



Diseño II

Rehabilitación y mejoras de la PTAP auxiliar del Municipio de Versalles

Presentado Por:

Jose David Benavides Martínez

Pablo Buitrago Ospina

Diana Marcela Guachetá Valencia

Andres Felipe Machado Uribe

Esteban Quintero Solano

Dr.-Ing. Cesar Camilo Cañon Barriga

Pontificia Universidad Javeriana De Cali

Facultad De Ingenierías y Ciencias

Programa De Ingeniería Civil

Santiago De Cali

11 de Diciembre del 2024

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Justificación	6
1.2. Localización	7
1.3. Antecedentes	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. MARCO TEORICO.....	11
3.1. Prefiltros Ascendentes	12
3.2. Filtros Descendentes	13
3.2.1. Galería de conductos.....	14
3.2.2. Punto de aplicación del cloro.....	14
3.3. Canaleta Parshall.....	16
4. METODOLOGÍA	18
4.1. Estimación del Caudal Máximo de Diseño.....	18
4.1.1. Población de diseño	18
4.1.2. Nivel de complejidad del sistema	18
4.1.3. Dotación neta	19
4.1.4. Consumos especiales	19
4.1.5. Caudal medio diario (Qmd)	20
4.1.6. Caudal máximo diario (QMD).....	21
4.1.7. Caudal máximo horario (QMH).....	21
4.2. Lista de chequeo estructural.....	22
4.2.1. Resistencia del concreto.....	22
4.2.2. Esclerómetro	22
4.2.3. Calculos para la resistencia del concreto	25
4.2.4. Evaluación de Escenarios Propuestos	26
4.2.5. Ferroscan	27
4.2.6. Chequeo	28
4.3. Ensayos para la exploración del suelo	29
4.3.1. Ensayo de penetración estandar (SPT)	29
4.3.2. Tubo Shelby	30
4.3.3. Barreno manual.....	30

4.4.	Resultados de los ensayos.....	31
4.4.1.	Límite líquido y límite plástico.....	31
4.4.2.	Límite Líquido (LL).....	31
4.4.3.	Límite Plástico (LP).....	31
4.4.4.	Índice de Plasticidad	32
4.4.5.	Granulometría	33
4.4.6.	Gravedad específica	35
4.4.7.	Ensayo de compresión no confinada.....	36
4.4.8.	Clasificación del suelo	38
5.	ANÁLISIS DE PATOLOGÍA	39
5.1.	Análisis resistencia del concreto	39
5.2.	Análisis Ferroskan.....	40
5.3.	Discusion.....	41
6.	ANALISIS DE ALTERNATIVAS.....	43
6.1.	Rehabilitacion estructural con contrafuertes.....	43
6.2.	Rehabilitación del construir un tanque sobre el tanque existente.....	49
6.3.	Demolición y Construcción de un nuevo tanque	52
6.4.	Huella de carbono de las 3 alternativas.....	54
7.	MATRIZ DE DECISIÓN	55
8.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE EPANET	56
8.1	Selección de bombas en el sistema de distribución	56
8.2	Costos por mantenimiento	58
8.3	Características del sistema escogido.....	59
8.4	Horarios escogidos para bombeo	60
9.	DISEÑO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ...	64
9.1.	Requisitos de durabilidad.....	64
9.2.	Protección de concreto para el refuerzo en estructuras ambientales.....	65
9.3.	Evaluación de cargas.....	66
9.3.1.	Presión hidrostática.....	66
9.3.2.	Presión Lateral del Suelo (H).....	67
9.3.3.	Presión por sobrecarga W (L).....	67
9.3.4.	Presión Dinámica del suelo (Sismo).....	68
9.4.	Diseño de losa inferior	70

9.4.1.	Materiales.....	70
9.4.2.	Momentos	70
9.4.3.	Revisión de cortante.....	72
9.5.	Diseño de muros	73
9.5.1.	Muro longitudinal	73
9.5.2.	Revisión de cortante en muros longitudinales	74
9.5.3.	Diseño de Muro Transversal.....	75
9.5.4.	Revisión de cortante en muros Transversales	76
10.	PROPUESTA REPARACIÓN FILTROS, PRE-FILTROS Y TANQUE DE LAVADO DE FILTROS PARA CASO 1: MORTERO SIKA REPAIR 220	77
10.1.	Justificación de la Alternativa.....	77
10.2.	Normas de Referencia.....	78
10.3.	Actividades Propuestas	79
10.3.1.	Preparación de la Superficie	79
10.3.2.	Aplicación del Puente de Adherencia.....	79
10.3.3.	Aplicación del Mortero de Reparación.....	80
10.3.4.	Curado.....	80
10.3.5.	Revestimiento Adicional.....	80
10.3.6.	Guías Técnicas de Sika	80
10.4.	Cumplimiento Normativo	81
11.	PRESUPUESTO	82
11.1.	Presupuesto rehabilitación PTAP Versalles.....	82
11.1.	Descripción de las Actividades.....	83
11.2.	Presupuesto rehabilitación tanque Versalles.....	84
12.	PLANO DEL TANQUE.....	86
.....		86
13.	MODELACIÓN BIM	88
14.	MÉTODO CONSTRUCTIVO.....	90
15.	ANEXOS DE CORRECCIONES QUE HACÍAN FALTAN.....	93
15.1.	Factor de durabilidad ambiental.....	93
15.2.	Espectro de diseño	94
16.	CONCLUSIONES	102
Bibliografía		104

Resumen

El proyecto aborda la rehabilitación integral de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Versailles, ubicada en el Valle del Cauca, la cual quedó en desuso tras la implementación de una nueva planta con capacidad insuficiente para abastecer a la población. Mediante evaluaciones estructurales e hidráulicas, se identificaron deficiencias críticas en componentes como el tanque de almacenamiento, prefiltros y sistemas de tratamiento, los cuales requieren intervenciones mejoras estructurales en sus componentes para cumplir con los procesos de captación, tratamiento y distribución.

La propuesta incluye un diagnóstico del estado actual de la infraestructura y un diseño que incorpora estándares según la norma, incrementando la capacidad de procesamiento y garantizando la potabilidad del agua. Este proyecto busca no solo solucionar el desabastecimiento de agua en Versailles, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, sino también establecer un modelo replicable para la recuperación de infraestructuras públicas en comunidades con problemáticas similares.

Los beneficios incluyen una cobertura ampliada de agua potable, reducción de costos operativos y el fortalecimiento de la salud pública mediante la provisión de agua segura, contribuyendo significativamente al desarrollo regional y a la sostenibilidad ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

La localidad de Versalles, ubicada en el Valle del Cauca, contó en el pasado con una planta de tratamiento de agua potable PTAP diseñada y construida para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua de su población. Sin embargo, con la implementación de una nueva planta de tratamiento, la anterior quedó en desuso y en estado de abandono. Esta transición ha dejado a la comunidad en una situación complicada, ya que la capacidad de la nueva planta no es suficiente para cubrir la demanda actual de agua del municipio, lo que ha resultado en un desabastecimiento significativo de agua apta para el consumo en una parte considerable de la población.

Ante esta difícil situación, El presente proyecto tiene como propósito realizar la entrega de los diseños de mejora y rehabilitación de la PTAP Versalles abandonada para optimizar su funcionamiento que involucra análisis estructural e hidráulico. A través de un diagnóstico del estado actual de la infraestructura y un análisis de las necesidades de la región, se plantearán mejoras en la infraestructura.

La ejecución de este rediseño no solo permitirá poner nuevamente en operación la PTAP con estándares modernos, sino que también posibilitará la ampliación sustancial de la cobertura de agua potable en la zona, lo que contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Asimismo, se aspira a que este proyecto sirva como un modelo ejemplar de rehabilitación de infraestructura pública en desuso, con la esperanza de inspirar iniciativas similares en otras comunidades enfrentadas a problemáticas similares.

1.1. Justificación

La realización del presente informe de grado se justifica tanto por su relevancia académica como por su impacto social en la comunidad de Versalles, Valle del Cauca. Este proyecto se lleva a cabo en el marco de los requisitos necesarios para obtener el título universitario, representando un hito importante en la formación académica de los estudiantes involucrados. Al mismo tiempo, el trabajo tiene como objetivo abordar una problemática social y urgente en la localidad, buscando contribuir al bienestar de sus habitantes.

Desde una perspectiva académica, este proyecto representa una oportunidad invaluable para aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria. La investigación, el análisis estructural e hidráulico, el diseño de soluciones técnicas y la

evaluación de impacto son aspectos fundamentales de la formación profesional en ingeniería, los cuales serán aplicados y desarrollados en el contexto específico de la rehabilitación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable.

Por otro lado, desde una perspectiva social, la importancia de este proyecto radica en su impacto directo en la calidad de vida de la comunidad de Versalles. La reactivación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable no solo garantizará un acceso continuo al agua potable para los habitantes del pueblo, sino que también contribuirá a reducir los riesgos para la salud pública asociados con el consumo de agua contaminada. Esto se traducirá en una mejora significativa en el bienestar y la seguridad de la población local.

1.2. Localización

La zona de estudio se encuentra en el sur occidente de Colombia, en el departamento del Valle del Cauca, en el municipio de Versalles. La empresa encargada del acueducto del municipio: Cooperativa Administradora de servicios publicos Versalles Valle (Camino Verde APC), está ubicada en la Calle 9 #7-30, a una cuadra del parque central del municipio. (Figura 1)

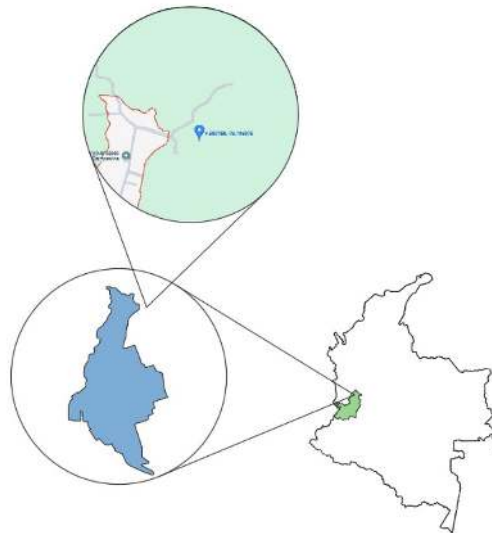


Figura 1. Ubicación de la PTAP

1.3. Antecedentes

El municipio de Versalles hace parte de la subregión norte del Departamento del Valle del Cauca en Colombia, con una población aproximada de 8.500 habitantes. Situado en la vertiente de la cordillera Occidental, este municipio se distingue por su belleza y su agradable clima, con una altitud de 1.860 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 18 °C. Limita al norte con los municipios de El Cairo y Argelia, al sur con El Dovio, al occidente con el Departamento del Chocó, y al oriente con los municipios de Toro y La Unión.

A pesar de su entorno idílico, el suministro de agua potable en Versalles enfrenta desafíos. Si bien el municipio cuenta con una PTAP auxiliar, ubicada en la parte baja del Municipio la cual transportaba agua por bombeo, diseñada para garantizar un suministro seguro de agua potable, esta infraestructura ha experimentado un deterioro considerable debido al abandono y la falta de mantenimiento. Como resultado, la calidad del agua disponible para la comunidad ha sido comprometida, generando preocupaciones sobre su seguridad y potabilidad. Claramente el municipio cuenta con una PTAP principal que funciona en la parte alta del municipio y lo hace por gravedad, esta es la encargada abastecer el agua a todo el municipio, pero debido al crecimiento poblacional en la parte alta de la montaña se han ocasionado grandes inconvenientes debido a que el agua en muchas ocasiones no llega a la viviendas y a causa del bombeo que se tiene que realizar para que esto ocurra el costo de la energía supera el límite con un costo de 20 millones al mes.



Figura 2. Prefiltros



Figura 3. Canal parshall



Figura 4. Prefiltros



Figura 5. Filtros



Figura 6. Filtro



Figura 7. Tanque de almacenamiento



Figura 8. Estado de la casa de máquinas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Entregar los diseños de mejora y rehabilitación de la planta de tratamiento de agua potable para aumentar el suministro de agua segura y de calidad a la población del municipio de Versalles, Valle del Cauca, priorizando la salud pública y la protección del ambiente.

2.2. Objetivos específicos

- Recuperar la funcionalidad de la planta auxiliar.
- Modernizar la infraestructura de la planta mediante la renovación de equipos y rediseño de estructuras obsoletas.
- Entregar planos y presupuesto de diseño.

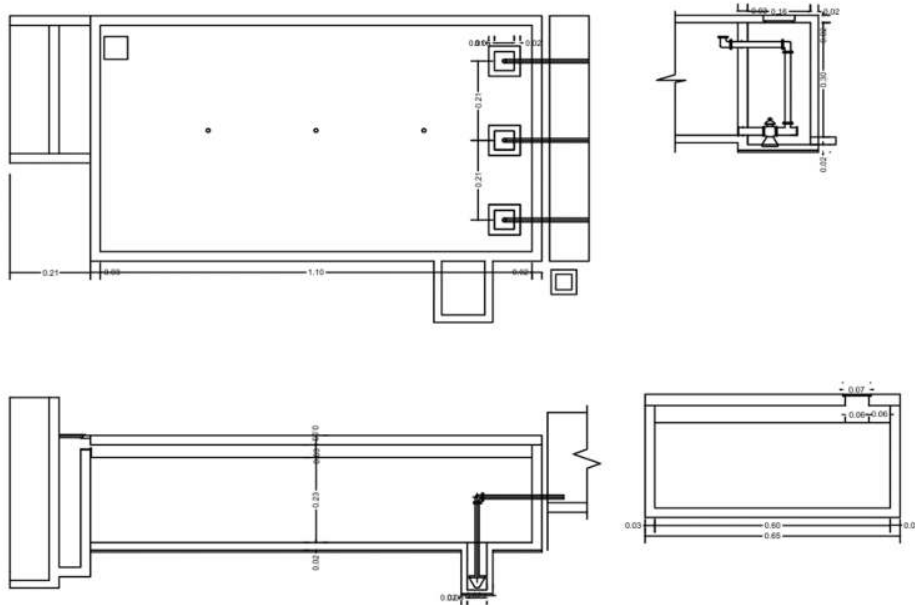


Figura 10. Tanque de almacenamiento

3.1. Prefiltros Ascendentes

Los prefiltros ascendentes son una etapa inicial del proceso de filtración utilizada para remover sólidos suspendidos y material particulado grueso del agua cruda. Funcionan haciendo pasar el agua de abajo hacia arriba a través de un lecho filtrante, generalmente compuesto por capas de grava de diferentes tamaños.

- El agua cruda ingresa a un tanque o cámara que contiene el lecho filtrante.
- El lecho está compuesto por una capa inferior de grava gruesa (2-6 cm), una capa intermedia de grava media (1-2 cm) y una capa superior de grava fina (0.5-1 cm).
- El agua fluye de abajo hacia arriba atravesando las capas de grava a una velocidad ascensional controlada (típicamente 0.3-0.6 m/min).
- Las partículas más grandes y densas quedan retenidas en las capas inferiores del lecho, mientras que las partículas más finas pasan a la siguiente etapa de filtración.
- Periódicamente se realiza un retrolavado ascendente para limpiar el lecho filtrante y remover las partículas acumuladas.

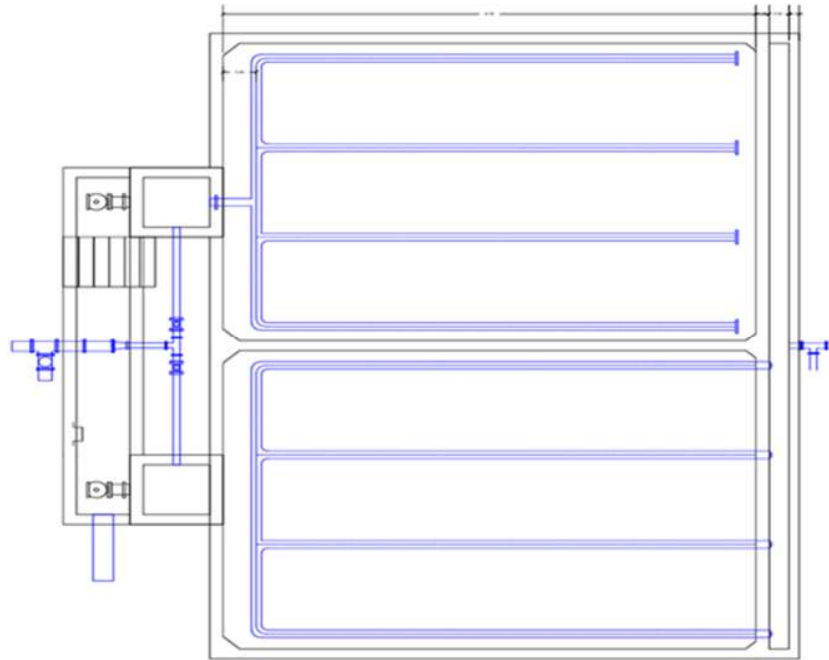


Figura 11. Plano de Prefiltros

3.2. Filtros Descendentes

Después de los prefiltros, el agua pasa a los filtros descendentes, donde se realiza una filtración más fina para remover turbiedad, partículas pequeñas y microorganismos. Estos filtros funcionan haciendo pasar el agua de arriba hacia abajo a través de un lecho filtrante compuesto por materiales granulares finos.

- El agua proveniente de los prefiltros ingresa a un tanque o cámara que contiene el lecho filtrante.
- El lecho está compuesto por una capa superior de arena fina (0.5-1 mm) y una capa inferior de antracita o granate (1-4 mm).
- El agua fluye de arriba hacia abajo atravesando las capas del lecho a una velocidad controlada (típicamente 5-10 m/h).
- Las partículas más finas y microorganismos quedan retenidos en los espacios intersticiales del lecho filtrante.
- Periódicamente se realiza un retrolavado ascendente para limpiar el lecho y remover las partículas acumuladas.

- Después de los filtros, el agua puede pasar a un tanque de almacenamiento y desinfección antes de su distribución.

3.2.1. Galería de conductos

En una planta de tratamiento de agua potable, la galería de conductos o cuarto de bombas es un componente esencial que alberga los sistemas de bombeo encargados de transportar el agua a través de las diferentes etapas del proceso. Esta área generalmente se encuentra construida en concreto reforzado o mampostería, ubicada en un nivel inferior a los tanques y filtros para facilitar el bombeo por gravedad. Dentro de la galería se instalan varias bombas centrífugas, cada una con sus respectivos sistemas de tuberías de succión y descarga, accionadas por motores eléctricos o de combustión interna según el diseño.

Algunas bombas se dedican a impulsar el agua cruda desde la fuente de captación hacia las etapas de pretratamiento y filtración, mientras que otras se encargan de transferir el agua tratada desde los filtros al tanque de almacenamiento y posteriormente a la red de distribución. Dependiendo del tamaño de la planta, puede haber sistemas de bombas de respaldo o emergencia para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallas.

La galería cuenta con espacios para el cuarto de control eléctrico, tableros de mando y monitoreo de los equipos de bombeo, así como sistemas de drenaje y desagüe para facilitar el mantenimiento y reparaciones. Se implementan medidas de seguridad como pasamanos, escaleras, ventilación, iluminación adecuada y señalización de riesgos. El mantenimiento preventivo y correctivo de bombas, motores, tuberías y accesorios es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de esta área crítica de la planta de tratamiento.

3.2.2. Punto de aplicación del cloro

El punto de aplicación del cloro es el lugar donde se introduce el cloro u otro desinfectante en el proceso de tratamiento de agua. Esto se realiza para eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua y garantizar su seguridad para el consumo humano.

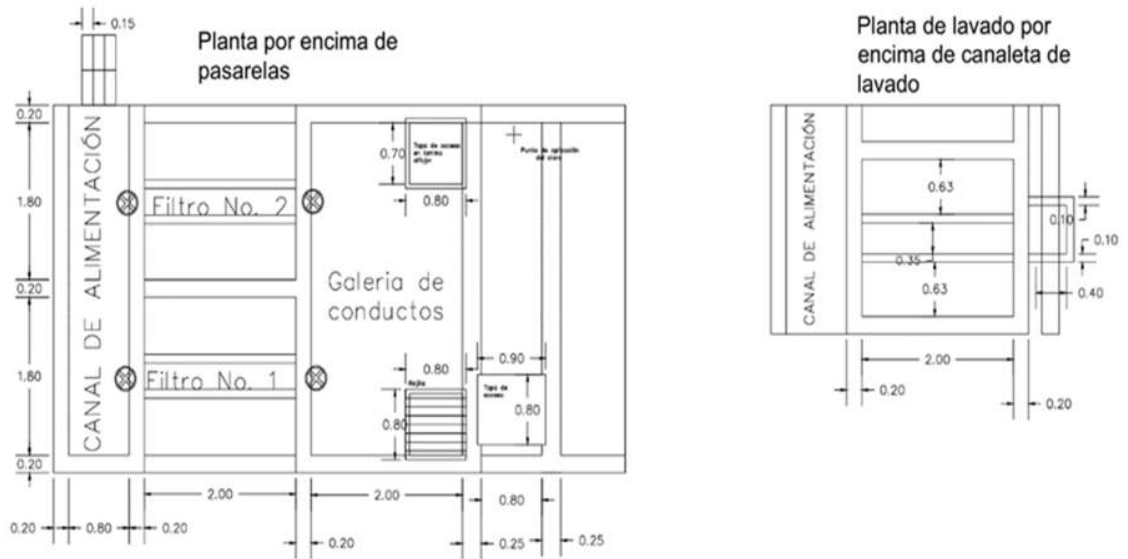


Figura 12. Filtrros

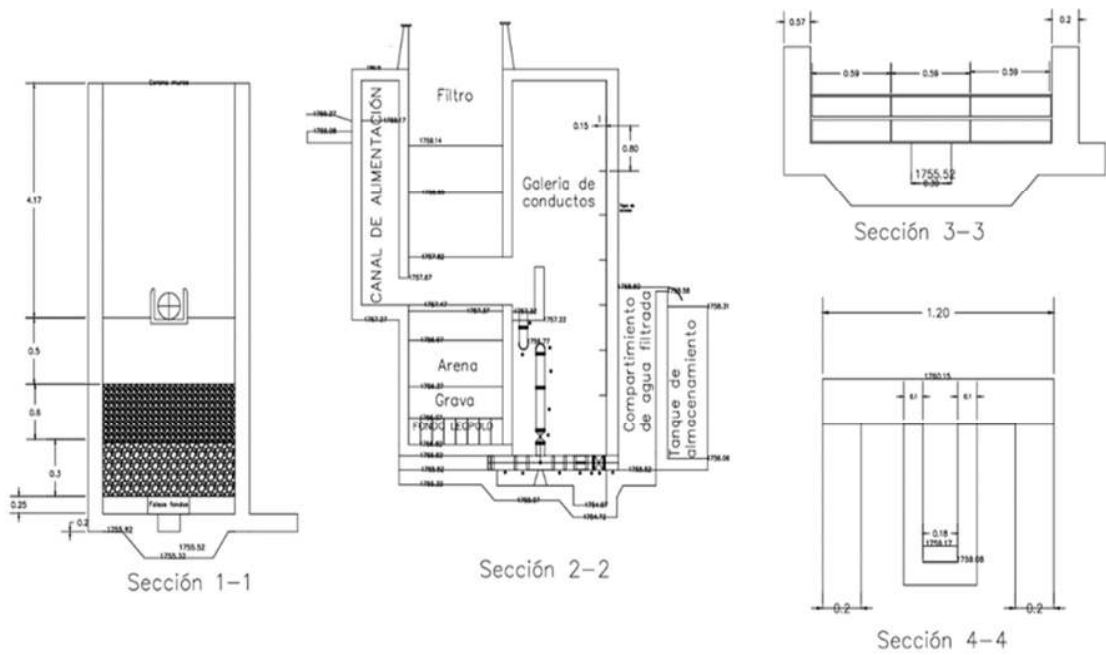


Figura 13. Sección Filtrros

3.3. Canaleta Parshall

Es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado, es un medidor de régimen crítico, siendo idealizado por Ralph L. Parshall, ingeniero del servicio de irrigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Partes del medidor Parshall

Consta de cuatro partes principales:

- **Transición de entrada**
- **Sección convergente**
- **Garganta**
- **Sección divergente**

En la transición de entrada es conveniente elevar el piso sobre el fondo original del canal, con una pendiente ascendente de 1:4 (1 vertical y 4 horizontal), hasta comenzar la sección convergente, con paredes que se van cerrando en línea recta o circular de radio (R), debido a que el aforador Parshall es una reducción de la sección del canal, que obliga al agua a elevarse o a remansarse para luego volver a descender hasta el nivel inicial sin el aforador.

En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la altura de carga o elevación que alcanza el agua y el caudal que circula a través del dispositivo, en la figura se ilustran las partes del medidor Parshall.

4. METODOLOGÍA

4.1. Estimación del Caudal Máximo de Diseño

El cálculo del caudal de diseño es fundamental en el dimensionamiento de los componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable, ya que determina la capacidad necesaria para satisfacer la demanda de la población a servir. Este caudal se basa en varios factores, como la población actual y futura, el nivel de complejidad del sistema, la dotación neta y los consumos especiales.

4.1.1. Población de diseño

Se estima la población actual y se proyecta su crecimiento para un período de diseño determinado (generalmente 20 a 25 años).

Se utilizan métodos de proyección como el aritmético, geométrico, exponencial o de tasas decrecientes, según las características de la población.

4.1.2. Nivel de complejidad del sistema

Se clasifica el sistema de acuerdo con su tamaño y características, como bajo, medio o alto. Esto influye en la dotación neta asignada y en los factores de mayoración para determinar los caudales.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Tabla 1. Asignación de nivel de complejidad RAS

4.1.3. Dotación neta

Es el consumo básico de agua por habitante, expresado en litros por habitante por día (L/hab*día).

Depende del nivel de complejidad del sistema, el clima y el nivel de servicio.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Tabla 2. Dotacion por habitante RAS

4.1.4. Consumos especiales

Son los consumos adicionales de agua en instituciones como escuelas, hospitales, hoteles, industrias, etc. Se calculan según el tipo de establecimiento y su capacidad.

Tipo de instalación	Consumo de agua
Oficinas (cualquier tipo)	20 L/m ² /día
Locales comerciales	6 L/m ² /día
Mercados	100 L/local/día
Lavanderías de autoservicio	40 L/kilo de ropa seca
Clubes deportivos y servicios privados	150 l/asistente/día
Cines y teatros	6 l/asistente/día

Tabla 3. Consumos especiales 1 RAS

Industria	Rango de consumo (m ³ /día)
Azucarera	4.5 – 6.5
Química (a)	5.0 – 25.0
Papel y celulosa (b)	40.0 – 70.0
Bebidas (c)	6.0 – 17.0
Textil	62.0 – 97.0
Siderúrgica	5.0 – 9.0
Alimentos (d)	4.5 – 5.0

Tabla 4. Consumos especiales 2 RAS

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

Tabla 5. Consumos escolares RAS

Tipo de instalación		Consumo de agua
Salud	Hospitales, clínicas y centros de salud	800 L/cama/día
	Orfanatos y asilos	300 L/huésped/día
Seguridad	Cuarteles	150 L/persona/día
	Cárceles	150 L/interno/día

Tabla 6. Consumos especiales 3 RAS

Clasificación	Consumos en hoteles (L/cuarto/día)			
	Municipios Turísticos		Otros municipios	
	Climas templado y frío	Clima cálido	Climas templado y frío	Clima cálido
Gran turismo	1200	2000	600	1000
4 y 5 estrellas	900	1500	450	750
1 a 3 estrellas	600	1000	300	400

Tabla 7. Consumo hoteles RAS

4.1.5. Caudal medio diario (Qmd)

Representa el consumo promedio de agua en un día, incluyendo la población y los consumos especiales. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Qmd = \frac{(Población * Dotación neta + Consumos especiales)}{(86400 \frac{s}{día})}$$

4.1.6. Caudal máximo diario (QMD)

Es el caudal máximo que se puede presentar en un día, considerando un factor de mayoración. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$QMD = Qmd * K1$$

(donde k1 es el factor de mayoración diario, generalmente entre 1.2 y 1.5)

4.1.7. Caudal máximo horario (QMH)

Es el caudal máximo que se puede presentar en una hora del día, considerando un factor de mayoración. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$QMH = QMD * k2$$

(donde k2 es el factor de mayoración horario, generalmente entre 1.5 y 2.5)

Estos caudales calculados (Qmd, QMD y QMH) se utilizan para el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema, como tuberías, bombas, tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento, asegurando que el sistema pueda satisfacer la demanda en condiciones normales y picos de consumo.

Calculo Caudal demanda Versalles					
Usuarios casco urbano	4000				
Nivel de complejidad del sistema	Bajo				
Dotación neta Clima templado frio	90	L/hab*día			
SubTotal	360000	L/día		4,17	
Tipo	Cantidad	Dotacion		Total	
Escuelas					
Estudiantes primaria	280	20 L/alum*día		5600	L/día
Estudiantes secundaria	360	25 L/alum*día		9000	L/día
Hoteles	30	600 L/cuarto*día		18000	L/día
Hospitalario	40	800 L/cama*día		32000	L/día
Planta de producción de frutas	1	4,5 M3/día		4500	L/día
Subtotal				69100	L/día
Subtotal + poblacion				429100	L/día
Dneta				4,97	L/s
qmd				6,62	L/s
QMD				8,61	L/s

Calculo Caudal demanda Versalles

4.2. Lista de chequeo estructural

4.2.1. Resistencia del concreto

Para este tipo de estructuras propias de ingeniería ambiental y sanitaria la resistencia mínima especificada del concreto a la compresión $c \cdot f$ no debe ser menor de 28 MPa. No se define una resistencia máxima especificada a la compresión, a menos que se indique explícitamente en alguna sección del Reglamento NSR-10.

4.2.2. Esclerómetro

El esclerómetro es el ensayo no destructivo más usado y, probablemente, el más abusado sobre las estructuras de hormigón debido a su sencillez y bajo coste. El ensayo puede realizarse en probetas moldeadas, como en una planta de prefabricado o en obras in situ, y en evaluaciones estructurales sobre elementos existentes, tanto en probetas testigo como directamente sobre los elementos.

El martillo de resorte fue desarrollado y patentado por **Ernst Schmidt en 1948**, por lo cual lleva su nombre, Schmidt Hammer. Los esclerómetros actuales no son muy diferentes de los originales, constando generalmente de los siguientes elementos:



Figura 16. Partes de un esclerómetro

El elemento básico es una masa metálica que, impulsada con una energía de percusión de $0,225 \text{ m} \cdot \text{kp}$, choca contra el hormigón. La cantidad de energía recuperada en el rebote de la masa, permite obtener un índice de dureza de la superficie sobre una escala graduada. La energía la proporciona a la masa mediante un muelle que hace que, dicha masa, golpee contra un vástago metálico apoyado sobre el hormigón.

4.2.2.1. Metodología del esclerómetro

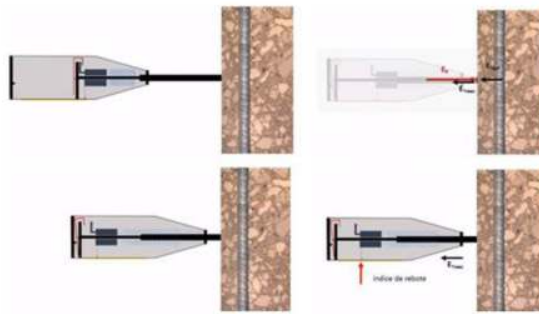


Figura 17. Procedimiento del ensayo mediante esclerómetro

Mantenimiento y calibración del esclerómetro mediante yunque de tarado.

2) Reconocimiento mediante detector de armaduras (comúnmente conocido como pachómetro) para localización de las armaduras.

3) Preparación de la superficie, eliminando revestimientos, piedras superficiales abrasivas, humedades e incrustaciones. Los dispositivos comerciales suelen incorporar una piedra de pulido.

4) Establecer una cuadrícula mínima de $10 \times 10 \text{ cm}$ sobre la que se realizan un número mínimo de 9 disparos. Debe existir una separación mínima a bordes y entre disparos de 25 mm . No aplicar sucesivas veces en un mismo punto.

5) Si más del 20% de los datos difieren en más de un 30% de la mediana, la zona se considerará no válida. La anterior normativa establecía como criterio de validez una distancia máxima a la mediana de 6 unidades.



Figura 18. Estudiante bajando por la entrada de acceso del tanque de almacenamiento para llevar a cabo el ensayo del esclerómetro

Una vez obtenido el índice de rebote válido de la muestra, los fabricantes suelen proporcionar una serie de gráficas que correlacionan el índice de rebote con la resistencia a compresión simple.

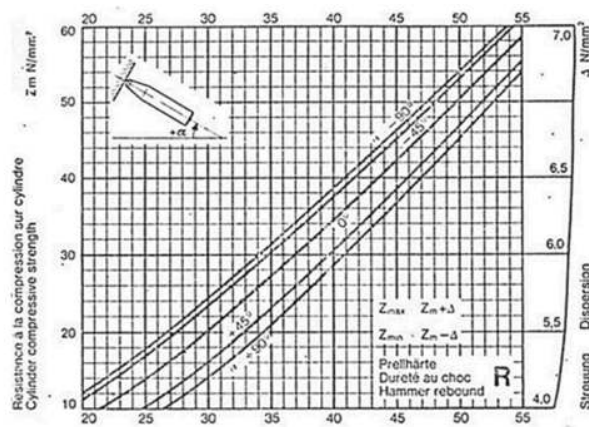


Figura 19. Gráfica de correlación del índice de rebote con la resistencia a compresión en probeta cilíndrica

De estas gráficas es importante destacar 3 particularidades:

- Debe escogerse la curva en función del ángulo de inclinación, la cual integra la corrección de la energía potencial para ángulos diferentes a 0° , tal y como se ha visto inicialmente.

- Debe tenerse claro para qué tipo de probeta normalizada (cilíndrica o cúbica) se realiza la correlación.
- Es igual de importante, o más, el valor de resistencia como el valor de la dispersión del resultado.

4.2.3. Cálculos para la resistencia del concreto

A partir de las muestras tomadas en campo con el esclerómetro se realiza el chequeo el cual arroja la resistencia actual, después esta es comparada con la resistencia mínima especificada del concreto a la compresión f_c no debe ser menor de 28 MPa. Los datos arrojados son los siguientes:

Zona	Esclerometro		Norma			Cumple
	#De Datos	Resistencia Mpa	Clasificación	F'c Min (Mpa)	Rel. A/Mc Max	
Pre filtros						
1	20	26,28	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	No
2	20	29,23	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
3	20	32,78	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
4	20	36,75	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
Tanque de lavado de filtros						
5	20	29,48	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
6	20	28,55	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
Separador pre filtros						
7	20	49,35	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
Filtros						
8	20	38,48	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	Si
Tapa Tanque						
9	20	17,83	F0,S0,P1,C1,Q0	28	0,45	No
Tanque de almacenamiento						
10	20	15,95	F0,S0,P1,C2,Q0	28	0,4	No
11	20	16,03	F0,S0,P1,C2,Q0	28	0,4	No

Tabla 9. Cálculo de la resistencia del concreto

Los resultados que se muestran, exponen la lista de chequeo de la resistencia del concreto, donde se muestra qué estructuras hidráulicas cumplen con la norma y cuales no y a su vez las categorías que corresponden cada una.

A partir de estos resultados, se realiza la clasificación de categorías y clase exposición según las condiciones de las estructuras hidráulicas que hay en la PTAP con la siguiente tabla sacada de la norma.

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO ₄) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	Moderada	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500 agua marina
	Severa	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 0.30	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO ₄ > 0.30	SO ₄ > 10000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	
Q Exposición a químicos corrosivos	No aplicable	Q0	Concreto que no está expuesto a químicos corrosivos	
	Severa	Q1	Concreto expuesto a químicos corrosivos diferentes de descongelantes	

Tabla 10. C.23-C4.2.1- Categorías y clases de exposición

4.2.4. Evaluación de Escenarios Propuestos

A continuación, se plantean dos posibles escenarios relacionados con la resistencia a la compresión del concreto. El primer caso corresponde a los resultados obtenidos mediante el ensayo de esclerómetro (Expuesto en la Tabla 9), mientras que el segundo escenario está basado en la recomendación del Ingeniero Orlando Cundumi, Ph.D., quien propone asumir una resistencia a la compresión de 21 MPa para todos los elementos estructurales. Esta estimación considera factores como la antigüedad de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), construida originalmente hace varias décadas. Dado el tiempo transcurrido, resulta razonable suponer que los elementos de concreto reforzado presenten una resistencia máxima cercana a este valor.

En la etapa de propuestas del proyecto, se analizarán por separado las posibles soluciones para la rehabilitación del concreto en función de los dos escenarios planteados. En primer lugar, se considerarán las alternativas basadas en los resultados del ensayo de esclerómetro, lo que permitirá una evaluación precisa de la resistencia actual del concreto. Por otro lado, se explorarán las opciones bajo la recomendación del Ingeniero Orlando Cundumi, Ph.D., quien sugiere asumir una resistencia de 21 MPa, dado el envejecimiento natural de los elementos estructurales.

Con el fin de determinar cuál de estas alternativas es la más adecuada, se espera que en el futuro se realicen ensayos más precisos e invasivos que permitan obtener datos más cercanos a la realidad del material. En función de los resultados obtenidos en esa etapa, se tomará la decisión más pertinente para la rehabilitación de la PTAP, asegurando que la solución adoptada sea la más adecuada en términos técnicos y estructurales.

4.2.5. Ferroscan

El sistema sirve para detectar de manera sonora, visualizar, determinar la profundidad y estimar el diámetro de metales ferrosos, tales como varillas de refuerzo, y no ferrosos dentro de una armadura de concreto, como losas, muros, trabes, etc., mediante campo magnético. El escáner se mueve directamente sobre la superficie del elemento de construcción. Los datos se almacenan en el escáner para transferirlos al monitor. El monitor se utiliza para almacenar grandes volúmenes de datos y para visualizarlos. Además, puede utilizarse para el análisis. Los datos pueden llevarse a la oficina y descargarlos mediante el software. El software ofrece opciones de análisis avanzadas y la posibilidad de imprimir rápidamente informes completos así como archivar datos en PC.

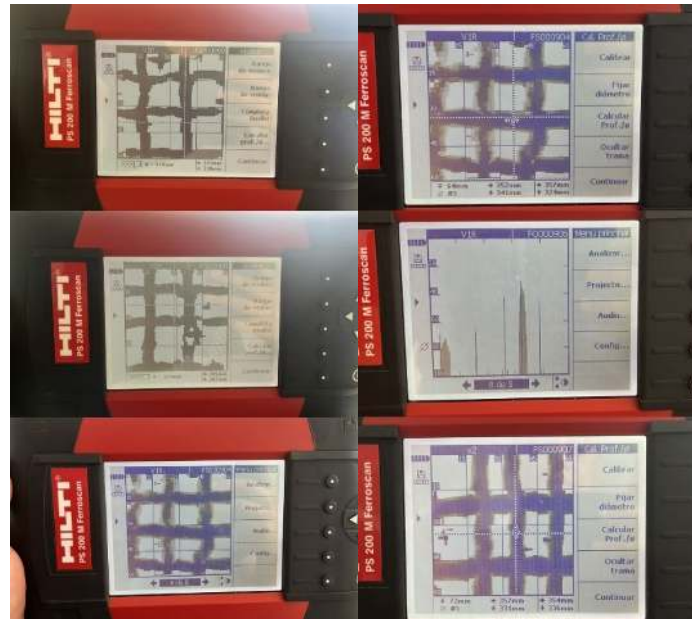


Figura 20. Resultados del Ferroskan

4.2.6. Chequeo Ferroskan

Para realizar el chequeo del acero de cada estructura hidraulica se halla la cuantía de cada parte tomada con el ferroskan y se compara con la cuantía mínima que indica la norma que es cuantía mínima Vertical 0,003 y cuantía mínima horizontal 0.0012 usando la siguiente formula para hallar la cuantía:

$$\rho = \frac{A_g}{A_s}$$

Ecuación 1. Cuantía

Por otra parte, es importante resaltar que las varillas usadas en la época de construcción son varillas no corrugadas, las cuales cuentan con un Fy inferior a la varilla especificada en la norma actual, por lo tanto a la hora del análisis de una posible zona critica se deben de tomar factores de seguridad adicionales para garantizar un refuerzo adicional.

Zona	Ferro Escan									
	Ref. Vertical	Ref. Horizontal	S. Vertical(mm)	S. Horizontal(mm)	Profundidad(mm)	Ag m2	AS acero V	AS acero H	Cuantia V	Cuantia H
Pre filtros	4#4	4#3	200	200	60	1,8	0,0076	0,0043	0,0042	0,0024
1	4#4	4#3	200	200	60	1,8	0,0076	0,0043	0,0042	0,0024
2	4#4	4#3	250	200	70	1,8	0,0076	0,0043	0,0042	0,0024
3	4#3	4#3	250	200	70	1,8	0,0061	0,0043	0,0034	0,0024
4	4#3	4#3	250	200	70	1,8	0,0076	0,0034	0,0042	0,0019
Tanque de lavado de filtros	2#4	3#3	250	200	66	1,8	0,0076	0,0034	0,0042	0,0019
5	2#4	3#3	250	200	66	1,8	0,0076	0,0034	0,0042	0,0019
6	2#4	3#3	250	200	66	1,8	0,0076	0,0034	0,0042	0,0019
Filtros	3#4	4#4	150-200	250	70	1,8	0,0076	0,0076	0,0042	0,0042
7	3#4	4#4	150-200	250	70	1,8	0,0076	0,0076	0,0042	0,0042
Tanque de almacenamiento	4#5	2#6-2#5	300	250	76	1,8	0,0119	0,0097	0,0066	0,0054
8	4#5	2#6-2#5	300	250	76	1,8	0,0119	0,0097	0,0066	0,0054

	Barra corrugada	Barra lisa
Pmin Vertical	0,003	0,003
Pmin Horizontal	0,0012	0,0012
Pmax	0,019859813	0,04341947
Fc	21	21
fy	420	240

Tabla 11. Chequeo de refuerzo de acero y P_{max} según el tipo de acero

4.3. Ensayos para la exploración del suelo

4.3.1. Ensayo de penetración estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) se realiza para evaluar las propiedades mecánicas del suelo in situ, como su resistencia y capacidad de carga, mediante la medición del número de golpes necesarios para penetrar una determinada profundidad del suelo con un barrenado estándar. Este ensayo es fundamental para el diseño de fundaciones, la clasificación del suelo, la estimación del asentamiento y la evaluación del riesgo de licuefacción en zonas sísmicas. Su simplicidad y bajo costo lo hacen ampliamente utilizado en estudios geotécnicos para proyectos de construcción e infraestructura. (Coduto, 2001; Das, 2010).



Figura 21. Ensayo de penetración estándar.

4.3.2. Tubo Shelby

El tubo de pared delgada o Shelby, es un tubo liso afilado, de 0.075 m a 0.010 m de diámetro, el cual se hinca a presión para obtener muestras relativamente inalteradas de suelos finos blandos a semiduros. (suelos, 2024).



Figura 22. Tubo Shelby



Figura 23. Tubo Shelby

4.3.3. Barreno manual

El barreno manual es una herramienta utilizada en geotecnia para perforar el suelo y obtener muestras para análisis y ensayos. A diferencia de equipos más grandes y complejos, el barreno manual es portátil y permite la recolección de muestras a profundidades limitadas de manera rápida y económica. Este método es especialmente útil en estudios preliminares de suelos, análisis ambientales y proyectos de pequeña escala donde se requiere una evaluación rápida de las condiciones del suelo.



Figura 24. Barreno Manual

4.4.Resultados de los ensayos

4.4.1. Límite líquido y límite plástico

El límite líquido y el límite plástico son propiedades fundamentales del suelo que se determinan mediante ensayos de laboratorio y se utilizan para clasificar los suelos en función de su plasticidad y comportamiento.

4.4.2. Límite Líquido (LL)

Es el contenido de agua a partir del cual un suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Este valor se determina utilizando el aparato de Casagrande, en el cual el suelo se coloca en una taza, se forma una ranura y se golpea repetidamente hasta que la ranura se cierra después de 25 golpes. El límite líquido indica la fluidez del suelo y su susceptibilidad a deformaciones bajo cargas. (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996).

4.4.3. Límite Plástico (LP)

Es el contenido de agua a partir del cual un suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Se determina amasando el suelo hasta formar un filamento de 3 mm de diámetro que no

se rompa. El límite plástico refleja la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse. (Lambe & Whitman, 1969).

4.4.4. Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad (PI) se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ($PI = LL - PL$). Este índice es crucial para evaluar la plasticidad y la capacidad del suelo para sufrir deformaciones significativas sin romperse. (Coduto, 2001).

Los resultados calculados se muestran a continuación:

Muestra	Tara	Peso	Peso con suelo húmedo	Peso con suelo seco	Humedad	Humedad	Penetración
1	3p	10,53	14,88	13,45	49%	49%	8,68
1	79	11,31	15,37	14,01	50%		
1	218p	13,22	16,11	15,17	48%		
2	111	12,76	16,61	15,2	58%	58%	19,57
2	41p	11,8	15,5	14,13	59%		
2	135	12,28	15,94	14,59	58%		
3	106	15,2	23,24	20,21	60%	60%	22,63
3	110	14,43	24,89	20,98	60%		
3	103	14,93	23,67	20,42	59%		
Lp	235p	13,58	23,51	20,41	45%	47%	
Lp	49	11,7	18,1	15,93	51%		
Lo	127	12,47	18,74	16,8	45%		

Tabla 12. Cálculo de límite líquido y Límite plástico.

Líquido	58%
Límite Plástico	47%
Índice plasticidad	11%

Tabla 13. Límite líquido y Límite plástico

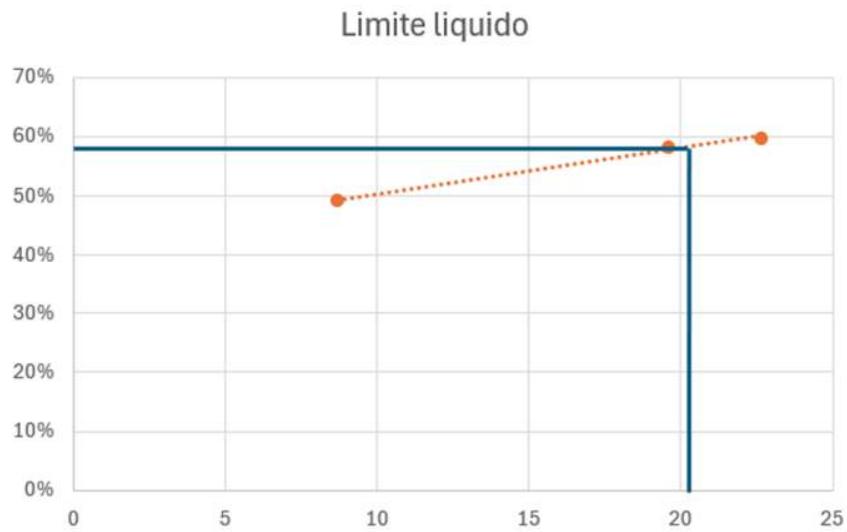


Gráfico 1. Limite líquido

4.4.5. Granulometría

La granulometría es un análisis esencial en la ingeniería geotécnica que determina la distribución del tamaño de las partículas del suelo, realizado mediante tamizado para suelos granulares y mediante hidrometría para suelos finos. Este análisis permite clasificar los suelos y es fundamental para entender sus propiedades mecánicas, como la permeabilidad, la compactación y la resistencia, aspectos cruciales para el diseño de estructuras y pavimentos, y el control de calidad de materiales de construcción (Bowles, 1996; Das, 2010).



Figura 25. Granulometría

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido	%Retenido	%Ret. Acumulado	% Pasante
3-ago	9,5	0	0	0	100%
4	4,75	0,92	1,13%	1,13%	98,87%
10	1,9	1,38	1,70%	2,83%	97,17%
20	0,84	3,01	3,70%	6,53%	93,47%
40	0,42	3,43	4,22%	10,74%	89,26%
60	0,25	7,69	9,45%	20,19%	79,81%
140	0,106	48,23	59,27%	79,46%	20,54%
200	0,074	16,05	19,72%	99,19%	0,81%
Fondo		0,66	0,81%	100,00%	0,00%
Total		81,37	100%		
		119,82	80,71	-39,11	

Tabla 14. Granulometría

D10	0,08748627
0,074	1%
0,106	21%
D30	0,12156408
0,106	21%
0,25	80%
D60	0,18767623
0,106	21%
0,25	80%

Tabla 15. Tamiz

Cu	2,14520783
Cc	0,90003899

Tabla 16. Coeficiente de uniformidad, Coeficiente de curvatura.

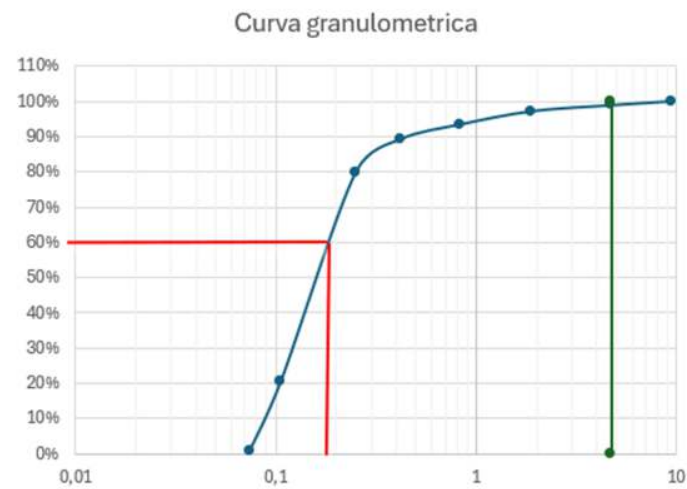


Gráfico 2. Curva Granulométrica.

4.4.6. Gravedad específica

La gravedad específica de los suelos es una propiedad física que mide la relación entre la densidad de las partículas del suelo y la densidad del agua a una temperatura específica, típicamente 4°C. Esta propiedad es fundamental en geotecnia porque se utiliza para calcular otras características del suelo, como el peso unitario, la porosidad y la saturación, lo que es crucial para el diseño y análisis de cimientos y estructuras de ingeniería civil. La determinación de la gravedad específica se realiza comúnmente utilizando un picnómetro en el laboratorio (Das, 2010; Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2011).



Figura 26. Gravedad Específica

Balón	Vacío (gr)	Suelo (gr)	Peso (Balón+M+Agua) (gr)	Temperatura (gr)	Peso (Balón+H ₂ O) (gr)	Gs
10	146	50	672,5	27	662,22	1,2589448
14	15,1	50	678,3	29	666,21	1,31882277
15	155,3	50	681,7	27,9	653,65	2,27826055

Tabla 17. Gravedad específica 1,61867604

Se cálculo la gravedad específica usando la siguiente formula:

$$G_s = \left(\frac{a}{b + a - c} \right)$$

Ecuación 2. Gravedad específica

a = Peso de Muestra Seca

b = Peso de balón + agua

c = Peso balón + Agua + Muestra seca

4.4.7. Ensayo de compresión no confinada

El ensayo de compresión no confinada es una prueba utilizada en geotecnia para determinar la resistencia a la compresión no confinada de un suelo, es decir, su resistencia a la carga axial sin aplicar presión lateral. En este ensayo, una muestra cilíndrica de suelo se carga axialmente en condiciones controladas hasta que alcanza la falla. Se mide la carga máxima soportada por la muestra y se calcula la resistencia a la compresión no confinada. Este ensayo es fundamental para comprender el comportamiento del suelo bajo cargas verticales y es utilizado en el diseño de cimentaciones y estructuras geotécnicas. Los resultados del ensayo proporcionan información crucial sobre la estabilidad y la capacidad de carga del suelo (Das, 2010; Bowles, 1996).



Gráfico 3. Curva Esfuerzo vs deformación



Figura 27. Ensayo de compresión no confinada.

4.4.8. Clasificación del suelo

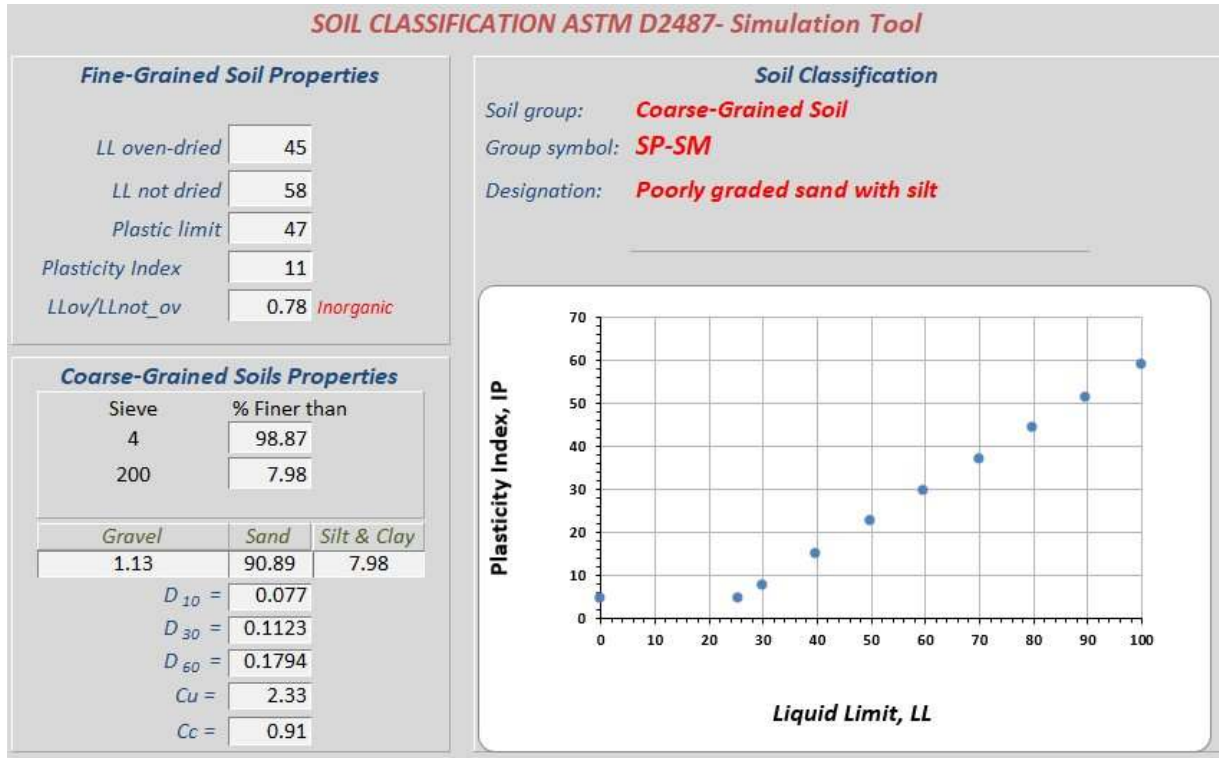


Gráfico 4. Clasificación del suelo (Herramienta de cálculo del ing. Diego Perez "ASTM D2487")

Según la norma NSR-10, tenemos como resultado una arena mal gradada con limo del grupo SP-SM. Tenemos en consecuencia diferentes parametros para la clasficiación del suelo que son vitales para el calculo estructural como son el peso específico: (19.5kN/m³), El angulo de fricción: (30°), la cohesión del suelo: (0)

5. ANÁLISIS DE PATOLOGÍA

5.1. Análisis resistencia del concreto

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de esclerometría varían. Si bien algunas estructuras cumplen con la resistencia mínima a la compresión del concreto establecida en 28 MPa según la norma, existen varios componentes que no logran alcanzar este requisito.

En primer lugar, el Prefiltro (toma 1) presenta una resistencia promedio de 26.275 MPa, lo cual es insuficiente y podría comprometer su integridad estructural a largo plazo. Esta deficiencia puede estar relacionada con problemas en la dosificación del concreto, fallas en el proceso de curado o exposición a condiciones ambientales adversas durante su vida útil. Es necesario realizar una evaluación más profunda para determinar las causas específicas y plantear soluciones adecuadas, en este caso debido a que es una resistencia bastante cerna a el mínimo establecido en la norma, se puede procurar por la rehabilitación de la estructura.

Otro componente que genera preocupación es la Tapa del Tanque (9), con una resistencia promedio de solo 17.825 MPa. Esta baja resistencia puede deberse a diversos factores, como una mala calidad de los materiales utilizados, una compactación deficiente durante el vaciado o incluso errores en el diseño original. En este caso, se recomienda una intervención urgente, ya sea mediante el reforzamiento o el reemplazo completo de esta estructura, para garantizar la seguridad de los operarios y la integridad del tanque.

El tanque de almacenamiento (10-11) también presenta resistencias por debajo de lo especificado, con valores de 15.95 MPa y 16.025 MPa respectivamente. Para este caso en concreto, según la norma NSR.C13, la resistencia mínima establecida pasa a ser de 35 MPa, alejándola aún más de los resultados obtenidos mediante el ensayo. Esta estructura es crucial para el adecuado funcionamiento de la PTAP, por lo que su debilidad estructural representa un riesgo significativo. Se deberá realizar una evaluación detallada para determinar las causas de esta deficiencia y tomar las medidas correctivas necesaria.

Por otro lado, es alentador observar que otras estructuras, como los Prefiltros (2-3-4), el Tanque de Lavado de Filtros, el Separador de Prefiltros y los Filtros, cumplen con los requisitos

de resistencia establecidos. Sin embargo, debido a que se han encontrado gran varianza en las resistencias del prefiltros, es muy probable que se hayan visto afectadas con el paso del tiempo, por lo que es crucial realizar un monitoreo continuo y una rehabilitación adecuada para garantizar que estas estructuras mantengan su integridad estructural a lo largo del tiempo y así añadirle años a su vida útil.

En conclusión, si bien algunos componentes de la PTAP cumplen con los estándares de resistencia, existen varios elementos que presentan deficiencias significativas. Es fundamental abordar estas problemáticas de manera oportuna y efectiva, mediante evaluaciones detalladas, reforzamientos estructurales o, en casos extremos, la sustitución completa de las estructuras comprometidas. Esto no solo garantizará la seguridad de los trabajadores y la continuidad del servicio de suministro de agua potable, sino que también extenderá la vida útil de la PTAP y evitará costos mayores en el futuro.

5.2. Análisis Ferrosca

En primer lugar, es importante destacar que el ensayo con el Ferrosca tenía dos propósitos principales: verificar el cumplimiento de las cuantías mínimas de refuerzo según la norma y corroborar si el refuerzo existente en las estructuras coincidía con los planos de diseño originales, considerando que la PTAP fue construida en 1973 y existía incertidumbre sobre la veracidad de los planos.

Respecto al cumplimiento de las cuantías mínimas, los resultados muestran que todas las estructuras evaluadas cumplen con los requisitos normativos. Tanto la cuantía vertical como la horizontal superan los valores mínimos establecidos de 0.003 y 0.0012, respectivamente. Esto garantiza que las estructuras cuentan con el refuerzo adecuado para soportar las cargas y esfuerzos a los que estarán sometidas durante su vida útil.

Por otro lado, al comparar los resultados obtenidos con el Ferrosca con los planos de diseño originales, se pudo corroborar que el refuerzo existente coincide con lo especificado en los planos. Esto es un hallazgo importante, ya que confirma que, a pesar de la antigüedad de la PTAP,

la construcción se realizó de acuerdo con los diseños originales, al menos en lo que respecta al refuerzo de las estructuras evaluadas.

Este hallazgo tiene implicaciones positivas para la evaluación estructural de la PTAP. Al contar con la certeza de que el refuerzo instalado corresponde a lo especificado en los planos, se pueden realizar análisis y cálculos más precisos sobre la capacidad estructural de las diferentes componentes. Además, se reduce la incertidumbre asociada con posibles variaciones no documentadas durante la construcción, lo que facilitará la toma de decisiones informadas sobre las intervenciones o refuerzos necesarios.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el Ferroskan solo proporciona información sobre el refuerzo de acero y no evalúa otros aspectos críticos de la integridad estructural, como la resistencia del concreto, la presencia de fisuras o deterioros, o la capacidad de las cimentaciones. Por lo tanto, se recomienda complementar estos resultados con otros ensayos no destructivos y evaluaciones detalladas para obtener un diagnóstico completo del estado estructural de la PTAP.

5.3. Discusion

Basado en los resultados de los ensayos de esclerometría y Ferroskan, se puede concluir lo siguiente:

Para los prefiltroses, tanque de lavado de filtros, separador de prefiltros y filtros, se recomienda llevar a cabo un proceso de rehabilitación estructural. Aunque algunas de estas estructuras presentaron resistencias a la compresión ligeramente por debajo de lo establecido en la norma, se encuentran cerca del valor mínimo requerido. Adicionalmente, aunque hay que tener en cuenta que las varillas usadas en la época son no corrugadas, por lo que van a tener un F_y inferior al especificado en la norma actual, el ensayo con Ferroskan confirmó que el refuerzo de acero instalado coincide con lo especificado en los planos de diseño originales, cumpliendo con las cuantías mínimas necesarias. Por lo tanto, una rehabilitación enfocada en el reforzamiento del concreto y la reparación de posibles daños o deterioros sería una solución viable y económica para garantizar la integridad estructural y la continuidad del servicio de estas componentes clave de la planta de tratamiento.

Por otro lado, en el caso del tanque de almacenamiento, que presentó resistencias a la compresión significativamente por debajo de lo establecido en la norma, se requiere un análisis más profundo y la evaluación de diferentes alternativas. Se propone llevar a cabo una matriz de decisión que considere tres opciones:

1. Rehabilitación estructural con contrafuertes: Esta opción implicaría reforzar la estructura existente mediante la adición de contrafuertes o elementos de soporte externo que incrementen su capacidad de carga.
2. Rehabilitación estructural construyendo un tanque nuevo dentro del existente: Esta alternativa consistiría en construir un nuevo tanque de almacenamiento dentro del tanque actual, aprovechando la estructura existente como un elemento de contención y protección adicional.
3. Demolición y construcción desde cero: La tercera opción sería la demolición completa del tanque existente y la construcción de uno nuevo que cumpla con los estándares y normas actuales.

Cada una de estas alternativas tendrá implicaciones técnicas, económicas y operativas diferentes, por lo que la matriz de decisión deberá considerar factores como costos, opiniones de expertos, análisis estructural, entre otros. Esta evaluación permitirá seleccionar la opción más viable y eficiente para abordar la deficiencia estructural del tanque de almacenamiento.

6. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

6.1. Rehabilitacion estructural con contrafuertes

La rehabilitación con contrafuertes es una técnica de refuerzo estructural comúnmente utilizada en estructuras de concreto existentes que presentan deficiencias en su capacidad de carga o resistencia. Los contrafuertes son elementos estructurales adicionales, generalmente de concreto reforzado, que se adosan perpendicularmente a las paredes o muros de la estructura existente.

El principio básico de los contrafuertes es proporcionar un soporte adicional a las paredes o muros existentes, transfiriendo parte de las cargas y esfuerzos a estos elementos de refuerzo. Al actuar como elementos de apoyo, se procedió a calcularlos junto a la rehabilitación de los muros como muro en L + contrafuertes, siguiendo así los principios de estabilidad propuestos por la norma. Los contrafuertes incrementan la rigidez y la capacidad de carga de la estructura, mejorando su desempeño estructural y su resistencia ante cargas gravitacionales y laterales.

<i>Muro</i>		
<i>Altura</i>	<i>3</i>	<i>m</i>
<i>Espesor</i>	<i>0,3</i>	<i>m</i>
<i>Base</i>	<i>4</i>	<i>m</i>
<i>espesor base</i>	<i>0,25</i>	<i>m</i>
<i>Largo</i>	<i>11</i>	<i>m</i>
<i>Área</i>	<i>33</i>	<i>m²</i>

<i>Contra fuerte</i>		
<i>Base</i>	<i>1,3</i>	<i>m</i>
<i>S</i>	<i>1</i>	<i>m</i>
<i>Altura</i>	<i>2,8</i>	<i>m</i>
<i>espesor</i>	<i>0,5</i>	<i>m</i>
<i>Vol</i>	<i>0,91</i>	<i>m³</i>

Tabla 18. Datos del contra fuertes

<i>Figura</i>	<i>Brazo x</i>	<i>Peso KG</i>	<i>Peso*brazox</i>
<i>Muro</i>	<i>0,3</i>	<i>22017,6</i>	<i>6605,28</i>
<i>Base</i>	<i>2</i>	<i>26400</i>	<i>52800</i>
<i>Contrafuerte</i>	<i>0,704</i>	<i>14151,312</i>	<i>9962,52365</i>
	<i>Suma</i>	<i>62568,912</i>	<i>69367,8036</i>

Tabla 19. Datos del contra fuerte

<i>ka</i>	<i>0.28913601</i>	
<i>Ea</i>	<i>2455.43913</i>	<i>kg/m</i>
<i>Ea AT</i>	<i>27009.8304</i>	<i>kg</i>
<i>Sobrecarga</i>	<i>1</i>	
<i>qult</i>	<i>12</i>	<i>kg/cm²</i>
<i>∂adm</i>	<i>6</i>	<i>Kg/cm²</i>
<i>Ex max</i>	<i>1</i>	
<i>ex</i>	<i>0.70780735</i>	

<i>Presion de contacto Muro-suelo</i>		
<i>δ_{max}</i>	2.386813791	
<i>δ_{min}</i>	0.408365409	
<i>Posicion de resultante</i>		
<i>Momento de volcamiento</i>	<i>fs vol</i>	
1.21079523	32703.3738	4.31333707
<i>m</i>	<i>kg*m</i>	
<i>Rv</i>		
<i>Ea AT</i>	<i>Fs deslizamiento</i>	
83855.376	27009.8304	3.10462431
<i>kg</i>	<i>kg</i>	

Tabla 20. Datos hallados

Los cálculos preliminares muestran los detalles del predimensionamiento de los contrafuertes, considerando las dimensiones del tanque existente, las propiedades de los materiales (concreto y acero) y las características del suelo de fundación. Se han determinado las dimensiones tentativas de los contrafuertes, con una base de 1.212 m, una altura de 2.8 m y un espesor de 0.5 m.

Además, se han realizado verificaciones de estabilidad, como el momento de volcamiento, la resistencia al deslizamiento y las presiones de contacto suelo-estructura. Estos cálculos son fundamentales para garantizar la seguridad y el adecuado comportamiento estructural de la solución propuesta.

<i>Item</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor total</i>
1	<i>Demolición del espesor de 3 cm</i>	<i>M2</i>	227	\$ 24.792,34	\$ 5.627.860,28
2	<i>Contra fuertes</i>	<i>UND</i>	14	\$ 1.221.762,65	\$ 17.104.677,11
3	<i>Rehabilitación paredes</i>	<i>M2</i>	94,52	\$ 953.252,52	\$ 90.101.428,18
4	<i>Rehabilitación cielo</i>	<i>M2</i>	66	\$ 742.628,02	\$ 49.013.449,59
5	<i>Rehabilitación Losa</i>	<i>M2</i>	66	\$ 1.223.020,52	\$ 80.719.354,52

<i>Valor total</i>	\$ 242.566.769,69
--------------------	-------------------

Tabla 21. Presupuesto del contra fuerte.

El presupuesto preliminar proporciona una estimación de los costos asociados con la rehabilitación del tanque mediante la adición de contrafuertes. El costo total estimado es de \$242.566.769 COP, lo cual incluye la demolición del espesor de 3 cm, la construcción de los contrafuertes, y la rehabilitación de paredes, techo y losa. Debido a que esta es una estimación preliminar, los costos reales pueden variar dependiendo de factores como la disponibilidad de materiales, la mano de obra, imprevistos durante la construcción, entre otros. Sin embargo, este presupuesto proporciona una base para evaluar la viabilidad económica de esta alternativa en comparación con otras opciones.

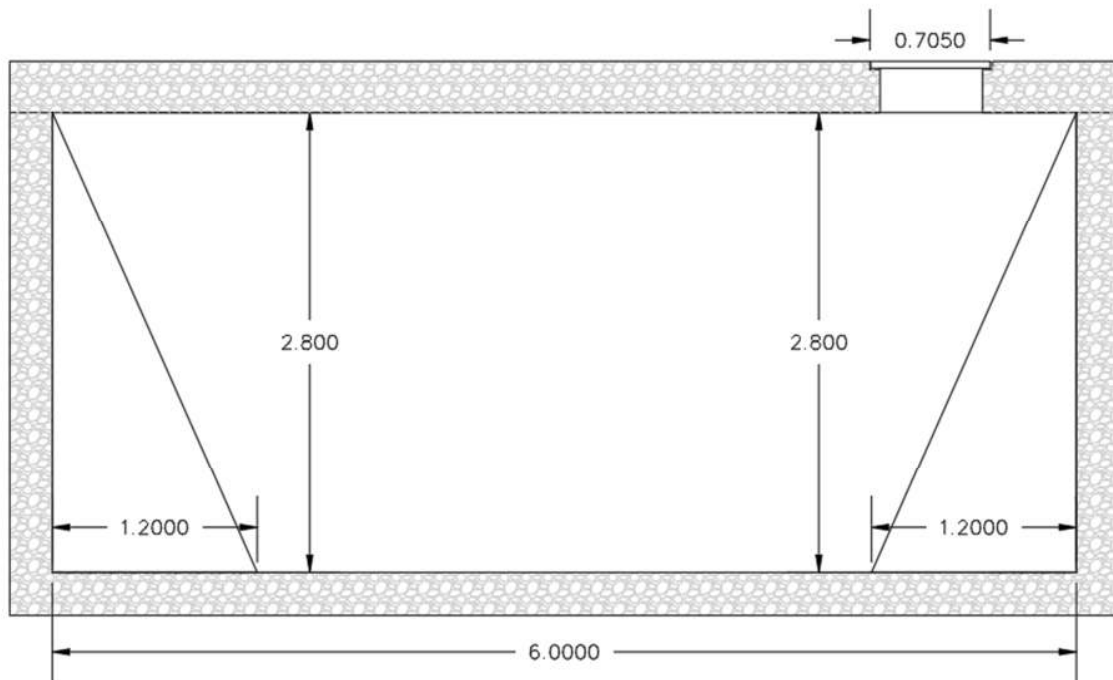


Figura 29. Plano Contrafuerte

Realizado el diseño y obteniendo las cantidades de material para la ejecución de dicha alternativa se procede a generar un análisis sobre el impacto ambiental de la solución al implementar los contras fuertes.

REHABILITACION CON CONTRAFUERTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	W[kg]	FE[kgCO2/kg]	HC[kgCO2]
Demolición del espesor de 3 cm	m3	11.35	27240.00	0.04	1089.6
Concreto de 35 mpa	m3	12.74	30576.00	0.125	3822
Acero de refuerzo 420 Mpa	kg	700.70	700.70	0.44	308.308
Mortero SIKa Repair	m3	11.33	23784.60	0.208	4947.1968
Hidrolavado	m3	11.70	24570.00	0.203	4987.71
				Total kgCO2	15154.8148

Tabla 22. Impacto ambiental de la rehabilitación de contra fuertes

6.2.Rehabilitación del construir un tanque sobre el tanque existente

Este método constructivo es considerado una de las mejores alternativas para la rehabilitación de tanques, aunque no existe literatura sobre este método constructivo, existe fuentes de información confiable de ingenieros estructurales especialistas en contruir y rehabilitar tanques que recomiendan esta alternativa.

Ente método constructivo se basa en realizar un tanque con las mimas dimesniones del tanque existente, sobre el mimo tanque. Este procedimiento consta en los siguinetes pasos:

1. Realizar un hidrolavado a las losas, para retirar las partes contaminadas y sucias.
2. Montar el herraje de la losa del fondo y fundir la losa, esperando que se seque completamente.
3. Armar lo herrajes de los muros, y montar la foraleta con el espesor indicado.
4. Realizar unas ranuras en la losas superior de tal manera que el concreto caiga entre el muro existente y la formaleta.

	Muro 2		
Dimensiones	6	0,3	2,25
	Losa		
Dimensiones	6	11	0,3
	Muro 1		
<i>Dimensiones</i>	11	0,3	2,25

Tabla 23. Dimensiones el tanque

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
1	Demolición huecos losa cielo	UND	30	\$ 88.555,55	\$ 2.656.666,56
2	Hidro lavado	M2	234	\$ 7.800,33	\$ 1.825.277,88
3	Losa de cimentación	M2	66	\$ 760.694,02	\$ 50.205.805,25
4	Muros	Ml	34	\$ 1.384.972,17	\$ 47.089.053,65

	\$
Valor total	101.776.803,33

Tabla 24. Presupuesto del tanque sobre tanque

El presupuesto preliminar proporciona una estimación de los costos asociados con la rehabilitación del tanque sobre tanque. El costo total estimado es de \$101.776.803,33 COP, lo cual incluye la rehabilitación de paredes y techo. Debido a que esta es una estimación preliminar, los costos reales pueden variar dependiendo de factores como la disponibilidad de materiales, la mano de obra, imprevistos durante la construcción, entre otros. Sin embargo, este presupuesto proporciona una base para evaluar la viabilidad económica de esta alternativa en comparación con otras opciones.

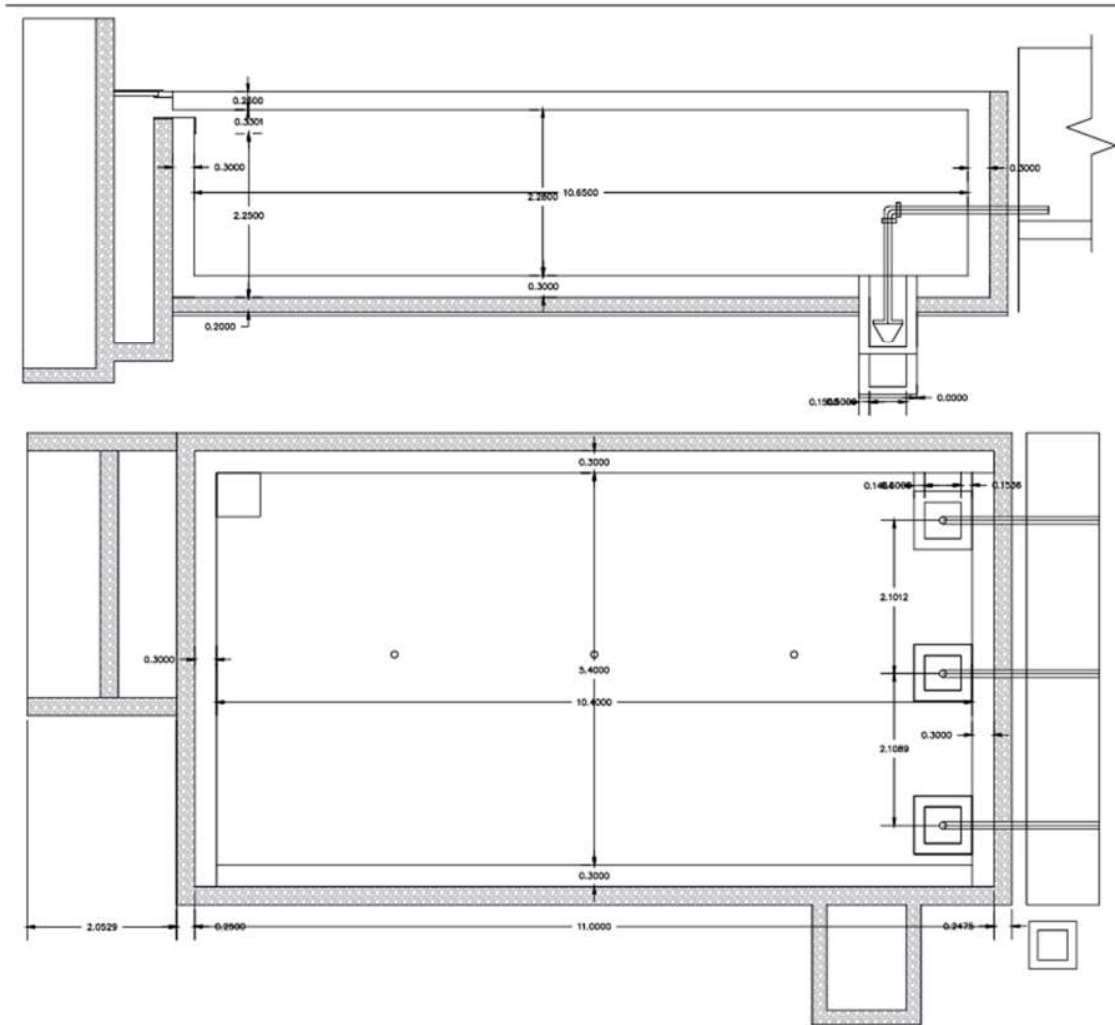


Figura 30. Tanque sobre tanque

Teniendo el diseño a disposición, la cantidad de material y la proyección de ejecución se genera la huella de carbono para visualizar el impacto medio ambiental que puede generar en este proceso constructivo.

TANQUE NUEVO DENTRO DEL EXISTENTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	W [kg]	FE [kgCO ₂ /kg]	HC [kgCO ₂]
Demolicion concreto	m ³	0.28	678.58	0.02	13.57168026
Concreto de 35 mpa	m ³	50.40	120960.00	0.125	15120
Acero de refuerzo 420 Mpa	kg	2772.00	2772.00	0.44	1219.68
Hidrolavado	m ³	11.70	24570.00	0.203	4987.71
				Total kgCO₂	21340.96168

Tabla 25. Impacto ambiental del tanque sobre tanque

6.3. Demolición y Construcción de un nuevo tanque

La demolición y construcción de un nuevo tanque para una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) se realiza para mejorar la capacidad, eficiencia y seguridad del sistema de tratamiento de agua. Los tanques antiguos pueden presentar problemas estructurales, corrosión, fugas o no cumplir con las normativas actuales, lo que puede comprometer la calidad del agua tratada y la seguridad del suministro. Construir un nuevo tanque permite incorporar materiales modernos, tecnologías avanzadas y un diseño optimizado para asegurar un suministro de agua potable confiable y seguro, adaptándose a las necesidades crecientes de la población y mejorando la operatividad y mantenimiento de la planta.

Predimensionamiento tanque de almacenamiento		
Habitantes	8500	
Años	25	
QMD	10	L/s
	864	m ³ /d
Volumen de almacenamiento		
V _a	288	m ³
V _{Tg} =V _a	288	m ³
Volumen de regulación		
F _m	1,2	
%V _r	23%	
V _r	238,464	m ³
Dimensiones de tanque		
Altura (H)	2,8	m

Borde libre	0,3	m
As	85,3	m ²
L=2B		
Largo (L)	11	m
Ancho (B)	7,8	m
Espesor (E)	0,3	m

Tabla 26. Predimensionamiento del tanque sobre tanque

Los cálculos presentados incluyen el predimensionamiento del tanque de almacenamiento, considerando la población a servir (8,500 habitantes), el periodo de diseño (25 años) y el caudal máximo diario (10 L/s). Se han determinado los volúmenes de almacenamiento (V_a) y de regulación (V_r), los cuales suman un volumen total de 288 m³ y 238.464 m³, respectivamente.

Con base en estos volúmenes, se han establecido las dimensiones tentativas del tanque: altura de 2.8 m, borde libre de 0.3 m, área de 85.3 m², largo de 11 m, ancho de 7.8 m y espesor de 0.3 m.

Estos cálculos preliminares son fundamentales para dimensionar adecuadamente el tanque y garantizar que cumpla con los requisitos de capacidad y regulación necesarios para satisfacer la demanda de la población.

1,00	PRELIMINARES	41.068.165,92
2,00	DEMOLICIÓN Y DESMONTES ESTRUCTURALES	11.234.043,05
3,00	EXCAVACIONES Y RELLENOS	16.882.108,42
4,00	ESTRUCTURA	105.179.711,25
	TOTAL	174.364.028,64

Tabla 27. Presupuesto del tanque nuevo

El presupuesto estimado para la construcción de un tanque de almacenamiento nuevo es de \$174,364,028.64 COP. Este monto incluye los costos preliminares, demolición y desmontes estructurales, excavaciones y rellenos, y la estructura en sí misma.

Se procede a generar la huella de carbono para ver la viabilidad y el impacto de esta solución.

DEMOLICION Y CONSTRUCCION DE TANQUE NUEVO					
Descripción	Unidad	Cantidad	W [kg]	FE [kgCO ₂ /kg]	HC [kgCO ₂]
Excavacion de material	m3	171.36	308448.00	0.0048	1480.5504
Demolicion concreto	m3	73.08	175392.00	0.02	3507.84
Concreto de 35 mpa	m3	73.08	175392.00	0.125	21924
Acero de refuerzo 420 Mpa	kg	4019.40	4019.40	0.44	1768.536
Hidrolavado	m3	11.70	24570.00	0.203	4987.71
				Total kgCO₂	33668.6364

Tabla 28. Impacto ambiental del tanque nuevo

6.4. Huella de carbono de las 3 alternativas

La huella de carbono sirve para medir el impacto ambiental de una actividad o producto en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Es una herramienta que ayuda a individuos, empresas y organizaciones a comprender y reducir su contribución al cambio climático. Permite identificar las principales fuentes de emisiones, ayuda a tomar decisiones más sostenibles en procesos y prácticas.

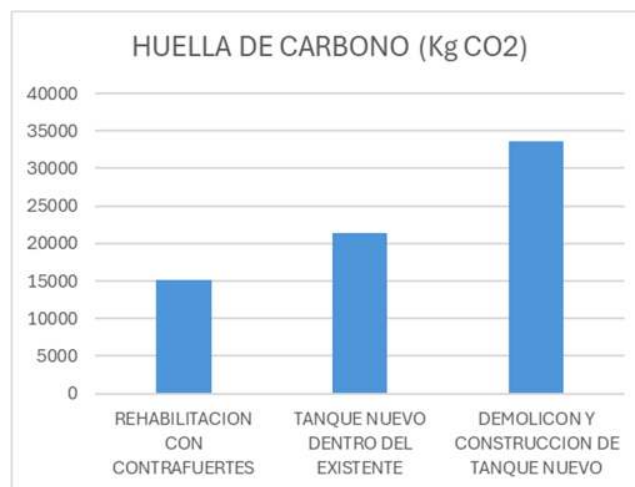


Grafico 5. Huella de carbono de las tres alternativas

7. MATRIZ DE DECISIÓN

La matriz de decisión es una herramienta útil en la gestión de este proyecto de rehabilitación, ya que permite evaluar y priorizar diversas alternativas en función de criterios previamente definidos, a continuación se evaluarán de 1 a 5 siendo 1 muy malo y 5 excelente los aspectos, económicos, estructural, sanidad y opiniones de expertos.

	ALTERNATIVA	REHABILITACION CON CONTRAFUERTE	TANQUE NUEVO DENTRO DEL EXISTENTE	DEMOLICION Y CONSTRUCCION DEL TANQUE NUEVO
1	Aspecto económico			
1,1	Costo construcción/rehabilitación	2	4	3
1,2	Costos de operación y mantenimiento	3	4	4
1,3	Vida útil proyectada	3	4	5
Subtotal 1		8	12	12
2	Aspecto estructural			
2,1	Integridad estructural	3	4	5
2,2	Capacidad de carga	3	5	5
2,3	Factibilidad constructiva	4	3	2
Subtotal 2		10	12	12
3	Opiniones expertas			
3,1	Ingenieros estructurales	4	4	4
3,2	Ingenieros patólogos	2	5	3
3,3	Ingenieros sanitarios	2	4	3
Subtotal 3		8	13	10
4	Aspecto de sanidad			
4,1	Calidad del agua almacenada	4	4	4
4,2	Facilidad de mantenimiento y limpieza	3	4	5
4,3	Impacto ambiental	4	5	1
Subtotal 4		11	13	10
5	Otros aspectos			
5,1	Tiempos de construcción	4	4	4
5,2	Impacto ambiental	5	4	1
5,3	Área de intervención	5	4	1
Subtotal 5		14	12	6
Total		51	62	50

Tabla 29. Matriz de decisión

1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Excelente

8. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE EPANET

EPANET es una herramienta computacional muy valiosa en el campo de la ingeniería hidráulica, especialmente diseñada para modelar y analizar redes de distribución de agua potable. Al simular el comportamiento de una PTAP dentro de esta red, los ingenieros pueden evaluar el desempeño, identificar problemas, optimizar el sistema, planificar futuras expansiones y simular escenarios.

Dicho esto, podemos decir que el análisis de una PTAP con EPANET es un ejercicio fundamental para garantizar la calidad y la continuidad del suministro de agua potable, optimizar el funcionamiento de las instalaciones y tomar decisiones informadas sobre la gestión de los sistemas de abastecimiento.

8.1 Selección de bombas en el sistema de distribución

La selección de una bomba para un sistema de distribución de agua es una decisión crucial que impactará directamente en la eficiencia, el costo y la durabilidad del sistema. Por esta razón, es común evaluar varias opciones antes de tomar una decisión final; con este proceso se busca que la selección se adapte a las necesidades específicas, optimice costos, proporcione una eficiencia energética y tenga una gran durabilidad y fiabilidad

A continuación, se presentan dos modelos diferentes de bombas centrífugas para nuestro sistema de bombeo y distribución; ambos modelos hacen parte del catálogo de la empresa Grundfos, la cual es una empresa líder en la fabricación y venta de bombas hidráulicas

- La primera opción es el modelo CR 5-22 A-FGJ-A-E-HQQE (Grundfos, s.f.) la cual es una bomba centrífuga multietapa capaz surtir el caudal requerido por el proyecto de 10 l/s a una altura resultante de 127.5m, teniendo funcionamiento a una velocidad predeterminada de 3467rpm.

- Nuestra segunda opción es el modelo CR 10-10 A-GJ-A-E-HQQE que también es una bomba centrífuga multietapa con la capacidad de surtir el caudal 10 l/s, dando una altura resultante de 107.5 m por si sola, con su funcionamiento a una velocidad de 3467 rpm.

De acuerdo con los datos anteriormente proporcionados para cada una de las opciones de bomba podemos evidenciar que ambos modelos son capaces de bombear el agua con el caudal requerido y ambos modelos por si solos alcanzan más altura de la requerida.

El siguiente ítem a tener en cuenta en la elección de nuestra bomba va relacionado al precio de esta, habiendo una comparación de precios de aproximadamente \$81'000.000 de costo del primer modelo frente a \$56'000.000 del modelo CR 10-10 A-GJ-A-E-HQQE, el cual es el modelo de bomba escogido para nuestro sistema



Figura 31 Modelo escogido CR 10-4 A-GJ-A-E-HQQE

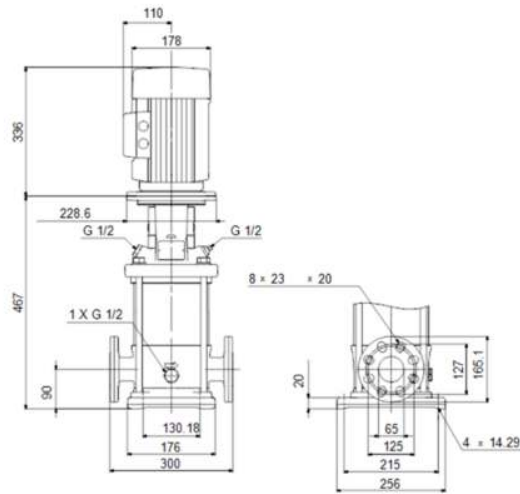


Figura 32 Esquema dimensional de modelo escogido

8.2 Costos por mantenimiento

Se decide realizar un mantenimiento preventivo de manera trimestral de la PTAP, siendo este fundamental para garantizar la continuidad del servicio de agua potable y asegurar la calidad del agua suministrada a la población. A través de inspecciones detalladas, limpieza de equipos, ajustes y calibraciones, se busca prevenir fallas mayores, optimizar el proceso de tratamiento y prolongar la vida útil de los equipos, contribuyendo así al bienestar de la comunidad y al desarrollo sostenible de la región.

La periodicidad trimestral permite realizar inspecciones detalladas, ajustes y calibraciones de los equipos, permite detectar y corregir problemas a tiempo, así como la limpieza de las instalaciones, lo cual es esencial para mantener los altos estándares de calidad exigidos en el tratamiento de agua potable y evitando así interrupciones en el servicio y costosas reparaciones.

El APU que se presenta a continuación detalla los costos asociados a la prestación de un servicio integral de mantenimiento preventivo y correctivo para la PTAP municipal de Versalles. El servicio incluye mantenimiento de bombas de abastecimiento, bombas contraincendios y rociadores, así como también una prueba hidrostática de las redes y rociadores, la inspección, limpieza, lubricación, ajuste y reemplazo de componentes de los sistemas de coagulación,

floculación, sedimentación, filtración, desinfección y bombeo. El objetivo es garantizar la continuidad del servicio de agua potable, mejorar la calidad del agua tratada y prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones.

MANTENIMIENTO DE BOMBA DE DISTRIBUCIÓN					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN				VR. UNITARIO
1.00	Mantenimiento de bombas de abastecimiento, bombas contraincendio y rociadores. Incluye prueba hidrostática de las redes y rociadores.				
1. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	RENDIMIENTO	V/UNITARIO	
HERRAMIENTA MENOR 5% M/O	%	\$ 647,174.00	5%	\$ 32,359.00	
				SUBTOTAL	\$ 32,359.00
2. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	RENDIMIENTO	V/UNITARIO	
Materiales y accesorios necesarios para el mantenimiento y correcto funcionamiento de bombas de abastecimiento, bombas contraincendio y rociadores. Incluye prueba hidrostática de las redes y rociadores.	Glb	\$ 1,653,467.00	1.00	\$ 1,653,467.00	
				SUBTOTAL	\$ 1,653,467.00
3. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACION	RENDIMIENTO	V/UNITARIO	
Oficial	\$42,648.00	180%	0.20	\$ 383,834.00	
Ayudante	\$29,260.00	180%	0.20	\$ 263,341.00	
				SUBTOTAL	\$ 647,175.00
				VALOR TOTAL	\$ 2,333,001.00

Tabla 30 APU MANTENIMIENTO TRIMESTRAL TOMADO DE CSV.GOV.CO

8.3 Características del sistema escogido

- Se manejará una presión de 36mca, equivalente a aproximadamente 3.5 bar, siendo esta la presión media de distribución
- Se trabaja con tuberías PEAD con diámetro nominal 150mm
- Diferencias de alturas 100 m (desde bomba a tanque)
- Caudal 10l/s (36 m/h) para una población de 8000 personas
- Se escoge el uso de 3 bombas (tipo CR 10-4 A-GJ-A-E-HQQE) US 13000 c/u (US 40.000) (2,2 kW)
- Altura resultante de la bomba: 51.01 m
- Altura máxima: 58.7 m
- Pérdidas 0.28m

8.4 Horarios escogidos para bombeo

Se plantean estrategias para optimizar los horarios de la siguiente manera

Horarios escalonados:

- **Bombeo durante horas valle:** Programar el funcionamiento de las bombas durante las horas en las que la demanda de energía es menor y los costos eléctricos son más bajos. Esto suele ocurrir durante la madrugada y las primeras horas de la mañana.
- **Adaptación a la demanda:** Ajustar la capacidad de bombeo en función de la demanda real de agua en cada momento. (requiere supervisión constante)

Se propone, si se quiere llevar un control de nivel del reservorio con el fin de automatizar, la posibilidad de usar alguna de las siguientes opciones:

- **Sensores de nivel:** Instalar sensores de nivel en el reservorio para monitorear el volumen de agua almacenada en tiempo real. También variadores de frecuencia para ajustar la velocidad de la bomba según la demanda, reduciendo el consumo de energía
- **Control automático:** Utilizar sistemas de control automático para encender y apagar las bombas en función del nivel del agua en el reservorio.

Para un correcto y óptimo funcionamiento del sistema para una correcta distribución, se plantea dividir su funcionamiento en tres momentos:

- **Pre-bombeo nocturno:** Durante las horas valle, se bombea agua para garantizar un suministro suficiente durante las horas pico.
- **Bombeo durante las horas pico:** Se ajusta la capacidad de bombeo para satisfacer la demanda máxima, evitando que ocurra un desabastecimiento.
- **Bombeo de recarga:** Si es necesario, se realizan bombeos adicionales durante las horas de menor demanda para completar el llenado del tanque.

De acuerdo con esto se proponen los siguientes horarios

23:00 a 7:00: Bombeo a máxima capacidad durante las horas valle para llenar el tanque.

7:00 a 9:00: Ajustar la capacidad de bombeo en función de la demanda.

9:00 a 12:00: Mantener un bombeo regulado y constante para satisfacer la demanda máxima.

12:00 a 17:00: Bombeo a máxima de nuevo

17:00 a 23:00: Reducir gradualmente la capacidad de bombeo y permitir que el reservorio se recupere. (O nula)



Tabla 31 Horarios de bombeo para sistema de distribución



Figura 33 Diseño de sistema de distribución de agua

El análisis realizado mediante Epanet ha demostrado que el sistema de distribución funciona de manera óptima, garantizando el suministro de agua a todos los puntos de consumo con la presión adecuada. Al modelar de manera detallada la red de tuberías, los nodos de demanda y las características de las bombas, se ha podido evaluar con alta confiabilidad el desempeño del sistema en diferentes escenarios. Los resultados obtenidos confirman que el sistema cumple con los requisitos de presión y caudal establecidos, lo que garantiza un suministro de agua de calidad a todos los usuarios. La estrategia de alternar el funcionamiento de las bombas ha permitido:

- **Maximizar la eficiencia energética:** Al distribuir la carga de trabajo entre las bombas, se reduce el consumo energético y se prolonga la vida útil de los equipos.
- **Minimizar las pérdidas por fugas:** Ante posibles puntos de fuga o zonas con baja presión, esto permitirá tomar medidas correctivas y reducir las pérdidas de agua.

- **Aumentar la confiabilidad del sistema:** La redundancia en el sistema de bombeo garantiza un suministro continuo de agua, incluso en caso de fallas en una de las bombas.
- **Optimizar el costo de operación:** La programación de las bombas en función de la demanda ha permitido reducir los costos de operación del sistema."

9. DISEÑO Y ANALISIS ESTRUCTURAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El análisis y diseño de la estructura hidráulica se realizó de acuerdo con lo consignado en la norma colombiana, NSR-10, especialmente lo relacionado en el Capítulo C.23, “Tanques y estructuras de ingeniería ambiental de concreto”. Recordemos que este capítulo está basado en el estudio de la norma ACI350-06 y también es importante anotar que en el primer párrafo del numeral C.23.0 de la NSR-10 se expone lo siguiente: “Todos los requisitos del Título C de la NSR-10 son aplicables a estructuras de ingeniería ambiental”.

9.1.Requisitos de durabilidad

Para este tipo de estructuras propias de ingeniería ambiental y sanitaria, la resistencia mínima especificada del concreto a la compresión f'_c debe ser mayor a 28 MPa. La relación agua/material cementante (a/mc) debe estar entre 0,40 y 0,50.

Tabla 30. Durabilidad

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO_4) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO_4) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	$SO_4 < 0.10$	$SO_4 < 150$
	Moderada	S1	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1500$ agua marina
	Severa	S2	$0.20 \leq SO_4 \leq 0.40$	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Muy severa	S3	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10000$
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Nota. Tomado de NSR-10

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

Tabla 31. Requisitos adicionales

Clase de Exposición	Rel. a/mc máx.±	f'c min. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Limites en los cementantes
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F2	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F3	0.45	31	tabla C.4.4.1			tabla C.4.4.2
			Tipos de material cementante*			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	28	II ¹²	IP(MS), IS(<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V ²	IP(HS), IS(<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V puzolanas o escoria ⁵	IP(HS) y puzolanas o escoria ⁵ o IS(<70) (HS) y puzolanas o escoria ⁵	HS y puzolanas o escoria ⁵	No se permite
P0	N/A	17	Ninguna			
P1	0.50	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos relacionados	
			Concreto reforzado	Concreto Preesforzado		
C0	N/A	17	1.00	0.06	Ninguno	
C1	0.50	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06		7.7.6, 18.16 ⁴

Nota. Tomado de la NSR-10

9.2. Protección de concreto para el refuerzo en estructuras ambientales

Los requisitos de protección de concreto para el refuerzo de esta sección para estructuras ambientales son más estrictos que los de la Sección C.7.7 para estructuras normales.

Tabla 32. Protección de concreto

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

Nota-1 – Construido bajo condiciones de control en planta de prefabricación
 Nota-2 – Incluye ductos de preesforzado menores de 40 mm de diámetro
 Nota-3 – Incluye ductos de preesforzado mayores o iguales a 40 mm de diámetro

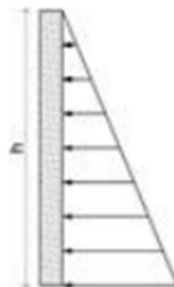
Nota. Tomado de la NSR-10

9.3. Evaluación de cargas

9.3.1. Presión hidrostática

Se realiza el cálculo de la presión hidrostática ya que es la presión que el agua ejerce en cualquier punto de su interior debido al peso del agua que se encuentra por encima de ese punto. Esta presión no depende de la forma del recipiente que contiene el fluido, sino de la profundidad en la que se mide y de la densidad del agua, como se muestra a continuación.

Figura 33. Presión Hidrostática



Nota. Método Housner

$$\gamma_{\text{agua}} = 1,000 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$$

$$h = 2,18 \text{ m}$$

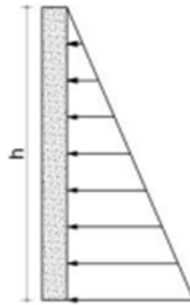
$$F = \gamma \text{ agua} * h = 2,18 \text{ Ton/m}^2$$

Ecuación 3. Presión hidrostática Nota. Método de Housner

9.3.2. Presión Lateral del Suelo (H)

Se realiza el cálculo de la presión lateral del suelo ay que es la presión que el suelo ejerce en el plano horizontal. Las aplicaciones más comunes de la teoría de presiones laterales en suelos son el diseño de estructuras cimentadas como muros de tierras, zapatas, túneles y para determinar la fricción del terreno en la superficie de cimentaciones profundas.

Figura 34. Presión lateral del suelo



Nota. Método housner.

$$\gamma \text{ suelo} = 1.99 \text{ Ton/m}^3$$

$$K_o = 0.57$$

$$h = 2.18 \text{ m}$$

$$\phi = 25^\circ$$

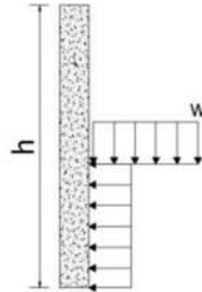
$$H = \gamma \text{ suelo} * K_o * h = 2,47 \text{ Ton/m}^2$$

Ecuación 4. Presión hidrostática Nota. Método de Housner

9.3.3. Presión por sobrecarga W (L)

Se realiza el cálculo de la presión por sobrecarga que denota la presión causada por el peso de las capas de material superpuestas a una profundidad específica debajo de la superficie terrestre, en este caso la presión existente es la de la casa que se encuentra ubicada al lado del tanque.

Figura 35. Presión por sobre carga



Nota. Método Housner

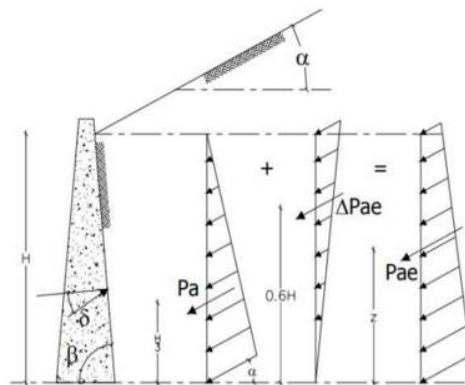
$$L = K_o * W = 0,58 \text{ Ton/m}^2$$

Ecuación 5. Presión por sobrecarga Nota. Método de Housner

9.3.4. Presión Dinámica del suelo (Sismo)

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

Figura 36. Presión Dinámica del suelo



Nota. Método Coulomb

$$Pae = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * (1 - kv) * Kae$$

Ecuación 6. Carga inversa.

Nota. Método de Mononobe- Okabe

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

Ecuación 7. Coeficiente

Nota. Método de Mononobe- Okabe

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

Ecuación 8.

Nota. Método de Mononobe- Okabe

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Kh}{1 - Kv}\right)$$

Ecuación 9.

Nota. Método de Mononobe- Okabe

$$\gamma_{SUELO} = 1,99 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$$

$$Aa = 0.25$$

$$h = 2,18 \text{ m}$$

$$Kh = 0.5 * Aa * Fa * I = 0.18$$

$$Kv = 0,7 * Kh = 0,13$$

$$Ko = 0.57$$

$$\varphi = 25.0^\circ$$

$$Q = 90^\circ$$

$$\delta = \frac{2}{3} \varphi = 16.67^\circ$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Kh}{1 - Kv}\right) = 3.15^\circ$$

$$a = .0^\circ$$

$$T = \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + Q) * \sin(\varphi - \theta - a)}{\sin(Q - \delta - \theta) * \sin(a - Q)}} \right)^2 = 2.40$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\varphi + Q + \theta)}{\cos \theta * \sin^2(Q) * \sin(Q - \theta - \delta)} * T = 0.62$$

$$K_{eq} = K_{ae} - Ka = 0.044$$

$$Sismo = \gamma_{suelo} * K_{eq} * h = 0.192 \text{ Ton/m}^2$$

9.4. Diseño de losa inferior

9.4.1. Materiales

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 285.52 \text{ kg/cm}^2$

Dimensiones

Ancho=5,6 m $e = 20 \text{ cm}$ largo=10,6 m altura=1,18 m

9.4.2. Momentos

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

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

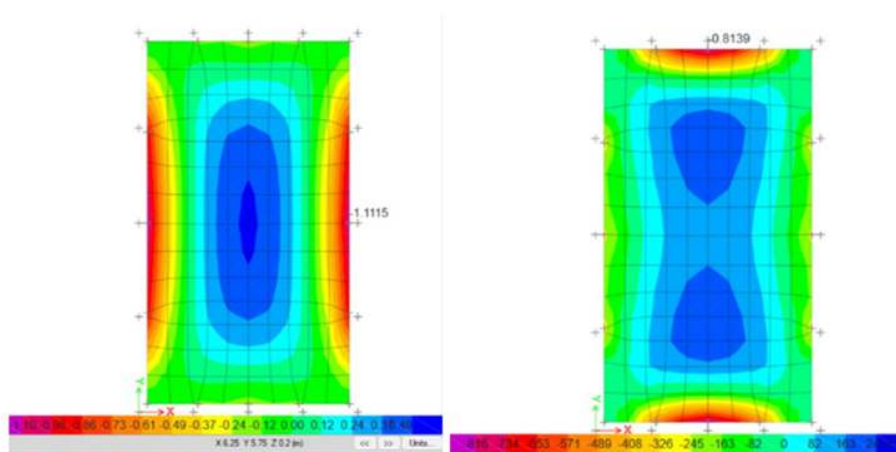


Figura 37. Momento M11 y Momento M22 Negativos

ENVOLVENTE MÁXIMOS POSITIVOS

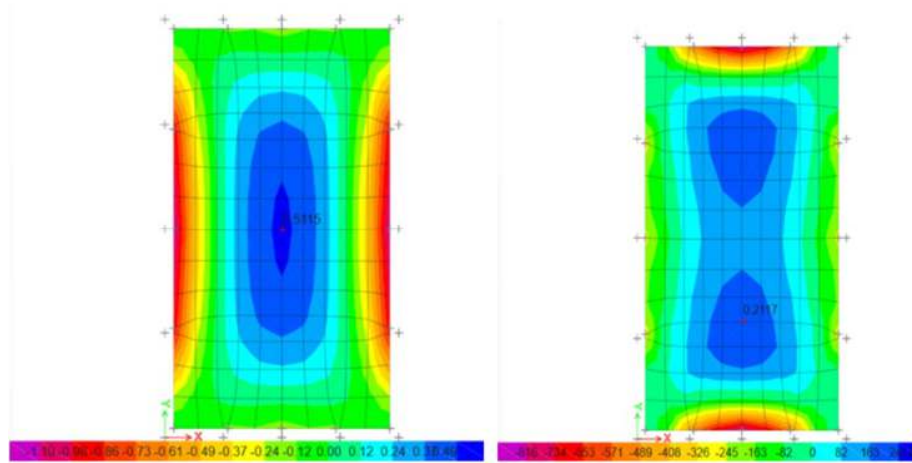


Figura 38. Momento M11 y Momento M22 positivo

<i>Datos</i>	
fy (MPa)	420
f'c (Mpa)	28
m	17,64705882
φ	0,9
Espesor (mm)	200
d' (mm)	55
d (mm)	145
b (mm)	1000

	Mu (Ton*m)	Mu (Kn*m)	Mu N*mm	d(mm)	K	ρ min	ρ cal	As (mm2)	# de barra
M11 (-)	1,5551	15,551	15551000	145	0,740	0,0033	0,0020	483,33	4
M22 (-)	0,8139	8,139	8139000	145	0,387	0,0033	0,0010	483,33	4
M11 (+)	0,5115	5,115	5115000	145	0,243	0,0033	0,0006	483,33	4
M22(+)	0,2117	2,117	2117000	145	0,101	0,0033	0,00027	483,33	4

9.4.3. Revisión de cortante

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

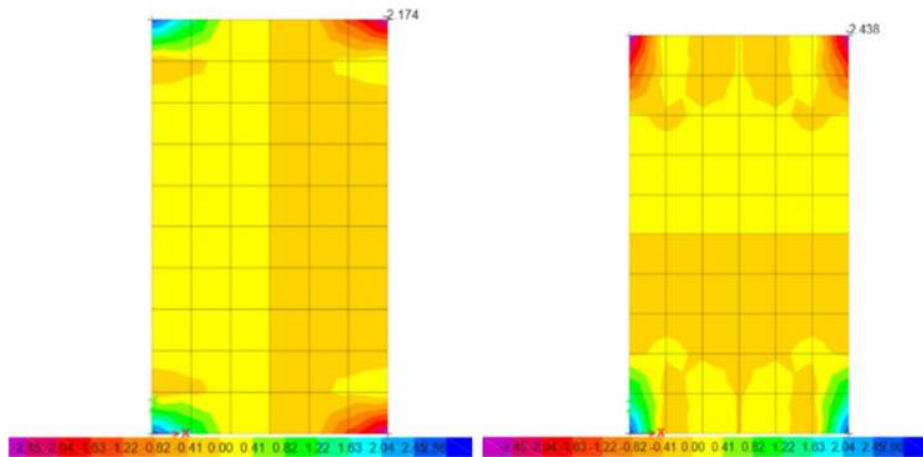


Figura 39. Distribución de cortantes en la losa inferior V13 y V23

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

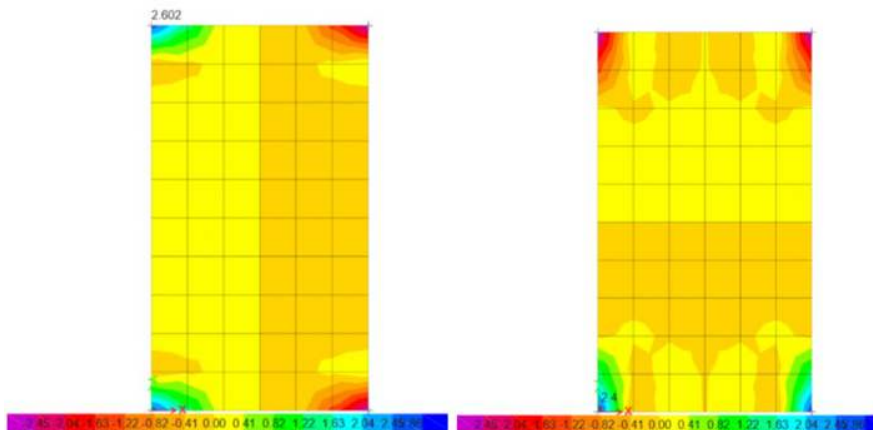


Figura 40. Distribución de cortantes en la losa inferior V13 y V23

9.5. Diseño de muros

9.5.1. Muro longitudinal

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

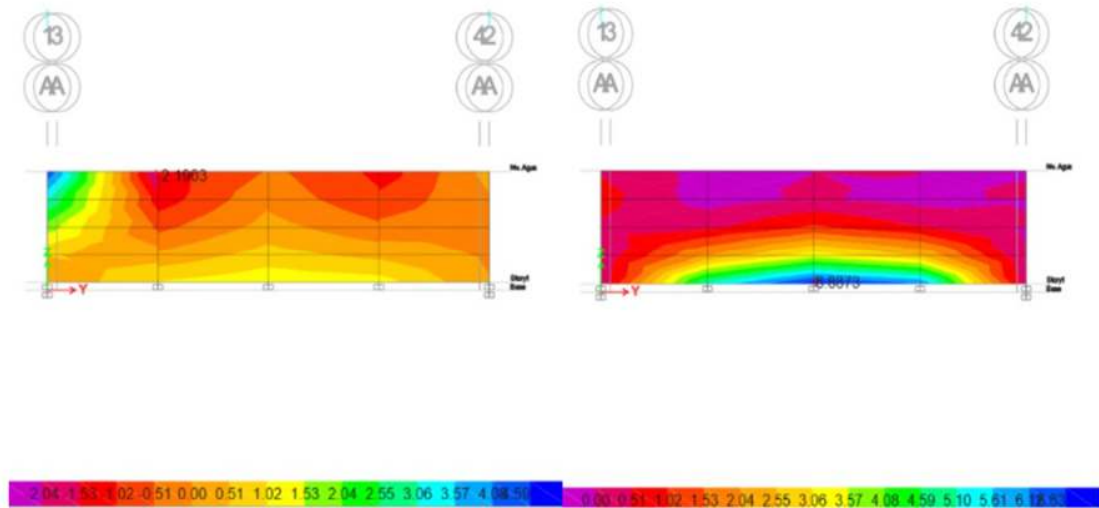


Figura 41. Momento M11 y Momento M22 Negativo

ENVOLVENTE MÁXIMOS POSITIVOS

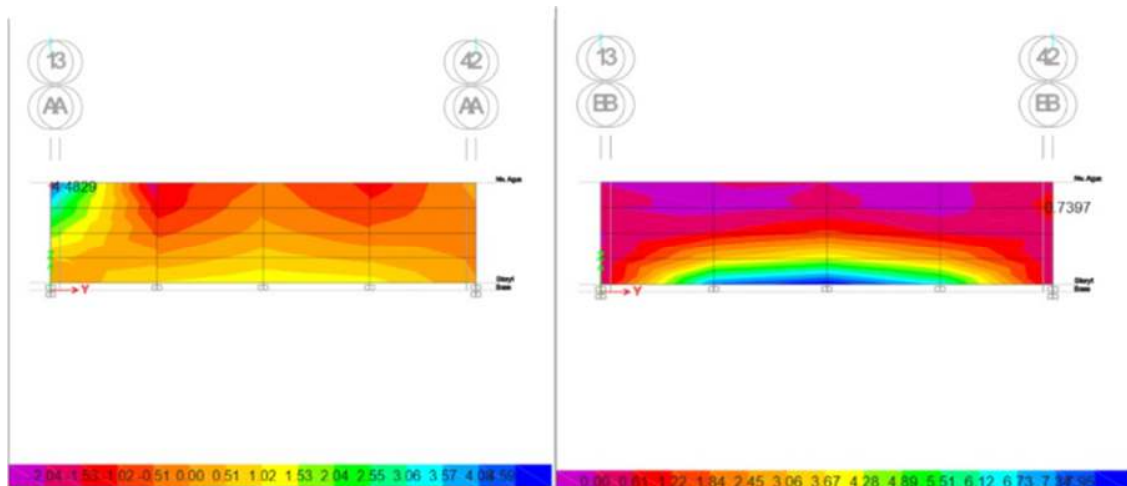


Figura 42. Momento M11 y Momento M22 Positivos

	Mu (Ton*m)	Mu (Kn*m)	Mu N*mm	d(mm)	K	ρ min	ρ cal	As (mm ²)	# de barra
M11 (-)	2,1903	21,903	21903000	145	1,042	0,0033	0,0028	483,33	4
M22 (-)	6,8873	68,873	68873000	145	3,276	0,0033	0,0095	1370,95	4
M11 (+)	4,4829	44,829	44829000	145	2,132	0,0033	0,0060	863,24	4
M22(+)	0,6635	6,635	6635000	145	0,316	0,0033	0,0008	483,33	4

9.5.2. Revisión de cortante en muros longitudinales

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

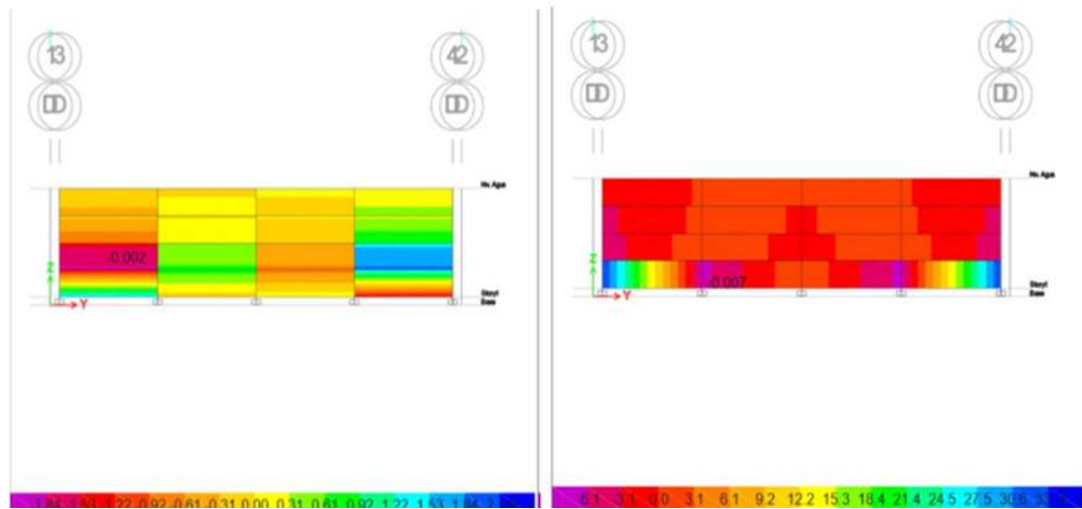


Figura 45. Distribución de cortantes en el muro longitudinal V13 y V23

ENVOLVENTE MÁXIMOS POSITIVOS

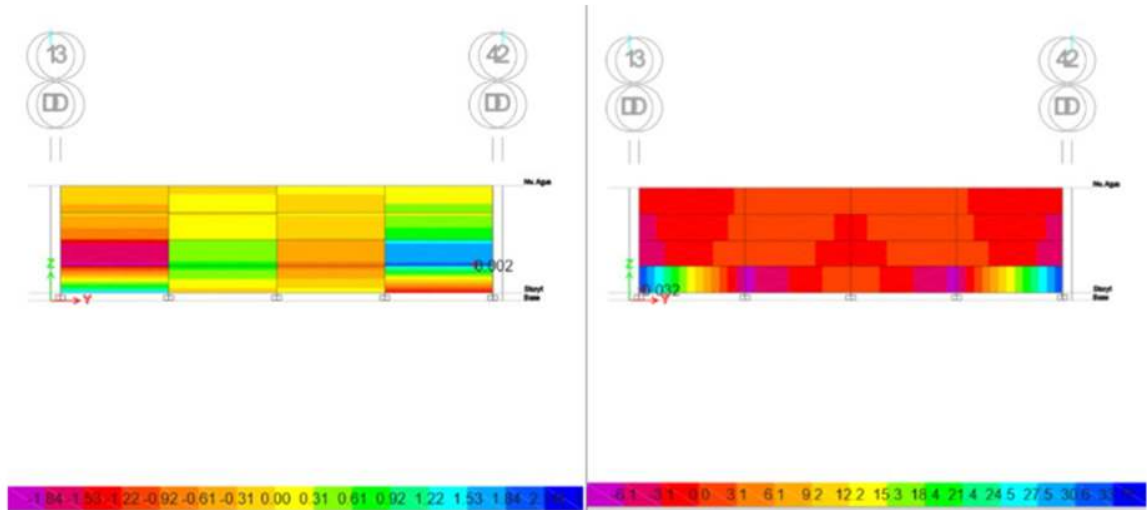


Figura 46. Distribución de cortantes en el muro longitudinal V13 y V23

$$V_u \text{ max} = 71.7631 \text{ kN}$$

$$fV_n = 3864.96 \text{ kN } V_u < fV_n \text{ OK!!}$$

9.5.3. Diseño de Muro Transversal

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

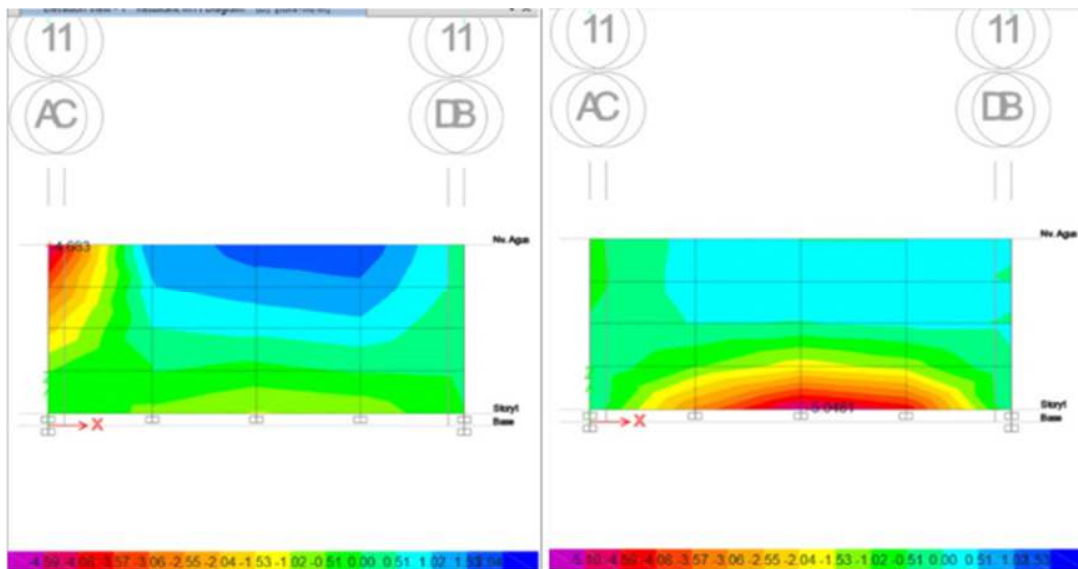


Figura 47. Momento M11 y Momento M22 Negativo

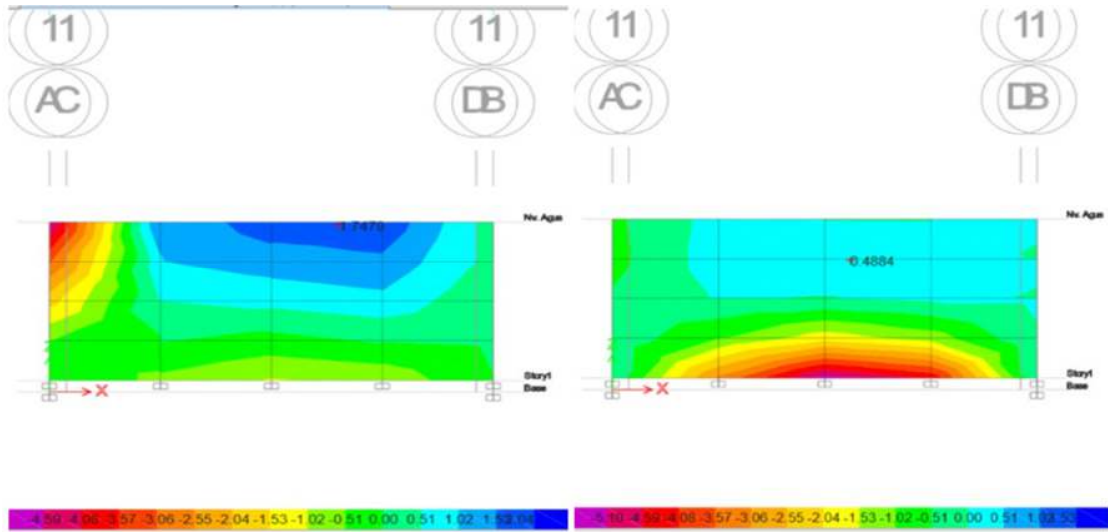


Figura 48. Momento M11 y Momento M22 Positivos

	Mu (Ton*m)	Mu (Kn*m)	Mu N*mm	d(mm)	K	ρ min	ρ cal	As (mm ²)	# de barra
M11 (-)	4,683	46,83	46830000	145	2,227	0,0033	0,0062	904,15	4
M22 (-)	5,0481	50,481	50481000	145	2,401	0,0033	0,0068	979,39	4
M11 (+)	1,7479	17,479	17479000	145	0,831	0,0033	0,0022	325,34	4
M22(+)	0,4884	4,884	4884000	145	0,232	0,0033	0,0006	483,33	4

9.5.4. Revisión de cortante en muros Transversales

ENVOLVENTE MÁXIMOS NEGATIVOS

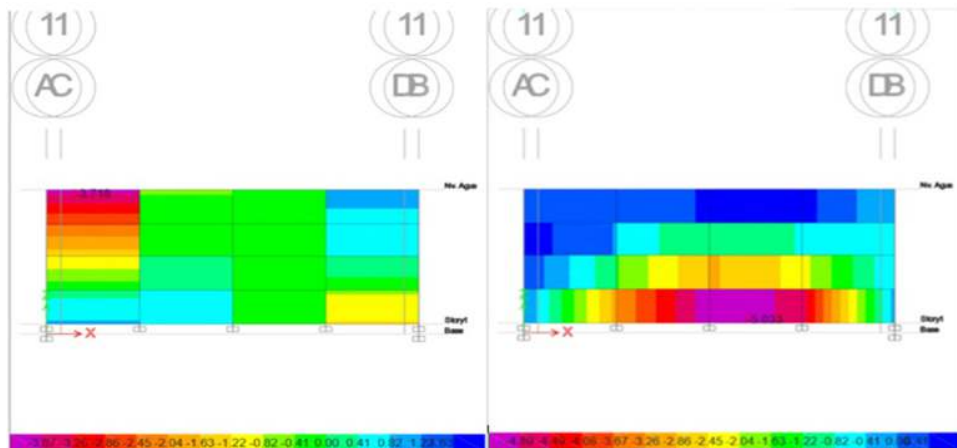


Figura 51. Distribución de cortantes en el muro transversal V13 y V23

ENVOLVENTE MÁXIMOS POSITIVOS

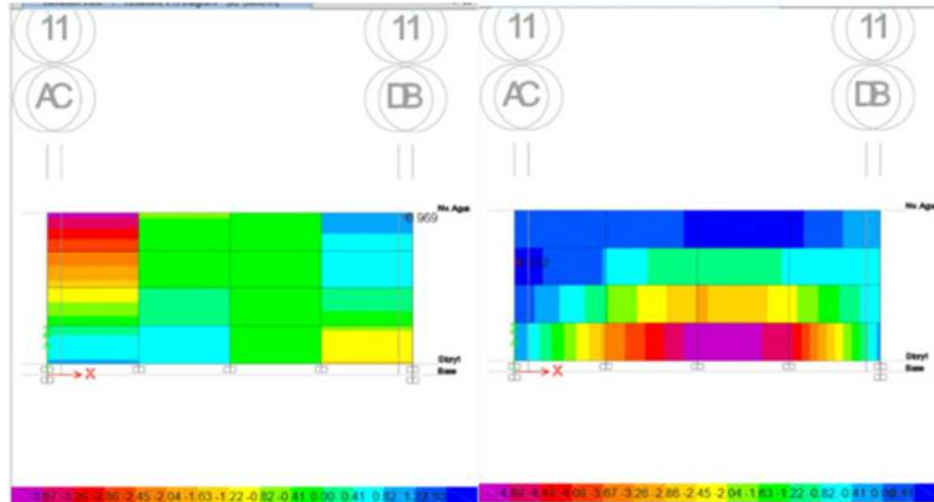


Figura 52. Distribución de cortantes en el muro transversal V13 y V23

$$V_u \text{ max} = 47.0827 \text{ kN} \quad f_{Vc} = 1177.3 \text{ kN}$$

$$f_{Vn} = 2108.16 \text{ kN} \quad V_u < f_{Vn} \text{ OK!!}$$

10. PROPUESTA REPARACIÓN FILTROS, PRE-FILTROS Y TANQUE DE LAVADO DE FILTROS PARA CASO 1: MORTERO SIKA REPAIR 220

A continuación, se presenta la propuesta para la reparación de las superficies de concreto en los prefiltros, filtros y el tanque de lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable. Los ensayos realizados revelaron que la resistencia mínima en ciertas áreas es de **26 MPa**, cuando el objetivo es alcanzar **28 MPa**. Para restaurar la resistencia superficial, garantizar la durabilidad y mejorar la protección, se utilizará **Sika Repair 220**, un mortero de reparación de alta calidad, en conjunto con **Sikadur 32** como puente de adherencia y **Sika Top Seal 107** como revestimiento adicional.

10.1. Justificación de la Alternativa

La alternativa propuesta se basa en un análisis técnico y económico, seleccionando los productos y métodos más adecuados según las condiciones observadas:

Tipo de daño: El daño identificado es superficial y no compromete la capacidad estructural del concreto.

Requisitos del proyecto: Restaurar la resistencia superficial, alcanzar los 28 MPa requeridos y proteger contra agentes químicos y humedad.

Viabilidad económica: El uso de morteros de reparación es más costo-efectivo que sistemas de refuerzo como fibra de carbono.

Normativa: Cumple con las especificaciones del ACI 546R-14 y las recomendaciones técnicas de Sika para la preparación y aplicación de morteros.

10.2. Normas de Referencia

La propuesta cumple con las directrices establecidas por la norma **ACI 546R-14: Guide to Concrete Repair**, la cual proporciona los lineamientos para la preparación de la superficie, selección de materiales de reparación, y su correcta aplicación y curado. Las secciones aplicables incluyen:

Preparación de la superficie:

a. Sección 2.4 (Surface Preparation): Se asegura un perfil de rugosidad ICRI CSP 5-7 mediante chorro de arena.

b. Sección 2.5 (Surface Condition and Moisture Control): Se garantiza la limpieza y secado adecuado de las superficies antes de la aplicación del mortero.

Remoción del concreto deteriorado:

c. Sección 3.2 (Removal of Damaged Concrete): Identificación y remoción de concreto dañado hasta alcanzar un sustrato sano y estable.

Selección y aplicación del material:

d. Sección 4.1 (Selection of Repair Materials): Elección de un mortero adecuado según las condiciones ambientales y propiedades requeridas.

e. Sección 4.3 (Thickness of Repair Materials): Definición del espesor óptimo de 3 a 10 mm por capa.

f. Sección 4.4 (Bonding of Repair Materials): Uso de Sikadur 32 para mejorar la adherencia entre el concreto existente y el mortero.

Curado del material:

g. Sección 4.5 (Curing of Repair Materials): Uso de métodos de curado adecuados para garantizar el desarrollo de resistencia y durabilidad.

Revestimiento protector:

h. Sección 5.4 (Subsequent Protective Coating): Aplicación de Sika Top Seal 107 como revestimiento adicional para las paredes internas expuestas al agua, mejorando la durabilidad y resistencia química.

10.3. Actividades Propuestas

10.3.1. Preparación de la Superficie

Perfilado: Chorro de arena para obtener una rugosidad **ICRI CSP 5-7**.

Limpieza: Lavado con agua limpia para eliminar polvo, partículas sueltas y contaminantes.

Inspección: Verificación de la ausencia de aceites, grasas o lechada suelta.

10.3.2. Aplicación del Puente de Adherencia

Aplicar **Sikadur 32** con brocha o rodillo sobre la superficie preparada.

Garantizar una cobertura uniforme antes de aplicar el mortero, asegurándose de que esté aún húmedo (estado fresco sobre fresco).

10.3.3. Aplicación del Mortero de Reparación

Mezclar y aplicar **Sika Repair 220** en capas de 3 a 10 mm, dependiendo de la profundidad del daño.

Compactar y alisar cada capa para evitar oclusiones de aire y asegurar una superficie homogénea.

En áreas con daños profundos, aplicar varias capas, respetando el tiempo de curado entre ellas.

10.3.4. Curado

Utilizar un compuesto de curado químico o cubrir con plástico húmedo para mantener la humedad durante las primeras 48 horas.

10.3.5. Revestimiento Adicional

Aplicar **Sika Top Seal 107** en dos capas de 2 mm cada una sobre las paredes internas de los prefiltros, filtros y tanque de lavado.

Esperar el tiempo de secado entre capas según la ficha técnica.

10.3.6. Guías Técnicas de Sika

- **Ficha técnica de Sika Repair 220:** (Se adjunta ficha técnica al final)
 - Mortero premezclado para reparación estructural de concreto.
 - Espesor recomendado: 3-30 mm por capa.
 - Resistencia a compresión superior a 50 MPa.

- **Ficha técnica de Sikadur 32:** (Se adjunta ficha técnica al final)
 - Puente de adherencia epóxico de dos componentes para aumentar la adherencia en aplicaciones de morteros sobre concreto.

- **Ficha técnica de Sika Top Seal 107:** (Se adjunta ficha técnica al final)
 - Revestimiento cementoso impermeabilizante en dos componentes.
 - Espesor recomendado: 2 mm en dos capas.

10.4. Cumplimiento Normativo

El procedimiento cumple con:

ACI 546R-14, en aspectos de preparación de superficie, elección de materiales, espesores aplicados y curado.

Especificaciones técnicas de Sika, asegurando que los materiales se utilicen conforme a sus recomendaciones, maximizando su desempeño.

Finalmente, la reparación propuesta con **Sika Repair 220**, complementada con **Sikadur 32** como puente de adherencia y **Sika Top Seal 107** como revestimiento, cumple con los requisitos técnicos, normativos y económicos del proyecto. Esta solución asegura la restauración de la resistencia superficial del concreto, mejora su durabilidad y protege contra agentes químicos y humedad, garantizando un desempeño óptimo y una vida útil prolongada de las estructuras de la planta de tratamiento de agua.

11. PRESUPUESTO

11.1. Presupuesto rehabilitación PTAP Versalles

El presente capítulo detalla el presupuesto de la rehabilitación para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Versailles, enfocado en la reparación y mejora de los elementos de concreto existentes en los prefiltros, filtros y tanque de lavado de filtros. Este presupuesto incluye tanto las actividades preliminares como la rehabilitación mediante la aplicación de mortero de reparación y revestimientos impermeabilizantes, asegurando el cumplimiento de los objetivos técnicos y económicos del proyecto.

PRESUPUESTO REV 0					9/12/2024
PRESUPUESTO REHABILITACION PETAP VERSALLES					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
1,00	PRELIMINARES				\$ 25.207.475,00
1,01	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	200	\$ 40.000,00	\$ 8.000.000,00
1,02	DEMOLICION CONCRETO DAÑADO Y RETIRO MATERIAL CON TRANSPORTE INCLUIDO	M2	180	\$ 28.795,00	\$ 5.183.100,00
1,03	PREPARACION DE SUPERFICIE CSP5 CON CHORRO DE ARENA Y LAVADO A PRESION	M2	180	\$ 66.802,08	\$ 12.024.375,00
2,00	REHABILITACION REVESTIMIENTO				\$ 79.295.400,63
2,01	REHABILITACIÓN MUROS CON MORTERO SIKA REPAIR 220 (INCLUYER HERRAMIENTA MENOR-MATERIAL-MANO DE OBRA)	M3	3,6	\$ 19.691.933,33	\$ 70.890.960,00
2,02	IMPERMEABILIZACION MUROS CON MORTERO SIKA-TOP107 SEAL CO	M2	90	\$ 93.382,67	\$ 8.404.440,63
2,03	ESQUEMA PINTURA EPOXICA IMPERMEABILIZANTE, PRIMER 1,5 MILLS, BARRERA EPOXICA 1,5 MILLS	M2	180	\$ 34.377,00	\$ 6.187.860,00
COSTOS DIRECTOS					\$ 104.502.875,63

IVA 19%	\$ 19.855.546,37
ADMINISTRACION 10%	\$ 10.450.287,56
UTILIDAD 5%	\$ 5.225.143,78
TOTAL	\$ 140.033.853

11.1.Descripción de las Actividades

Preliminares

- a. **Localización y replanteo (200 m²):** Incluye la marcación de las áreas a intervenir, garantizando precisión en la ejecución.
- b. **Demolición de concreto dañado y retiro de material (180 m²):** Remoción del concreto deteriorado hasta alcanzar un sustrato sano, según las especificaciones del **ACI 546R-14**.
- c. **Preparación de superficie (180 m²):** Obtención de un perfil superficial CSP 5-7 mediante chorro de arena, seguido de una limpieza con agua a presión para garantizar la adherencia de los materiales.

Rehabilitación y Revestimiento

- d. **Rehabilitación con mortero Sika Repair 220 (3,6 m³):** Aplicación de mortero estructural en capas de 3-10 mm de espesor para restaurar la resistencia y durabilidad del concreto.
- e. **Impermeabilización con Sika Top Seal 107 (90 m²):** Colocación de un revestimiento cementoso en dos capas de 2 mm cada una para proteger contra agentes químicos y humedad.
- f. **Esquema de pintura epóxica impermeabilizante (180 m²):** Aplicación de una barrera epóxica de 1,5 mils para aumentar la protección superficial.

La solución planteada es la más adecuada para garantizar la restauración estructural y la protección duradera del concreto, con base en los siguientes aspectos:

- **Cumplimiento normativo:** Las actividades descritas cumplen con las especificaciones de la norma **ACI 546R-14** y con las guías técnicas de Sika.
- **Optimización de recursos:** La combinación de actividades garantiza una reparación eficiente, reduciendo costos y tiempos al evitar intervenciones adicionales en el futuro.

- **Protección integral:** El uso de un mortero de alta resistencia (Sika Repair 220) junto con un revestimiento impermeabilizante (Sika Top Seal 107) y una barrera epóxica asegura la durabilidad frente a agentes agresivos.

Este presupuesto detalla los costos y actividades necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto, asegurando una reparación estructural adecuada y una protección óptima de las superficies rehabilitadas. La solución propuesta no solo garantiza el cumplimiento técnico, sino que también es económica y sostenible, extendiendo la vida útil de las estructuras y asegurando su funcionalidad en el tiempo.

11.2. Presupuesto rehabilitación tanque Versalles

A continuación, se presenta el desglose del presupuesto estimado para la ejecución del proyecto. Esta tabla (*Tabla 30*) incluye todos los costos proyectados de materiales, mano de obra, equipos, y cualquier otro gasto necesario para cumplir con los objetivos planteados. El presupuesto ha sido calculado tomando en cuenta precios actuales del mercado y necesidades específicas del proyecto.

Costo directo obra rehabilitación tanque Versalles

PRESUPUESTO REV 1				10/12/2024	
PRESUPUESTO REHABILITACION TANQUE VERSALLES					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
1.00	PRELIMINARES				\$ 20.867.820,00
1.01	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	66	\$ 40.000,00	\$ 2.640.000,00
1.02	PUNTO DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	GLB	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
1.03	CAMPAMENTO E INSTALACIONES PROVISIONALES	GLB	1	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
1.04	ALQUILER DE BAÑOS PROVISIONALES	MES	2	\$ 300.000,00	\$ 600.000,00
1.05	HIDROLAVADA (LIMPIEZA DE CONDICIONES DEL TANQUE)	M2	234	\$ 11.230,00	\$ 2.627.820,00
2.00	ANCLAJES				\$ 20.008.880,00
2.01	GRUPO DE ANCLAJES EPOXICOS PARA LOSA D= 1/2 L= 300. INCLUYE INSTALACION	UND	360	\$ 36.250,00	\$ 13.050.000,00
2.02	GRUPO DE ANCLAJES EPOXICOS PARA MUROS D= 1/2 L= 300. INCLUYE INSTALACION	UND	184	\$ 37.820,00	\$ 6.958.880,00
2.03	EQUIPO DE PERFORACIÓN PARA ANCLAJES MURO Y LOSA	GLB	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
3.00	DEMOLICIÓN Y DESMONTES ESTRUCTURALES				\$ 4.935.000,00
3.01	DEMOLICIÓN DE LOSA EN CONCRETO. INCLUYE: TRANSPORTE INTERNO Y RETIRO DE MATERIAL A ESCOMBRERA AUTORIZADA POR EL MUNICIPIO O LA CORPORACIÓN AMBIENTAL	M2	14,1	\$ 350.000,00	\$ 4.935.000,00
4.00	REHABILITACION CARA INTERNA ANTIGUO TANQUE				\$ 23.693.193,00
4.01	REHABILITACIÓN MUROS CON MORTERO (INCLUYER HERRAMIENTA MENOR-MATERIAL-MANO DE OBRA)	M2	215,2	\$ 42.114,10	\$ 9.062.954,46
4.02	IMPERMEABILIZACION MUROS INTERNOS CON IGOL DENSO (INCLUYER HERRAMIENTA MENOR-MATERIAL-MANO DE OBRA)	M2	215,2	\$ 67.984,38	\$ 14.630.238,54
5.00	ESTRUCTURA				\$ 123.863.267,91
5.01	SUMINISTRO MUROS TANQUE NUEVO INTERNO CONCRETO 28 MPA CON GRAVA 3/8 e=0,2m	M3	15,5	\$ 828.235,52	\$ 12.837.650,55
5.02	SUMINISTRO LOSA DE CIMENTACIÓN TANQUE NUEVO INTERNO CONCRETO 28 MPA CON GRAVA 3/8	M3	12,5	\$ 828.235,52	\$ 10.352.944,00
5.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE MEMBRANA EN PVC SIKAPLAN 12 NTR	M2	62	\$ 87.654,00	\$ 5.434.548,00
5.04	ESCALERAS EN TUBERIA GALVANIZADA de 2" A-36, según planos y especificaciones de diseño	ML	4	\$ 240.000,00	\$ 960.000,00
5.05	M.O. CONCRETO VACIADO TANQUE (ACTIVIDAD INCLUYE VACIADO, VIBRADO Y RESANES)	M3	28	\$ 1.152.880,00	\$ 32.280.640,00
5.06	ACERO CORRUGADO (SIDOC)	KG	4848,47	\$ 4.900,00	\$ 23.757.503,00
5.07	M.O. INSTALACION Y AMARRE DE ACERO	KG	4848,47	\$ 3.500,00	\$ 16.969.645,00
5.08	SERVICIO DE BOMBA	DIA	5	\$ 380.660,00	\$ 1.903.300,00
5.09	ALAMBRE NEGRO	KG	96,9694	\$ 250,00	\$ 24.242,35
5.10	EQUIPO ESPECIAL (INCLUYE FORMALETA-EQUIPO DE APUNTALAMIENTO-VIBRADORES-PULIDORAS-ETC)	GLB	1	\$ 19.342.795,01	\$ 19.342.795,01
6.00	ACABADOS				\$ 15.612.082,03
6.01	ESQUEMA PINTURA EPOXICA IMPERMEABILIZANTE, PRIMER 3 MILLS, BARRERA EPOXICA 3 MILLS	M2	205,04	\$ 40.058,00	\$ 8.213.492,32
6.02	SIKA-101 MORTERO PLUS PRESENTACION 50KG 2MM (INCLUYE MANO DE OBRA Y HERAMMIENTA MENOR)	M2	205,04	\$ 23.523,64	\$ 4.823.287,31
6.03	M.O. IMPERMEABILIZACIONX M2	M2	205,04	\$ 12.560,00	\$ 2.575.302,40
COSTOS DIRECTOS					\$ 210.230.242,93
				IVA 19%	\$ 39.943.746,16
				ADMINISTRACION 10%	\$ 21.023.024,29
				UTILIDAD 5%	\$ 10.511.512,15
TOTAL				\$	281.708.525,53
Contempla Óbra tanque y Rehabilitación Petap					
Total				\$	421.742.379

Tabla 33. Presupuesto rehabilitación tanque Versalles

12. PLANO DEL TANQUE

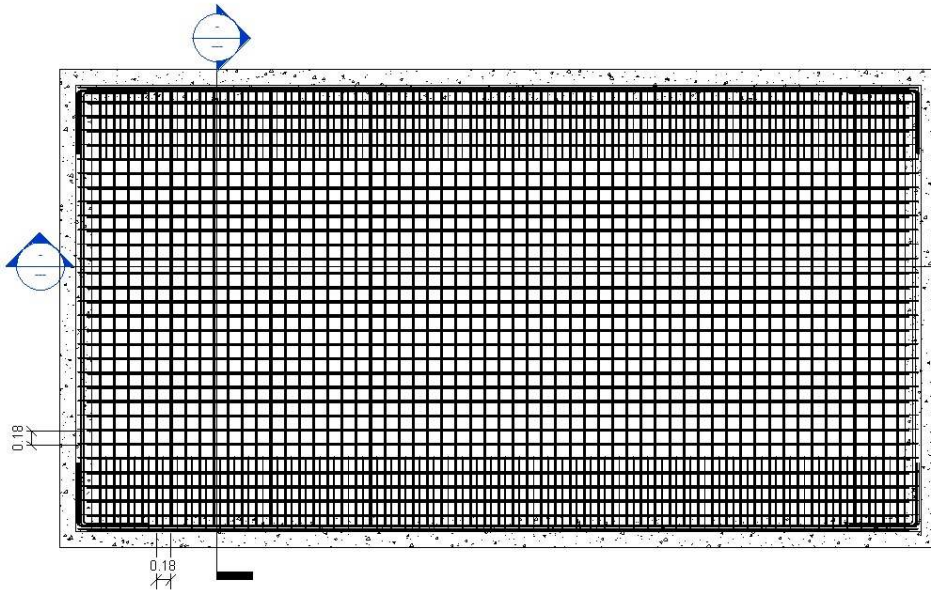


Figura 52. Plano en planta

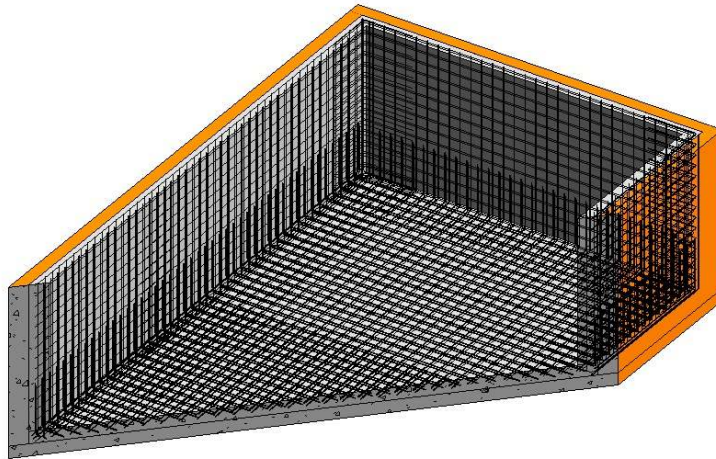


Figura 53. Plano 3D

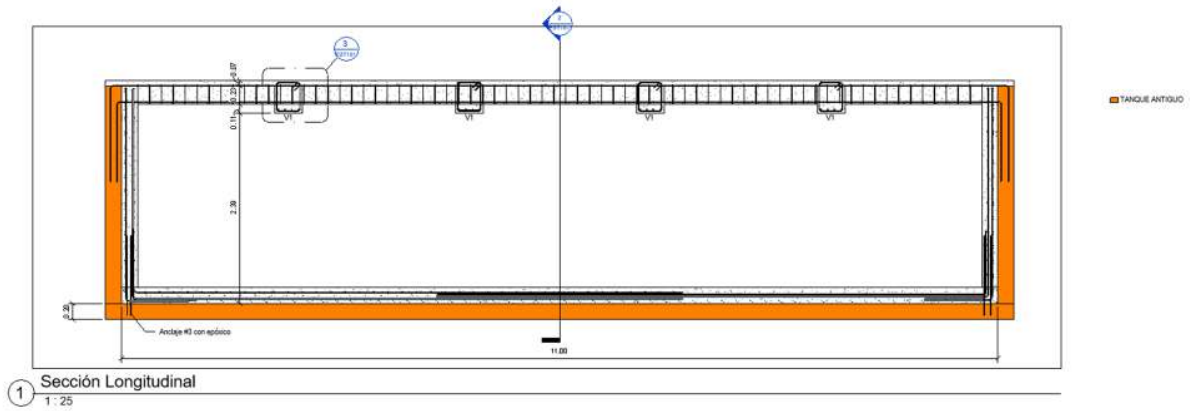


Figura 54. Sección Longitudinal Tanque (Escala no aplica)

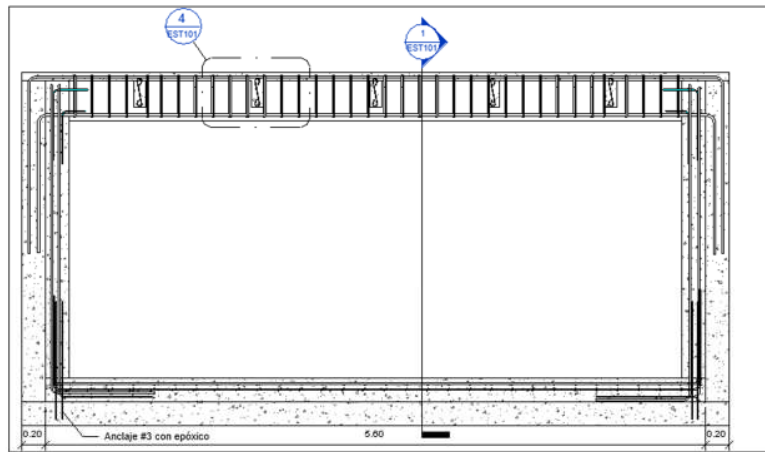
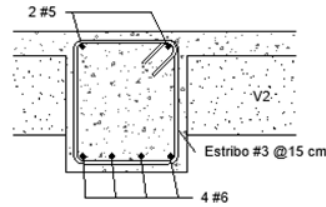
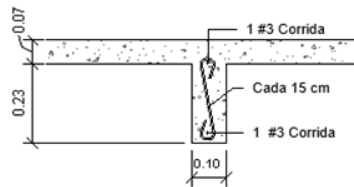


Figura 55. Sección Transversal Tanque (Escala no aplica)



3 Viga V1 Detalle
1 : 12



4 Viga V2 Detalle
1 : 12

Figura 56. Detalles estructurales vigas

13. MODELACIÓN BIM

La solución seleccionada para el proyecto fue modelada en Revit bajo un enfoque BIM (Building Information Modeling), lo que permitió materializar digitalmente el diseño con un alto nivel de precisión. El propósito principal de esta modelación fue generar una documentación técnica detallada que incluyera planos, cortes y secciones, elementos indispensables para presentar el diseño de manera clara y profesional.

El uso de Revit estructural fue especialmente relevante debido a las características complejas del diseño, que implicaba una estructura con una gran cantidad de elementos de acero.

Este entorno permitió representar con exactitud cada componente, asegurando que todos los aspectos del diseño estuvieran correctamente integrados. Además, la capacidad del software para modelar en 3D facilitó una visualización integral del diseño, lo que permitió analizar su interacción con elementos existentes y realizar ajustes oportunos en el proceso de desarrollo.

Otra de las ventajas clave de la modelación fue la posibilidad de estimar con gran precisión las cantidades de acero requeridas para la estructura propuesta. Este nivel de detalle fue fundamental para validar la viabilidad técnica y optimizar el diseño desde el punto de vista estructural. Asimismo, el modelo digital ofreció una plataforma flexible y dinámica, que permitió realizar revisiones y ajustes de manera eficiente, garantizando que la propuesta cumpliera con los objetivos del proyecto y los requerimientos técnicos.

La modelación BIM en Revit no solo aportó una herramienta de expresión digital poderosa, sino que también consolidó el diseño al integrar precisión, claridad y eficiencia en su desarrollo. Esto permitió que la solución propuesta quedara documentada de forma exhaustiva, proporcionando un recurso técnico robusto y bien fundamentado para el análisis y la toma de decisiones futuras.

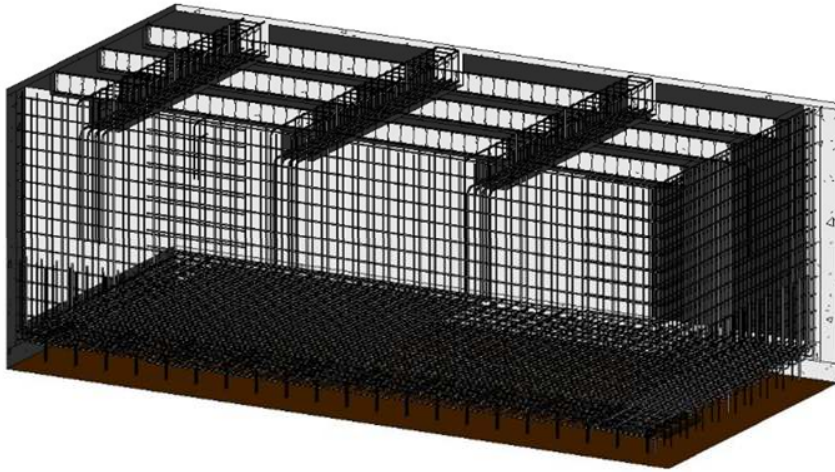


Figura 57. Interior tanque con refuerzo

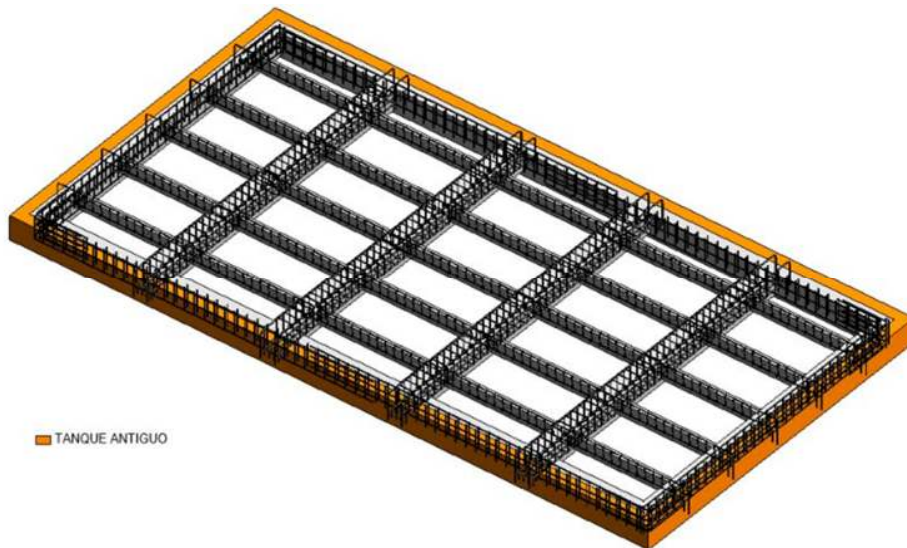


Figura 58. Vigas modelo 3D

14. MÉTODO CONSTRUCTIVO

El tanque sobre tanque consiste en diseñar un nuevo tanque de almacenamiento sobre el existente usándolo como formaleta, el diseño se inicia claramente haciendo su respectivo diseño

estructural y calculando el espesor, ya teniendo el espesor de cada muro: se inician con el primer paso que es:

Rehabilitación del tanque antiguo

Se comienza con la reparación de los revestimientos interiores del tanque utilizando un mortero en proporción 1:4 para restaurar las superficies dañadas.

Impermeabilización inicial de la cara interna del tanque

Se aplica una capa de Igol Denso en la cara interna del tanque para garantizar su impermeabilización inicial.

Preparación para los anclajes

Se realizan los anclajes necesarios en la losa existente, paso previo al armado de los elementos estructurales.

Armado de la losa y los muros

Se lleva a cabo el armado estructural de la losa y los muros conforme a las especificaciones del diseño.

Fundición de la losa

Se procede con la fundición de la losa, permitiendo un período de curado de 7 días para que el concreto alcance la resistencia adecuada antes de continuar.

Construcción de formaletas y apuntalamientos

Se instalan las formaletas para los muros y se colocan apuntalamientos en la cubierta. Esto es esencial porque se realizarán cortes en la cubierta para facilitar el vaciado del concreto en los muros sin desmontar la losa superior.

Fundición de los muros

Con los cortes realizados en la cubierta, se procede al vaciado del concreto en los muros.

Reforzamiento

Los cortes realizados en la cubierta y la losa inferior se refuerzan utilizando epóxico, asegurando estabilidad y durabilidad en las áreas intervenidas.

Impermeabilización de la cara interna del tanque y los muros

Una vez completado el proceso de fundición y reforzamiento, se aplica Sika Mortero 101, preparado con su respectivo adhesivo, en la cara interna de los muros y la losa, garantizando un sellado completo y durable.

Aplicación de pintura impermeable

Como paso final, se aplica una pintura impermeable de color blanco en toda la cara interna del tanque, proporcionando una capa adicional de protección contra filtraciones.

Finalización

Con la impermeabilización completada, el método constructivo se da por terminado, asegurando la funcionalidad estructural, hidráulica y estética del tanque rehabilitado.

15. ANEXOS DE CORRECCIONES QUE HACÍAN FALTAN

15.1. Factor de durabilidad ambiental

El factor de durabilidad ambiental permite obtener una respuesta adecuada para estructuras ambientales, en las cuales la fisuración es el parámetro más importante para el diseño y posterior vida útil de la estructura. Su análisis se realiza teniendo en cuenta que los esfuerzos de estas estructuras, usando los requisitos de los códigos de edificios convencionales, son mayores que lo deseado durante su servicio.

En los numerales C.23-C.9.2 de la NSR-10, se indica que la carga de diseño o carga mayorada debe ser multiplicada por el factor de durabilidad ambiental (S_d), teniendo en cuenta que las consideraciones de durabilidad, impermeabilidad y condiciones de servicio similares prevalecen en el diseño. Esta metodología es la utilizada en el ACI350-06. Su filosofía está basada en el espaciamiento del refuerzo principal como metodología para limitar las fisuras superficiales a un ancho admisible usado en la práctica actual, pero que varía notablemente para cierta estructura; y no debe ser usado en diseños que se realicen bajo la metodología de los esfuerzos admisibles o en combinaciones de carga que incluyan fuerzas sísmicas. En el caso del diseño a cortante, el factor de durabilidad debe ser aplicado al exceso de resistencia a cortante aportado por el refuerzo a cortante únicamente. El factor de durabilidad ambiental se calcula entonces con la siguiente ecuación:

$$S_d = \frac{\phi \cdot f_y}{\gamma \cdot f_s} \geq 1.0$$
$$= 1,34$$

Este esfuerzo f_s , se encuentra limitado por los valores que se indican a continuación, dependiendo de la acción interna a la que esté sometido el elemento; y su valor está directamente especificado en función del espaciamiento usado en el refuerzo principal.

- Esfuerzo de flexión: El esfuerzo f_s calculado en el refuerzo más cercano a la superficie en tensión bajo cargas de servicio, no debe superar los valores que se indican a continuación, pero nunca puede ser mayor a 250MPa.

Para condición de exposición normal:

$$f_{s,adm} = \frac{57000}{\beta \cdot \sqrt{s^2 + 4 \cdot \left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2}} \text{ (MPa)}, \quad = 216,75 \text{ MPa}$$

pero no menor que 140MPa para miembros que trabajan en una dirección, y 170MPa para miembros que trabajan en dos direcciones.

El factor β está definido como la relación entre las distancias del eje neutro a la fibra extrema a tensión al eje neutro y al centroide del refuerzo principal.

$$\beta = \frac{h - c}{d - c}$$

Donde “c” es calculado para cargas de servicio. Es permitido usar para el coeficiente β , 1.2 para elementos cuya altura h , sea mayor que 400mm, y 1.35 para alturas menores a 400mm.

Igualmente, en las anteriores expresiones es permitido usar el valor de 15625 para el término:

$$4 \cdot \left(50 + \frac{d_b}{2}\right)^2$$

15.2. Espectro de diseño

Se tiene en consideración el espectro sísmico de diseño para el modelaje en ETABS para brindar la información más acertada sobre los momentos y la cortante de falla. Como primer paso se clasifica el tipo de zona y sus coeficientes para el cálculo y clasificación del espectro o envolvente de falla:

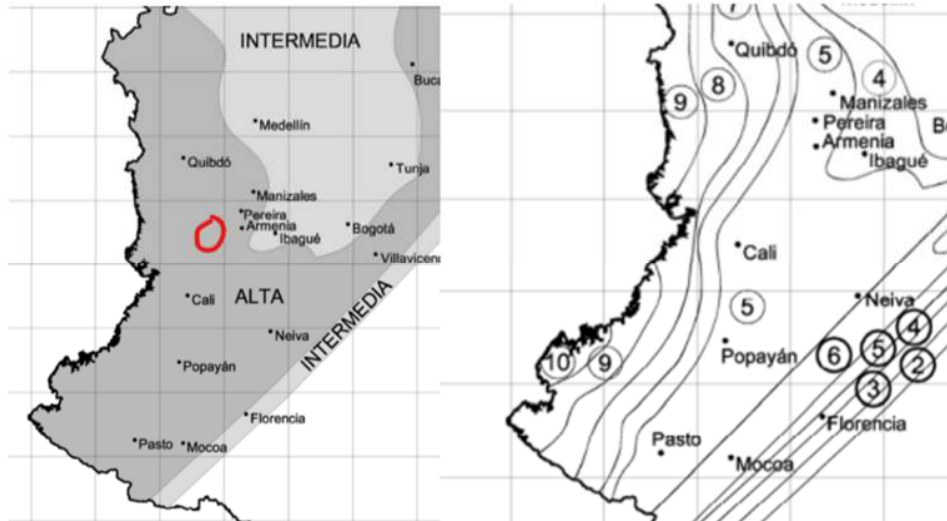


Figura 59. Zona sísmica

Zona de amenaza sísmica (Region 5)

A_a = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva

A_v = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva

Tabla 1

Tabla A.2.2-1
Valores de A_a y de A_v , según las regiones
De los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3

Región N°	Valor de A_a o de A_v
10	0.50
9	0.45
8	0.40
7	0.35
6	0.30
5	0.25
4	0.20
3	0.15
2	0.10
1	0.05

Tabla 34. Valores de A_a y A_v .

Debido al tipo de región N5 Tenemos un Valor de 0,25 para Aa-Av para el municipio de versalles. Dado los valores identifican Fa, Tc, TL, Fv, con la zona 5

Fa = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Fv = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

TC = período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

TL = período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largos.

Microzona	A _a = 0.25		A _v = 0.25		
	T _C	F _a	T _L	F _v	
1	0.55	0.86	3.00	0.99	
2	0.45	1.20	3.00	1.13	
3	1.05	1.36	2.00	2.98	
4a	0.75	1.20	2.00	1.88	
4b	T _C	0.70	1.04	2.50	1.52
	T _L	1.60	0.80	2.50	2.67
4c	T _C	0.45	1.60	2.00	1.50
	T _L	1.50	1.04	2.10	3.25
4d	1.20	0.99	2.00	2.48	
4e	0.95	0.91	3.00	1.81	
5	T _C	0.60	1.12	2.50	1.40
	T _L	1.35	0.83	2.50	2.34
6	1.15	1.09	2.50	2.61	

Tabla 35. Valores Tc TL

Teniendo los datos clasificados según la tabla se procede a definir el coeficiente de importancia:

A.2.5.1.1 — Grupo IV — Edificaciones indispensables — Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno. Este grupo debe incluir:

- (a) Todas las edificaciones que componen hospitales clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias,
- (b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión,
- (c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia,
- (d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos,
- (e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público, y
- (f) En el grupo IV deben incluirse las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.

Figura 60. Edificaciones Indispensables.

Correspondiendo al GRUPO IV edificación indispensable con un coeficiente I = 1.5

Tabla A.2.5-1
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 36. Coeficiente de importancia

Cálculo del espectro elástico

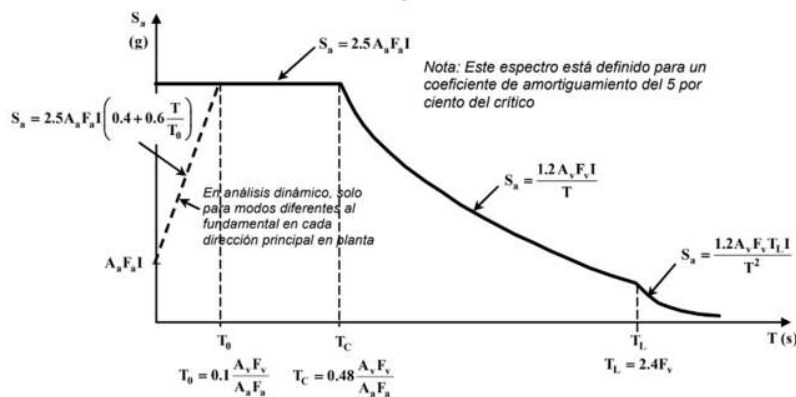


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g
Figura 61. Cálculo espectro elástico

Teniendo clasificado la zona y sus parámetros se procede a generar el espectro, debido a que la zona 5 corresponde a dos categorías se generan dos espectros.

Tc =	0,60	Tc =	1,35
TL=	2,50	TL=	2,50
T	Sa	T	Sa
0,00	1,050	0,00	0,778
0,05	1,050	0,05	0,778
0,10	1,050	0,10	0,778
0,15	1,050	0,15	0,778
0,20	1,050	0,20	0,778
0,25	1,050	0,25	0,778
0,30	1,050	0,30	0,778
0,35	1,050	0,35	0,778
0,40	1,050	0,40	0,778

0,45	1,050	0,45	0,778
0,50	1,050	0,50	0,778
0,55	1,050	0,55	0,778
0,60	1,050	0,60	0,778
0,65	0,969	0,65	0,778
0,70	0,900	0,70	0,778
0,75	0,840	0,75	0,778
0,80	0,788	0,80	0,778
0,85	0,741	0,85	0,778
0,90	0,700	0,90	0,778
0,95	0,663	0,95	0,778
1,00	0,630	1,00	0,778
1,05	0,600	1,05	0,778
1,10	0,573	1,10	0,778
1,15	0,548	1,15	0,778
1,20	0,525	1,20	0,778
1,25	0,504	1,25	0,778
1,30	0,485	1,30	0,778
1,35	0,467	1,35	0,780
1,40	0,450	1,40	0,752
1,45	0,434	1,45	0,726
1,50	0,420	1,50	0,702
1,55	0,406	1,55	0,679
1,60	0,394	1,60	0,658
1,65	0,382	1,65	0,638
1,70	0,371	1,70	0,619
1,75	0,360	1,75	0,602
1,80	0,350	1,80	0,585
1,85	0,341	1,85	0,569
1,90	0,332	1,90	0,554
1,95	0,323	1,95	0,540
2,00	0,315	2,00	0,527
2,05	0,307	2,05	0,514
2,10	0,300	2,10	0,501
2,15	0,293	2,15	0,490
2,20	0,286	2,20	0,479
2,25	0,280	2,25	0,468
2,30	0,274	2,30	0,458
2,35	0,268	2,35	0,448
2,40	0,263	2,40	0,439
2,45	0,257	2,45	0,430
2,50	0,252	2,50	0,421
2,55	0,242	2,55	0,405
2,60	0,233	2,60	0,389

ENVOLVENTE	
<i>T</i>	<i>Sa</i>
0,00	1,050
0,05	1,050
0,10	1,050
0,15	1,050
0,20	1,050
0,25	1,050
0,30	1,050
0,35	1,050
0,40	1,050
0,45	1,050
0,50	1,050
0,55	1,050
0,60	1,050
0,65	0,969
0,70	0,900
0,75	0,840
0,80	0,788
0,85	0,778
0,90	0,778
0,95	0,778
1,00	0,778
1,05	0,778
1,10	0,778
1,15	0,778
1,20	0,778
1,25	0,778
1,30	0,778
1,35	0,780
1,40	0,752
1,45	0,726
1,50	0,702
1,55	0,679
1,60	0,658
1,65	0,638
1,70	0,619
1,75	0,602
1,80	0,585
1,85	0,569
1,90	0,554

1,95	0,540
2,00	0,527
2,05	0,514
2,10	0,501
2,15	0,490
2,20	0,479
2,25	0,468
2,30	0,458
2,35	0,448
2,40	0,439
2,45	0,430
2,50	0,421
2,55	0,405
2,60	0,389
2,65	0,375
2,70	0,361
2,75	0,348
2,80	0,336
2,85	0,324
2,90	0,313
2,95	0,302
3,00	0,293
3,05	0,283
3,10	0,274
3,15	0,265
3,20	0,257
3,25	0,249
3,30	0,242
3,35	0,235
3,40	0,228
3,45	0,221
3,50	0,215
3,55	0,209
3,60	0,203
3,65	0,198
3,70	0,192
3,75	0,187
3,80	0,182
3,85	0,178
3,90	0,173

Este espectro sera puesto en el modelo de estructural de etabs para idenfificar los momentos más criticos en el sistema.



Figura 63. Envolverte de falla

16. CONCLUSIONES

Para concluir este diseño, se puede destacar que a pesar de que la construcción fue realizada en 1992, las estructuras de acero tienen muy buenas capacidades de resistencia, cumpliendo con las normas vigentes de la NSR-10.

Sin embargo, la capacidad mecánica del concreto se ve afectada en el tanque de almacenamiento debido a las condiciones climáticas como la humedad y los ataques de cloruros. Por lo tanto, los ensayos de suelos son fundamentales para conocer el tipo de suelo y determinar cómo actuar sobre él.

Además, la opinión de los expertos es fundamental para plantear diferentes tipos de soluciones, como la construcción de un tanque sobre el tanque existente, la rehabilitación con contrafuertes o la demolición y construcción de un nuevo tanque.

La rehabilitación con contrafuertes del tanque existente es la opción con menor impacto ambiental, generando aproximadamente 15,000 kg de CO₂. Construir un tanque nuevo dentro del

existente produce una huella de carbono intermedia, alrededor de 21,000 kg de CO₂. La demolición y construcción de un tanque completamente nuevo tiene el mayor impacto, emitiendo cerca de 34,000 kg de CO₂, más del doble que la opción de rehabilitación.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la rehabilitación del tanque existente sería la alternativa preferible, ya que minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero.

En base a la matriz de decisión realizada, la opción más viable económica, ambiental y de ejecución es la construcción de un tanque dentro del tanque existente.

Bibliografía

- A, L. G. (2016). *Unniversidad de Carobo*. Obtenido de <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medicion-en-canales-abiert>
- Coduto, D. P. (2001). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Prentice Hall.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (2nd ed.). Pearson.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.