W_L = 0)$$

**Requerimiento de anclajes**

$$C = 2 * M / d * W$$

$$M = 889,739 \text{ kg*m} \quad \text{GOBIERNA SISMO}$$

$$d = 21.93 \text{ m}$$

$$W = W_s + W_r = 36,481 \text{ kg}$$

$$C = 2.22$$

## 6. DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

SEPARACION MAXIMA DE ANCLAJES :  $s_{\text{max}} = 3.00 \text{ m}$

NUMERO MINIMO DE ANCLAJES :  $N_{p \text{ min}} = \pi d / s_{\text{max}} = 23$

NUMERO DE ANCLAJES COLOCADOS :  $N_p = 200$

DIAMETRO PERNOS DE ANCLAJE (min. 1") :  $d_p = 25.40 \text{ mm}$

DIAMETRO CIRCULO DE PERNOS :  $d_{cp} = 22.13 \text{ m}$

CALIDAD DE PERNOS : **A - 307**

**Tracción en pernos de anclaje**

$$T_{\text{uniforme}} = (1,273 * Mr / d^2) - W_t$$

$$T_{\text{sismo}} = 1,826 \text{ kg/m}$$

$$T_{\text{viento}} = -395 \text{ kg/m} \quad \text{NO REQUIERE ANCLAJE POR VIENTO}$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

Separación entre pernos de anclaje :

$$s_p = \pi d_{cp} / N_p = 0.35 \quad \text{m}$$

Tracción máxima en cada perno :

$$T_{\max} = \max T_{\text{unif}} * s_p = 635 \quad \text{kg}$$

Según.....Guía PDVSA 0603.1.203 :

$$T_{\max} = (4 * M / N_p * d_{cp}) - W / N_p$$

$$T_{\text{sismo}} = 622 \quad \text{kg}$$

$$T_{\text{viento}} = -136 \quad \text{kg}$$

NO REQUIERE ANCLAJE POR VIENTO

<b><math>T_{\max} = 635 \quad \text{kg}</math></b>
--

#### Verificación de esfuerzos máximos en pernos de anclaje

Esfuerzo de tracción :

$$A_p = 5.07 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{\text{ef}} = 0,75 A_p = 3.80 \quad \text{cm}^2$$

$$f_{\text{t act}} = T_{\max} / A_{\text{ef}} = 167 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$F_{\text{t adm}} = 1.33 * 1400 = 1,862 \quad \text{kg/cm}^2$$

OK

**COLOCAR : 200 PERNOS 25.4 mm DIA. c / 348 mm**

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

## 7. DISEÑO DE LOSA DE FUNDACION OCTAGONAL

### Dimensiones y propiedades geométricas

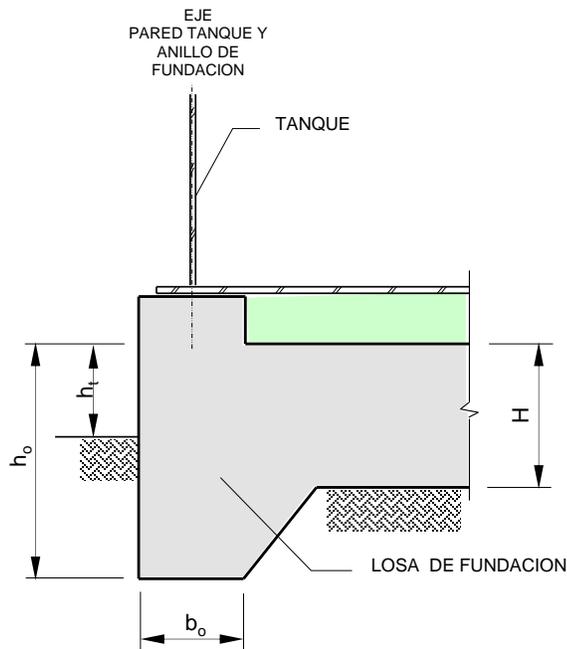
DIAMETRO INSCRITO FUNDACION :	L =	22.43	m
ESPESOR DE LOSA MACIZA :	H =	0.25	m
ALTURA LOSA SOBRE EL TERRENO :	$h_t$ =	0.00	m
ALTURA DENTELLON PERIMETRAL :	$h_o$ =	0.70	m
ANCHO DENTELLON PERIMETRAL :	$b_o$ =	0.50	m
AREA BASE FUNDACION :	$A = 0.8284 L^2 =$	416.79	$m^2$
INERCIA FUNDACION :	$I = 0.055 L^4 =$	13,921.30	$m^4$
MODULO DE SECCION :	$S = I / 0,5L =$	1,241.31	$m^3$
COEFICIENTE DE RIGIDEZ :			

$$K = (E_{\text{concreto}} / 12 E_{\text{suelo}}) * (H / L)^4$$

$$E_c = 15100 (f'_c)^{0.5} = 2.5E+05 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{suelo}} = 0 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = 0.58 > 0.5 \quad \text{LA FUNDACION ES RIGIDA}$$



PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:
15/01/2023			

### Verificación de esfuerzos en el suelo y estabilidad del conjunto (tanque-fundación)

#### Cargas verticales

PESO DE TANQUE (PARED/TECHO/FONDO) :	$Wt_1 =$	36,481	kg
PESO LIQUIDO CONTENIDO :	$Wt_2 =$	2,032,120	kg
PESO LOSA DE FUNDACION :	$Wt_3 =$	321,113	kg
MAXIMA COMPRESION EN LA BASE POR SISMO :			

$$wt_4 \begin{cases} = 1,273 M / d^2 & \text{cuando } SF \leq 0,785 \text{ ó tanques anclados (} SF > 1.57) \\ = (Wt + W_L) * k - W_L & \text{cuando } 0.785 < SF \leq 1.50 \\ = 1.49 (Wt + W_L) / (1 - 0.637 * SF)^{1/2} - W_L & \text{cuando } 1.50 < SF \leq 1.57 \end{cases}$$

FACTOR DE ESTABILIDAD POR SISMO :

$$\begin{aligned} SF_s &= 3.49 \\ k &= N/A \\ wt_4 &= 2,355 \text{ kg/m} \\ Wt_4 &= \pi * d * wt_4 = 162,257 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### Caso: Operación (tanque lleno): CP + F

Cálculo de esfuerzos en el suelo :

$$\begin{aligned} \sigma_s (\text{adm}) &= 1.50 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_s &= P / A = \Sigma Wi / A = (Wt_1 + Wt_2 + Wt_3) / A \\ P &= 2,389,714 \text{ kg} \end{aligned}$$

$\sigma_s = 0.57 \text{ kg/cm}^2 < 1.50 \text{ OK}$
---

#### Caso: Operación + Sismo (tanque lleno): CP + F + S

$$\sigma_s (\text{adm}) = 1.33 * Rs = 2.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_s &= P / A \pm M / S \\ P &= Wt_1 + \pi * d * W_L + Wt_3 = 357,594 \text{ kg} \\ M &= Mr + Vr * H_{fund} = 954,550 \text{ kg*m} \end{aligned}$$

$\sigma_{s (\text{max})} = 0.16 \text{ kg/cm}^2 < 2.00 \text{ OK}$
$\sigma_{s (\text{min})} = 8.90E-03 \text{ kg/cm}^2 > 0.00 \text{ OK}$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga	
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	Gustavo Rojas	
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA:	15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:	

Factor de seguridad al volcamiento :

$$M_{res} = P * ( d / 2 ) = 4,010,417 \text{ kg*m}$$

$$M_{act} = M = 954,550 \text{ kg*m}$$

$$FS_{volc} = M_{res} / M_{act} = 4.20 > 1.50 \text{ OK}$$

Factor de seguridad al deslizamiento :

$$E_{pas} = 0.5 \gamma_s ( h_o - h_t )^2 K_p$$

$$E_{pas} = 1323 \text{ kg/m}$$

$$F_{res} = \mu P + E_{pas} * d = 601,825 \text{ kg} \quad \text{asumiendo } \mu = 0.30$$

$$F_{act} = Vr = 259,243 \text{ kg}$$

$$FS_{desl} = F_{res} / F_{act} = 2.32 > 1.50 \text{ OK}$$

**Caso : Tanque vacío + Viento : CP + V**

$$\sigma_s \text{ (adm)} = 1.33 * R_s = 2.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = P / A \pm M / S$$

$$P = Wt_1 + Wt_3 = 357,594 \text{ kg}$$

$$M = M_v + F_v * H_{fund} = 53,853 \text{ kg*m}$$

$\sigma_s \text{ (max)}$	=	0.09	kg/cm <sup>2</sup>	<	2.00	OK
$\sigma_s \text{ (min)}$	=	0.08	kg/cm <sup>2</sup>	>	0.00	OK

Factor de seguridad al volcamiento :

$$M_{res} = P * ( d / 2 ) = 4,010,417 \text{ kg*m}$$

$$M_{act} = M = 53,853 \text{ kg*m}$$

$$FS_{volc} = M_{res} / M_{act} = 74.47 > 1.50 \text{ OK}$$

Factor de seguridad al deslizamiento :

$$E_{pas} = 1,323 \text{ kg/m}$$

$$F_{res} = \mu P + E_{pas} * L = 136,953 \text{ kg}$$

$$F_{act} = F_{vh} = 11,784 \text{ kg}$$

$$FS_{desl} = F_{res} / F_{act} = 11.62 > 1.50 \text{ OK}$$

PROYECTO:	Tanque de almacenamiento acueducto de Rio Claro	ELABORADO:	Jose Zuñiga
CLIENTE:	Acueductos y Alcantarillados (AyA)	TANQUE :	REVISADO: Gustavo Rojas
ESPECIALIDAD:	ESTRUCTURAS	T-001001	FECHA: 15/01/2023
<b>CALCULOS ESTRUCTURALES</b>			PAGINA:

### Diseño estructural de losa

P = peso fondo tanque + contenido	=	2,032,120 kg
p = (peso pared + techo) / perimetro tanque	=	530 kg/m
q = (peso tanque + contenido) / A <sub>fund</sub>	=	4,963 kg/m <sup>2</sup>
b = c = radio tanque	=	10.97 m
r = b + d/2	=	11.07 m
R = radio de la fundación	=	11.22 m
μ = coeficiente de Poisson del concreto	=	0.25

Corte crítico (a la distancia r = b + d/2) :

$$V = q \cdot (R^2 - r^2) / 2r = 750 \text{ kg/m}$$

$$V_u = 1.5 \cdot V = 1,124 \text{ kg/m}$$

$$V_{cu} = 0.85 \cdot 0.53 \cdot (f'_c)^{1/2} \cdot b \cdot d = 15,077 \text{ kg/m} > V_u \quad \text{OK}$$

Momento flector máximo (en el centro de la fundación) :

$$M_b = P/4\pi ((1+\mu)\ln(R/b)+1-(1-\mu)b^2/4R^2) = 137,284 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$M_c = p \cdot c/4 ((1-\mu) \cdot (R^2 - c^2)/R^2 + 2 \cdot (1+\mu)\ln(R/c)) = 129.80$$

$$M_d = -q \cdot R^2/16 (3+\mu) = -126,802$$

$$M = \sum M_i = 10,612 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$M_u = 1.5 \cdot M = 15,918 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$A_{s \text{ principal}} = 23.20 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ c/sentido cara inferior}$$

Momento tangencial en el borde de la fundación :

$$M_{t_b} = P/8\pi ((1-\mu) \cdot (2-b^2/R^2)) = 63,315 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$M_{t_c} = p \cdot c/2 (1-\mu) \cdot (R^2 - c^2)/R^2 = 96$$

$$M_{t_d} = -q \cdot R^2/8 (1-\mu) = -58,524$$

$$M = \sum M_i = 4,887 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$M_u = 1.5 \cdot M = 7,331 \text{ kg}^*\text{m/m}$$

$$A_{s \text{ borde}} = 10.10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

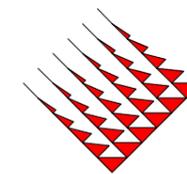
Acero por retracción y temperatura :

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \cdot b \cdot d$$

$$\text{recubrimiento} = 5.0 \text{ cm}$$

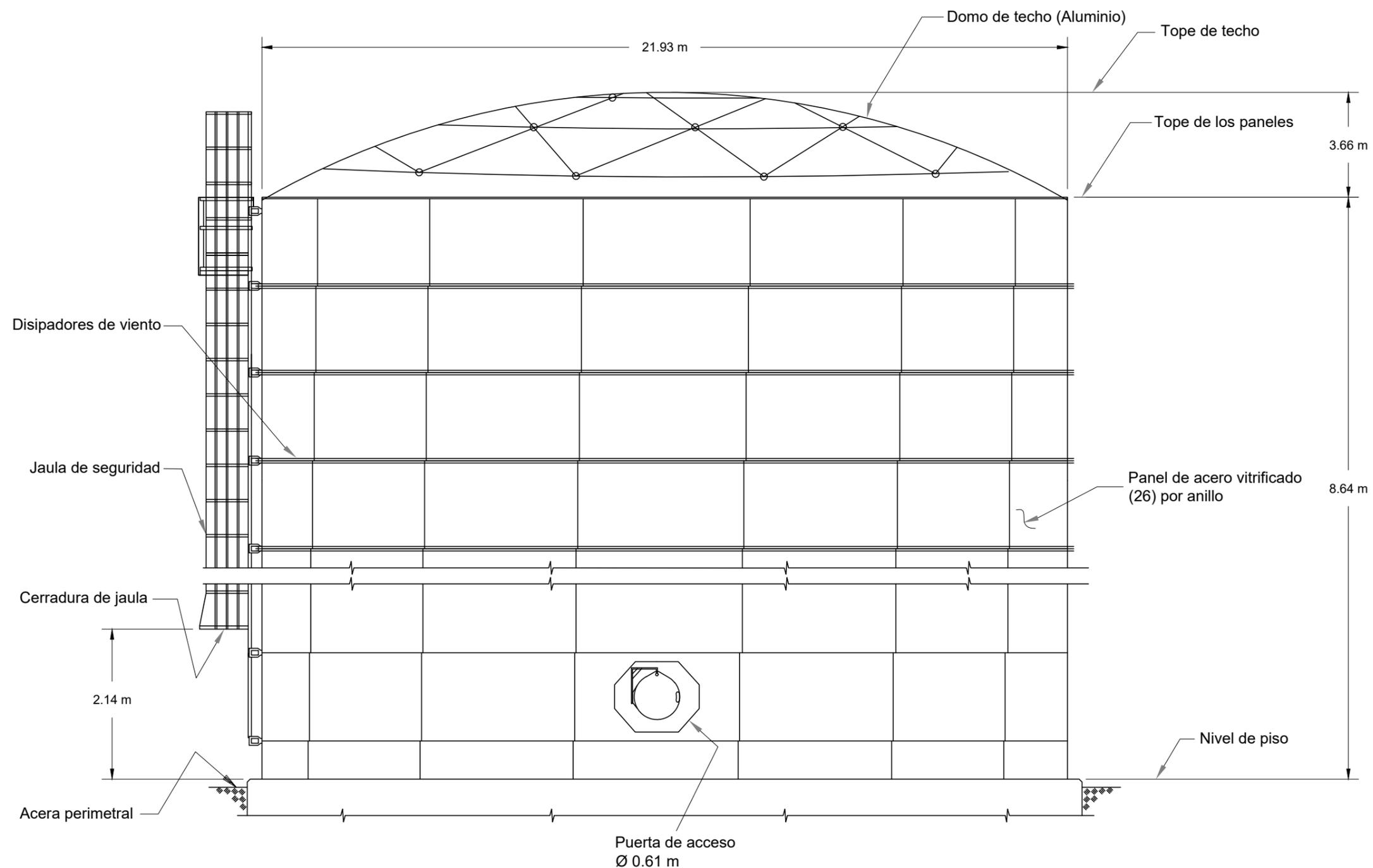
$$d = H - \text{rec} = 20 \text{ cm}$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \cdot b \cdot d = 3.60 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ ( c/sentido )}$$



TEC

Instituto Tecnológico de Costa Rica



## NOTAS

1. El dibujo no está a escala.
2. Este tanque no ha sido diseñado para soportar cargas hidrostáticas externas
3. El borde libre del tanque es de 3.26 m.
4. La altura máxima de la ola por sismo es de 2.73 m.
5. El techo del tanque es diseñado por el proveedor.

### PROYECTO

Tanque de 2000 m<sup>3</sup>  
Acueducto de Río Claro (AyA)

PROVINCIA	CANTÓN	DISTRITO
Puntarenas	Golfito	Guaycara

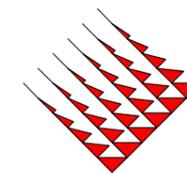
### DISEÑADO POR

José Zúñiga Picado

### CONTENIDO

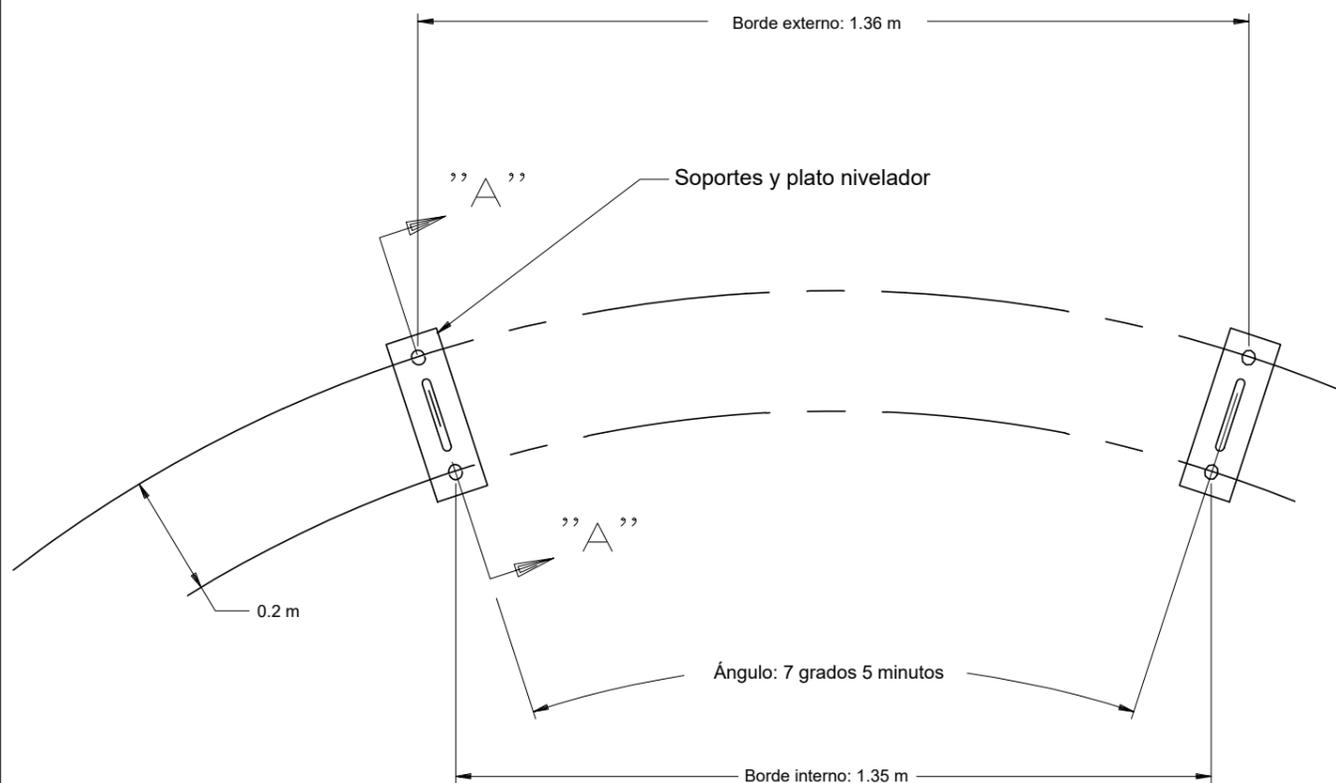
Vista general del tanque  
Dimensiones generales

ESCALA	FECHA	LÁMINA
Sin escala	27/07/2022	1/3

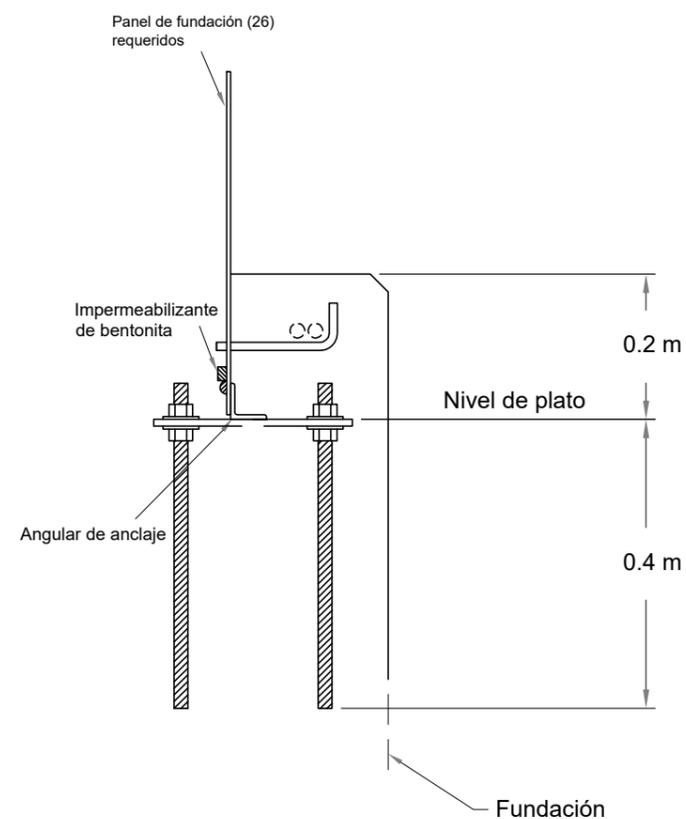


TEC

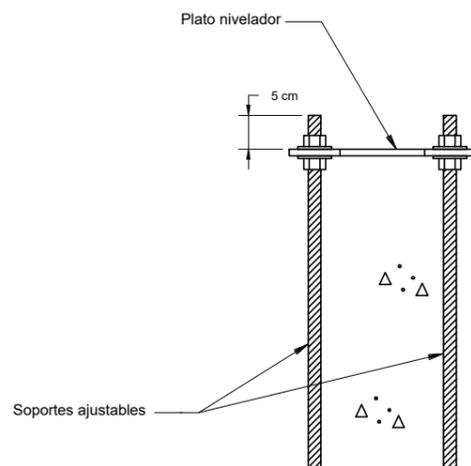
Instituto Tecnológico de Costa Rica



Vista superior de placas niveladoras



Detalle de anclaje



Sección A-A

NOTAS

1. El dibujo no está a escala.
2. El ajuste de los platos puede tener hasta 13 mm de tolerancia, con respecto a las dimensiones del plano.
3. Todos los materiales del anclaje son aportados por el proveedor del tanque.

PROYECTO

Tanque de 2000 m<sup>3</sup>  
Acueducto de Río Claro (AyA)

PROVINCIA	CANTÓN	DISTRITO
Puntarenas	Golfito	Guaycara

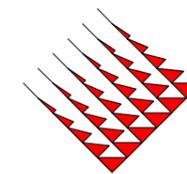
DISEÑADO POR

José Zúñiga Picado

CONTENIDO

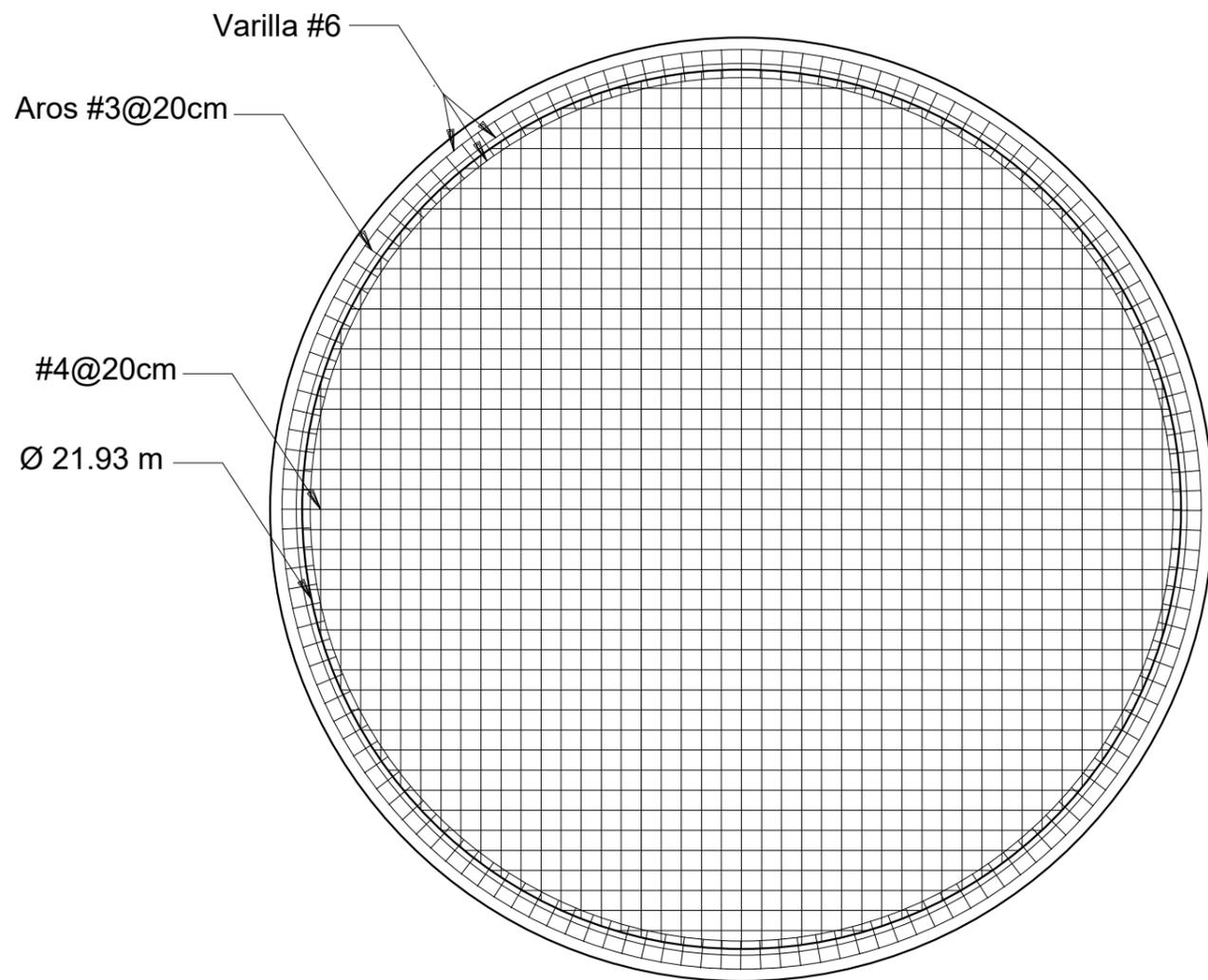
Placas niveladoras  
Detalles de anclaje

ESCALA	FECHA	LÁMINA
Sin escala	27/07/2022	2/3

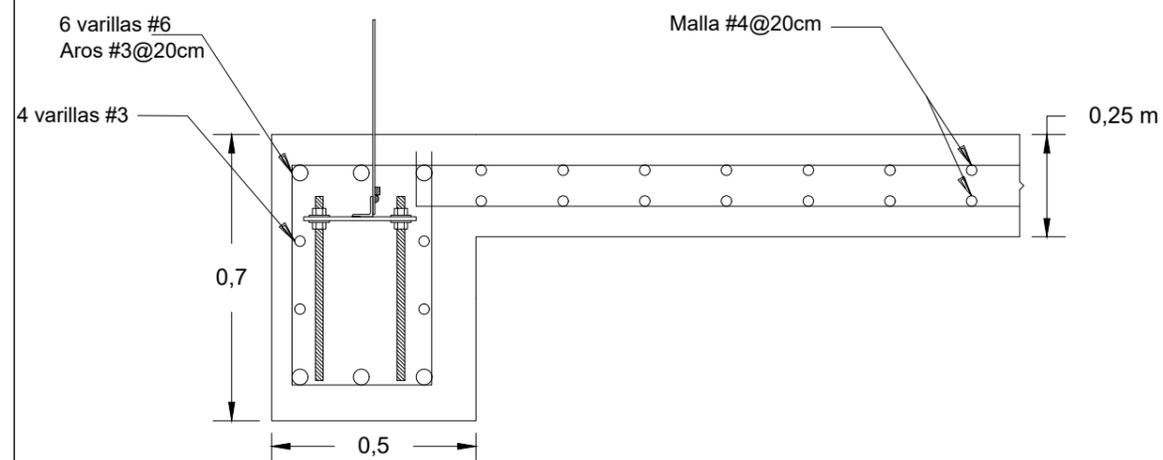


TEC

Instituto Tecnológico de Costa Rica



Detalle de malla en losa



Detalle del cimiento

NOTAS

1. El dibujo no está a escala (para apreciar algunos detalles).
2. Se diseño tanto como para cargas de viento, como de sismo (rige sismo).
3. El cimiento fue diseñado para soportar una carga máxima de 2400 toneladas.
4. La resistencia a compresión del concreto será de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
5. El recubrimiento para todas las secciones será de 5 cm.

PROYECTO		
Tanque de 2000 m <sup>3</sup> Acueducto de Río Claro (AyA)		
PROVINCIA	CANTÓN	DISTRITO
Puntarenas	Golfito	Guaycara
DISEÑADO POR		
José Zúñiga Picado		
CONTENIDO		
Detalle de losa y cimiento del tanque		
ESCALA	FECHA	LÁMINA
Sin escala	27/07/2022	3/3