


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN BELLA VISTA EN CANDELARIA, VALLE DEL CAUCA

INFORME PROYECTO DE GRADO

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE INGENIERÍA

2025-1



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 8 |
| 2. OBJETIVOS | 10 |
| 2.1. <i>Objetivo General</i> | 10 |
| 2.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 10 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 12 |
| 4. ALCANCE | 13 |
| 5. MARCO DE REFERENCIA | 15 |
| 5.1. <i>Marco Conceptual</i> | 15 |
| 5.2. <i>Marco Teórico</i> | 16 |
| 5.3. <i>Marco Legal</i> | 17 |
| 5.4. <i>Normativa</i> | 17 |
| 6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 19 |
| 6.1. <i>Aspectos Generales</i> | 19 |
| 6.2. <i>Descripción Física del Proyecto</i> | 19 |
| 6.2.1. Captación – Bocatoma | 19 |
| 6.2.2. Desarenador | 20 |
| 6.2.3. Filtración en Múltiples Etapas | 20 |
| 6.2.4. Tanque de Almacenamiento | 23 |
| 7. INFORMACIÓN REQUERIDA | 25 |
| 7.1. <i>Estudios Previos</i> | 25 |
| 8. METODOLOGÍA | 28 |
| 9. DISEÑO HIDRÁULICO | 30 |
| 9.1. <i>Dotación</i> | 30 |
| 9.2. <i>Sección de máxima eficiencia hidráulica (SMEH)</i> | 32 |
| 9.3. <i>Diseño Bocatoma de Fondo</i> | 35 |
| 9.3.1. <i>Diseño de la Presa</i> | 35 |
| 9.4. <i>Cámara de Excesos</i> | 38 |
| 9.5. <i>Línea de Aducción Bocatoma – Desarenador</i> | 39 |



| | |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 9.6. Desarenador | 39 |
| 9.6.1. <i>Especificaciones de diseño desarenador</i> | 39 |
| 9.6.2. <i>Sedimentación</i> | 40 |
| 9.6.3. <i>Condiciones de operación de los módulos</i> | 41 |
| 9.6.4. <i>Perfil hidráulico</i> | 43 |
| 9.6.5. <i>Tiempo de vaciado del tanque</i> | 45 |
| 9.6.6. <i>Determinación de cotas</i> | 46 |
| 9.7. Filtración en Múltiples Etapas (FiME) | 48 |
| 9.7.1. <i>Filtración Gruesa Dinámica</i> | 48 |
| 9.7.2. <i>Filtración Gruesa Ascendente en Capas</i> | 52 |
| 9.7.3. <i>Filtración Lenta en Arena</i> | 56 |
| 9.8. Tanque de Almacenamiento | 59 |
| 10. TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA | 63 |
| 11. RED DE DISTRIBUCIÓN | 65 |
| 12. DISEÑO ESTRUCTURAL | 68 |
| 12.1. Información General | 68 |
| 12.2. Captación – Bocatoma | 76 |
| 12.2.1. <i>Diseño de acero muro de captación</i> | 76 |
| 12.2.2. <i>Diseño de canal trapezoidal</i> | 79 |
| 12.2.3. <i>Diseño de canal de aducción</i> | 81 |
| 12.2.4. <i>Diseño de cámara de recolección</i> | 82 |
| 12.3. Desarenador | 84 |
| 12.3.1. <i>Muro Largo</i> | 84 |
| 12.3.2. <i>Muro Corto</i> | 96 |
| 12.4. Filtración en Múltiples Etapas | 107 |
| 12.4.1. <i>Filtración gruesa dinámica</i> | 107 |
| 12.4.2. <i>Filtración gruesa ascendente</i> | 119 |
| 12.4.3. <i>Filtración lenta en arena</i> | 131 |
| 12.5. Tanque de Almacenamiento | 143 |
| 12.5.1. <i>Tanque enterrado</i> | 143 |
| 13. MODELACIÓN | 155 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| <i>13.1. Momento Crítico Cámara De Recolección</i> | 155 |
| <i>13.2. Momento Crítico Del Desarenador</i> | 157 |
| <i>13.3. Momento Crítico Del Filtro Grueso Dinámico</i> | 159 |
| <i>13.4. Momento crítico del filtro grueso ascendente.....</i> | 161 |
| <i>13.5. Momento crítico del filtro lento en arena</i> | 163 |
| <i>13.6. Momento crítico del tanque de almacenamiento.....</i> | 165 |
| <i>13.7. Diseño A Cortante</i> | 167 |
| <i>14. PRESUPUESTO</i> | 169 |
| <i>15. CONCLUSIONES.....</i> | 172 |
| <i>16. REFERENCIAS.....</i> | 174 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Topografía de la zona y ubicación de la PTAP | 9 |
| Figura 2. Configuración del tratamiento de agua cruda por tecnología FiME (Galvis, 2000)..... | 20 |
| Figura 3. Esquema isométrico de un FGD _i (Galvis, 2000) | 21 |
| Figura 4. Esquema isométrico de un FGAC (Galvis, 2000)..... | 22 |
| Figura 5. Vista en planta del filtro lento en arena. Fuente: Universidad de Cuenca... | 23 |
| Figura 6. Componentes básicos de una FLA con control a la entrada..... | 56 |
| Figura 7. Disposición de un filtro lento en arena con (n) unidades rectangulares | 59 |
| Figura 8. Red de distribución | 65 |
| Figura 9. Resultados de EPANET..... | 66 |
| Figura 10. Resultados EPANET tubería | 67 |
| Figura 11. Aplicación carga sísmica del suelo..... | 70 |
| Figura 12. Presiones hidrodinámicas..... | 71 |
| Figura 13. Modelo mecánico equivalente masa-Resorte..... | 72 |
| Figura 14. Distribuciones equivalentes de las presiones hidrodinámicas..... | 75 |
| Figura 15. Parámetros iniciales según la NSR- 10..... | 76 |
| Figura 16. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 82 |
| Figura 17. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 84 |
| Figura 18. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 85 |
| Figura 19. Presión hidrostática | 88 |
| Figura 20. Presión hidrodinámica lado largo del desarenador..... | 94 |
| Figura 21. Presión hidrodinámica lado corto del desarenador..... | 95 |
| Figura 22. Carga sísmica del agua en las caras externas de los muros | 95 |
| Figura 23. Carga sísmica del agua en las caras interna de los muros | 96 |
| Figura 24. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 97 |
| Figura 25. Presión hidrostática | 100 |
| Figura 26. Presión hidrodinámica lado largo del desarenador..... | 106 |
| Figura 27. Presión hidrodinámica lado corto del desarenador..... | 106 |
| Figura 28. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 108 |
| Figura 29. Presión hidrostática | 112 |
| Figura 30. Presión hidrodinámica lado largo del filtro dinámico..... | 117 |
| Figura 31. Presión hidrodinámica lado corto del filtro dinámico..... | 118 |
| Figura 32. Carga sísmica del agua cara externa filtro grueso dinámico..... | 118 |
| Figura 33. Carga sísmica del agua cara interna filtro grueso dinámico | 119 |
| Figura 34. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 120 |
| Figura 35. Presión hidrostática | 123 |
| Figura 36. Presión hidrodinámica lado largo del filtro ascendente..... | 129 |
| Figura 37. Presión hidrodinámica lado corto del filtro ascendente..... | 129 |
| Figura 38. Carga sísmica del agua cara externa filtro grueso ascendente..... | 130 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 39. Carga sísmica del agua cara interna filtro grueso ascendente | 130 |
| Figura 40. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 132 |
| Figura 41. Presión hidrostática | 135 |
| Figura 42. Presión hidrodinámica lado largo del filtro lento en arena | 141 |
| Figura 43. Presión hidrodinámica lado corto del filtro lento en arena | 141 |
| Figura 44. Carga sísmica del agua de la cara externa del filtro lento en arena..... | 142 |
| Figura 45. Carga sísmica del agua de la cara interna del filtro lento en arena | 142 |
| Figura 46. Empuje de Suelo Pseudoestático..... | 144 |
| Figura 47. Presión hidrostática | 147 |
| Figura 48. Presión hidrodinámica lado largo del tanque enterrado..... | 152 |
| Figura 49. Presión hidrodinámica lado largo del tanque enterrado..... | 153 |
| Figura 50. Carga sísmica del agua en la cara externa del tanque..... | 153 |
| Figura 51. Carga sísmica del agua en la cara interna del tanque | 154 |
| Figura 52. Momento máximo de la cámara de recolección | 156 |
| Figura 53. Aplicación de la combinación de cargas en condición estática | 156 |
| Figura 54: Momento máximo positivo del desarenador | 158 |
| Figura 55: Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica | 158 |
| Figura 56. Momento máximo positivo del filtro grueso dinámico | 160 |
| Figura 57. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica..... | 160 |
| Figura 58. Momento máximo negativo del filtro grueso ascendente | 162 |
| Figura 59. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica..... | 162 |
| Figura 60. Momento máximo negativo del filtro lento en arena | 163 |
| Figura 61. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica..... | 164 |
| Figura 62. Momento máximo positivo del tanque de almacenamiento | 165 |
| Figura 63. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica..... | 166 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

LISTA DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabla 1: Parámetros del estrato de limo | 25 |
| Tabla 2: Parámetros del estrato de arena | 26 |
| Tabla 3: Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida | 30 |
| Tabla 4: Flujo normal sección de máxima eficiencia hidráulica..... | 34 |
| Tabla 5: Parámetros críticos sección de máxima eficiencia hidráulica..... | 34 |
| Tabla 6. Diseño de caudal | 35 |
| Tabla 7. Parámetro de diseño..... | 40 |
| Tabla 8. Parámetros de diseño de los filtros | 48 |
| Tabla 9: Criterio de diseño para el sistema de filtración gruesa dinámica..... | 49 |
| Tabla 10: Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos..... | 49 |
| Tabla 11: Datos del sistema que se llevará a cabo de filtración gruesa dinámica | 50 |
| Tabla 12: Especificaciones del lecho filtrante recomendado | 50 |
| Tabla 13: Tamaño de gravas | 50 |
| Tabla 14: Actividades diarias de control y mantenimiento | 51 |
| Tabla 15: Actividades periódicas de control y mantenimiento | 51 |
| Tabla 16: Actividades eventuales de control y mantenimiento | 52 |
| Tabla 17: Datos requeridos para el diseño..... | 53 |
| Tabla 18: Criterios de diseño para la filtración gruesa ascendente..... | 53 |
| Tabla 19: Lecho filtrante recomendado para los filtros gruesos ascendentes | 54 |
| Tabla 20: Dimensiones de la caja de filtro | 54 |
| Tabla 21: Pared de la caja de filtro..... | 55 |
| Tabla 22: Tamaño grava | 55 |
| Tabla 23: Actividades diarias de control y mantenimiento | 55 |
| Tabla 24: Criterios de diseño..... | 57 |
| Tabla 25: Datos iniciales | 57 |
| Tabla 26: Dimensiones | 58 |
| Tabla 27: Pared de la caja de filtros (Hf)..... | 58 |
| Tabla 28: Altura de la arena..... | 59 |
| Tabla 29: Tabla del consumo por hora. Fuente: Emcali | 60 |
| Tabla 30: Tanque enterrado..... | 61 |
| Tabla 31: Volumen tanques según el patrón de consumo..... | 62 |
| Tabla 32: Dimensiones tanque enterrado..... | 62 |
| Tabla 33: Valores cálculo de acero | 77 |
| Tabla 34: Iteraciones calculo acero..... | 78 |
| Tabla 35: Distribución acero de refuerzo horizontal | 78 |
| Tabla 36: Distribución acero de refuerzo vertical..... | 79 |
| Tabla 37. Acero de refuerzo para la Cámara de Recolección | 157 |
| Tabla 38. Acero de refuerzo para el desarenador | 159 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**


PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabla 39. Acero de refuerzo para el filtro grueso dinámico..... | 161 |
| Tabla 40. Acero de refuerzo para el filtro grueso ascendente en capas | 163 |
| Tabla 41. Acero de refuerzo para el filtro lento en arena..... | 164 |
| Tabla 42. Acero de refuerzo para el tanque enterrado | 166 |
| Tabla 43. Diseño a cortante | 168 |
| Tabla 44. Ítems presupuestoPTAP Bella vista..... | 169 |
| Tabla 45. Costo total obra..... | 171 |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable de calidad, continua y segura es uno de los pilares fundamentales para garantizar el desarrollo urbano sostenible, la salud pública y el bienestar de las comunidades. En este marco, el presente documento tiene como objetivo principal presentar el diseño hidráulico, estructural, la modelación y el presupuesto detallado de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) destinada a abastecer una nueva urbanización ubicada en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca. Esta urbanización, de carácter mixto, contempla áreas residenciales y comerciales, por lo cual requiere una solución integral de abastecimiento hídrico que sea eficiente, autónoma, escalable y conforme a la normativa vigente.

La urbanización proyectada no cuenta actualmente con conexión a una red de acueducto público, lo que hace indispensable el desarrollo de una planta de tratamiento propia. La propuesta técnica considera una secuencia de estructuras hidráulicas y sanitarias que incluyen: una bocatoma de fondo sobre una fuente superficial, una línea de aducción, un desarenador, un sistema de filtración en múltiples etapas (FiME), un tanque de almacenamiento subterráneo y una red de distribución.

El diseño se fundamenta en criterios técnicos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2020, los cuales definen parámetros hidráulicos, sanitarios y estructurales mínimos para cada componente del sistema. Adicionalmente, se tendrán en cuenta aspectos geográficos, topográficos y ambientales del terreno, así como la caracterización de la fuente hídrica seleccionada. La planta tendrá capacidad para atender una población proyectada de 1.415 habitantes, con una dotación de 130 litros por habitante al día, y será diseñada para operar bajo condiciones máximas de demanda, garantizando reservas estratégicas para el abastecimiento continuo.

En el marco del desarrollo del presente proyecto, se integrarán herramientas avanzadas de modelación y diseño asistido por computador, lo cual permitirá simular el comportamiento del sistema, prever interferencias constructivas, optimizar la operación y facilitar la futura ejecución de las obras. Así mismo, se elaborará un presupuesto detallado que contemple



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

materiales, mano de obra, equipos y tiempos de ejecución, con el fin de proporcionar una base sólida para la toma de decisiones a nivel constructivo y financiero.

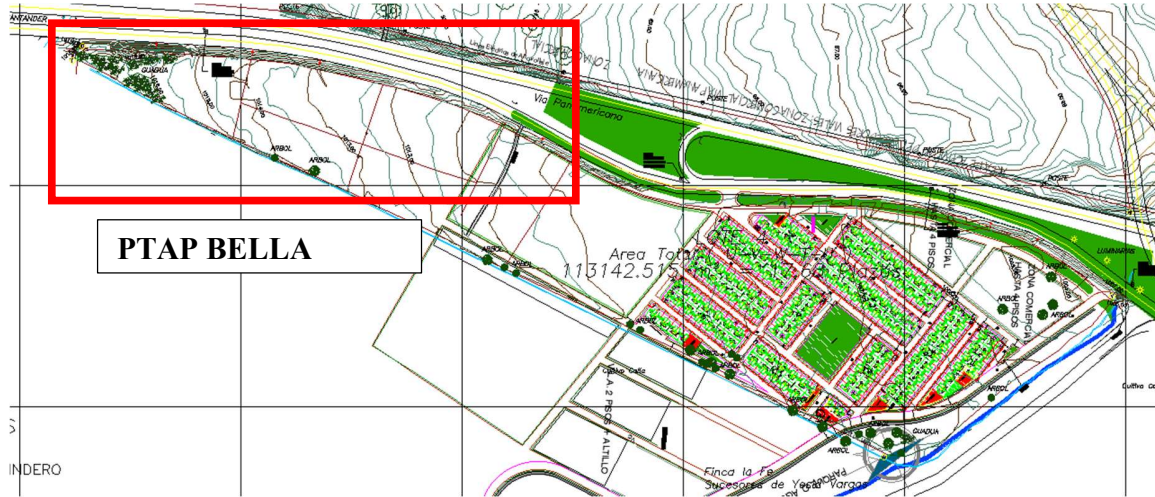



Figura 1. Topografía de la zona y ubicación de la PTAP

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo General*

- Diseñar la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para el municipio de Candelaria, en el departamento del Valle del Cauca, mediante el desarrollo de los componentes hidráulico, estructural, modelación y presupuesto detallado para la ejecución del proyecto. Esta PTAP estará conformada por las siguientes unidades operativas: bocatoma de fondo, línea de aducción, desarenador, sistema de filtración en múltiples etapas (FiME) compuesto por tres filtros, tanque de almacenamiento subterráneo y red de distribución.

2.2. *Objetivos Específicos*

- Diseñar el sistema de captación a través de una bocatoma de fondo, asegurando condiciones óptimas de caudal, accesibilidad, estabilidad estructural y protección frente a eventos hidrometeorológicos extremos.
- Definir e implementar la línea de aducción entre la bocatoma y el sistema de pretratamiento, garantizando pérdidas mínimas de energía y continuidad hidráulica bajo condiciones de máxima demanda.
- Dimensionar y modelar el desarenador, de acuerdo con los lineamientos del RAS 2020, para remover eficientemente sólidos gruesos presentes en el agua cruda.
- Diseñar el sistema de filtración en múltiples etapas (FiME) como proceso principal de potabilización, aplicando criterios de eficiencia hidráulica y calidad del agua.
- Diseñar el tanque de almacenamiento enterrado, con capacidad suficiente para garantizar la reserva operativa, las necesidades de consumo y el cumplimiento de presiones mínimas en la red.
- Diseñar y modelar la red de distribución, asegurando cobertura total, presiones adecuadas y compatibilidad con la expansión futura del sistema.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**


PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

- Realizar la modelación hidráulica y estructural de todos los componentes del sistema, mediante software especializado, para anticipar condiciones críticas y optimizar el diseño.
- Elaborar el presupuesto detallado del proyecto, incluyendo costos de obra civil, materiales, equipos, mano de obra y cronograma de ejecución.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |


3. JUSTIFICACIÓN

El diseño y construcción de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para una nueva urbanización ubicada en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca, responde a la necesidad de garantizar el suministro continuo, autónomo y con calidad regulada de agua potable para una comunidad en expansión, que incluirá áreas residenciales y comerciales. En cumplimiento de lo establecido en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2020), toda solución habitacional que no se conecte a un sistema público debe implementar infraestructura propia que asegure cobertura, continuidad, calidad y presión del servicio (RAS, Título B, Cap. II).

La zona proyectada no cuenta actualmente con redes públicas de acueducto con capacidad suficiente, por lo cual es indispensable diseñar una solución integral que incluya captación, tratamiento y distribución. La fuente de agua seleccionada posee caudal suficiente y condiciones que permiten la aplicación de tecnologías sostenibles, como la filtración en múltiples etapas (FiME), la cual ha demostrado ser eficaz en contextos rurales y urbanos en expansión, al reducir turbiedad, color y carga microbiológica sin requerir procesos químicos complejos.

El crecimiento demográfico según el Censo Nacional de población y Vivienda (CNPV 2018), el Municipio de Candelaria contaba con 93.183 habitantes para el año 2019, según la proyección de la población hasta el año 2035 indica un crecimiento poblacional del 5.3%, lo cual incrementa la presión sobre la infraestructura existente y demanda nuevos desarrollos habitacionales dotados de soluciones autosuficientes. La PTAP propuesta permitirá atender una población inicial de 1.415 habitantes, con proyección de crecimiento.

Además de los beneficios sanitarios, contar con una PTAP propia fortalece la autonomía operativa del desarrollo urbano, reduce la dependencia de operadores externos y mejora la eficiencia en costos a largo. Desde una perspectiva ambiental, la solución propuesta es compatible con los principios de economía circular y uso racional del recurso hídrico, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 6: Agua limpia y saneamiento (ONU, 2015).

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

4. ALCANCE


El proyecto busca garantizar el abastecimiento continuo de agua potable a la población proyectada, cumpliendo con los requisitos normativos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2020), la resolución 0330 2017 y la resolución que la modifica la 799 2021, al igual que la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10), para todo el diseño estructural.

En cuanto al componente hidráulico, se realizará el diseño detallado de cada unidad. Para la bocatoma de fondo, se llevará a cabo el dimensionamiento de la estructura de captación directa desde el cauce del río, asegurando la continuidad del flujo ecológico y considerando el caudal de diseño. Esta estructura incluirá el diseño de las rejillas y el canal de aducción.

La línea de aducción que conecta la bocatoma con el desarenador será diseñada considerando el caudal máximo horario, pérdidas por fricción, tipo de material de la tubería y todos los accesorios hidráulicos necesarios para su correcta operación. El desarenador, por su parte, será diseñado para remover partículas de más de 0.2 mm de diámetro, a través de un canal de sedimentación con flujo controlado, y se calcularán los tiempos de detención, velocidades límite y eficiencia de remoción en función de las características del agua cruda.


Posteriormente, el agua pasará por un sistema de filtración en múltiples etapas (FiME), compuesto por tres filtros: un filtro grueso dinámico, un filtro grueso ascendente y un filtro lento de arena. Cada uno de estos filtros será diseñado considerando sus tasas de filtración específicas, tiempos de retención, velocidades de percolación y pérdidas de carga admisibles, además del análisis de remoción esperada de sólidos suspendidos, turbiedad y coliformes. Este sistema será complementado por un tanque de almacenamiento enterrado. El tanque almacenará el agua tratada antes de su distribución y será diseñado para garantizar la reserva diaria, el tiempo de retención adecuado y la protección sanitaria del recurso.

El último componente del sistema será la red de distribución, diseñada mediante modelación computacional utilizando software especializado como EPANET. Esta red considerará la topografía del terreno, los puntos de consumo, los nodos de presión crítica, y el cumplimiento de presiones mínimas y máximas según RAS 2020.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

El componente estructural incluirá el diseño de todas las estructuras en concreto reforzado, conforme a la NSR-10 y el ACI 318. Se analizarán cargas muertas, vivas, presión hidrostática, sísmicas y presión del suelo, según corresponda. Las estructuras por diseñar serán, el desarenador, los filtros, el tanque enterrado y las cámaras de conexión entre unidades. Se desarrollarán memorias de cálculo estructural y planos detallados para la ejecución de cada elemento, incluyendo las cantidades de obra y tipos de refuerzo de acero. Para garantizar la coherencia y funcionalidad del diseño, se llevará a cabo la modelación digital del sistema mediante herramientas como AutoCAD Civil 3D y SAP2000. Esta modelación permitirá integrar los aspectos hidráulicos y estructurales, prever interferencias entre componentes, optimizar el espacio y simular el comportamiento físico del sistema completo bajo diferentes escenarios de operación. Asimismo, la modelación de la red de distribución permitirá prever el comportamiento de presiones, velocidades y pérdidas de carga, así como optimizar los diámetros de las tuberías.

Finalmente, se elaborará el presupuesto detallado del proyecto, que incluirá todas las cantidades de obra necesarias para la construcción de la planta. Se desglosarán los costos de materiales, mano de obra, equipos, transporte y administración. También se incluirán los costos indirectos y la utilidad del contratista, proporcionando una visión integral de los recursos económicos necesarios para el desarrollo de la obra.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |


5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco Conceptual

La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) diseñada para la zona de Bella Vista, en el municipio de Candelaria (Valle del Cauca), tiene como objetivo garantizar el acceso a agua potable de calidad a la población beneficiaria, a través de procesos físicos que eliminan impurezas presentes en el agua cruda proveniente de fuentes superficiales.

El sistema propuesto está compuesto por una bocatoma, un desarenador, una batería de filtros FIME, y un tanque de almacenamiento. Cada una de estas unidades cumple una función específica dentro del tratamiento:

- **Bocatoma:** estructura de captación que permite conducir el agua desde la fuente hasta la planta. Se diseñó garantizando condiciones de ingreso controladas, minimizando sólidos grandes y facilitando el ingreso al sistema.
- **Desarenador:** elimina partículas sedimentables como arenas y limos. Su diseño permite una velocidad de flujo que favorece la sedimentación de partículas de hasta 0.2 mm de diámetro, protegiendo las unidades posteriores de desgaste y obstrucción.
- **Filtros FIME (Filtros Modulares Eficientes):** unidad central del tratamiento, encargada de remover turbidez, sólidos suspendidos y partículas finas. El lecho filtrante fue dimensionado para mantener velocidades adecuadas y una pérdida de carga dentro de los límites permitidos, garantizando eficiencia operativa y calidad del agua.
- **Tanque de almacenamiento:** estructura diseñada para regular el suministro, almacenar el agua tratada y permitir una presión mínima en la red de distribución. Su volumen considera las variaciones horarias del consumo y posibles necesidades de reserva.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |


El diseño hidráulico y estructural de cada unidad fue realizado conforme a proyecciones de población, dotación per cápita y demanda futura, asegurando funcionalidad, eficiencia y sostenibilidad.

5.2. *Marco Teórico*

El tratamiento del agua potable se basa en una secuencia de procesos físicos que permiten remover contaminantes y garantizar la calidad microbiológica, física y química del recurso hídrico. Los fundamentos teóricos que soportan este diseño incluyen:

- **Captación:** corresponde a la toma directa de agua desde una fuente natural. Se busca garantizar un ingreso estable con flujo constante y sin turbulencias excesivas, utilizando estructuras que minimicen la entrada de residuos sólidos.
- **Sedimentación:** proceso en el cual las partículas más pesadas se depositan por acción de la gravedad. El diseño del desarenador considera parámetros como velocidad de sedimentación, tiempo de retención y sección hidráulica, asegurando la eficiencia en la remoción de sólidos sedimentables.
- **Filtración:** operación donde el agua pasa a través de un medio granular (como arena y grava) que retiene las partículas más pequeñas. Se sustenta en la teoría de la filtración en medios porosos, donde se combinan mecanismos como colisión, atrapamiento y adsorción. Los filtros FIME permiten un mantenimiento más sencillo y son aptos para zonas rurales y semiurbanas.
- **Almacenamiento:** asegura el abastecimiento continuo, compensa variaciones en el consumo y facilita la distribución posterior. El volumen útil del tanque se calcula considerando el consumo diario, el caudal horario máximo y las reservas para emergencias.

A lo largo del diseño, se aplicaron criterios de hidráulica de canales, mecánica de fluidos, transferencia de masa y principios de diseño de estructuras hidráulicas, garantizando la funcionalidad de cada componente bajo condiciones reales de operación.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

5.3. *Marco Legal*

El diseño y planeación de sistemas de abastecimiento de agua potable en Colombia se rige por un marco legal que garantiza el acceso equitativo al recurso, su uso racional y la preservación de la salud pública. Las principales normas legales que sustentan este proyecto son:


- **Constitución Política de Colombia (Artículo 79):** reconoce el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente.
- **Ley 142 de 1994:** establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el suministro de agua potable como un servicio esencial, regulado y vigilado por entidades del Estado.
- **Ley 99 de 1993:** crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y otorga competencias al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la gestión del recurso hídrico.
- **Ley 373 de 1997:** promueve el uso eficiente y ahorro del agua, obligando a los municipios a formular planes para reducir el consumo y optimizar la infraestructura.
- **Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional):** regula los aspectos sanitarios del suministro de agua para consumo humano, incluyendo condiciones mínimas de calidad y responsabilidad institucional.

Este marco legal sustenta la necesidad y obligatoriedad de construir y operar sistemas de tratamiento que garanticen agua segura para toda la población.

5.4. *Normativa*

El diseño de la PTAP se desarrolló en conformidad con los reglamentos técnicos y normativos vigentes en Colombia, entre los cuales se destacan:


- **RAS 2000 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico):**
Establece los criterios técnicos mínimos de diseño para sistemas de captación,

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable. Regula aspectos como:

- Tiempos de retención mínimos.
 - Velocidades máximas de flujo.
 - Requisitos estructurales y operativos.
 - Parámetros de calidad exigidos en cada etapa.
- **Decreto 1575 de 2007:** Crea el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Establece el control sanitario de los sistemas de tratamiento y distribución.
 - **Resolución 2115 de 2007:** Define los valores máximos permisibles para parámetros microbiológicos, físicos y químicos del agua potable. Obliga a realizar muestreos periódicos y monitoreo continuo de la calidad del agua tratada.
 - **NSR-10 (Norma Sismo Resistente Colombiana):** Establece los requisitos técnicos para el diseño y construcción de edificaciones seguras frente a cargas gravitacionales y sísmicas. Su objetivo principal es proteger la vida humana mediante estructuras que resistan adecuadamente eventos sísmicos.

El cumplimiento de estas normas garantiza la viabilidad técnica y legal del proyecto, así como la calidad del agua entregada a los usuarios.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

6.1. Aspectos Generales

El tratamiento del agua potable tiene como objetivo eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua cruda para que cumpla con los estándares de calidad establecidos para el consumo humano. Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) está compuesta por diversas etapas diseñadas para optimizar la calidad del agua en términos físicos, químicos y biológicos.

El diseño de una PTAP debe considerar parámetros como la calidad del agua cruda, la demanda poblacional y las normativas locales e internacionales. Este informe aborda los componentes fundamentales: dotación, sección de máxima eficiencia hidráulica, captación, desarenador, filtración en múltiples etapas (FiME) y un tanque elevado de almacenamiento.

6.2. Descripción Física del Proyecto

6.2.1. Captación – Bocatoma

La captación es la estructura inicial encargada de extraer el agua cruda de su fuente, ya sea superficial (ríos, lagos o embalses) o subterránea (pozos o manantiales). Su objetivo principal es garantizar un suministro constante de agua cruda a la PTAP, evitando la entrada de sólidos grandes o fluctuaciones de caudal que puedan afectar el rendimiento del sistema. Entre los elementos importantes de diseño están las rejas de protección, estructuras de regulación y la capacidad para manejar caudales máximos y mínimos.

Para el proyecto la captación se ubica sobre el río Quilichao, específicamente a una cota aproximada de 1019 m s. n. m. Esta ubicación fue seleccionada gracias a la facilidad de acceso y condiciones topográficas favorables para el desarrollo del proyecto, esta ubicación permite garantizar un caudal suficiente y continuo.

Inicialmente, la excavación para la cimentación de la estructura alcanzará una profundidad de 0.3 metros, la cual será posteriormente ajustada hasta alcanzar la altura requerida según el



diseño hidráulico y estructural definitivo, esta profundidad permite tener un control por medio de una compuerta de cierre tipo cuchilla.

6.2.2. Desarenador

El desarenador es una unidad diseñada para remover partículas suspendidas de mayor densidad, como arena y grava, que podrían causar daños o desgaste en los equipos de tratamiento posteriores. Su funcionamiento se basa en la sedimentación gravitacional, donde las partículas más pesadas se depositan debido a la acción de la gravedad. Para su diseño, se consideran aspectos como la velocidad del flujo, el tiempo de retención y las dimensiones que eviten la turbulencia y optimicen la sedimentación.

6.2.3. Filtración en Múltiples Etapas

La filtración en múltiples etapas (FIME) es un sistema eficiente de tratamiento que combina diferentes procesos físicos y biológicos para eliminar partículas suspendidas y contaminantes del agua. Este método incluye un pretratamiento mediante sedimentación o filtración gruesa seguido de una filtración más fina, utilizando materiales como grava, arena y medios biológicos.

El diseño de un sistema FIME se basa en el uso secuencial de filtros de distintas características que garantizan una eliminación gradual de partículas, reduciendo la carga en las etapas posteriores. Este sistema tiene la ventaja de ser adaptable a diferentes condiciones de agua cruda, ofreciendo una solución económica y sostenible, especialmente en áreas rurales.

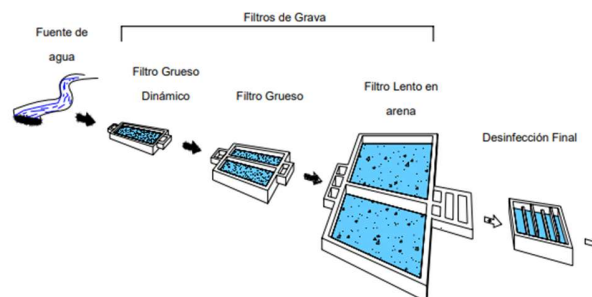


Figura 2. Configuración del tratamiento de agua cruda por tecnología FiME (Galvis, 2000)



6.2.3.1. Filtración Gruesa Dinámica

La filtración gruesa dinámica (FGDi) es un proceso de tratamiento de agua diseñado para la remoción eficiente de partículas suspendidas y sólidos de gran tamaño presentes en aguas superficiales o residuales. A diferencia de los métodos de filtración convencionales, que suelen funcionar de manera estática y continua, la FGDi opera mediante un sistema dinámico que permite un mayor rendimiento hidráulico y una limpieza automática del medio filtrante.

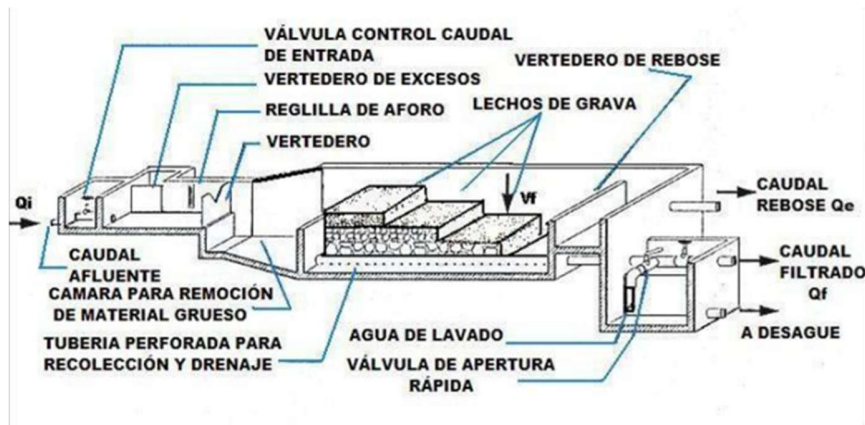


Figura 3. Esquema isométrico de un FGD (Galvis, 2000)

6.2.3.2. Filtración Gruesa Ascendente en Capas

La filtración ascendente en capas o filtración en gravas de flujo ascendente (FGAC) es una técnica empleada en la filtración en múltiples etapas, caracterizada por la interacción de procesos físicos, fisicoquímicos y biológicos en las capas del material filtrante. Esta tecnología aprovecha el flujo ascendente del agua a través de un lecho de gravas, permitiendo que las partículas suspendidas sean atrapadas de manera progresiva en las diferentes capas.

Una característica importante del FGAC es el uso de mantas sobre la superficie del lecho filtrante, las cuales facilitan el crecimiento controlado de algas y otros organismos biológicos. Esto contribuye a la formación de una biopelícula que potencia la retención de contaminantes, mejorando la eficiencia del proceso. Al realizar la limpieza de la unidad, este material biológico es fácilmente removido, simplificando el mantenimiento del sistema.



Un FGAC está compuesto principalmente por:

- Cámaras de filtración (compartimientos)
- Accesorios de regulación y control
- Estructura de entrada y salida
- Sistema de drenaje
- Lecho filtrante
- Rebose

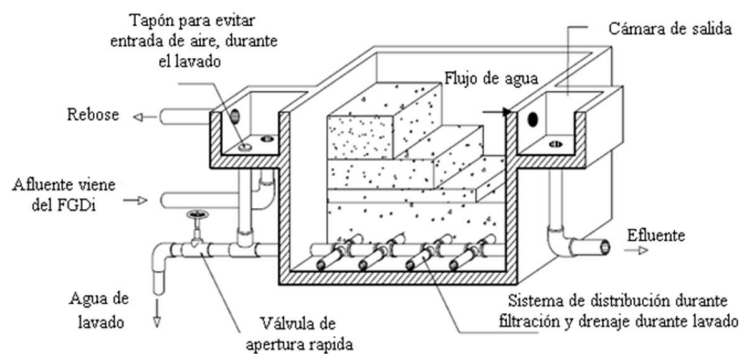


Figura 4. Esquema isométrico de un FGAC (Galvis, 2000)

6.2.3.3. Filtración lenta en arena

Una unidad de Filtro Lento de Arena (FLA) consiste en una estructura que integra un lecho filtrante, una capa de agua sobrenadante, un sistema de drenaje y un mecanismo de control de flujo. El tratamiento del agua mediante un FLA resulta de la interacción compleja de procesos biológicos y fisicoquímicos.

En estas unidades, la materia orgánica e inorgánica ingresa junto con el flujo de agua sin tratar o previamente tratada, que atraviesa el lecho filtrante por efecto de la gravedad, impulsada por la presión ejercida por la capa de agua sobrenadante ubicada sobre el lecho de arena. Durante este proceso, la fotosíntesis favorece el desarrollo de algas que generan materia orgánica adicional, incrementando la carga de nutrientes disponibles. Esta fuente de nutrientes estimula el crecimiento de bacterias y otros microorganismos que contribuyen a la



eliminación de compuestos solubles presentes en el agua a medida que atraviesa el medio filtrante.

El lecho filtrante funciona como una unidad de purificación biológica, reteniendo materia orgánica y promoviendo la actividad de organismos aeróbicos como el zooplancton y otros componentes de la biomasa. Estos organismos consumen oxígeno de manera constante, lo que genera una demanda continua de oxígeno proveniente del agua, razón por la cual es esencial mantener un flujo constante dentro del sistema para garantizar su funcionamiento efectivo y sostenible.

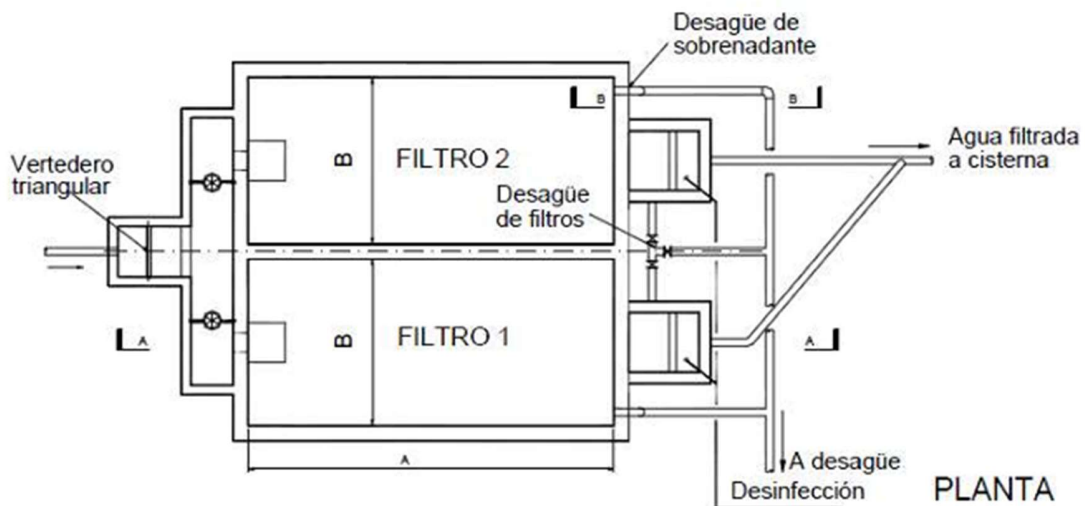



Figura 5. Vista en planta del filtro lento en arena. Fuente: Universidad de Cuenca

6.2.4. Tanque de Almacenamiento

El sistema de almacenamiento de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) diseñada para Candelaria, Valle del Cauca, cumple una función fundamental en la regulación del suministro y en la optimización del proceso de distribución. Este sistema está compuesto por un tanque enterrado que almacenará el agua tratada antes de ser impulsada hacia la red de abastecimiento de Candelaria.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Una vez tratada el agua, esta es almacenada en el tanque enterrado, el cual está diseñado para contener el volumen total requerido para el abastecimiento de la población de Candelaria. Desde este tanque, el agua es bombeada hacia el sistema de distribución, lo que permite un control preciso de la presión y el caudal, asegurando un suministro continuo y confiable, incluso durante fluctuaciones de demanda o interrupciones del servicio eléctrico.

El diseño de ambos tanques se basó en un análisis detallado de la demanda poblacional, el caudal de diseño y los tiempos de retención necesarios para mantener la calidad óptima del agua tratada. Además, se consideraron las necesidades específicas de consumo de la población, garantizando un suministro adecuado y eficiente. Esta configuración optimiza los costos operativos al evitar la necesidad de bombeo continuo y proporciona mayor seguridad frente a contingencias operativas.



7. INFORMACIÓN REQUERIDA

7.1. Estudios Previos

Se efectuaron un total de doce (12) sondeos por el sistema de perforación mecánico a percusión, denominados P-1 a P-12, localizados distribuidos en todo el predio objeto de estudio.

Los sondeos se llevaron hasta profundidad de 6.00 m, la cual abarca hasta el límite de incidencia de las cargas que gravitarán sobre la fundación de las viviendas proyectadas.

A través de ellos se tomaron muestras del subsuelo, tanto de tipo alterado como inalterado, se describió la estratigrafía encontrada, se midió la posición del nivel freático, se efectuaron pruebas en el sitio del tipo penetración estándar (ASTM D1586) y se tomaron lecturas de penetrómetro (Pocket Penetrometer). El muestreo y las pruebas de penetración se llevaron a cabo a intervalos de 1.00 a 1.50 mts de profundidad.

Las muestras de tipo alterado se obtuvieron aprovechando el recobro de la cuchara partida muestreadora (Split Spoon Sampler) utilizada en las pruebas de penetración. Las de tipo inalterado se lograron usando tubos de pared delgada (Shelby) Ø 2 pulg. Para garantizar una adecuada inalterabilidad de la muestra la relación de áreas en el tubo muestreador es inferior al 10%, en la **Tabla 1** se mostrarán los parámetros obtenidos del estrato de limo y en la **Tabla 2** los parámetros del estrato de arena.

Tabla 1: Parámetros del estrato de limo

| Muestra (1) | qu (Kg/cm ²) (2) | Cu (Kg/cm ²) (3) | W (%) (4) | IL (5) | γ (Ton/m ³) (6) | e (7) | Pc (Kg/cm ²) (8) | Eu (Kg/cm ²) (9) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| P-1 (2.00–2.50) | 0.81 | 0.40 | 36.2 | 0.18 | 1.73 | 1.08 | +3.0 | 120 |
| P-2 (1.00–1.50) | 1.22 | 0.61 | 32.9 | 0.17 | 1.81 | 0.94 | +3.0 | 183 |
| P-3 (3.50–4.00) | 1.08 | 0.54 | 34.9 | 0.11 | 1.79 | 0.99 | +3.0 | 162 |
| P-4 (3.50–4.00) | 1.15 | 0.57 | 38.6 | 0.08 | 1.80 | 1.04 | +3.0 | 171 |
| P-5 (1.00–1.50) | 1.25 | 0.62 | 27.2 | 0.11 | 1.83 | 0.84 | +3.0 | 186 |
| P-6 (2.00–2.50) | 1.58 | 0.79 | 30.2 | - 0.04 | 1.87 | 0.84 | +3.0 | 237 |
| P-7 (3.50–4.00) | 1.18 | 0.59 | 24.5 | - 0.03 | 1.82 | 0.81 | +3.0 | 177 |
| P-8 (2.00–2.50) | 1.02 | 0.51 | 27.6 | 0.18 | 1.79 | 0.89 | +3.0 | 53 |



| Muestra (1) | qu (Kg/cm ²) (2) | Cu (Kg/cm ²) (3) | W (%) (4) | IL (5) | γ (Ton/m ³) (6) | e (7) | Pc (Kg/cm ²) (8) | Eu (Kg/cm ²) (9) |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| P-9 (1.00–1.50) | 1.33 | 0.66 | 32.2 | - 0.12 | 1.85 | 0.89 | +3.0 | 198 |
| P-10 (1.00–1.50) | 1.22 | 0.61 | 36.3 | 0.13 | 1.80 | 1.00 | +3.0 | 183 |
| P-11 (3.50–4.00) | 1.08 | 0.54 | 21.9 | - 0.21 | 1.81 | 0.78 | +3.0 | 162 |
| P-12 (3.50–4.00) | 0.85 | 0.42 | 27.8 | 0.25 | 1.77 | 0.91 | +3.0 | 126 |

Su resistencia a la compresión inconfiada varía entre 0.81 y 1.58 Kg/cm², estimándose una resistencia al corte en condición no drenada que varía entre 0.40 y 0.79 Kg/cm². Su peso unitario varía entre 1.73 y 1.85 Ton/m³.

Tabla 2: Parámetros del estrato de arena

| Profundidad (m) | N (golp/pie) | Ø (°) | Dr (%) | γ (ton/m ³) | Compacidad |
|-----------------|--------------|-------|--------|-------------------------|------------|
| 1.50 | 8 (6) | 28 | 30 | 1.7–1.8 | Baja |
| 3.00 | 12 (11) | 32 | 38 | 1.8–1.9 | Media |
| 4.50 | 17 | 33 | 55 | 1.8–1.9 | Media |
| 5.50–6.00 | 18 (14) | 33 | 55–60 | 1.8–1.9 | Media |

Se trata de arenas de compacidad desde baja hasta media. Su resistencia a la penetración estándar (N) promedia fluctúa entre 8 y 18 golpes/pie, con registros mínimos entre 6 y 14 golpes/pie. Su ángulo de fricción interna (Ø) se estima entre 28° y 33°, con una densidad relativa (Dr) entre el 30% y el 60%.

Con los datos del estudio de suelos, se realizó un análisis de capacidad de carga del suelo utilizando la ecuación de Terzaghi:

Donde se consideraron los siguientes valores:

- Cohesión del suelo (c) = 59.5 kPa
- Ángulo de fricción interna (ϕ) = 32°
- Profundidad de cimentación (Df) = 1.5 m
- Peso unitario del suelo (γ) = 18.5 kN/m³
- Factores de capacidad de carga: $N_c = 37.163$, $N_q = 22.456$, $N_\gamma = 19.129$
- Factor de seguridad (FS) = 3



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**


PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Con estos datos, se obtuvo una capacidad de carga última (q_u) de **3011.30 kPa**, y al aplicar el factor de seguridad de 3, la capacidad de carga admisible (q_{all}) resultante fue de **1003.77 kPa**, garantizando un diseño seguro para la cimentación de la PTAP.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

8. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo del diseño hidráulico, estructural, la modelación y el presupuesto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) se estructura en cinco fases principales, que integran el enfoque técnico, normativo y de gestión del proyecto. A continuación, se describe cada una:

Fase 1. Diagnóstico y recopilación de información

Objetivo: Obtener, sistematizar y analizar la información básica necesaria para el diseño de la PTAP.

Actividades:


- Revisión de estudios previos del área (hidrográficos, topográficos, urbanísticos).
- Visitas técnicas de campo para el reconocimiento del terreno y la fuente de captación.
- Levantamiento topográfico georreferenciado del terreno y trazado de la red.
- Estudio de suelos para diseño de cimentaciones.

Fase 2. Diseño hidráulico y sanitario

Objetivo: Dimensionar cada uno de los componentes hidráulicos del sistema de tratamiento y distribución.

Actividades:

- Cálculo de caudales de diseño: caudal medio, máximo diario y horario.
- Diseño de la bocatoma de fondo considerando niveles de captación y caudales de entrada.
- Cálculo hidráulico de la línea de aducción (longitud, diámetro, pérdidas de carga).
- Diseño del desarenador y criterios de sedimentación conforme al RAS 2020.
- Cálculo y diseño del sistema de filtración en múltiples etapas (FiME).
- Diseño del tanque de almacenamiento subterráneo con capacidad operativa y reserva.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

- Trazado, cálculo de presiones y pérdidas en la red de distribución.

Fase 3. Diseño estructural

Objetivo: Garantizar la estabilidad, seguridad y durabilidad de las estructuras civiles del sistema.

Actividades:

- Identificación de cargas permanentes, accidentales y sismo-resistentes según NSR-10.
- Selección de materiales y configuración geométrica de las estructuras.
- Modelado estructural en software especializado (Ej. SAP2000, ETABS).
- Diseño de cimentaciones, muros, losas, columnas y estructuras de retención.

Fase 4. Modelación y simulación del sistema

Objetivo: Verificar el comportamiento hidráulico y estructural mediante herramientas de simulación.

Actividades:


- Modelación de flujo en condiciones normales y de máxima demanda.
- Simulación de presiones y velocidades en la red con software como EPANET.
- Verificación de funcionamiento del sistema FiME ante variabilidad de caudales.
- Análisis estructural de cargas y esfuerzos en elementos de concreto reforzado.

Fase 5. Presupuesto y memoria final

Objetivo: Establecer los costos.

Actividades:

- Elaboración de listado de cantidades de obra por ítem y unidad constructiva.
- Cotización de materiales, equipos y mano de obra según precios de mercado.
- Formulación de presupuesto detallado y global.
- Redacción de la memoria técnica final del proyecto con anexos normativos y planos.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

9. DISEÑO HIDRÁULICO

9.1. Dotación

Inicialmente, se presenta la dotación, se refiere a la cantidad de agua potable asignada diariamente por persona para satisfacer sus necesidades básicas, incluyendo consumo, higiene y actividades domésticas. Según el Título B del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), la dotación varía dependiendo del tipo de población, clima, nivel de desarrollo y características del área servida, asegurando un suministro adecuado y sostenible para la comunidad.

Teniendo en cuenta que dentro del urbanismo cuenta con zonas residenciales y comerciales, se realiza el respectivo cálculo de la dotación.

Cálculo dotación zona residencial

Teniendo en cuenta el recuento del número de apartamentos, teniendo en promedio 5 personas por apartamento, resulta con un numero de 1415 personas en total de la zona.

La dotación neta es dada por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio, en la resolución 330 articulo 43, donde según la altura sobre el nivel del mar recomienda una dotación, debido que la zona se encuentra entre los 1000 y 2000 m.s.n.m. se toma 130 L/HAB*DIA

Tabla 3: Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

| ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA | DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA) |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| > 2000 m s. n. m. | 120 |
| 1000 – 2000 m s. n. m. | 130 |
| < 1000 m s. n. m. | 140 |


Para la dotación bruta se realiza la siguiente formula

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{(1 - \%p)}$$

Donde,

Dbruta: Dotación bruta

dneta: Dotación neta

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

%p: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño. Se toma un 20%

Resultando así un total de 162.5 Lt/día

Cálculo dotación zona comercial

Para un área total de 7005.115 m² en zonas comerciales, y siguiendo el valor recomendado por la RAS, se toma para zonas comerciales un valor de 6 L/m²/día, consiguiendo así un total de 42030.69 Lt/día, pasando a segundos resulta 0.486 Lt/s

Cálculo de Caudal Medio Diario

El caudal medio diario, Qmd, resulta al promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año. Siguiendo la ecuación dada por la RAS artículo 2.8.3.1 se obtiene la siguiente ecuación.

$$Qmd = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$$

Siendo p representado por el número de habitantes proyectado anteriormente.

Con lo anterior se obtiene un valor de 3.15 L/s

Cálculo de Caudal Máximo Diario

El caudal máximo diario corresponde al consumo máximo registrado por 24 horas a lo largo de un año, este se obtiene de la multiplicación de un coeficiente de consumo máximo diario, con un valor de 1.30 con el caudal medio diario calculado previamente

$$QMD = Qmd * k_1$$

Resultando con un valor de 4.09 L/s

Cálculo de Caudal Máximo Horario

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo que se tiene en un tramo de 1 hora en un periodo de un año, se calcula como el caudal máximo diario con un coeficiente de consumo máximo horario, el cual se encuentra entre el valor de 1.3 y 1.7, tomando así para el proyecto un valor de 1.5

$$QMH = QMD * K_2$$

Realizando el cálculo resulta con un valor de 4.72 L/s

Con lo visto y calculado anteriormente, se sigue con los procedimientos para el proyecto.



9.2. Sección de máxima eficiencia hidráulica (SMEH)

A continuación, se presentan los cálculos, conceptos, y análisis detallados de las características hidráulicas de la sección óptima del canal diseñado para transportar agua hacia la planta de tratamiento (PTAP FIME).

$$\text{Profundidad Normal} = Y_n$$

La profundidad normal es la altura del flujo en un canal para la cual el flujo se mantiene uniforme, es decir, no hay cambios en la energía a lo largo de la sección. En este diseño, se calculó un valor de:

$$Y_n = 0.15 \text{ m}$$

Este valor fue obtenido resolviendo la ecuación de Manning para flujo uniforme, con los parámetros establecidos:

$$Q = \frac{AR_h^{\frac{2}{3}}S_o^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} = 0.0082 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = \text{Coeficiente de rugosidad del concreto} = 0.013$$

$$A = \text{Área hidráulica depende de } Y_n$$

$$R_h = \text{Radio hidráulico}$$

$$S_o = \text{Pendiente del canal} = 0.02\%$$

El valor calculado de Y_n asegura que el flujo se mantenga en régimen subcrítico y con condiciones de estabilidad hidráulica.

$$\text{Profundidad Crítica} = Y_c$$

La profundidad crítica es la altura del flujo para la cual la energía específica es mínima. Esto ocurre cuando la velocidad del flujo es igual a la velocidad de las ondas superficiales (es decir, cuando el número de Froude $Fr=1$). Se obtuvo $Y_c=0.0859$ m a través de la ecuación:

$$Q = A \sqrt{\frac{g}{T}}$$



Donde:

$T = \text{Ancho superficial del flujo}$

$g = \text{Aceleración de la gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$

El valor de $Y_c < Y_n$ indica que el flujo es **subcrítico** ($Fr < 1$), lo que significa que la energía cinética es menor que la potencial, garantizando estabilidad.

Área Hidráulica (A)

El área hidráulica es la sección transversal del flujo que participa directamente en el transporte. Para $Y_n = 0.15 \text{ m}$, el área calculada es $A = 0.041 \text{ m}^2$. Este parámetro es crítico para determinar la capacidad del canal de transportar el caudal deseado.

Perímetro Mojado (Pm)

El perímetro mojado es la longitud del contorno del flujo en contacto con las paredes del canal. Para $Y_n = 0.1545 \text{ m}$, el perímetro mojado calculado es $P_m = 0.5366 \text{ m}$. Este valor se utiliza para calcular el radio hidráulico.

Radio Hidráulico (Rh)

El radio hidráulico es una medida de eficiencia hidráulica, definida como:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

En este caso, $R_h = 0.08 \text{ m}$. Un mayor valor de R_h indica menor fricción y, por lo tanto, mayor eficiencia en el transporte.

Velocidad del Flujo (V)

La velocidad promedio del flujo fue calculada como $V = 0.197 \text{ m/s}$, utilizando la relación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Esta velocidad es suficiente para evitar sedimentación (muy baja velocidad) y erosión (muy alta velocidad), asegurando un transporte estable del agua.

Número de Froude (Fr)

El número de Froude es un parámetro adimensional que indica el tipo de régimen del flujo:



$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Y}}$$

$Fr < 1$: Régimen subcrítico (flujo lento y estable).

$Fr = 1$: Flujo crítico.

$Fr > 1$: Régimen supercrítico (flujo rápido y potencialmente inestable).

En todos los cálculos, $Fr < 1$, confirmando un régimen subcrítico, ideal para el transporte uniforme de agua.

Pendiente del Canal (So)


La pendiente del canal (So=2.56%) es una inclinación suave que permite mantener un flujo uniforme sin necesidad de estructuras adicionales para disipar energía.

Tabla 4: Flujo normal sección de máxima eficiencia hidráulica

| Z | Yn (m) | Dif Q | Q (m3/s) | B (m) | B/y (m) | A (m2) | Pmc (m) | Rh (m) | T (m) | Dh (m) | Z | Flujo |
|------|--------|--------|----------|-------|---------|--------|---------|--------|-------|--------|----------|--------------|
| 0.00 | 0.1135 | 0.0000 | 0.047 | 0.23 | 2.00 | 0.026 | 0.4538 | 0.06 | 0.23 | 0.11 | 0.003801 | Subcrítico |
| 0.25 | 0.1177 | 0.0000 | 0.047 | 0.18 | 1.56 | 0.025 | 0.4266 | 0.06 | 0.24 | 0.10 | 0.003801 | supercrítico |
| 0.50 | 0.1196 | 0.0000 | 0.047 | 0.15 | 1.24 | 0.025 | 0.4154 | 0.06 | 0.27 | 0.09 | 0.003801 | supercrítico |
| 0.75 | 0.1193 | 0.0000 | 0.047 | 0.12 | 1.00 | 0.025 | 0.4175 | 0.06 | 0.30 | 0.08 | 0.003801 | supercrítico |
| 1.00 | 0.1173 | 0.0000 | 0.047 | 0.10 | 0.83 | 0.025 | 0.4291 | 0.06 | 0.33 | 0.08 | 0.003801 | supercrítico |
| 1.25 | 0.1145 | 0.0000 | 0.047 | 0.08 | 0.70 | 0.026 | 0.4469 | 0.06 | 0.37 | 0.07 | 0.003801 | supercrítico |
| 1.50 | 0.1113 | 0.0000 | 0.047 | 0.07 | 0.61 | 0.026 | 0.4687 | 0.06 | 0.40 | 0.06 | 0.003801 | supercrítico |
| 1.75 | 0.1080 | 0.0000 | 0.047 | 0.06 | 0.53 | 0.027 | 0.4927 | 0.05 | 0.44 | 0.06 | 0.003801 | supercrítico |
| 2.00 | 0.1048 | 0.0000 | 0.047 | 0.05 | 0.47 | 0.027 | 0.5181 | 0.05 | 0.47 | 0.06 | 0.003801 | supercrítico |

Tabla 5: Parámetros críticos sección de máxima eficiencia hidráulica

| Parámetro | Valor | Descripción |
|--------------------------|-------|--------------------------------------------|
| Profundidad Normal (Yn) | 0.12 | Altura del flujo en condiciones uniformes. |
| Profundidad Crítica (Yc) | 0.13 | Altura mínima de energía específica. |
| Área Hidráulica (A) | 0.025 | Sección del flujo útil para transporte. |
| Perímetro Mojado (Pm) | 0.42 | Longitud en contacto con el flujo. |
| Radio Hidráulico (Rh) | 0.06 | Relación entre área y perímetro mojado. |
| Velocidad (V) | 1.88 | Velocidad promedio del flujo. |
| Número de Froude (Fr) | <1 | Confirmación de flujo subcrítico. |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Estos valores confirman que la sección diseñada es eficiente para transportar el caudal requerido, con pérdidas mínimas y estabilidad hidráulica.

9.3. *Diseño Bocatoma de Fondo*

A continuación, se presenta el análisis del sistema de captación, explicando los parámetros relacionados con el dimensionamiento de rejas gruesas y finas, el canal de derivación y el diseño de aceros de muro. Este análisis asegura el correcto dimensionamiento de los componentes, garantiza el cumplimiento normativo y optimiza la operación del sistema.

9.3.1. *Diseño de la Presa*

Esta información proporciona una base sólida para el diseño hidráulico y estructural de los elementos del sistema.

Tabla 6. Diseño de caudal

| Descripción | Etiqueta | Caudal (l/s) | Caudal (m ³ /s) |
|----------------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Caudal Máximo Diario | Q _{maxd} | 4.092 | 0.004 |
| Caudal Máximo Fuente | Q _{max} | 613.82 | 0.614 |
| Caudal Mínimo Fuente | Q _{min} | 531.98 | 0.532 |

9.3.2. *Diseño de la Reja y Canal de Aducción*

Dimensionamiento de Rejas Gruesas

El dimensionamiento de las rejas gruesas tiene como objetivo retener materiales grandes arrastrados por el flujo, como ramas o piedras. Para este diseño se consideraron:

Área necesaria para el ingreso de Caudal de Diseño

1. Coeficiente de mayoración por efectos de colmatación (C)

El valor tomado de 1.8, en un rango entre 1.5 y 2, ajusta las dimensiones de los sistemas hidráulicos para garantizar su funcionamiento frente a la acumulación de sedimentos y residuos.



2. Coeficiente de la vena de agua (K)

Con un valor de **0.9** para rejas circulares, se utiliza para ajustar el caudal efectivo debido a la reducción en el flujo paralelo de la sección causada por las barras de la reja. Este coeficiente refleja la eficiencia hidráulica del sistema y considera las pérdidas por obstrucción.

3. Velocidad de aproximación (Va)

Velocidad con la que el agua se aproxima a las rejas o elementos de captación. Se diseña para evitar que los sólidos en suspensión impacten directamente contra las barras y para garantizar un flujo uniforme. Valor tomado de 0.8 m/s, recomendado entre 0.6 y 1 m/s.

4. Cálculo de área necesaria

Para el cálculo de área necesaria, se sigue la siguiente formula.

$$A_{fd} = \frac{C * Q_{\max d}}{K * Va}$$

Resultando para un valor de 0.01023 m²

Área efectiva de paso

1. Ancho de canal de derivación

Se toma un ancho de 0.4 m en el canal de derivación se elige considerando factores como el caudal máximo esperado, la facilidad constructiva y la velocidad del flujo, un ancho reducido permite optimizar materiales y costos, siendo adecuado para proyectos con caudales bajos o moderados.

2. Ancho de cada barra

Esta medida se elige para balancear la capacidad de retención de sólidos y la velocidad del flujo, evitando la acumulación excesiva de sedimentos y permitiendo una limpieza más fácil del sistema. Se toma un valor de 0.12 m

3. Separación entre barras



Para rejas gruesas se toma un valor entre 7.5 y 15 cm, tomando para el proyecto un valor de 8 cm.

4. **Numero de barras**

Con el respectivo ancho del canal de derivación, el ancho de cada barra y la separación, puesto que es un canal no tan ancho, se obtiene que se necesitan 2 barras a lo largo del área de paso.

5. **Longitud de la barra**

Tomando 0.4 m de largo de barra se elige principalmente para garantizar una cobertura adecuada del flujo de agua en el área de captación sin comprometer la capacidad de paso y la eficiencia hidráulica.

Dimensionamiento de las rejas finas

El dimensionamiento de las rejas finas sigue el mismo principio que el de las rejas gruesas, pero con algunas diferencias en cuanto a las características del flujo y la retención de sólidos más pequeños. Los parámetros utilizados son similares, pero se ajustan para optimizar la eficiencia en la filtración de partículas finas. En este orden de idea lo único modificado es el ancho de cada barra, la separación entre barras y el número de barras.

1. **Ancho de cada barra**


Esta medida se elige para balancear la capacidad de retención de sólidos y la velocidad del flujo, evitando la acumulación excesiva de sedimentos y permitiendo una limpieza más fácil del sistema. Se toma un valor de 0.06 m

2. **Separación entre barras**

Para rejas finas se toma un valor entre 2 y 4 cm, tomando para el proyecto un valor de 3 cm.

3. **Numero de barras**

Con el respectivo ancho del canal de derivación, el ancho de cada barra y la separación, puesto que es un canal no tan ancho, se obtiene que se necesitan 5 barras a lo largo del área efectiva de paso.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

9.3.3. *Diseño Cámara de Recolección*

Dimensionamiento del canal de derivación

El dimensionamiento del canal de derivación se realiza con base en el caudal máximo y la pendiente del terreno, utilizando la ecuación de Manning para determinar el área de sección transversal necesaria y garantizar un flujo eficiente sin riesgos de sedimentación o erosión.

Parámetros utilizados:

Caudal máximo de diseño: 0.614 m³/s (Q_{max})

Ancho del canal de derivación: 0.4 m

Coefficiente de rugosidad (n): 0.014 (valor típico para canales de concreto)

Pendiente del canal (S): Por medio del despeje de la ecuación de Manning, se encuentra el pendiente resultando en un valor de 0.94%

Espesor del muro: 15 cm

Altura de caja para cámara húmeda (H_p): 1 metro

Ecuación de Manning utilizada:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

9.4. *Cámara de Excesos*

En los sistemas de captación, es fundamental contar con una cámara de excesos que permita evacuar el caudal no requerido por la planta o estructura aguas abajo, garantizando la seguridad hidráulica del sistema. A partir del análisis hidrológico e hidráulico del punto de captación, se determinaron los siguientes valores que permiten dimensionar adecuadamente esta estructura:

Caudal medio (Q_{med}): 0,57 m³/s


Altura media de la presa (H_{med}): 0,46 m

Coefficiente de descarga (C_d): 0,30

Área neta (A_{neta}): 0,06 m²

Caudal de diseño (Q_{diseño}): 0,01 m³/s

Caudal captado (Q_{captado}): 0,023 m³/s

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Caudal de excesos ($Q_{excesos}$): 0,015 m³/s

Caudal de excesos ($Q_{excesos}$): 14.912L/s

Estos valores permiten definir el dimensionamiento del vertedero o sistema de descarga, asegurando que el exceso de caudal no interfiera con el funcionamiento de las demás estructuras del sistema.

9.5. Línea de Aducción Bocatoma – Desarenador

La línea de aducción que conecta la bocatoma con el desarenador tiene como función transportar el agua captada hacia el sistema de tratamiento inicial. Para garantizar un flujo eficiente, se evaluaron las condiciones hidráulicas en la cámara de recolección, ubicada al final del canal de aducción, obteniendo los siguientes parámetros:

Largo canal de aducción: 0,7 m

Ancho de canal de aducción: 0,4 m

Velocidad del agua al final del canal (V_s): 0,59 m/s

Distancia de borde a la llegada de agua (X_s): 0,34 m

Distancia de borde a inicio de llegada de agua (X_i): 0,19 m

Área necesaria calculada (B): 0,644 m²

Ancho de la cámara de recolección construible ($B_{cámara}$): 1,20 m

Alto cámara de recolección hasta superficie: 1,20 m

Con estos datos se estableció un diseño que permite una transición suave del flujo hacia el desarenador, optimizando la operación del sistema y minimizando posibles pérdidas hidráulicas o sedimentaciones fuera de control.

9.6. Desarenador

9.6.1. Especificaciones de diseño desarenador

El desarenador está diseñado para remover partículas de arena y sólidos gruesos del agua cruda, protegiendo los procesos posteriores de tratamiento. El diseño cumple con la Resolución 0330 de 2017 y recomendaciones del RAS 2000, considerando:


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p align="center">PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p align="center">PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p align="center">VERSIÓN 1</p> | <p align="center">DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p align="center">FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Tabla 7. Parámetro de diseño

| Variable | Unidades | Valor recomendado | Valor adoptado |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|
| Periodo de diseño | años | 25 | 25 |
| Capacidad de diseño | l/s | QMD | 4.092 |
| Relación L:B | - | 5:1 | 5 |
| Carga superficial | m ³ /m ² /día | ≤ 1000 | 17.678 |
| Diámetro partícula crítica | mm | ≥ 0.1 | 0.100 |
| Velocidad horizontal | m/s | Vh/Vs < 20 | 0.136 |
| Profundidad efectiva para almacenar arena | m/s | 0.75 a 1.5 | 1.5 |
| Tiempo de retención | min | ≥ 20 | 50.609 |
| Borde libre | m | - | 0.300 |
| Pendiente de fondo | % | > 10 | 33.33% |

El tanque cuenta con cámara de aquietamiento, pantallas de entrada y salida, sistema de evacuación de lodos y vertedero de excesos.

9.6.2. Sedimentación

El proceso de sedimentación se fundamenta en la separación gravitacional de partículas sólidas suspendidas, basándose en la teoría de sedimentación de Stokes para partículas discretas.

Parámetros de sedimentación:

Ecuación de Stokes: La velocidad de sedimentación (V_0) se calcula mediante:

$$V_s = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$


Donde:

$g = 981 \text{ cm/s}^2$ (aceleración gravitacional)

$\rho = 0.9982 \text{ g/cm}^3$ (peso específico del agua)

$\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ (peso específico de partículas de arena)

$\mu = 0.01139 \text{ cm}^2/\text{s}$ (viscosidad cinemática a temperatura de diseño)

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

$$d = 0.005 \text{ cm (diámetro de partícula} = 0.05 \text{ mm)}$$

Velocidad de sedimentación calculada: 0.198 cm/s para partícula crítica de 0.05 mm

Número de Hazen: Se adopta un valor de 4.0, aplicando un factor de seguridad para compensar condiciones reales de flujo no ideal y turbulencia. Este factor relaciona la velocidad de sedimentación teórica (V_s) con la velocidad crítica de arrastre (V_0).

Cálculos dimensionales:

Tiempo de remoción (t): 759.14 segundos = 12.65 minutos

Periodo de retención hidráulico (θ): 0.84 horas = 50.61 minutos

Volumen mínimo requerido (V_l): 12.43 m³

Área superficial mínima (A_l): 8.28 m²

Dimensiones adoptadas:

Ancho (B): 2.0 m

Longitud (L): 10.0 m

Área superficial (A_s): 20.0 m²

Volumen del tanque (V): 30.0 m³

Profundidad útil: 1.5 m

Carga hidráulica específica:

$q_0 = 0.0002046 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ (valor instantáneo)

$q = 17.68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (valor diario)

Esta carga es apropiada para garantizar velocidades descendentes que permitan la sedimentación efectiva de las partículas objetivo.

9.6.3. Condiciones de operación de los módulos

Las condiciones operativas del desarenador están proyectadas para optimizar el proceso de sedimentación y facilitar el mantenimiento periódico del sistema.

Parámetros hidráulicos de operación:



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Velocidad horizontal (V_h): 0.136 cm/s, inferior a la velocidad de resuspensión calculada de 9.30 cm/s, asegurando que las partículas sedimentadas no sean re-arrastradas por el flujo.

Relación V_h/V_o : 6.67, indica que la velocidad horizontal es 6.67 veces mayor que la velocidad de sedimentación, valor adecuado para este tipo de unidades.

Velocidad horizontal máxima permitida (V_{hmax}): 3.95 cm/s, calculada según criterios de no-resuspensión de sedimentos.

Modulación para variaciones de caudal:

Caudal medio anual: 7.35 L/s

Caudal de planta: 0.57 L/s

Tiempo de retención con caudal medio: 1.13 horas

Carga hidráulica con caudal medio: 31.75 m³/m²/día

Elementos hidráulicos complementarios:

Vertedero de salida:

Altura del vertedero (H_v): 0.028 m

Velocidad en el vertedero (V_v): 0.31 m/s

Alcance superior del chorro (X_s): 0.24 m

Longitud del vertedero (L_v): 0.35 m

Pantalla de entrada:

Profundidad: 0.75 m ($H/2$)

Distancia a la cámara de quietamiento: 2.0 m

Función: Distribuir uniformemente el flujo en toda la sección transversal

Pantalla de salida:


Profundidad: 0.75 m ($H/2$)

Distancia al vertedero: 0.72 m

Función: Recolectar uniformemente el flujo minimizando zonas muertas

Cámara de quietamiento:

Profundidad: 0.5 m ($H/3$)

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Ancho adoptado: 0.7 m

Largo adoptado: 1.0 m

Función: Disipar energía cinética y uniformizar el flujo entrante

Sistema de gestión de lodos:

Configuración del fondo:

Relación longitud:profundidad (L:P): 10:1

Profundidad máxima zona de lodos: 1.0 m

Pendiente longitudinal primer tercio (L/3): 20%

Pendiente longitudinal dos tercios restantes (2L/3): 10%

Pendiente transversal: 33%

Sistema de evacuación:

Punto de desagüe ubicado a 3.33 m del inicio (L/3)

Diferencia de elevación en zona de lodos: 0.67 m

Frecuencia de limpieza recomendada: cada 15 días (según tiempo de vaciado)

Sistema de control de excesos:

Caudal de excesos calculado: 14.91 L/s

Altura del vertedero de excesos: 0.05 m

Velocidad en vertedero de excesos: 0.30 m/s

Longitud del vertedero: 1.0 m

Alcance del chorro: 0.27 m

9.6.4. Perfil hidráulico

El perfil hidráulico del desarenador se desarrolla considerando todas las pérdidas de energía que ocurren a lo largo del sistema, estableciendo las cotas de operación para garantizar el flujo por gravedad.

Condiciones de flujo:

Caudal máximo diario: $Q_{maxD} = 2.046 \text{ L/s}$

Caudal de planta: $Q_{planta} = 0.57 \text{ L/s}$



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Caudal total de diseño: $Q = 2.62 \text{ L/s}$

Pérdidas hidráulicas por componente:

Pérdidas en cámara de quietamiento:

Coefficiente de pérdida (K): 0.2

Velocidad de entrada: 1.584 m/s

Velocidad en cámara: 0.0052 m/s

Pérdida calculada (hm): 0.0256 m

Ecuación aplicada: $hm = K \cdot (V^2/2g)$

Pérdidas en zona de sedimentación:

Velocidad de entrada: 0.0052 m/s

Velocidad horizontal: 0.00136 m/s

Coefficiente de pérdida (K): 0.1

Pérdida calculada (hm): $1.30 \times 10^{-7} \text{ m}$

Ecuación aplicada: $hm = K \cdot (V_1^2 - V_2^2)/2g$

Pérdidas en pantallas:

Área de pantallas (A_o): 1.5 m²

Coefficiente de descarga (C_d): 0.6

Pérdida calculada (hm): 0.00016 m

Ecuación aplicada: $hm = (1 - C_d^2) \cdot (Q^2/2g \cdot A_o^2)$

Pérdida total en sistema: Aproximadamente 0.026 m

Alturas y niveles operativos:

Nivel de entrada:

Cota de batea tubería entrada: 1013.14 msnm

Cota de lámina entrada: 1013.173 msnm

Altura de flujo: 0.033 m

Niveles en cámara de quietamiento:

Cota lámina agua: 1013.15 msnm

Cota cresta vertedero: 1013.10 msnm



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Cota fondo cámara: 1012.65 msnm

Altura útil: 0.5 m

Niveles en zona sedimentación:

Cota lámina agua: 1013.15 msnm

Cota fondo inicial: 1012.75 msnm

Cota fondo final (punto más bajo): 1012.08 msnm

Altura efectiva: 1.5 m

Niveles en salida:

Cota cresta vertedero salida: 1013.12 msnm

Cota lámina salida: 1012.97 msnm

Altura de vertido: 0.028 m

Esta diferencia gradual en los niveles garantiza el flujo por gravedad a través de toda la estructura, facilitando los procesos de sedimentación y evacuación de material sedimentado.

9.6.5. Tiempo de vaciado del tanque

El cálculo del tiempo de vaciado es fundamental para planificar las operaciones de limpieza y mantenimiento del desarenador. Se basa en el teorema de Torricelli modificado para descarga de tanques con sección constante.

Parámetros de cálculo:

Profundidad total del tanque (hm): 2.17 m (incluye zona de lodos y profundidad efectiva)

Tubería de desagüe:

Diámetro nominal: 8 pulgadas (0.21 m)


Área de sección transversal (A): 0.034 m²

Longitud total: 70 m

Material: PVC presión (C=150 Hazen-Williams)

Condiciones hidráulicas:

Coefficiente de descarga (Cd): 0.398 (considerando pérdidas)

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Carga hidráulica disponible (H): 2.17 m

Caudal inicial teórico (Qinicial): 0.089 m³/s

Pérdidas consideradas:

Pérdida en entrada: 2.5 m (equivalente en longitud)

Pérdida en válvula compuerta: 1.1 m

Pérdida en codos: 4.9 m

Pérdida en T: 10.0 m

Pérdida en salida: 5.0 m

Pérdida en tubería recta: 70 m

Pérdidas totales: 93.5 m (equivalente)

Tiempo de vaciado: 980.05 segundos = 16.33 minutos

Este tiempo es adecuado para las operaciones de mantenimiento, permitiendo un vaciado eficiente que no demora excesivamente el servicio. Con base en este valor, se recomienda una frecuencia de limpieza aproximadamente cada 16 días para condiciones normales de operación.

9.6.6. *Determinación de cotas*

La determinación precisa de las cotas de los diferentes elementos del desarenador es crucial para garantizar el funcionamiento hidráulico adecuado y facilitar la construcción.

Cotas estructurales principales:

Elementos superiores:

Cota corona de muros: 1013.47 msnm

Borde libre estructural: 0.30 m


Cota cresta vertedero excesos: 1013.54 msnm

Niveles operativos de agua:

Cota lámina entrada: 1013.17 msnm

Cota lámina en cámara aquietamiento: 1013.15 msnm (-0.026 m por pérdidas)

Cota lámina zona sedimentación: 1013.15 msnm (-1.30×10⁻⁷ m por pérdidas)

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Cota lámina salida (después del vertedero): 1012.97 msnm

Elementos internos:

Cota cresta vertedero cámara aquietamiento: 1013.10 msnm

Cota cresta vertedero de salida: 1013.12 msnm

Borde libre operativo: 0.15 m

Fondo y zonas bajas:

Cota fondo cámara de aquietamiento: 1012.65 msnm

Cota fondo inicial zona sedimentación: 1012.75 msnm

Cota fondo punto más bajo (entrada desagüe): 1010.97 msnm

Pendiente longitudinal efectiva: 0.33%

Pendiente zona inicial (L/3): 20%

Tubería de lavado:

Cota clave de la tubería: 1011.18 msnm

Cota batea tubería: 1010.97 msnm

Cota de entrega (descarga): 1010.97 msnm

Desnivel disponible para flujo: 2.17 m

El diseño de cotas asegura que:

Exista suficiente gradiente hidráulico para el flujo por gravedad


Las zonas de sedimentación mantengan velocidades adecuadas

El sistema de purga opere eficientemente

El borde libre prevenga desbordamientos

Se facilite la distribución uniforme del flujo

La diferencia total de nivel entre la entrada y la salida es de aproximadamente 0.20 m, garantizando flujo gravitacional continuo y minimizando la acumulación de sedimentos en la estructura.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p align="center">PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p align="center">PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p align="center">DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p align="center">FECHA: MAYO/24/2025</p> |

9.7. Filtración en Múltiples Etapas (FiME)

Se presentará el diseño detallado de los tres filtros que conformarán la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), lo cual incluye la determinación precisa de las dimensiones de cada una de las estructuras filtrantes, considerando los criterios hidráulicos, de operación y mantenimiento necesarios para garantizar un rendimiento óptimo.

A continuación, se presentan los parámetros de diseño para cada sistema de filtros:

Tabla 8. Parámetros de diseño de los filtros

| Parámetro | FGDi | FGA | FLA |
|------------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Flujo | Descendente | Ascendente | Descendente |
| Periodo de operación (h/día) | 24 | 24 | 24 |
| Velocidad de filtración (m/h) | 2 – 3 | 0.3 – 0.6 | 0.1 – 0.3 |
| Número mínimo de unidades | 2 | 1 | 2 |
| Área máxima por unidad (m ²) | 10 | 20 | 100 |
| Velocidad en lavado superficial (m/s) | 0.15 – 0.3 | - | - |
| Profundidad del lecho (m) | 0.6 | 0.6 – 0.9 | 1.05 – 1.5 |
| Coef. uniformidad de la arena | < 4 | < 5 (ideal 2-4) | 2.0 – 4.0 |
| Altura del vertedero de rebose (m) | 0.03 – 0.05 | - | - |
| Pérdida de carga máxima (m) | 0.30 | 0.10 | - |
| Altura sobrenadante (m) | - | 0.1 – 0.2 | 1.0 – 1.5 |
| Velocidad de lavado (m/h) | 15 – 20 | 15 – 20 | - |
| Carga estática para contralavado (m) | 1 | 3 | - |

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

9.7.1. Filtración Gruesa Dinámica

Para el diseño de la filtración gruesa dinámica se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño presentados en la **Tabla 9** y en **Tabla 10** se presenta la eficiencia del filtro según cada parámetro como sólidos, turbiedad, color hierro y magnesio que pueda presentar el agua.




Tabla 9: Criterio de diseño para el sistema de filtración gruesa dinámica

| Criterio | Valores recomendados |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Período de diseño (años) | 8 – 12 |
| Período de operación (h/día) | 24 |
| Velocidad de filtración (m/h) | 2 – 3 |
| Número mínimo de unidades en paralelo | 2 |
| Área de filtración por unidad (m ²) | < 10 |
| Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s) | 0.15 – 0.3 |
| Lecho filtrante | |
| Longitud (m) | 0.6 |
| Tamaño de gravas (mm) | Según Tabla 15 |
| Altura del vertedero de rebose (m) | 0.03 – 0.05 |

Tabla 10: Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos

| Parámetro | Reducción Típica |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sólidos Suspendidos | Entre el 70 y el 80%, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/l. |
| Turbiedad | Entre el 30 y el 50% en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera, la remoción fue aproximadamente del 50%. La eficiencia de remoción depende de la naturaleza, tamaño y distribución de las partículas. |
| Color Real | Entre el 10 y el 25%, con fuentes en el rango entre 15 y 20 UPC. |
| Hierro, Manganeso | Entre el 40 y el 70% como hierro total, y entre el 40 y el 60% para manganeso. |
| Coliformes Fecales | Entre el 50 y el 80%, para niveles de coliformes fecales en el agua cruda en el rango de 2000 a 100000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l. |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p align="center">PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p align="center">PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p align="center">VERSIÓN 1</p> | <p align="center">DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p align="center">FECHA: MAYO/24/2025</p> |

En la **Tabla 11** se presentan los datos para el predimensionamiento de la caja de filtración

Tabla 11: Datos del sistema que se llevará a cabo de filtración gruesa dinámica

CAJA DE FILTRACIÓN Y ESTRUCTURA DE ENTRADA

| | |
|-----------------------------|-------|
| Velocidad de diseño (m/h) | 2 |
| caudal de diseño (l/s) | 4,09 |
| caudal de diseño (m3/h) | 14,72 |
| Área superficial (m2) | 7,36 |
| Velocidad superficial (m/s) | 0,2 |
| Velocidad superficial (m/h) | 720 |
| ancho (m) | 2 |
| Longitud (m) | 3,68 |

La **Tabla 12** y **Tabla 13** se determinan las especificaciones del lecho filtrante recomendado para filtros gruesos dinámicos, el espesor de cada capa y tamaño de la grava.

Tabla 12: Especificaciones del lecho filtrante recomendado

| Tamaño de gravas | espesor (m) | Tamaño de grava (mm) |
|------------------|-------------|----------------------|
| superior | 0,2 | 3.0 – 6.0 |
| intermedio | 0,2 | 6.0 – 13.0 |
| inferior, fondo | 0,2 | 13 – 25.0 |

Tabla 13: Tamaño de gravas

| Tamaño de gravas | espesor (m) | Tamaño de grava (mm) |
|------------------|-------------|----------------------|
| superior | 0,2 | 3 |
| intermedio | 0,2 | 6 |
| inferior, fondo | 0,2 | 13 |

El tamaño de la grava que se va a implementar es de 3mm para la capa superior, 6mm para la capa intermedia y 13 mm para la capa de fondo.

Para mayor claridad, esto se puede observar la siguiente Figura.



En la **Tabla 14**, **Tabla 15** y **Tabla 16** se presentan los parámetros de control u mantenimiento que se deben tener en el filtro para prolongar su vida útil y que su funcionamiento no afecte el resultado final del agua tratada.

Tabla 14: Actividades diarias de control y mantenimiento

| Actividades | Acciones Claves |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Control de Qi | - Revisar caudal afluente al filtro. - Ajustar válvula de entrada, según se requiera. |
| Control de Qf | - Revisar caudal efluente del FGD _i , el cual debe corresponder al requerido por los filtros gruesos . - Decidir necesidad de mantenimiento en FGD _i . |
| Medición de turbiedad | - Con equipo de campo, medir turbiedad de agua afluente y tratada. - Cuando el valor de turbiedad a la salida indique valores mayores a los niveles esperados, decidir sobre la necesidad de efectuar mantenimiento. - En caso positivo, cerrar la válvula de salida y limpiar el FGD _i . |
| Registro de Información | - En el libro de registro diario, anotar el valor de turbiedad del agua, la fecha de lavado y otras observaciones que se consideren importantes. |

Tabla 15: Actividades periódicas de control y mantenimiento

| Actividades | Acciones Claves |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lavar cámaras de entrada y salida (una vez por semana) Limpiar capa superficial de grava (al menos tres veces por semana) | - Remover material adherido a paredes y fondo de cámaras. - Cerrar válvula de control de agua filtrada. - Remover con un rastrillo u otro elemento similar el lecho de grava superficial, en sentido contrario al flujo, iniciando en la zona de entrada y finalizando en el vertedero de rebose. - Remover la grava hasta que el agua de lavado sea ópticamente similar al agua cruda. |
| Limpieza hidráulica o de fondo del filtro (una vez por semana) | - Llenar la cámara de filtración con agua cruda y abrir y cerrar 10 veces consecutivas la válvula de apertura rápida. - Dejar abierta la válvula y drenar el filtro hasta que el agua de lavado sea ópticamente similar al agua cruda. - Este procedimiento puede repetirse por 2 ó 3 ocasiones cuando el agua de lavado sea muy diferente al agua cruda. |


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Tabla 16: Actividades eventuales de control y mantenimiento

| Actividades Eventuales | Acciones Claves |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Retiro y lavado total de la grava</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Cerrar salida de agua filtrada. - Cerrar entrada de agua cruda. - Retirar capas de grava cuidando que éstas no se mezclen entre sí. - Lavar en forma separada las capas de grava. - Tamizar las fracciones de grava que puedan estar mezcladas. - Lavar tuberías, fondo y paredes del filtro. - Instalar capas de grava en el mismo orden y con igual espesor al que tenían antes de ser retiradas para el lavado. Colocar la grava más gruesa en el fondo y la más fina en la superficie. - Abrir entrada de agua y realizar un lavado siguiendo las indicaciones del lavado normal del filtro. |

9.7.2. Filtración Gruesa Ascendente en Capas

En este sistema, el agua fluye de manera ascendente a través de capas de grava con tamaños decrecientes. Los filtros pueden construirse en una sola unidad (Filtración Gruesa Ascendente en Capas - FGAC) o en varias unidades en serie (Filtración Gruesa Ascendente en Serie - FGAS), donde cada módulo contiene gravas de tamaño predominante. Este tipo de filtración favorece la acumulación de sólidos en el fondo, facilita el lavado hidráulico y mejora la homogeneidad del flujo, evitando zonas muertas y mejorando el tiempo de retención. Su eficiencia varía según el diseño y la calidad del agua.

Área total (At):

La velocidad de filtración para los FGAC puede estar entre 0,30 y 0,60m/h, para este caso se seleccionó una velocidad de 0,45m/h.


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Tabla 17: Datos requeridos para el diseño

CAMARA DE FILTRACIÓN

| | |
|-----------------------------------------|--------------|
| <p>velocidad de filtración (m/h)</p> | <p>0,6</p> |
| <p>Área superficial (m²)</p> | <p>24,54</p> |

En la **Tabla 18** se presentan los parámetros de diseño para la filtración gruesa ascendentes recomendados por la literatura.

Tabla 18: Criterios de diseño para la filtración gruesa ascendente

| Criterio | Valores Recomendados |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Período de diseño (años) | 8 - 12 |
| Período de operación (h/d) | 24 |
| Velocidad de filtración (m/h) (1) | 0.3 - 0.6 |
| Número de unidades en serie | |
| Criterio | Valores Recomendados |
| FGAC | 1 |
| Lecho Filtrante | |
| Longitud total (m) | |
| FGAC | 0.60 - 0.90 |
| Tamaño (mm) | Según tabla 22 |
| Lecho de soporte total | |
| Longitud (m) | 0.30 - 1.25 |
| Tamaño (mm) (2) | Según tabla 22 |
| Altura sobrenadante de agua (m) | 0.10 - 0.20 |
| Carga estática mínima de agua para lavado en contraflujo (m) (3) | 3.0 |
| Área de filtración por unidad (m ²) | < 20 |



Para este diseño, por criterio, se va a implementar una filtración gruesa ascendente en capas por lo que los datos que se van a usar de la **Tabla 19**, los parámetros implementados son los de la columna FGAC.

Tabla 19: Lecho filtrante recomendado para los filtros gruesos ascendentes

| Tamaño de grava (mm) | Altura (m) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | FGAC | FGAS 2 | | FGAS 3 | | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 19 - 25 | 0.30* | 0.30* | 0.20* | 0.30* | 0.20* | 0.15* |
| 13 - 19 | 0.20 - 0.30 | 0.30 - 0.45 | 0.15* | 0.15 | 0.15* | 0.15* |
| 6 - 13 | 0.15 - 0.20 | 0.30 - 0.45 | 0.30 - 0.45 | 0.45 - 0.75 | 0.40 - 0.70 | 0.15* |
| 3 - 6 | 0.10 - 0.20 | 0.25 - 0.40 | | 0.25 - 0.40 | 0.45 - 0.75 | 0.45 - 0.75 |
| Total (m): | | | | | | |
| • Soporte | 0.30 | 0.30 | 0.35 | 0.30 | 0.50 | 0.45 |
| • Lecho Filt. | 0.60 - 0.90 | 0.60 - 0.90 | 0.55 - 0.85 | 0.60 - 0.90 | 0.40 - 0.70 | 0.45 - 0.75 |

Tabla 20: Dimensiones de la caja de filtro

| Dimensiones de la caja de filtro | |
|----------------------------------|------|
| Relación larga/ancho (m) | 7,01 |
| Ancho (m) | 3,50 |

Según (Organización Panamericana de la Salud, 2005), el lecho de soporte de la pared de la caja de filtro debe ser de 0,30m y el lecho de filtración debe estar entre 0,60 y 0,90m; para este último se seleccionó una altura de lecho filtrante de 0,6m y también un borde libre de 0,30m tal como lo recomienda la Guía para Diseño de Tratamiento de FiME:



Tabla 21: Pared de la caja de filtro

| Pared de la caja de filtro (Hf) | |
|----------------------------------------|-----|
| Altura lecho de soporte Hls(m) | 0,3 |
| Altura lecho filtrante Hlf (m) | 0,6 |
| Altura borde libre Hbl (m) | 0,3 |
| Hf (m) | 1,2 |

En la **Tabla 22** se muestran los espesores de cada capa y el respectivo tamaño de grava que se debe implementar para el correcto funcionamiento de la filtración.

Tabla 22: Tamaño grava

| Tamaño partícula | espesor (m) | tamaños grava (mm) |
|------------------|-------------|--------------------|
| CAPA 1 | 0,2 | 18 |
| CAPA 2 | 0,2 | 12 |
| CAPA 3 | 0,2 | 6 |
| CAPA 4 | 0,3 | 3 |

A continuación, en la **Tabla 23** se presentan las actividades de mantenimiento que se deben de realizar dependiendo si es diaria, periódica o eventual.

Tabla 23: Actividades diarias de control y mantenimiento

| Actividad | Acciones Claves |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medición y control de caudal | Chequear nivel de agua en la rejilla de aforo de cada unidad. Ajustar válvula de entrada, según se requiera, hasta alcanzar el caudal de operación del filtro. |
| Medición de turbiedad | Medir turbiedad del agua a la entrada del filtro grueso ascendente, utilizando el equipo de campo. Cerrar válvula cuando la turbiedad del agua afluente sea mayor que el valor previsto para operación normal. |
| Retiro de material flotante | Retirar material desprendido del lecho filtrante con una nasa. |
| Registro de información | Anotar en el libro de registro diario, los valores de turbiedad del agua afluente y efluente al filtro grueso, fecha de lavado del filtro y cambios en el caudal durante el día, si se efectúan. |
| Medición de pérdida de carga | Medir el nivel de agua en la cámara de entrada al filtro. Lavar el filtro cuando la pérdida de carga sea mayor que el valor esperado al finalizar la carrera de filtración. |



9.7.3. Filtración Lenta en Arena

Este proceso utiliza velocidades muy bajas de filtración (0.1-0.3 m/h) y lechos de arena fina con diámetros efectivos entre 0.15 y 0.30 mm, colocados sobre capas de grava que funcionan como soporte. En este filtro, se forma una biomembrana (schmutzdecke) que actúa como barrera biológica y física, capturando partículas y microorganismos. La limpieza consiste en retirar y reemplazar las capas superiores del medio filtrante después de su colmatación. Este método es eficiente y económico para la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos.

En la **Tabla 24** se muestran los parámetros de diseño de la filtración según cuatro autores diferentes, para esto se seleccionó el que tenga más parámetros para realizar una evaluación más completa y que se ajuste a nuestro objetivo.

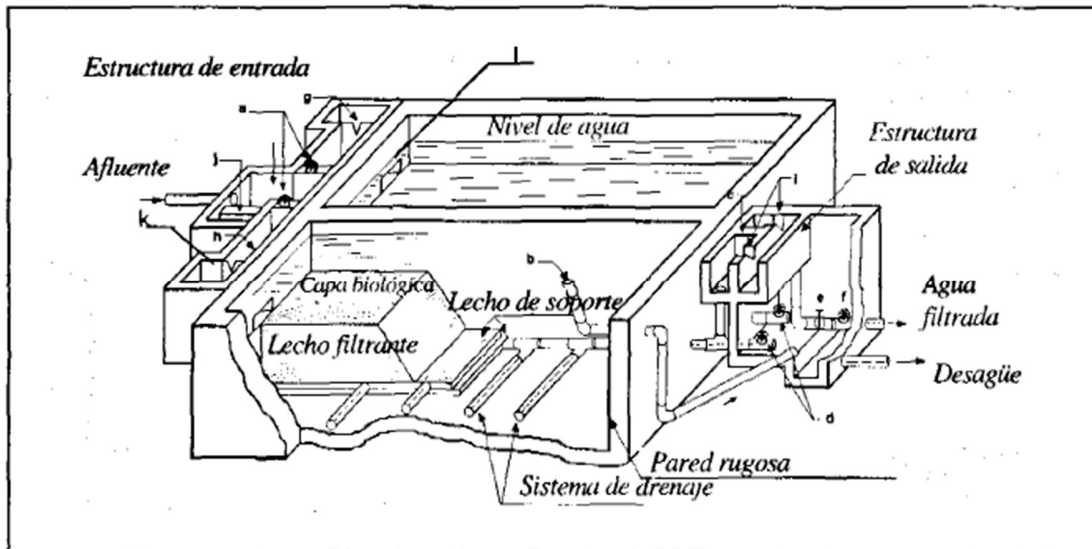


Figura 6. Componentes básicos de una FLA con control a la entrada



Tabla 24: Criterios de diseño

| Criterios de Diseño | Huisman and Wood (1974) | Ten States Standards (1987) | Visscher et al. USA (1987) | Cinara, IRC (1997) |
|------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Período de operación (h/d) | 24 | n.e. | 24 | 24 |
| Período de diseño (años) | n.e. | n.e. | 10-15 | 8-12 |
| Velocidad de filtración (m/h) | 0.1-0.4 | 0.08-0.24 | 0.1-0.2 | 0.1-0.3 |
| Altura de arena (m) | | | | |
| - Inicial | 1.2 | 0.8 | 0.9 | 0.8 |
| - Mínima | 0.7 | n.e. | 0.5 | 0.5 |
| Diámetro efectivo (mm) | 0.15-0.30 | 0.15-0.35 | 0.30-0.45 | 0.15-0.30 |
| Coeficiente de uniformidad | | | | |
| - Aceptable | < 3 | ≤ 2.5 | < 5 | < 4 |
| - Deseable | < 2 | n.e. | < 3 | < 2 |
| Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m) | n.e. | 0.4-0.6 | 0.3-0.5 | 0.25 |
| Altura de agua sobrenadante (m) | 1-1.5 | 0.9 | 1 | 0.75 (1) |
| Borde libre (m) | 0.2-0.3 | n.e. | 0.1 | 0.1 |
| Área superficial máxima por módulo (m ²) | n.e. | n.e. | < 200 | < 100 |

La altura total de la FLA es mayor o igual a 1.8 m y menor a 2,1 m

Área total (At):

La velocidad de filtración para los FLA puede estar entre 0,10 y 0,30m/h, para este caso se seleccionó una velocidad de 0,3 m/h:

Tabla 25: Datos iniciales

| | |
|------------------------------------|-------|
| velocidad de filtración (m/h) | 0,3 |
| Área superficial (m ²) | 24,54 |
| Área superficial (m ²) | 25 |



Número total de unidades rectangulares

$$n = 0.5 * \sqrt[3]{A}$$

Se diseñó con base en el coeficiente costo (K), ya que este permite dimensionar la unidad de tal manera que sea funcional, pero minimizando los costos que podría tener asociados a su construcción (Sánchez L. D., Sánchez, Galvis, & Latorre, 2007):

$$K = \frac{2N}{N + 1}$$

$$L = \sqrt{At * K}$$

$$b = \sqrt{\frac{At}{K}}$$

Tabla 26: Dimensiones

| | |
|-------------------------------------------|--------------|
| Ancho de la unidad (m) | 4,29 |
| Ancho de la unidad (m) | 4,30 |
| Longitud de la pared común por unidad (m) | 5,72 |
| Longitud de la pared común por unidad (m) | 5,80 |
| Área superficial (m2) | 49,88 |

Según (Organización Panamericana de la Salud, 2005), el lecho de soporte de la pared de la caja de filtro debe ser de entre 0,10m y 0,30m y el lecho de filtración debe estar entre 1,0 y 1,5 m; para este último se seleccionó una altura de lecho filtrante de 1,5m; también un borde libre entre 0,20 y 0,40m y una altura sobrenadante del agua entre 1,0 y 1,5m; tal como lo recomienda la Guía para Diseño de Tratamiento de FiME:

Tabla 27: Pared de la caja de filtros (Hf)

| Pared de la caja de filtro (Hf) | |
|----------------------------------------|-----|
| Altura lecho de soporte Hls(m) | 0,3 |
| Altura lecho filtrante Hlf (m) | 1,5 |
| Altura borde libre Hbl (m) | 0,2 |
| Altura sobrenadante del agua Has (m) | 1,5 |
| Hf (m) | 3,5 |



Tabla 28: Altura de la arena

| | |
|-------------|-----|
| mínima (m) | 0,5 |
| inicial (m) | 0,8 |

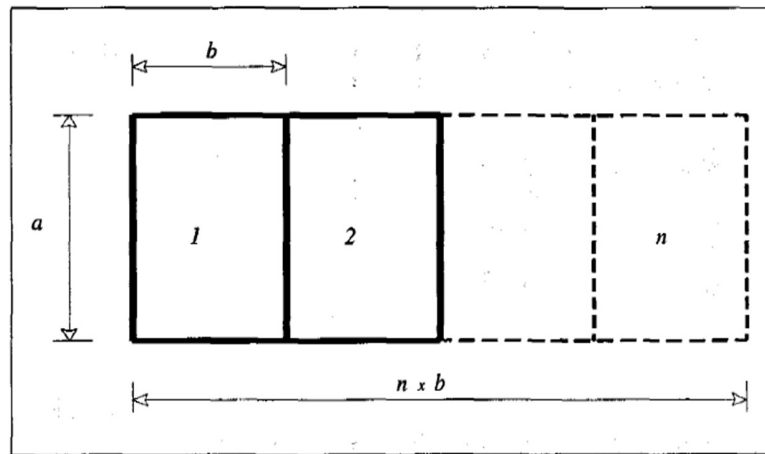


Figura 7. Disposición de un filtro lento en arena con (n) unidades rectangulares

9.8. Tanque de Almacenamiento

Para el diseño del tanque de almacenamiento, el volumen útil debe ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento. Según el Art 81 de la Resolución 0330, de 2017, se menciona el volumen útil del tanque de almacenamiento de la siguiente manera; “La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo. La capacidad de regulación se debe estimar a partir de los patrones de consumo de cada zona abastecida, mediante el empleo de métodos gráficos analíticos”.

Para esto se tomaron registros del consumo de agua por hora durante los 12 meses del año y así analizar patrones para determinar el volumen del tanque.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Tabla 29: Tabla del consumo por hora. Fuente: Emcali

| Hora | Consumo (%) |
|------|-------------|
| 0 | 3,33% |
| 1 | 3,34% |
| 2 | 3,38% |
| 3 | 3,34% |
| 4 | 3,32% |
| 5 | 3,37% |
| 6 | 3,76% |
| 7 | 3,76% |
| 8 | 3,77% |
| 9 | 3,80% |
| 10 | 4,63% |
| 11 | 4,83% |
| 12 | 5,13% |
| 13 | 5,14% |
| 14 | 5,14% |
| 15 | 5,14% |
| 16 | 5,05% |
| 17 | 4,35% |
| 18 | 4,05% |
| 19 | 3,44% |
| 20 | 3,42% |
| 21 | 3,43% |
| 22 | 3,72% |
| 23 | 3,70% |
| 24 | 3,67% |



Tabla 30: Tanque enterrado

| Hora | C (%) | Suma C (%) | S (%) | Suma S (%) | Δ (S-C) | Suma Δ (S-C) | V (%) |
|------|-------|------------|--------|------------|----------------|---------------------|--------|
| 0 | 3,33% | 3,33% | 0,00% | 0,00% | -3,33% | -3,33% | 21,25% |
| 1 | 3,34% | 6,68% | 0,00% | 0,00% | -3,34% | -6,68% | 17,90% |
| 2 | 3,38% | 10,06% | 0,00% | 0,00% | -3,38% | -10,06% | 14,52% |
| 3 | 3,34% | 13,40% | 0,00% | 0,00% | -3,34% | -13,40% | 11,18% |
| 4 | 3,32% | 16,72% | 0,00% | 0,00% | -3,32% | -16,72% | 7,86% |
| 5 | 3,37% | 20,09% | 0,00% | 0,00% | -3,37% | -20,09% | 4,49% |
| 6 | 3,76% | 23,85% | 0,00% | 0,00% | -3,76% | -23,85% | 0,73% |
| 7 | 3,76% | 27,60% | 12,50% | 12,50% | 8,74% | -15,10% | 9,48% |
| 8 | 3,77% | 31,37% | 12,50% | 25,00% | 8,73% | -6,37% | 18,21% |
| 9 | 3,80% | 35,18% | 12,50% | 37,50% | 8,70% | 2,32% | 26,90% |
| 10 | 4,63% | 39,80% | 12,50% | 50,00% | 7,87% | 10,20% | 34,78% |
| 11 | 4,83% | 44,64% | 0,00% | 50,00% | -4,83% | 5,36% | 29,94% |
| 12 | 5,13% | 49,76% | 0,00% | 50,00% | -5,13% | 0,24% | 24,82% |
| 13 | 5,14% | 54,90% | 0,00% | 50,00% | -5,14% | -4,90% | 19,68% |
| 14 | 5,14% | 60,04% | 0,00% | 50,00% | -5,14% | -10,04% | 14,54% |
| 15 | 5,14% | 65,18% | 0,00% | 50,00% | -5,14% | -15,18% | 9,40% |
| 16 | 5,05% | 70,23% | 0,00% | 50,00% | -5,05% | -20,23% | 4,35% |
| 17 | 4,35% | 74,58% | 0,00% | 50,00% | -4,35% | -24,58% | 0,00% |
| 18 | 4,05% | 78,63% | 12,50% | 62,50% | 8,45% | -16,13% | 8,45% |
| 19 | 3,44% | 82,07% | 12,50% | 75,00% | 9,06% | -7,07% | 17,51% |
| 20 | 3,42% | 85,48% | 12,50% | 87,50% | 9,08% | 2,02% | 26,59% |
| 21 | 3,43% | 88,91% | 12,50% | 100,00% | 9,07% | 11,09% | 35,67% |
| 22 | 3,72% | 92,63% | 0,00% | 100,00% | -3,72% | 7,37% | 31,95% |
| 23 | 3,70% | 96,33% | 0,00% | 100,00% | -3,70% | 3,67% | 28,25% |
| 24 | 3,67% | 100,00% | 0,00% | 100,00% | -3,67% | 0,00% | 24,58% |

Parágrafo. “El volumen de almacenamiento determinado se debe incrementar para provisión de control de incendios estructurales en los siguientes porcentajes, de acuerdo con el nivel de riesgo establecido en los "planes de gestión de riesgo y estrategia de respuesta" de la localidad respectiva, en el marco de la Ley 1523 de 2012”.



Riesgo ALTO: 25%

Riesgo MEDIO: 20%

Riesgo BAJO: 15%

El nivel de riesgo se debe construir teniendo en cuenta las categorías del literal J.3.3 del Título J “Requisitos de protección contra incendios en edificaciones” del Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10.

Eligiendo valor del 15% para el diseño de este tanque de almacenamiento, debido a que la zona no es propensa a incendios, teniendo como resultado un volumen de 17.5 m³

Ahora se presenta el predimensionamiento del tanque.


Tabla 31: Volumen tanques según el patrón de consumo

1- TANQUE ENTERRADO

| | |
|-------------------------------|--------|
| % consumo máximo | 36% |
| Volumen del tanque (m3) | 116,40 |
| Volumen Total del tanque (m3) | 134 |

Tabla 32: Dimensiones tanque enterrado

| <i>Dimensiones Tanque enterrado</i> | |
|--------------------------------------------|--------|
| Volumen (m3) | 134,00 |
| Volumen (m3) | 134,00 |
| Área del tanque (m) | 30 |
| Ancho (m) | 6 |
| Largo (m) | 5 |
| h(m) | 4,47 |
| Numero compartimientos | 2,00 |
| Vol compartimiento (m3) | 67,00 |
| Área del compartimiento (m) | 15,00 |
| Ancho (m) | 3,00 |
| Largo (m) | 5,00 |
| h (m) | 4,47 |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

10. TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA

De acuerdo con la Sección C.3.7.3 de la RAS 2000, se establece que la desinfección con cloro ya sea en forma de cloro gaseoso o sus derivados, podrá ser utilizada como única etapa de tratamiento del agua cruda, siempre y cuando se cumplan estrictamente una serie de condiciones relacionadas con la calidad microbiológica, físico química y el riesgo sanitario de la fuente hídrica.

En el presente caso, se verifica que el agua cruda captada es de tipo superficial y cumple con la totalidad de los requisitos exigidos por la RAS 2000 y la Resolución 2115 de 2007, tal como se indica a continuación:

1. **Contaminación microbiológica:** Se ha determinado que el nivel de coliformes totales y *Escherichia coli* en el agua cruda no supera las 50 UFC/100 cm³, cumpliendo con lo dispuesto en el numeral 1 del literal C.3.7.3 de la RAS, el cual hace referencia al artículo 11 de la Resolución 2115 de 2007.
2. **Condiciones organolépticas y físico químicas:** Se ha verificado la ausencia de olor y sabor, y se ha constatado que los niveles de turbiedad y color aparente se encuentran por debajo de los valores máximos aceptados durante al menos el 90% del tiempo, conforme a lo establecido por la Resolución 2115 de 2007.
3. **Mapa de riesgo sanitario:** Según el diagnóstico de calidad de la fuente, **no se han identificado factores de riesgo** químicos o microbiológicos que comprometan el uso del recurso para consumo humano. Esto cumple con el tercer requisito del numeral C.3.7.3, permitiendo aplicar desinfección como tratamiento único.
4. **Inspecciones sanitarias:** Se realizan conforme al artículo 28 de la Resolución 2115 de 2007, garantizando el seguimiento y control de las condiciones sanitarias del sistema de abastecimiento.

Adicionalmente, según el mismo numeral C.3.7.3 de la RAS, el tratamiento único de desinfección debe garantizar una eficacia mínima de inactivación del 99.99% (4 log) frente a virus y quistes de parásitos (como *Giardia* y *Cryptosporidium*), lo cual será garantizado mediante el cumplimiento de los requisitos de concentración por tiempo (valor C x T)



establecidos en el numeral C.8.5.1 de la RAS, empleando hipoclorito de sodio al 10% con un tiempo de contacto superior a 30 minutos.

Por tanto, al verificarse el cumplimiento de todos los criterios técnicos y normativos citados, se concluye que la desinfección con cloro puede ser aplicada como la única etapa de tratamiento del agua cruda superficial, conforme a lo establecido en la RAS 2000 (Sección C.3.7.3) y la Resolución 2115 de 2007.

A) Por lote (ejemplo: llenado de tanque de almacenamiento)

Demanda de cloro: 1.1 mg/L

Cloro residual deseado: 0.5 mg/L

Dosis total: 1.6 mg/L

Cloro activo: 100 mg/L

Volumen tanque: 134 m³

Cloro requerido: 2.144 L de hipoclorito al 10%

B) Por caudal continuo (si se dosifica de forma permanente)

Caudal: 4.09 L/s

Cloro diario: 5.65 L/día de hipoclorito al 10%

C) Dosificación por día para suministrar bomba

Q_{bomba}: 3.93 mL/min

D) Por lote (ejemplo: llenado de tanque de almacenamiento)

Con base en la RAS, el tiempo de contacto mínimo exigido entre el cloro y el agua antes del primer punto de consumo debe ser:

- **≥ 30 minutos para hipoclorito de sodio**

$$\text{TCT: } 32.760\text{s} = 546\text{min}$$



11. RED DE DISTRIBUCIÓN

Se utilizó una bomba con capacidad de 3 litros por segundo (lps) para garantizar el caudal necesario en la red de distribución. La conducción principal se realizó con tubería de PVC de 6 pulgadas, adecuada para soportar el caudal sin generar pérdidas significativas de presión. Esta configuración asegura una distribución eficiente y continua hacia los diferentes puntos de consumo.

Dentro del sistema se incorporaron accesorios de PVC como una cruz y una yee, los cuales permiten la derivación y ramificación del flujo hacia diferentes sectores. Estos elementos fueron seleccionados por su facilidad de instalación, resistencia mecánica y durabilidad en condiciones hidráulicas moderadas. Además, se garantiza que en cada punto de entrega se mantenga una presión dinámica superior a 10 metros de columna de agua (m.c.a.), cumpliendo con lo establecido en el Artículo 61 de la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia.

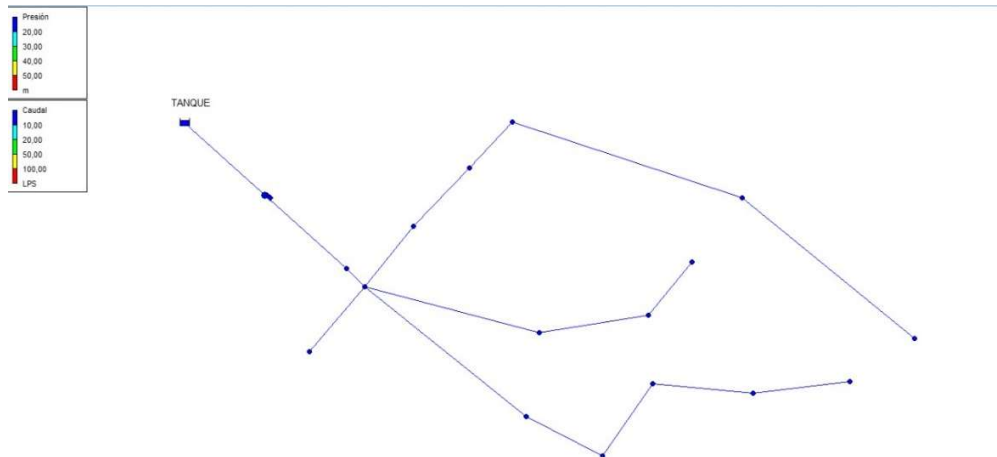


Figura 8. Red de distribución

Según la **Figura 8. Red de distribución** se puede evidenciar como conecta la red de distribución con cada bloque y zona comercial que hay en el proyecto, asegurando así que cada lugar cumpla con su caudal y con su presión.



| Estado de los Nudos de la Red | | | | | |
|-------------------------------|-----------|---------------------|----------------|-------------|--------------|
| ID Nudo | Cota m | Demanda Base LPS | Demanda LPS | Altura m | Presión m |
| Nudo 2 | 1009 | 0,24 | 0,24 | 1021,65 | 12,65 |
| Nudo 3 | 1009,3 | 0,24 | 0,24 | 1021,64 | 12,34 |
| Nudo 4 | 1010 | 0,24 | 0,24 | 1021,66 | 11,66 |
| Nudo 5 | 1009,5 | 0,07 | 0,07 | 1021,66 | 12,16 |
| Nudo 6 | 1007,5 | 0,17 | 0,17 | 1021,65 | 14,15 |
| Nudo 7 | 1008 | 0,21 | 0,21 | 1021,65 | 13,65 |
| Nudo 10 | 1007 | 0,17 | 0,17 | 1021,64 | 14,64 |
| Nudo 11 | 1007 | 0,32 | 0,32 | 1021,65 | 14,65 |
| Nudo 12 | 1006,5 | 0,32 | 0,32 | 1021,65 | 15,15 |
| Nudo 13 | 1006,5 | 0,33 | 0,33 | 1021,63 | 15,13 |
| Nudo 14 | 1006 | 0,18 | 0,18 | 1021,63 | 15,63 |
| Nudo 15 | 1009 | 0,14 | 0,14 | 1021,64 | 12,64 |
| Nudo 16 | 1006,5 | 0,16 | 0,16 | 1021,63 | 15,13 |
| Nudo 17 | 1006 | 0,33 | 0,33 | 1021,63 | 15,63 |
| Nudo 18 | 1007,5 | 0,03 | 0,03 | 1021,64 | 14,14 |
| Nudo 20 | 1010 | 0 | 0,00 | 1021,66 | 11,66 |
| Embalse 1 | 1012 | Sin Valor | -3,15 | 1012,00 | 0,00 |

Figura 9. Resultados de EPANET

En la **Figura 9. Resultados de EPANET** y en la **Figura 10. Resultados EPANET tubería** se evidencian las cotas, los valores de caudal y presión, donde el tanque está en la zona más alta en comparación con la urbanización, asegurando su presión con la bomba antes mencionada y el caudal dependiendo de la demanda de cada una de las zonas.



| ID Línea | Longitud m | Diámetro mm | Rugosidad mm | Caudal LPS | Velocidad m/s | Pérdida Unit. m/km | Factor Fricción |
|------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|-----------------|
| Tubería 7 | 100 | 110 | 0,009 | 0,87 | 0,09 | 0,12 | 0,031 |
| Tubería 8 | 35 | 110 | 0,009 | 0,63 | 0,07 | 0,07 | 0,034 |
| Tubería 9 | 35 | 110 | 0,009 | 1,11 | 0,12 | 0,18 | 0,029 |
| Tubería 10 | 54 | 110 | 0,009 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,055 |
| Tubería 13 | 65 | 110 | 0,009 | 0,64 | 0,07 | 0,07 | 0,034 |
| Tubería 14 | 40 | 110 | 0,009 | 0,32 | 0,03 | 0,02 | 0,039 |
| Tubería 16 | 50 | 110 | 0,009 | 0,51 | 0,05 | 0,05 | 0,036 |
| Tubería 17 | 45 | 110 | 0,009 | 0,18 | 0,02 | 0,01 | 0,040 |
| Tubería 18 | 100 | 110 | 0,009 | 0,49 | 0,05 | 0,04 | 0,036 |
| Tubería 19 | 90 | 110 | 0,009 | 0,33 | 0,03 | 0,02 | 0,041 |
| Tubería 20 | 50 | 110 | 0,009 | 0,68 | 0,07 | 0,08 | 0,033 |
| Tubería 21 | 75 | 110 | 0,009 | 0,71 | 0,07 | 0,09 | 0,033 |
| Tubería 23 | 70 | 110 | 0,009 | 0,81 | 0,09 | 0,11 | 0,032 |
| Tubería 24 | 80 | 110 | 0,009 | 0,92 | 0,10 | 0,13 | 0,031 |
| Tubería 27 | 1 | 160 | 0,009 | 3,15 | 0,16 | 0,22 | 0,029 |
| Bomba 1 | Sin Valor | Sin Valor | Sin Valor | 3,15 | 0,00 | -9,66 | 0,000 |

Figura 10. Resultados EPANET tubería



12. DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural en Colombia se rige por la Norma Sismo-Resistente NSR-10, la cual establece los criterios y requisitos técnicos necesarios para garantizar la seguridad y funcionalidad de las edificaciones e infraestructuras frente a cargas permanentes, variables, accidentales y sísmicas. Esta normativa tiene como objetivo principal proteger la vida humana mediante el diseño de estructuras que, bajo condiciones sísmicas extremas, mantengan su integridad estructural y eviten el colapso catastrófico.


En el contexto del diseño estructural de instalaciones hidráulicas expuestas a condiciones ambientales como las presentadas en el proyecto, la NSR-10 proporciona criterios de diseño, los cuales se tomaron para cada estructura y así realizar el respectivo análisis de cargas hidrostáticas, así como para la consideración de efectos sísmicos y de interacción suelo-estructura. Estos aspectos son fundamentales para garantizar que las estructuras hidráulicas soporten de manera segura tanto las condiciones de operación normales como los eventos sísmicos más severos previstos en el lugar de emplazamiento. En el *Anexo 1- Memoria de cálculo*, se encuentra el diseño estructural de cada estructura.

12.1. Información General

Propiedad de los Materiales

Todas las estructuras de concreto deben diseñarse con los siguientes parámetros:

| | |
|-------------------------------------------------|------------|
| Resistencia a Compresión del Concreto (f_c) | 28 MPa |
| Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c) | 21,538 MPa |
| Acero de Refuerzo ASTM A615 grado 60 | |
| Esfuerzo de fluencia (F_y) | 420 MPa |
| Módulo de Elasticidad Acero (E_s) | 200000 MPa |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Modelación Computacional

El análisis de la estructura se realiza por medio del software especializado de elementos finitos, el cual permite realizar análisis estático, análisis dinámico, obtención de fuerzas internas y deflexiones, y verificación de diseño de elementos en concreto y acero de acuerdo con los parámetros establecidos por la NSR-10.

Códigos de diseño

Reglamento Colombia de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Recomendaciones para requisitos sísmicos de estructuras diferentes a edificaciones AIS 180-13.

Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures, ACI 350-06
Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Comentary, ACI 350.3-06

Combinaciones de carga

Tipos de cargas

D: Carga Muerta

L: Carga Viva

H: Carga por empuje de suelo, condición en reposo con y sin apuntalamientos

F: Carga por empuje y peso de fluidos

E: Carga sísmica, para suelo método Maleki y Mahjoubi (2010)

Carga sísmica del suelo

Para el caso de muros restringidos al movimiento que impiden el desarrollo de las condiciones activas no se hace aplicable el método de Mononobe-Okabe. En este sentido se implementará la propuesta de Maleki y Mahjoubi (2010), para el tipo de presiones a. por el método α .

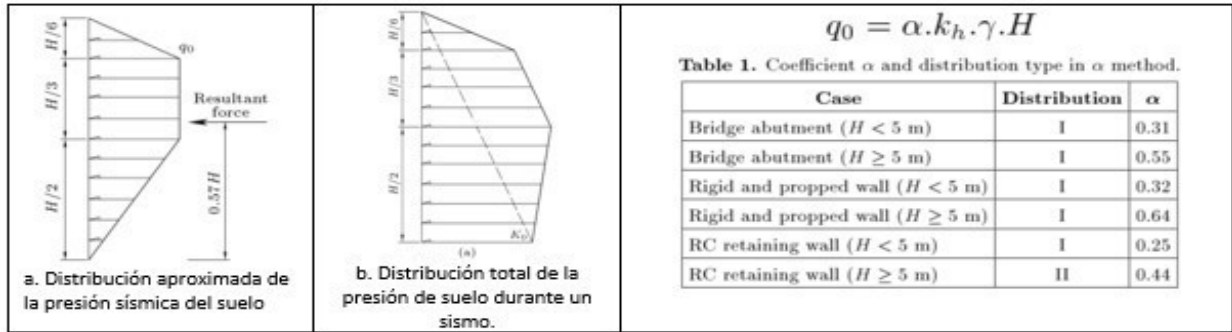


Figura 11. Aplicación carga sísmica del suelo

E: Carga sísmica, para agua método AIS 180-13 y ACI 350.3-06

Cargas Hidrodinámicas

Para el siguiente punto del análisis estructural, se aborda el comportamiento sísmico en estructuras comúnmente utilizadas para el almacenamiento de líquidos en proyectos hidráulicos e industriales. En zonas de amenaza sísmica, es fundamental considerar no solo las cargas estáticas habituales, sino también las sollicitaciones dinámicas generadas durante un evento sísmico, las cuales pueden afectar significativamente la estabilidad y seguridad del sistema.

Durante un sismo, el comportamiento del líquido dentro del tanque genera presiones hidrodinámicas adicionales sobre las paredes y la base de la estructura. Estas presiones se dividen en dos componentes principales: la masa líquida impulsiva, que se mueve en sincronía con la estructura, y la masa líquida convectiva, que oscila de manera independiente, fenómeno conocido como "sloshing".

En la siguiente figura, se pueden observar las distribuciones de las presiones hidrodinámicas impulsivas y convectivas en las paredes y base del tanque, y su variación respecto a la altura del líquido.

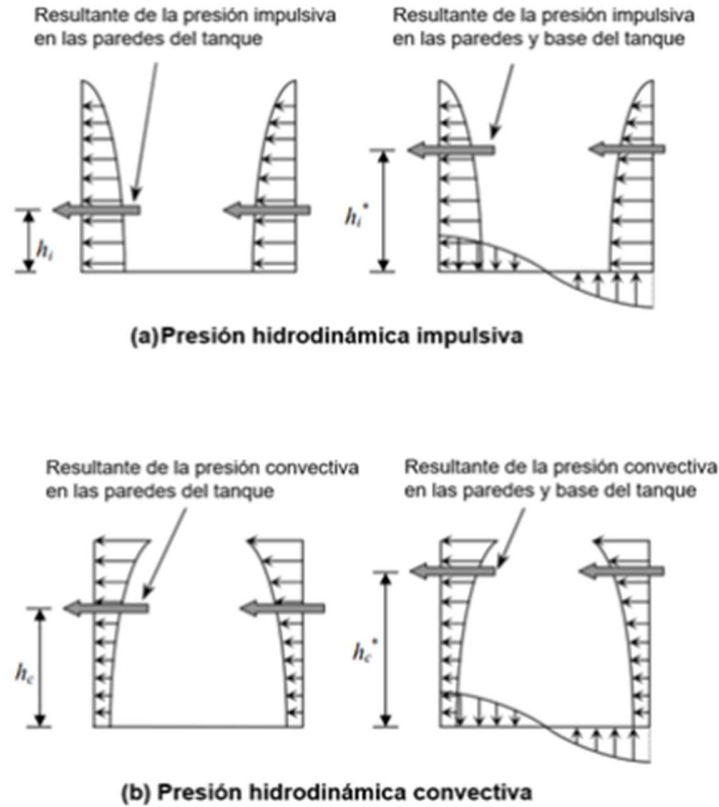


Figura 12. Presiones hidrodinámicas

Para incluir el efecto de la presión hidrodinámica en el análisis, el tanque se puede idealizar mediante un **modelo mecánico equivalente Masa - Resorte**, cuyos parámetros dependen de la geometría del tanque y de su flexibilidad. El ACI350-06 plantea ecuaciones que permiten determinar las características del modelo dinámico para tanques rectangulares y circulares basado en el modelo de Housner que se presenta en la Figura 13. En este modelo, la masa impulsiva m_i está rígidamente conectada al tanque a una altura h_i por encima de la base del tanque, y la masa convectiva m_c está conectada a las paredes del tanque a través de un resorte con rigidez k_c a una altura h_c por encima de la base del tanque.

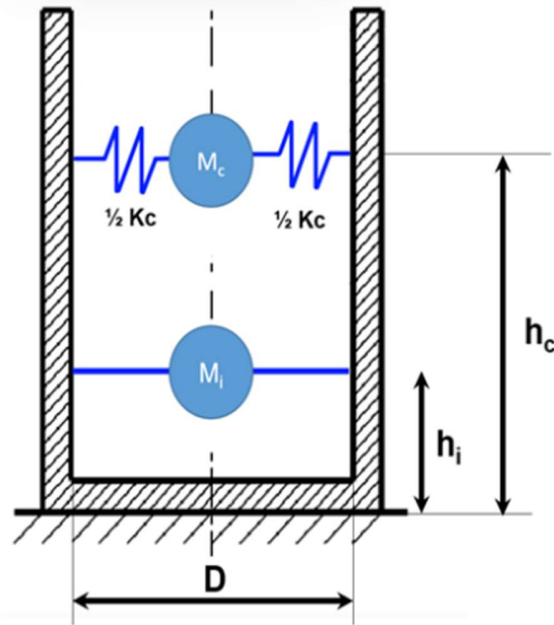


Figura 13. Modelo mecánico equivalente masa-Resorte

Para el cálculo del peso de los elementos y líquidos almacenados se obtiene:

Pesos equivalentes de las componentes impulsiva y convectiva del líquido:

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

$$\frac{W_C}{W_L} = 0.264 * \left(\frac{L}{H_L}\right) * \tanh * \left(3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right)\right)$$

Alturas por encima de la base del tanque, del centro de gravedad de las fuerzas impulsivas y convectivas, excluyendo presiones en la base:

$$\frac{H_I}{H_L} = 0.5 - 0.09375 * \left(\frac{L}{H_L}\right) \text{ Para tanques con } \left(\frac{L}{H_L}\right) < 1.333$$

$$\frac{H_I}{H_L} = 0.375 \text{ Para tanques con } \left(\frac{L}{H_L}\right) \geq 1.333$$



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

Alturas por encima de la base del tanque, del centro de gravedad de las fuerzas impulsivas y convectivas, incluyendo las presiones en la base:

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.45 \text{ Para tanques con } \left(\frac{L}{H_L}\right) < 0.75$$

$$\frac{h_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{L}{H_L}\right)}{2 \tanh\left(0.866 \left(\frac{L}{H_L}\right)\right)} - \frac{1}{8} \text{ Para tanques con } \left(\frac{L}{H_L}\right) \geq 0.75$$

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16 * \left(\frac{H_L}{L}\right)\right) - 2.01}{3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right) \sinh\left(3.16 \left(\frac{H_L}{L}\right)\right)}$$

Propiedades dinámicas del modo impulsivo:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$m = m_w + m_i$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Donde K se puede estimar como la rigidez de un muro en voladizo empotrado en la base:

$$k = \frac{E_c}{4 * 10^6} * \left(\frac{t_w}{h}\right)^3$$

Propiedades dinámicas del modo convectivo:



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

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

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

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

Según ACI350-06 también se puede hacer un análisis sísmico estático considerando distribuciones equivalentes para las presiones hidrodinámicas impulsiva y convectiva de la Figura 12. Estas presiones equivalentes se pueden observar en la Figura 14, y están dadas por las siguientes ecuaciones:

Presión inercial:

$$P_{wy} = \left(\frac{C_i * I}{R_i}\right) * [\varepsilon(y_c * Btw)]$$

Presión Impulsiva:

$$P_{iy} = \frac{P_i}{2} * \frac{[4HL - 6hi - (6HL - 12hi) \left(\frac{y}{HL}\right)]}{H^2L}$$

Presión Convectiva:

$$P_{cy} = \frac{P_c}{2} * \frac{[4HL - 6hc - (6HL - 12hc) \left(\frac{y}{HL}\right)]}{H^2L}$$

Se combinan las tres presiones y se obtiene:



$$P_y = \sqrt{(P_{iy} + P_{wy})^2 + P_{cy}^2 + (P_{vy}B)^2}$$

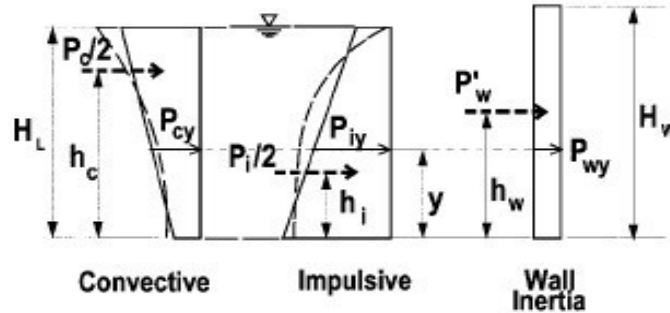


Figura 14. Distribuciones equivalentes de las presiones hidrodinámicas

Teniendo en cuenta las cargas sísmicas y estáticas se determinan combinaciones en fase de operación - condición parcialmente llena (Nivel máximo de agua-un solo compartimiento):

| Combinaciones de servicio | | Combinaciones de resistencia | |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| B.2.3-1 | D+F | B.2.4-1 | 1.4D+1.4F |
| B.2.3-2 | D+F+H+L | B.2.4-2 | 1.2D+1.2F+1.6H+1.6L |
| B.2.3-8 | D+F+H+0.75(0.7E)+0.75L | B.2.4-5 | 1.2D+1.2F+1.0H+1.0E+1.0L |
| B.2.3-10 | 0.6D+0.6F+0.7E+H | B.2.4-7 | 0.9D+0.9F+1.0H+1.0E |
| B.2.3-6 | D+H+F+0.7E | | |

Nota 1: E=Fuerza sísmica de suelo y agua.

También se presentan combinaciones en fase de operación - condición totalmente llena (Nivel máximo de agua-ambos compartimientos):

| Combinaciones de servicio | | Combinaciones de resistencia | |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| B.2.3-1 | D+F | B.2.4-1 | 1.4D+1.4F |
| B.2.3-2 | D+F+H+L | B.2.4-2 | 1.2D+1.2F+1.6H+1.6L |
| B.2.3-8 | D+F+H+0.75(0.7E)+0.75L | B.2.4-5 | 1.2D+1.2F+1.0H+1.0E+1.0L |
| B.2.3-10 | 0.6D+0.6F+0.7E+H | B.2.4-7 | 0.9D+0.9F+1.0H+1.0E |
| B.2.3-6 | D+H+F+0.7E | | |



Nota 1: E=Fuerza sísmica de suelo y agua.

A continuación, se muestran los parámetros según la localización del proyecto.

| | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----|--------|-----|--------|
| Departamento: | Valle Del Cauca | | | | |
| Corregimiento: | Candelaria | | | | |
| Zona de amenaza: | Alta | | | | |
| Coefficiente de importancia: | 1,5 | | | | |
| Tipo de suelo Tabla 2.4-1 | D | | | | |
| Aa: | 0,25 | Av: | 0,20 | | |
| Fa: | 1,30 | Fv: | 2,00 | I: | 1,50 |
| T0: | 0,12 s | Tc: | 0,59 s | TL: | 3,00 s |
| γ: | 18,5 kN/m ³ | Ø: | 32,0 ° | | |

Figura 15. Parámetros iniciales según la NSR- 10

12.2. Captación – Bocatoma

Para el siguiente punto se trabajará la captación, donde toma lugar el diseño de la captación, tomado por las partes de muro de captación, diseño de canal trapezoidal, canal de aducción y cámara de recolección.

12.2.1. Diseño de acero muro de captación

Acero Horizontal en muro

Parámetros utilizados:

Resistencia de concreto: 210 Kg/cm²

Fluencia de acero: 4200 Kg/cm²

Angulo de fricción interna del suelo (Ø): 10°

Cálculo de acero de muro

Coefficiente de presión activa (Ka):

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\emptyset}{2} \right) = 0.704$$

Empuje del terreno



$$H = Pt = Hp * Ka * \gamma_s = 1.20 \text{ Ton/m}^2$$

Empuje sísmico

$$E = 75\%Pt = 0.9 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

Peso ultimo

$$Pu = 1.0 * E + 1.6 * H = 2.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

Cálculo de Momentos

Por tratarse de muros donde la longitud supera ampliamente a la altura, lo consideramos como muros en voladizo.

Cálculo de peralte efectivo en muro

$$d = em - r - \frac{\emptyset}{2} = 9.37 \text{ cm}$$

Cálculo de momento negativo

$$M- = Pu * \frac{Hp^2}{6} = 0.47 \text{ Ton} * m$$

Cálculo de acero mínimo

$$As_{min} = 0.018 * b * d$$

Donde:

Tabla 33: Valores cálculo de acero

| | | |
|-------|------|--------------------|
| Mu = | 0.47 | Ton*m |
| b = | 100 | cm |
| F'c = | 210 | Kg/cm ² |
| Fy = | 4200 | Kg/cm ² |
| d = | 9.37 | cm |

Resultando con un valor de 1.69 cm² para el área del acero mínimo



Cálculo de acero de diseño

Realizando una serie de iteraciones para encontrar el área de diseño se obtienen los siguientes resultados

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * b}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

Tabla 34: Iteraciones calculo acero

| Nº Iteración | a (cm) | As (cm ²) |
|--------------|--------|-----------------------|
| 1 iteración | 0.94 | 1.39 |
| 2 iteración | 0.33 | 1.35 |
| 3 iteración | 0.32 | 1.35 |
| 4 iteración | 0.32 | 1.35 |
| 5 iteración | 0.32 | 1.35 |
| 6 iteración | 0.32 | 1.35 |
| 7 iteración | 0.32 | 1.35 |
| 8 iteración | 0.32 | 1.35 |

Debido a que el área no cumple con el mínimo, se utilizara el área mínima

Tabla 35: Distribución acero de refuerzo horizontal

| As (cm ²) | Distribución del Acero de Refuerzo | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|------|
| | Ø 3/8" | Ø 1/2" | Ø 5/8" | Ø 3/4" | Ø 1" |
| 1.69 | 0.42 | 0.75 | 1.18 | 1.70 | 3.01 |

Donde se utilizará ½" @0.75 en ambas caras

1. Aceros verticales en muros

$$As_{min} = 0.018 * b * d$$

Donde resulta un valor de 1.69 cm²


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Tabla 36: Distribución acero de refuerzo vertical

| As | Distribución del Acero de Refuerzo | | | | |
|--------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|------|
| (cm ²) | Ø 3/8" | Ø 1/2" | Ø 5/8" | Ø 3/4" | Ø 1" |
| 1.69 | 0.42 | 0.75 | 1.18 | 1.70 | 3.01 |

Donde se utilizará 1/2" @0.75 en ambas caras

12.2.2. *Diseño de canal trapezoidal*

Para el diseño del canal trapezoidal gracias a los cálculos de la sección de la máxima eficiencia, se logran obtener las siguientes dimensiones del canal:

Ancho inferior: 0,25 m

Ancho superior: 0,55 m

Altura: 0,3 m

Talud: 0,5

Para las presiones laterales del canal se usa Mononobe-Okabe para incluir sismo. Se presentan los coeficientes de presión activa:

K_a: 0,35 – presión máxima

K_{AE}: 0,57 - Mononobe-Okabe, con sismo

El sobrefuerzo se calcula trabajando con una altura de sobrepeso de 0.3 metros,

$$p1 = M_{suelo} * h_{sobrepeso} * K_A$$

$$p1 = 0.3 * 1.85 * 0.35 = 0.20 \text{ T/m}^2 \rightarrow \text{por metro de canal}$$

$$p2 = M_{suelo} * h_{sobrepeso} * K_{AE}$$

$$p2 = 0.3 * 1.85 * 0.57 = 0.34 \text{ T/m}^2 \rightarrow \text{por metro de canal}$$



Las fuerzas ejercidas sobre las paredes del canal se hallan a continuación,

$$H1 = 0.20 * 0.3 = 0.07 \text{ Tn/mt canal}$$

$$H2 = 0.32 * \frac{0.3}{2} = 0.05 \text{ Tn/mt canal}$$

El momento de diseño se halla con un factor de seguridad de 1.6 como se muestra a continuación,

$$M_{Diseño} = (0.07 * 0.15 + 0.05 * 0.1) * 1.6 = 0.0248 \text{ Tn} - \text{m} \rightarrow \text{Por metro de canal}$$

• **Sección del canal:**

Se tienen 10 cm de pared y se realiza el diseño por metro de longitud,

$$\text{Area nominal para malla 4 mm} = \left(\frac{100}{10}\right) * 0.4^2 * \frac{\pi}{4} = 1.257 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Se considera una malla de 4 mm diámetro del alambre separados cada 10 cm, para cada dirección.

A continuación, se obtiene el momento último resistente,

$$Mu = 0.9 * \frac{0.838 * 100 * 420}{10^6} * \left(50 - \frac{0.838 * 100 * 420}{0.85 * 21 * 1000}\right) = 1.7 \text{ kn} - \text{m}$$

$$Mu = 0.17 \text{ Tn} - \text{m} > M_{Diseño} = 0.15 \text{ Tn} - \text{m} \text{ ok}$$


Para el cálculo de cortante se toma la sección transversal del muro y las fuerzas perpendiculares a la pared inclinada,

$$Vu = (H_1 + H_2) * \cos 45^\circ$$

$$Vu = (0.07 + 0.1) * \cos 45^\circ = 0.12 \text{ Tn} \rightarrow \text{Por metro de canal}$$

$$\phi Vc = 0.75 * \frac{\sqrt{21}}{6} * \frac{50 * 1000}{10^3} = 28.6 \text{ kN} = 2.86 \text{ Tn} > 0.12 \text{ Tn} \text{ ok!}$$

El canal debe tener 10 cm de espesor

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

12.2.3. *Diseño de canal de aducción*

En el diseño de una línea de aducción es esencial considerar las fuerzas estáticas del suelo y del agua, así como las solicitaciones sísmicas que afectan tanto al terreno como al fluido contenido. Las presiones laterales del suelo, las cargas hidrostáticas y las sobrepresiones sísmicas influyen directamente en la estabilidad de las tuberías enterradas. Una evaluación adecuada de estas acciones permite garantizar la seguridad estructural y operativa del sistema, conforme a los criterios geotécnicos, hidráulicos y sismorresistentes vigentes. A continuación, se presentan los diferentes cálculos para determinar cada una de las cargas mencionadas.

Dimensiones Internas

| | | | |
|----------------------|-----|------|---|
| Altura Interna muros | Hw: | 1.10 | m |
| Lado largo | L: | 0.70 | m |
| Lado Corto tanque | B: | 0.40 | m |

Empuje del suelo

| | | | | | | | | |
|----------------|------|-------------------|-----------------|------|---|-----|------|------|
| Y: | 18,5 | kN/m ³ | Ø: | 32,0 | ° | Ka: | 0,31 | |
| Efectivo | | | | | | | | |
| Hw: | 1,10 | m | Hs: | 1,10 | m | Kp: | 3,25 | |
| Altura de muro | | | Altura de Suelo | | | | | |
| Po: | 9,6 | kN/m ² | | | | | Ko: | 0,47 |

La **Figura 16** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al



peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m^2), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 1.1 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo solicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

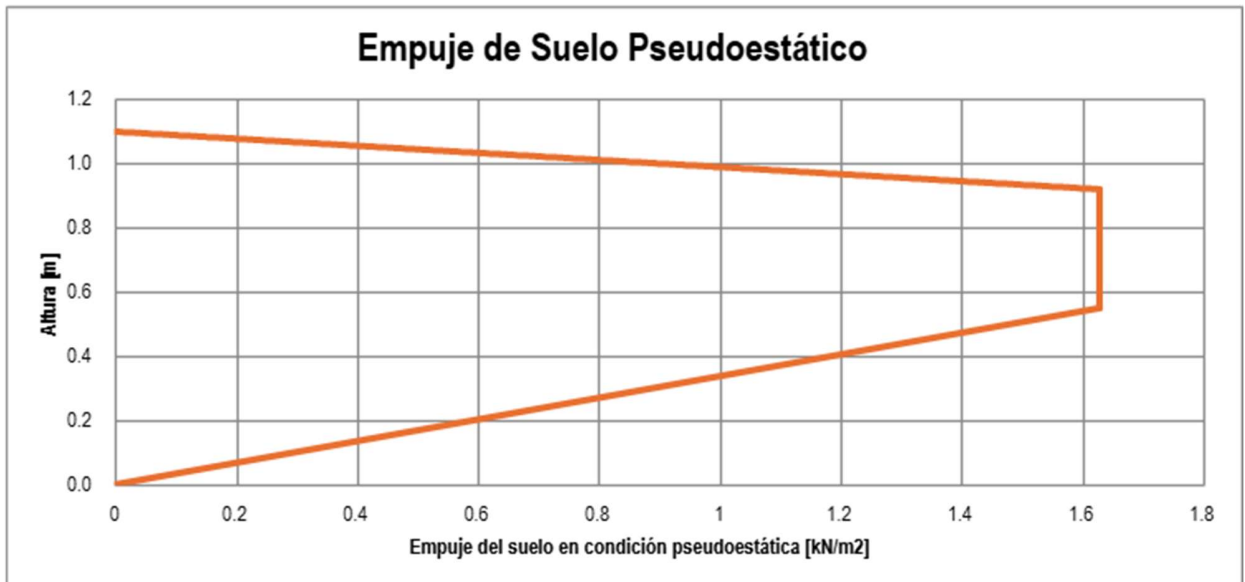


Figura 16. Empuje de Suelo Pseudoestático

12.2.4. *Diseño de cámara de recolección*

En el diseño de una cámara de recolección es fundamental considerar las cargas que actúan sobre la estructura, tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Entre estas se encuentran el empuje lateral del suelo, las cargas verticales por sobrecargas superficiales, las presiones hidrostáticas internas y externas, y las solicitaciones sísmicas inducidas por el terreno y por el agua contenida. Estas acciones influyen directamente en la estabilidad de los muros y losas,



por lo que deben ser evaluadas rigurosamente para garantizar la seguridad estructural y la funcionalidad hidráulica de la cámara. Una correcta estimación de estas cargas permite establecer espesores, refuerzos y detalles constructivos acordes con los criterios geotécnicos, estructurales e hidráulicos vigentes. A continuación, se presentan los diferentes cálculos para determinar cada una de las cargas mencionadas.

Dimensiones internas

| | | | |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Altura Interna muros | Hw: | 1.25 | m |
| Lado largo | L: | 1.40 | m |
| Lado Corto tanque | B: | 1.20 | m |

Empuje del suelo

| | | | | | | | |
|-----|----------------|-------------------------|-----|-----------------|----------|-----|-------------|
| Y: | 18,5 | kN/m³ | Ø: | 32,0 | ° | Ka: | 0,31 |
| | Efectivo | | | | | | |
| Hw: | 1,25 | m | Hs: | 1.25 | m | Kp: | 3,25 |
| | Altura de muro | | | Altura de Suelo | | | |
| Po: | 10.9 | kN/m² | | | | Ko: | 0,47 |

La **Figura 17** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m²), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 1.3 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje



total que una estructura enterrada experimentaría bajo solicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

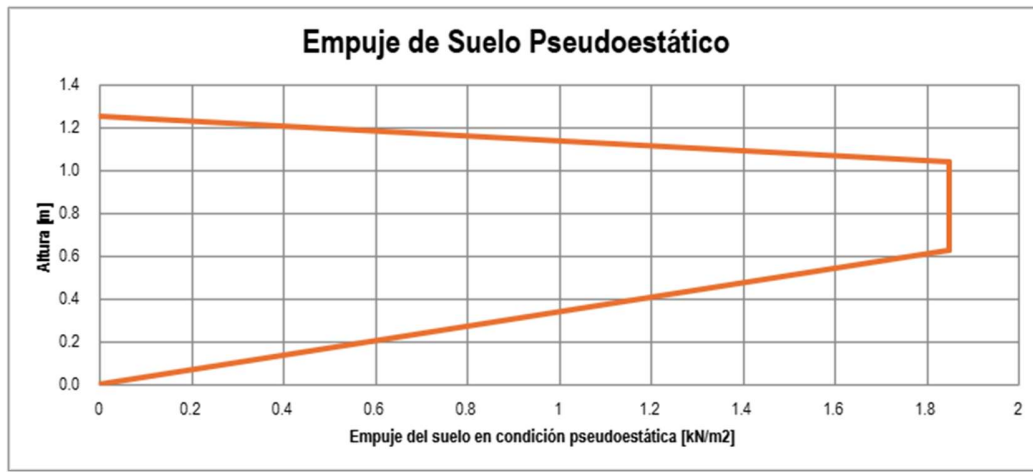


Figura 17. Empuje de Suelo Pseudoestático

12.3. Desarenador

En el presente trabajo se desarrollará el diseño estructural para el desarenador, el cual se llevará a cabo conforme a los lineamientos establecidos por la Norma Sismo-Resistente NSR-10, y se orientará a garantizar la estabilidad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras bajo las condiciones operativas y de carga previstas.

12.3.1. Muro Largo

Dimensiones Internas

| | | | |
|----------------------|-----|--------------|----------|
| Altura Interna muros | Hw: | 2,47 | m |
| Lado largo | L: | 10,00 | m |
| Lado Corto tanque | B: | 2,00 | m |

Empuje del suelo



| | | | | | | | | |
|-----|----------------|-------------------------|-----------------|-------------|---|-----|-------------|-------------|
| Y: | 18,5 | kN/m³ | Ø: | 32,0 | ° | Ka: | 0,31 | |
| | Efectivo | | | | | | | |
| Hw: | 2,47 | m | Hs: | 2,47 | m | Kp: | 3,25 | |
| | Altura de muro | | Altura de Suelo | | | | | |
| Po: | 21,5 | kN/m² | | | | | Ko: | 0,47 |

La **Figura 18** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m²), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 2.3 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo sollicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

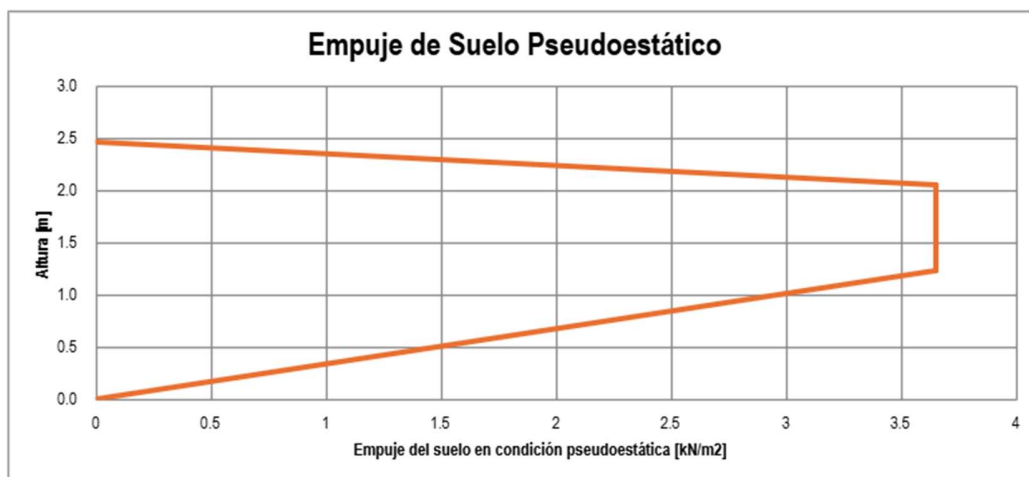


Figura 18. Empuje de Suelo Pseudoestático



Cálculo de Altura ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.

HL: **2.17** *m* Iteración I: **1.50** AIS 180 - 7.6.1-c

Lado Largo

Lado Corto

L: **10.00** *m*

L: **2.00** *m*

Tco: **4.06** *s*

Tco: **1.48** *s*

Saco: **0.196**

Saco: **0.730**

δ : **0.825** *m*

δ : **0.613** *m*


Altura máxima de Operación HL: **1.64** *m*

Descripción de los parámetros

HL = 2.17 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.50: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.

Lado Largo:

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

L = 10.00 m: Longitud del lado largo del tanque.

$T_{\infty} = 4.06$ s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

Saco = 0.196: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).

$\delta = 0.825$ m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

Lado Corto:

L = 2.00 m: Longitud del lado corto del tanque.

$T_{\infty} = 1.48$ s: Periodo de oscilación en el lado corto.

Saco = 0.730, $\delta = 0.613$ m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

HL = 1.64 m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.



Elementos Estructurales

γ : 24 kN/m³

Muros

W_m : 562 kN

Losa sobre Terreno

W_l : 192 kN

Peso Total Estructura

W : 754 kN

Liquido Almacenado

γ : 10.00 kN/m³

Peso Total Liquido

W_L : 433.40 kN

En la **Figura 19**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

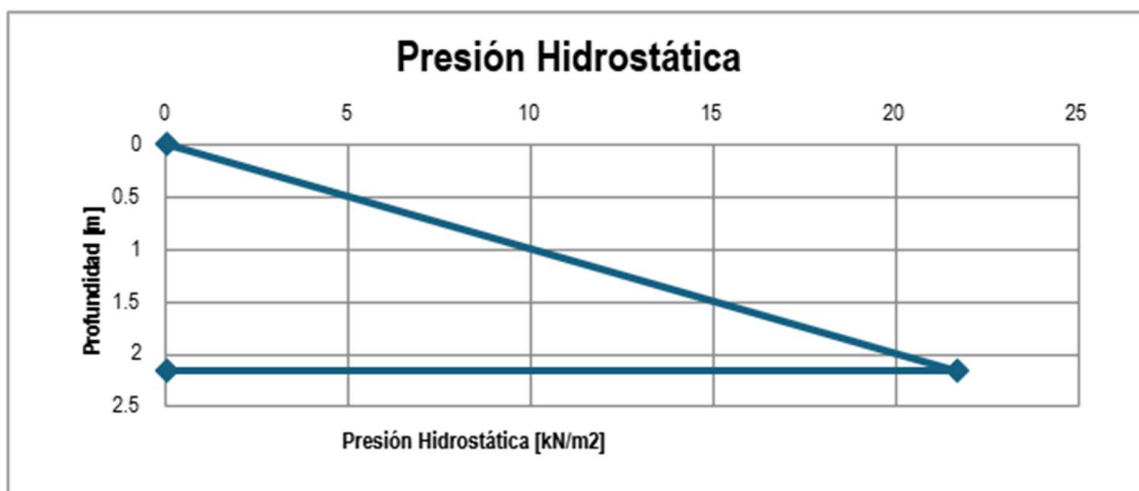


Figura 19. Presión hidrostática



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Fuerzas hidrodinámicas - AIS 180, ACI 350-06

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.

Lado Largo

L: **10.00** m

B: **2.00** m

Lado Corto

L: **2.00** m

B: **10.00** m

Masa Impulsiva

Wi: **108** kN

Wi: **360** kN



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **0.813** m

hi: **0.896** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hi': **4.062** m

hi': **1.034** m

Masa Convectiva

Wc: **314** kN

Wc: **105** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **1.12** m

hc: **1.57** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **5.446** m

hc': **1.616** m

Periodo Para Masa Impulsiva

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de Tc.

Periodo Para Masa Convectiva

λ : **4.29**

λ : **5.56**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Tco: **4.63** s

Tco: **1.60** s

Características Sísmicas AIS 180

I: **1.50**

I: **1.50**

Ri: **2.00**

Ri: **2.00**

Rc: **1.50**

Rc: **1.50**

Sai: **1.22** g

Sai: **1.22** g

Saco: **0.151** g

Saco: **0.676** g

Coefficiente de Masa Efectiva

ε : **0.462**

ε : **0.858**

Aceleración Vertical

Sav: **0.81** g

Sav: **0.81** g

Fuerzas Dinámicas

Ww: **562** kN

Ww: **562** kN



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

W_w : **26** *kN*

W_w : **130** *kN*

P_w : **158** *kN*

P_w : **294** *kN*

P_w' : **7** *kN*

P_w' : **68** *kN*

P_i : **66** *kN*

P_i : **219** *kN*

P_c : **32** *kN*

P_c : **47** *kN*

Cortante Total en la Base

V : **227** *kN*

V : **515** *kN*

Momentos en Base y Vuelco

M_w : **172** *kN.m*

M_w : **319** *kN.m*

M_i : **54** *kN.m*

M_i : **196** *kN.m*

M_c : **36** *kN.m*

M_c : **75** *kN.m*

M_i' : **268** *kN.m*

M_i' : **227** *kN.m*

M_c' : **172** *kN.m*

M_c' : **77** *kN.m*

M : **228** *kN.m*

M : **520** *kN.m*

M' : **472** *kN.m*

M' : **551** *kN.m*



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

FSD: **3.28**

FSD: **1.44**

FSV: **12.57**

FSV: **2.16**

Presión Inercial

Pwy: **5.07** *kN/m*

Pwy: **47.04** *kN/m*

Presión Vertical

Pvy₀ **17.61** *kPa*

Pwy: **17.61** *kPa*

Pvy_{HL} **0.00** *kPa*

Pvy **0.00** *kPa*

Presión Impulsiva

Piy₀ **26.67** *kN/m*

Piy **76.86** *kN/m*

Piy_{HL} **3.81** *kN/m*

Piy **24.33** *kN/m*

Presión Convectiva

Pcy₀ **6.49** *kN/m*

Pcy **-3.92** *kN/m*

Pcy_{HL} **8.12** *kN/m*

Pcy **25.84** *kN/m*



Presiones Totales - Lineal Equivalente

| | | | |
|-----------|--------------------------|-------|---------------------------|
| P_{y0} | 47.85 <i>kN/m</i> | P_y | 215.33 <i>kN/m</i> |
| P_{yHL} | 12.03 <i>kN/m</i> | P_y | 75.91 <i>kN/m</i> |
| p_{y0} | 23.92 <i>kN/m</i> | p_y | 21.53 <i>kN/m</i> |
| p_{yHL} | 6.02 <i>kN/m</i> | p_y | 7.59 <i>kN/m</i> |

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard. En la **Figura 20** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 23.92 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

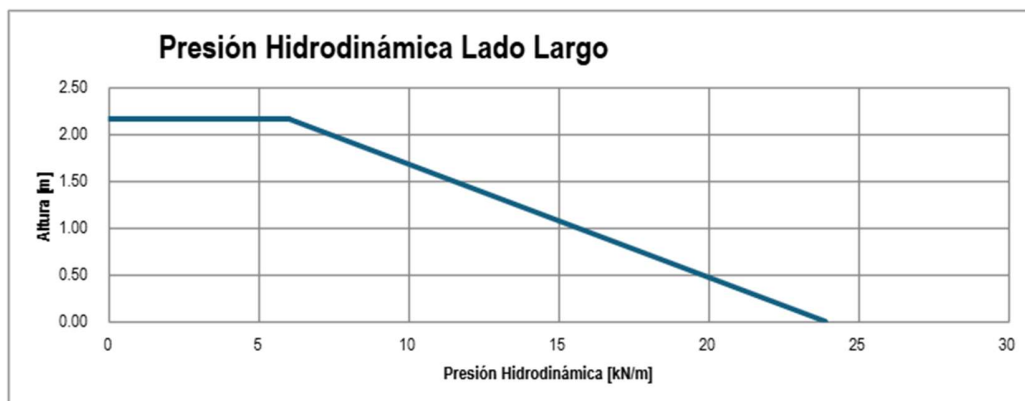


Figura 20. Presión hidrodinámica lado largo del desarenador



En la **Figura 21** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 23.92 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

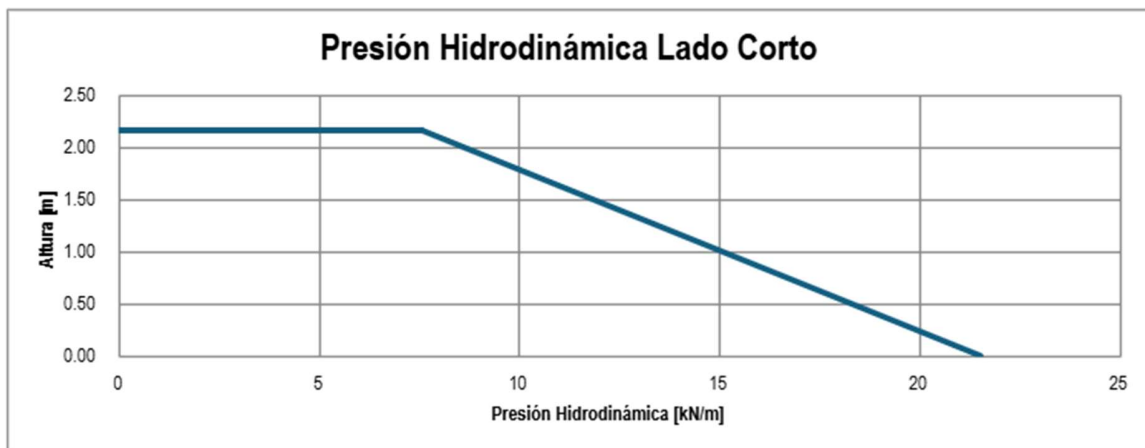


Figura 21. Presión hidrodinámica lado corto del desarenador

En las siguientes figuras se representa la distribución de las cargas sísmicas inducidas por el agua sobre las paredes del desarenador, considerando los efectos hidrodinámicos generados durante un evento sísmico.

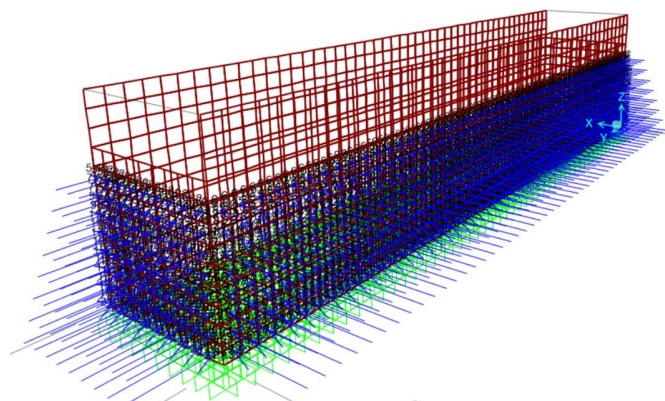


Figura 22. Carga sísmica del agua en las caras externas de los muros

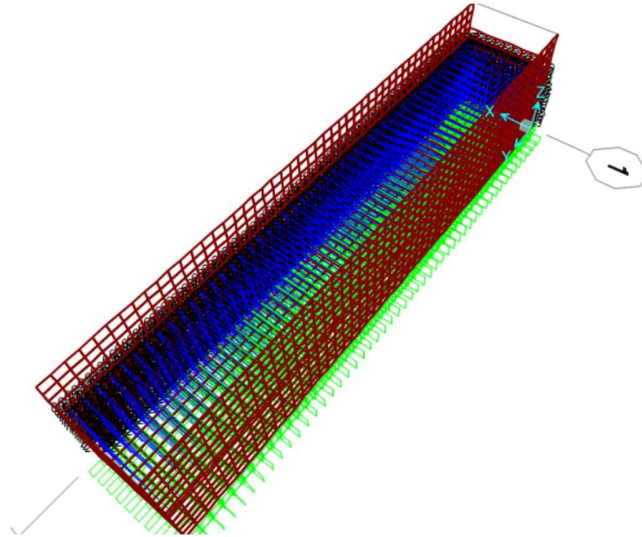


Figura 23. Carga sísmica del agua en las caras interna de los muros

12.3.2. Muro Corto

Ahora se realiza el cálculo para el muro corto, ya que tiene una altura diferente, por lo que se toma por aparte.

Dimensiones internas

| | | | |
|----------------------|-----|--------------|----------|
| Altura Interna muros | Hw: | 1.97 | m |
| Lado largo | L: | 10.00 | m |
| Lado Corto tanque | B: | 2.00 | m |

Empuje del suelo

| | | | | | | | | |
|----------------|-------------|-------------------------|-----|-------------|----------|-----|-------------|-------------|
| Y: | 18.5 | kN/m³ | Ø: | 32.0 | ° | Ka: | 0.31 | |
| Efectivo | | | | | | | | |
| Hw: | 1.97 | m | Hs: | 1.97 | m | Kp: | 3.25 | |
| Altura de muro | | Altura de Suelo | | | | | | |
| Po: | 17.1 | kN/m² | | | | | Ko: | 0.47 |



La **Figura 24** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m^2), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 2 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo solicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

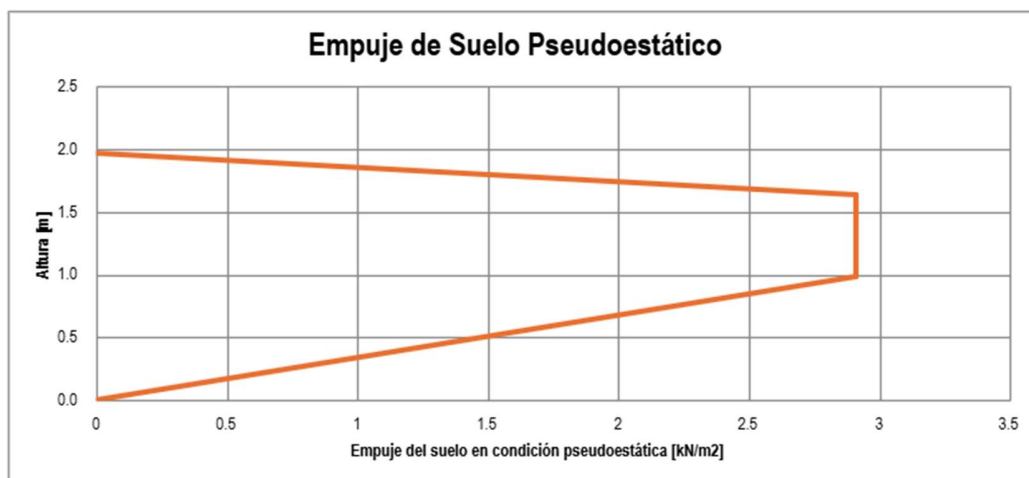


Figura 24. Empuje de Suelo Pseudoestático

Cálculo de Altura ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola



inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.

HL: **1.97** *m* Iteración I: **1.50** AIS 180 - 7.6.1-c

Lado Largo

Lado Corto

L: **10.00** *m*

L: **2.00** *m*

Tco: **4.20** *s*

Tco: **1.48** *s*

Saco: **0.183**

Saco: **0.730**

δ : **0.771** *m*

δ : **0.613** *m*

Altura máxima de Operación HL: **1.20** *m*

Descripción de los parámetros

HL = 1.97 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.50: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.

Lado Largo:

L = 10.00 m: Longitud del lado largo del tanque.

Tco = 4.20 s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

Saco = 0.183: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

$\delta = 0.825$ m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

Lado Corto:

$L = 2.00$ m: Longitud del lado corto del tanque.

$T_{co} = 1.48$ s: Periodo de oscilación en el lado corto.

$Saco = 0.730$

$\delta = 0.613$ m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

$HL = 1.20$ m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.

Elementos Estructurales

$\gamma:$ 24 kN/m³

Muros

$W_m:$ 448 kN



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Losa sobre Terreno

WL: **192 kN**

Peso Total Estructura

W: **640 kN**

Líquido Almacenado

Y: **10.00 kN/m³**

Peso Total Líquido

WL: **393.40 kN**

En la **Figura 25**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

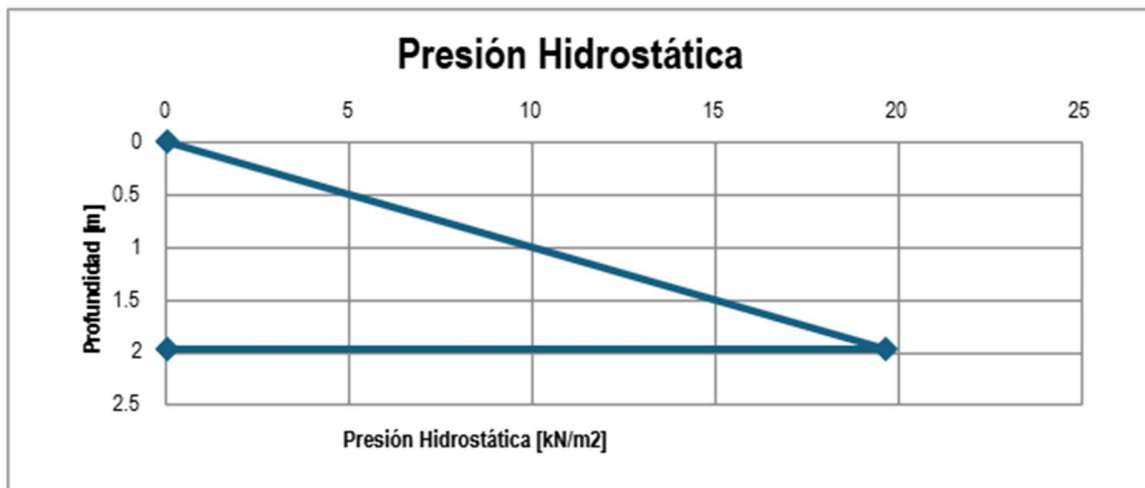


Figura 25. Presión hidrostática



Fuerzas hidrodinámicas - AIS 180, ACI 350-06

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.

Lado Largo

L: **10.00** m

B: **2.00** m

Lado corto

L: **2.00** m

B: **10.00** m

Masa Impulsiva

Wi: **89** kN

Wi: **316** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **0.738** m

hi: **0.796** m



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hi': **4.085** m

hi': **0.980** m

Masa Convectiva

Wc: **292** kN

Wc: **105** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **1.01** m

hc: **1.39** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **5.839** m

hc': **1.446** m

Periodo Para Masa Impulsiva

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de T_c .

Periodo Para Masa Convectiva

λ : **4.14**

λ : **5.56**

Tco: **4.80** s

Tco: **1.60** s

Características Sísmicas AIS 180

I: **1.50**

I: **1.50**

Ri: **2.00**

Ri: **2.00**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Rc: **1.50**

Rc: **1.50**

Sai: **1.22 g**

Sai: **1.22 g**

Saco: **0.140 g**

Saco: **0.675 g**

Coefficiente de Masa Efectiva

ϵ : **0.441**

ϵ : **0.843**

Aceleración Vertical

Sav: **0.81 g**

Sav: **0.81 g**

Fuerzas Dinámicas

Ww: **448 kN**

Ww: **448 kN**

Ww': **24 kN**

Ww': **118 kN**

Pw: **121 kN**

Pw: **230 kN**

Pw': **6 kN**

Pw': **61 kN**

Pi: **54 kN**

Pi: **192 kN**

Pc: **27 kN**

Pc: **47 kN**

Cortante Total en la Base

V: **177 kN**

V: **425 kN**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Momentos en Base y Vuelco

| | | | | | |
|------|------------|-------------|------|------------|-------------|
| Mw: | 119 | kN.m | Mw: | 226 | kN.m |
| Mi: | 40 | kN.m | Mi: | 153 | kN.m |
| Mc: | 28 | kN.m | Mc: | 66 | kN.m |
| Mi': | 222 | kN.m | Mi': | 188 | kN.m |
| Mc': | 159 | kN.m | Mc': | 68 | kN.m |
| M: | 161 | kN.m | M: | 385 | kN.m |
| M': | 376 | kN.m | M': | 421 | kN.m |

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

| | | | |
|------|--------------|------|-------------|
| FSD: | 3.65 | FSD: | 1.52 |
| FSV: | 13.73 | FSV: | 2.46 |

Presión Inercial

| | | | | | |
|------|-------------|-------------|------|--------------|-------------|
| Pwy: | 4.84 | kN/m | Pwy: | 46.21 | kN/m |
|------|-------------|-------------|------|--------------|-------------|

Presión Vertical

| | | | | | |
|-------------------|--------------|------------|------|--------------|------------|
| Pvy ₀ | 15.98 | kPa | Pwy: | 15.98 | kPa |
| Pvy _{HL} | 0.00 | kPa | Pvy | 0.00 | kPa |



Presión Impulsiva

| | | | |
|-------------------|-------------------|-----|-------------------|
| Piy ₀ | 24.21 kN/m | Piy | 76.88 kN/m |
| Piy _{HL} | 3.46 kN/m | Piy | 20.94 kN/m |

Presión Convectiva

| | | | |
|-------------------|------------------|-----|-------------------|
| Pcy ₀ | 6.30 kN/m | Pcy | -2.82 kN/m |
| Pcy _{HL} | 7.59 kN/m | Pcy | 26.90 kN/m |

Presiones Totales - Lineal Equivalente

| | | | |
|--------------------|-------------------|----|--------------------|
| Py ₀ | 43.65 kN/m | Py | 201.75 kN/m |
| Py _{HL} | 11.24 kN/m | Py | 72.33 kN/m |
| py ₀ : | 21.83 kN/m | py | 20.17 kN/m |
| py _{HL} : | 5.62 kN/m | py | 7.23 kN/m |

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard. En la **Figura 26** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 23.92 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja



cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

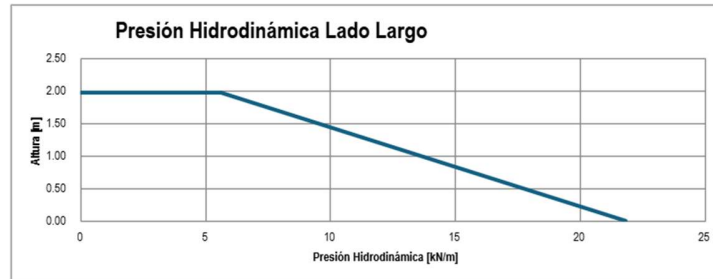


Figura 26. Presión hidrodinámica lado largo del desarenador

En la **Figura 27** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 23.92 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

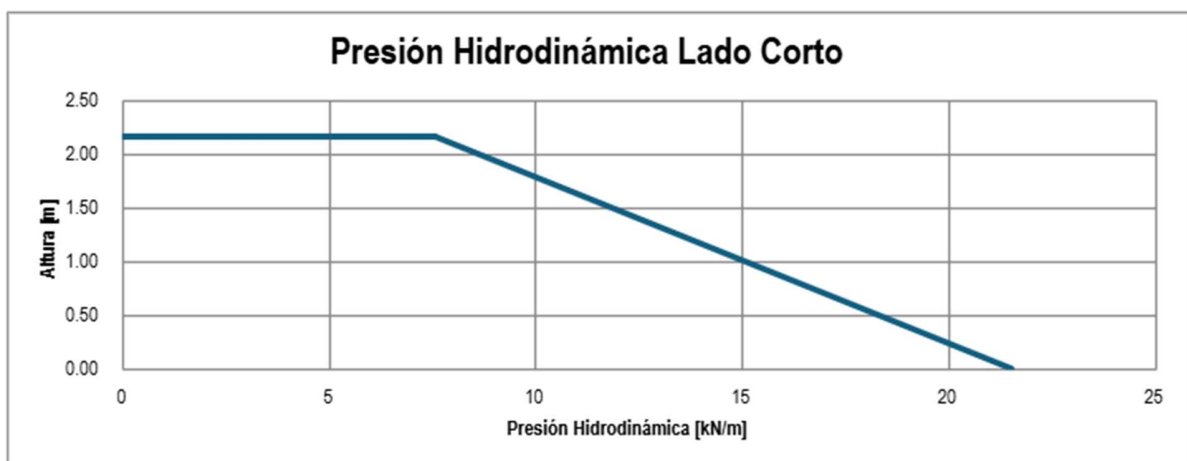



Figura 27. Presión hidrodinámica lado corto del desarenador

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

12.4. Filtración en Múltiples Etapas

En el presente trabajo se desarrollará el diseño estructural de los tres tipos de filtros que componen el sistema de tratamiento de agua de la planta, específicamente los filtros de filtración gruesa dinámica, filtración gruesa ascendente y filtración lenta en arena. Este diseño estructural se llevará a cabo conforme a los lineamientos establecidos por la Norma Sismo-Resistente NSR-10, y se orientará a garantizar la estabilidad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras bajo las condiciones operativas y de carga previstas.

12.4.1. Filtración gruesa dinámica

Se presentan los valores de las dimensiones de la estructura y las características del suelo para determinar las cargas que se aplicaran en muros y la losa.

Dimensiones internas

| | |
|----------------------|-------------------|
| Altura Interna muros | Hw: 1,10 m |
| Lado largo | L: 4,29 m |
| Lado Corto tanque | B: 0,86 m |

Empuje del suelo

| | | |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Y: 18,5 kN/m ³ Efectivo | Ø: 32 ° | Ka: 0,31 |
| Hw: 1,10 m Altura de muro | Hs: 1,10 m Altura de Suelo | Kp: 3,25 |
| Po: 9,6 kN/m ² | | Ko: 0,47 |



La **Figura 28** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m^2), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 1.1 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo sollicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

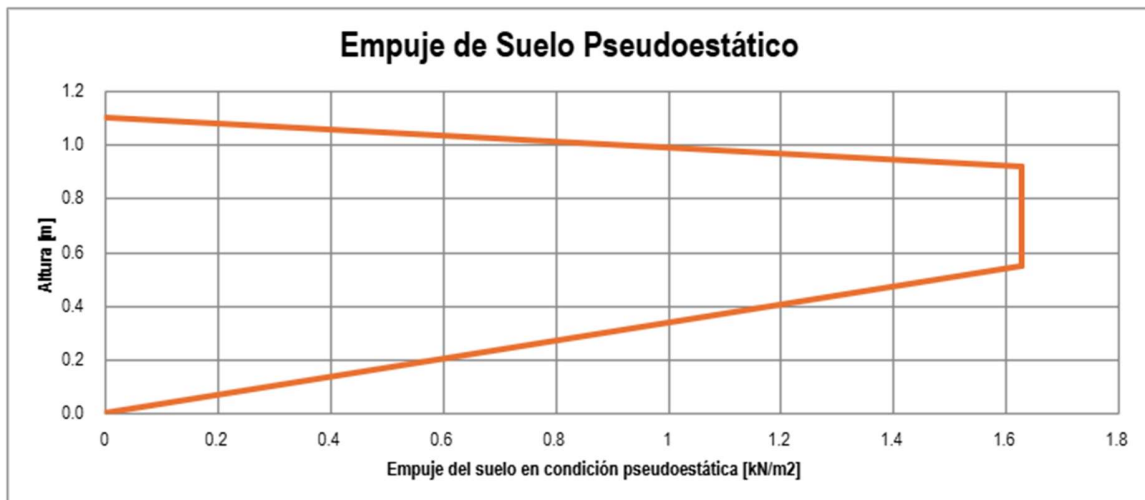


Figura 28. Empuje de Suelo Pseudoestático

Cálculo de Altura ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos



sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.

HL: **1,10** *m* Iteración I: **1,50** AIS 180 - 7.6.1-c

Lado Largo

Lado Corto

L: **4,29** *m*

L: **0,86** *m*

Tco: **2,52** *s*

Tco: **0,97** *s*

Saco: **0,428**

Saco: **1,115**

δ : **0,771** *m*

δ : **0,402** *m*

Altura máxima de Operación HL: **0,33** *m*

Descripción de los parámetros


HL = 1.10 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.50: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.

Lado Largo:

L = 4.29 m: Longitud del lado largo del tanque.

Tco= 2.52 s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Saco = 0.428: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).

$\delta = 0.771$ m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

Lado Corto:

L = 0.86 m: Longitud del lado corto del tanque.

Tco = 0.97 s: Periodo de oscilación en el lado corto.

Saco = 1.115


$\delta = 0.402$ m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

HL = 0.33 m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo, al igual que la grava que se implementará para el filtro. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Elementos Estructurales γ : 24 kN/m³

Muros W_m : 108 kN

Losa sobre Terreno W_l : 35 kN

Peso Total Estructura W : 143 kN

Líquido Almacenado γ : 10,00 kN/m³

Peso Total Líquido W_L : 40,49 kN

Elementos de los filtros γ : 17 kN/m³

Tres capas de grava W_g : 37 kN

En la **Figura 29**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

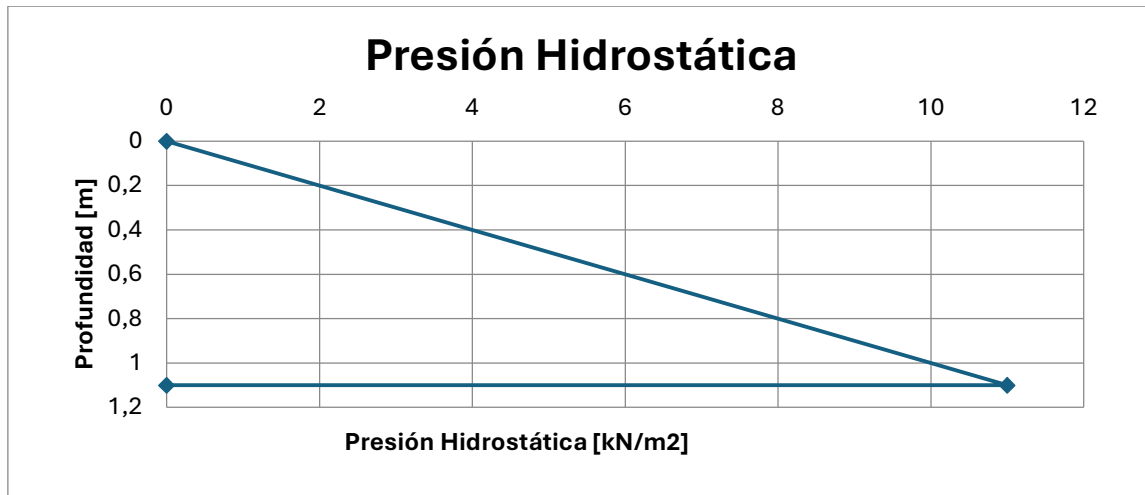


Figura 29. Presión hidrostática

Fuerzas hidrodinámicas - AIS 180, ACI 350-06

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.



Lado Largo

L: **4,29 m**

B: **0,86 m**

Lado corto

L: **0,86 m**

B: **4,29 m**

Masa Impulsiva

Wi: **12 kN**

Wi: **35 kN**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **0,413 m**

hi: **0,470 m**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hi': **1,724 m**

hi': **0,494 m**

Masa Convectiva

Wc: **28 kN**

Wc: **8 kN**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **0,58 m**

hc: **0,84 m**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **2,099 m**

hc': **0,847 m**

Periodo Para Masa Impulsiva

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de T_c .



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Periodo Para Masa Convectiva

λ : **4,56**

λ : **5,57**

Tco: **2,86 s**

Tco: **1,05 s**

Características Sísmicas AIS 180

I: **1,50**

I: **1,50**

Ri: **2,00**

Ri: **2,00**

Rc: **1,50**

Rc: **1,50**

Sai: **1,22 g**

Sai: **1,22 g**

Saco: **0,378 g**

Saco: **1,033 g**

Coefficiente de Masa Efectiva

ε : **0,507**

ε : **0,881**

Aceleración Vertical

Sav: **0,81 g**

Sav: **0,81 g**

Fuerzas Dinámicas

Ww: **108 kN**

Ww: **108 kN**

Ww': **6 kN**

Ww': **28 kN**

Pw: **33 kN**

Pw: **58 kN**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Pw': **2** *kN*

Pw': **15** *kN*

Pi: **7** *kN*

Pi: **21** *kN*

Pc: **7** *kN*

Pc: **6** *kN*

Cortante Total en la Base

V: **41** *kN*

V: **79** *kN*

Momentos en Base y Vuelco

Mw: **18** *kN.m*

Mw: **32** *kN.m*

Mi: **3** *kN.m*

Mi: **10** *kN.m*

Mc: **4** *kN.m*

Mc: **5** *kN.m*

Mi': **13** *kN.m*

Mi': **11** *kN.m*

Mc': **15** *kN.m*

Mc': **5** *kN.m*

M: **22** *kN.m*

M: **42** *kN.m*

M': **34** *kN.m*

M': **43** *kN.m*

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

FSD: **2,79**

FSD: **1,44**

FSV: **11,51**

FSV: **1,84**



Presión Inercial

Pwy: **2,38** *kN/m*

Pwy: **20,74** *kN/m*

Presión Vertical

Pvy₀ **8,94** *kPa*

Pwy: **8,94** *kPa*

Pvy_{HL} **0,00** *kPa*

Pvy **0,00** *kPa*

Presión Impulsiva

Piy₀ **5,80** *kN/m*

Piy **14,06** *kN/m*

Piy_{HL} **0,83** *kN/m*

Piy **5,48** *kN/m*

Presión Convectiva

Pcy₀ **2,71** *kN/m*

Pcy **-1,49** *kN/m*

Pcy_{HL} **3,69** *kN/m*

Pcy **6,70** *kN/m*

Presiones Totales - Lineal Equivalente

Py₀ **11,54** *kN/m*

Py **51,80** *kN/m*

Py_{HL} **4,89** *kN/m*

Py **27,06** *kN/m*

py₀: **13,44** *kN/m*

py **12,07** *kN/m*

py_{HL}: **5,70** *kN/m*

py **6,31** *kN/m*

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación



corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard.

En la **Figura 30** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared en el muro largo, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 13.44 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

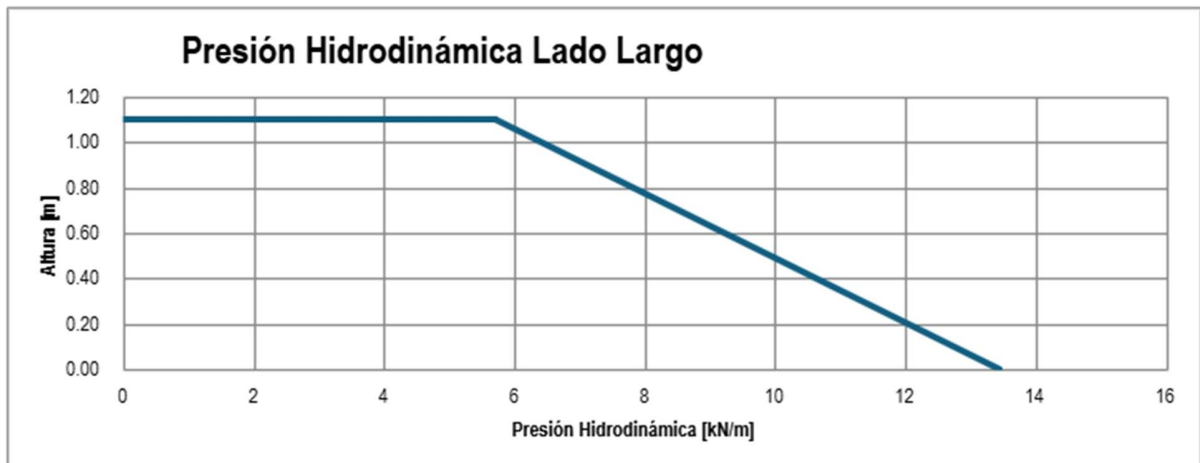


Figura 30. Presión hidrodinámica lado largo del filtro dinámico

En la **Figura 31** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared del muro corto, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 12.08 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja



cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

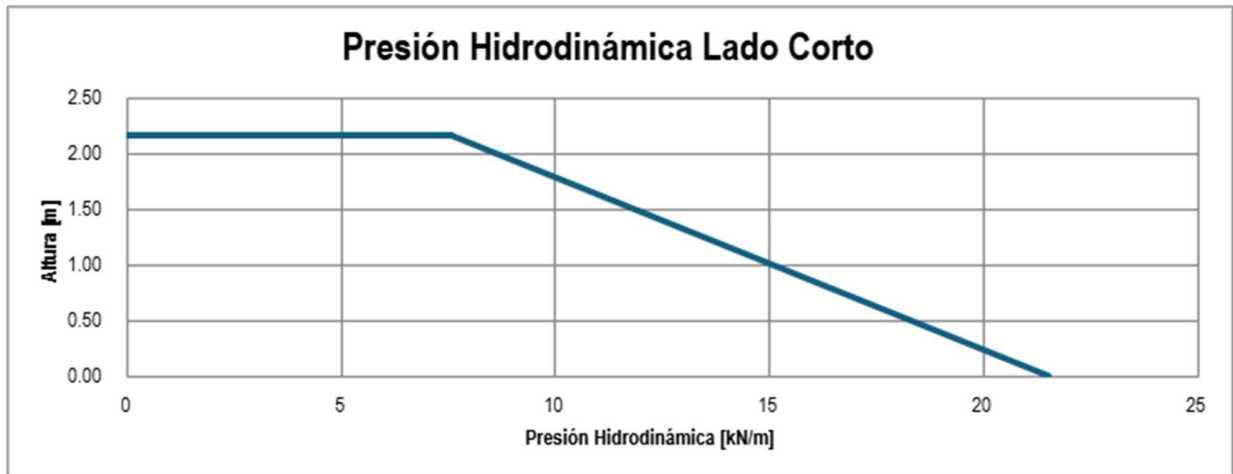


Figura 31. Presión hidrodinámica lado corto del filtro dinámico

En las siguientes figuras se representa la distribución de las cargas sísmicas inducidas por el agua sobre las paredes del filtro grueso dinámico, considerando los efectos hidrodinámicos generados durante un evento sísmico.

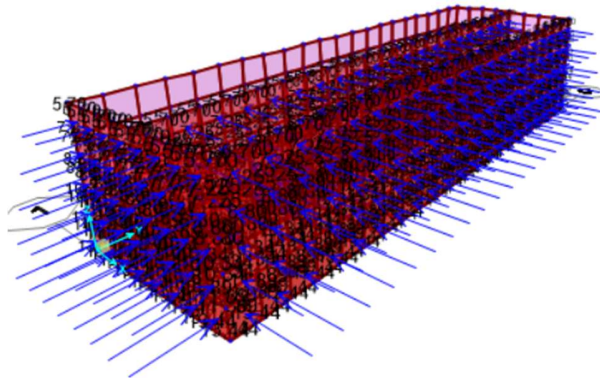


Figura 32. Carga sísmica del agua cara externa filtro grueso dinámico

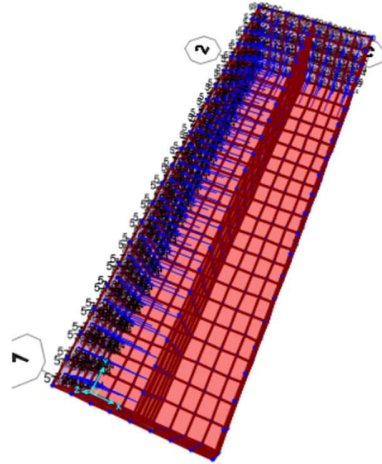


Figura 33. Carga sísmica del agua cara interna filtro grueso dinámico

12.4.2. Filtración gruesa ascendente

Se presentan los valores de las dimensiones de la estructura y las características del suelo para determinar las cargas que se aplicaran en muros y la losa.

Dimensiones internas

| | | |
|----------------------|-----|---------------|
| Altura Interna muros | Hw: | 1,50 m |
| Lado largo | L: | 7,01 m |
| Lado Corto tanque | B: | 3,50 m |

Empuje del suelo

| | | | | | |
|----------------|-------------------------------|-----------------|---------------|-----|-------------|
| Y: | 18,5 kN/m ³ | Ø: | 32,0 ° | Ka: | 0,31 |
| Efectivo | | | | | |
| Hw: | 1,5 m | Hs: | 1,5 m | Kp: | 3,25 |
| Altura de muro | | Altura de Suelo | | | |
| Po: | 13 kN/m ² | | | Ko: | 0,47 |



La **Figura 34** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m^2), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 1.5 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo sollicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

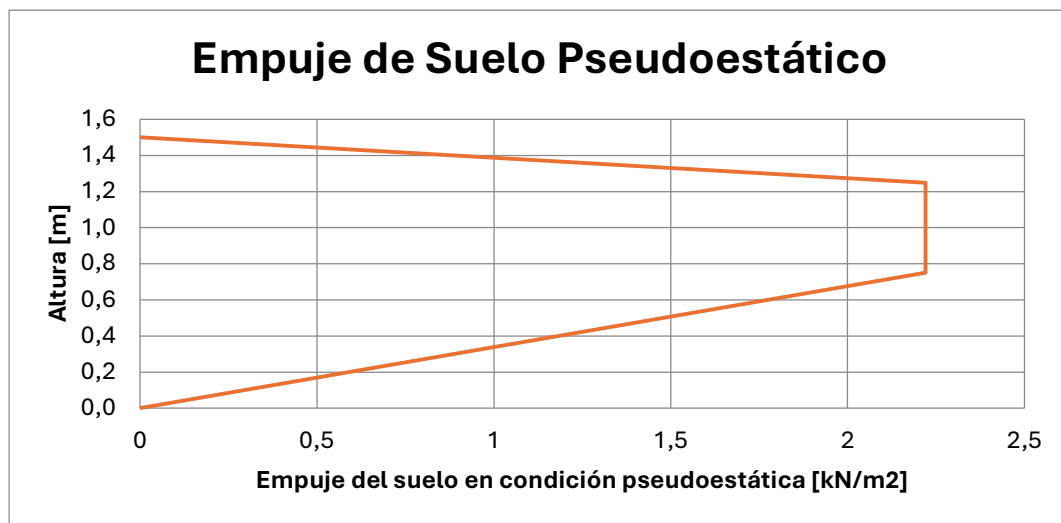



Figura 34. Empuje de Suelo Pseudoestático

Cálculo de Altura ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.

Lado Largo

Lado Corto

L: **7,01 m**

L: **3,50 m**

Tco: **3,41 s**

Tco: **2,04 s**

Saco: **0,278**

Saco: **0,529**

δ : **0,818 m**

δ : **0,778 m**

Altura máxima de Operación HL: **0,68 m**

Descripción de los parámetros

HL = 1.50 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.50: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.

Lado Largo:

L = 7.01 m: Longitud del lado largo del tanque.

Tco = 3.41 s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

Saco = 0.278: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

$\delta = 0.818$ m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

Lado Corto:

$L = 3.50$ m: Longitud del lado corto del tanque.

$T_{co} = 2.04$ s: Periodo de oscilación en el lado corto.

$Saco = 0.529$

$\delta = 0.778$ m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

$HL = 0.68$ m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo, al igual que la grava que se implementará para el filtro. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.

Elementos Estructurales

$\gamma:$ 24 kN/m³

Muros

$W_m:$ 95 kN



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Losa sobre Terreno

Wl: **236 kN**

Peso Total Estructura

W: **330 kN**

Líquido Almacenado

Y: **10.00 kN/m³**

Peso Total Líquido

WL: **368.10 kN**

Elementos de los filtros

Y: **17 kN/m³**

Cuatro capas de grava

Wg: **367 kN**

En la **Figura 35**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

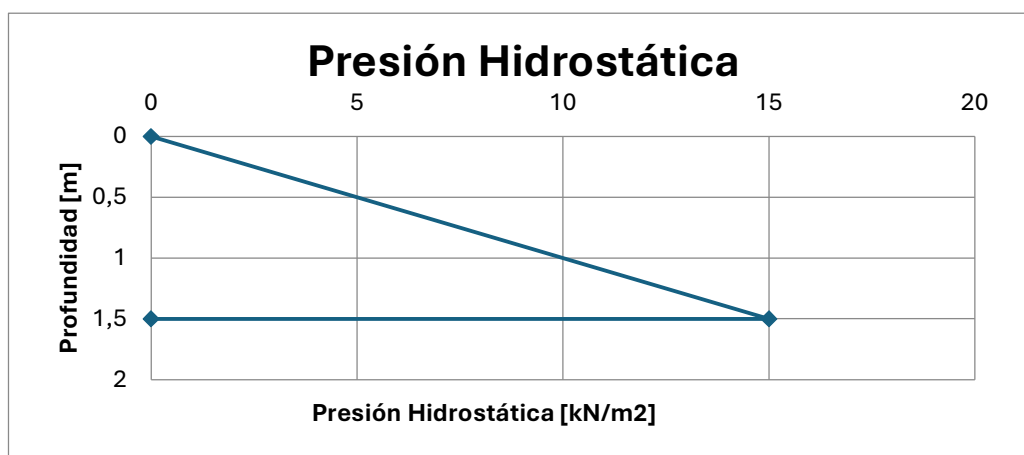


Figura 35. Presión hidrostática



Fuerzas hidrodinámicas - AIS 180, ACI 350-06

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.

Lado Largo

L: **7,01 m**

B: **3,50 m**

Lado corto

L: **3,50 m**

B: **7,01 m**

Masa Impulsiva

Wi: **91 kN**

Wi: **176 kN**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **0,563 m**

hi: **0,563 m**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

hi': **2,848 m**

hi': **1,383 m**

Masa Convectiva

Wc: **267 kN**

Wc: **199 kN**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **0,78 m**

hc: **0,85 m**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **3,847 m**

hc': **1,467 m**

Periodo Para Masa Impulsiva

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de Tc.

Periodo Para Masa Convectiva

λ : **4,27**

λ : **5,21**

Tco: **3,89 s**

Tco: **2,26 s**

Características Sísmicas AIS 180

I: **1,50**

I: **1,50**

Ri: **2,00**

Ri: **2,00**

Rc: **1,50**

Rc: **1,50**

Sai: **1,22 g**

Sai: **1,22 g**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Saco: **0,214 g**

Saco: **0,478 g**

Coefficiente de Masa Efectiva

ε : **0,459**

ε : **0,658**

Aceleración Vertical

Sav: **0,81 g**

Sav: **0,81 g**

Fuerzas Dinámicas

Ww: **95 kN**

Ww: **95 kN**

Ww': **32 kN**

Ww': **63 kN**

Pw: **26 kN**

Pw: **38 kN**

Pw': **9 kN**

Pw': **25 kN**

Pi: **55 kN**

Pi: **107 kN**

Pc: **38 kN**

Pc: **63 kN**

Cortante Total en la Base

V: **90 kN**

V: **158 kN**

Momentos en Base y Vuelco

Mw: **20 kN.m**

Mw: **28 kN.m**

Mi: **31 kN.m**

Mi: **60 kN.m**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Mc: **30** *kN.m*

Mc: **54** *kN.m*

Mi': **158** *kN.m*

Mi': **148** *kN.m*

Mc': **147** *kN.m*

Mc': **93** *kN.m*

M: **59** *kN.m*

M: **104** *kN.m*

M': **230** *kN.m*

M': **200** *kN.m*

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

FSD: **4,83**

FSD: **2,76**

FSV: **10,61**

FSV: **6,13**

Presión Inercial

Pwy: **8,82** *kN/m*

Pwy: **25,27** *kN/m*

Presión Vertical

Pvy₀ **12,19** *kPa*

Pwy: **12,19** *kPa*

Pvy_{HL} **0,00** *kPa*

Pvy **0,00** *kPa*

Presión Impulsiva

Piy₀ **32,33** *kN/m*

Piy **62,47** *kN/m*

Piy_{HL} **4,62** *kN/m*

Piy **8,92** *kN/m*

Presión Convectiva



P_{cy0} **11,33** *kN/m*

P_{cy} **12,93** *kN/m*

P_{cyHL} **14,11** *kN/m*

P_{cy} **29,27** *kN/m*

Presiones Totales - Lineal Equivalente

P_{y0} **60,37** *kN/m*

P_y **123,11** *kN/m*

P_{yHL} **19,49** *kN/m*

P_y **45,01** *kN/m*

p_{y0} **17,23** *kN/m*

p_y **17,57** *kN/m*

p_{yHL} **5,56** *kN/m*

p_y **6,42** *kN/m*

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard.

En la **Figura 36** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared en el muro largo, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 17.23 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja



cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

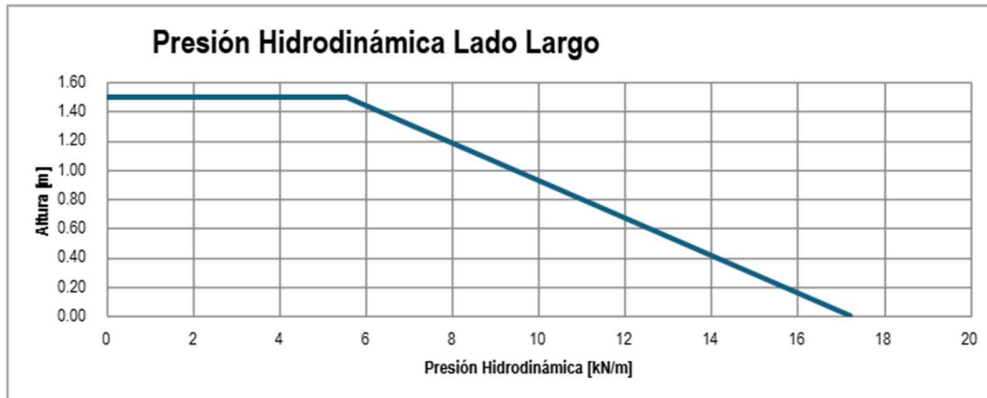


Figura 36. Presión hidrodinámica lado largo del filtro ascendente

En la **Figura 37** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared del muro corto, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 17.57 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

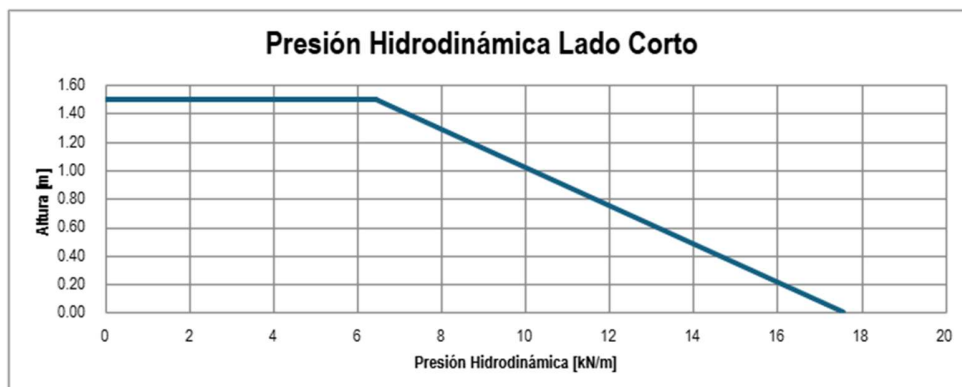


Figura 37. Presión hidrodinámica lado corto del filtro ascendente



En las siguientes figuras se representa la distribución de las cargas sísmicas inducidas por el agua sobre las paredes del filtro grueso ascendente, considerando los efectos hidrodinámicos generados durante un evento sísmico.

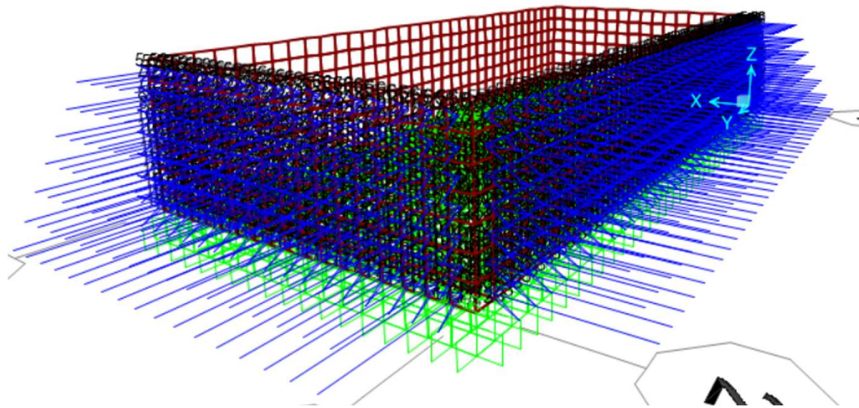


Figura 38. Carga sísmica del agua cara externa filtro grueso ascendente

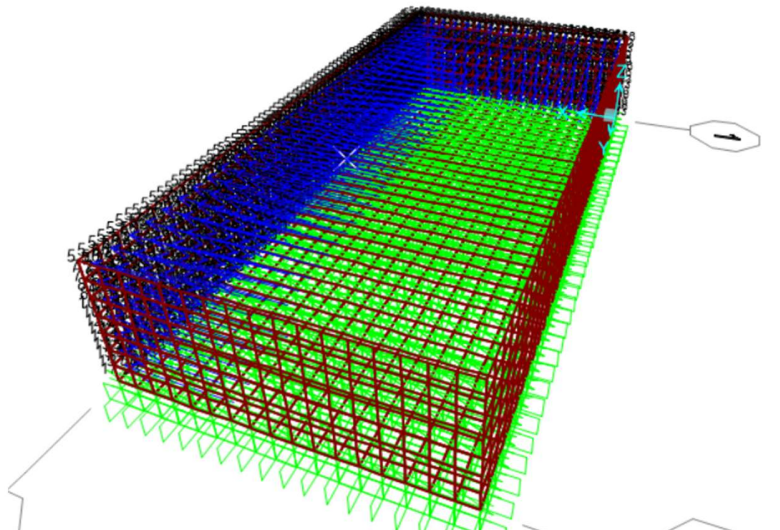


Figura 39. Carga sísmica del agua cara interna filtro grueso ascendente



12.4.3. Filtración lenta en arena

Se presentan los valores de las dimensiones de la estructura y las características del suelo para determinar las cargas que se aplicaran en muros y la losa.

Dimensiones internas

| | | | |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Altura Interna muros | Hw: | 2,20 | m |
| Lado largo | L: | 5,80 | m |
| Lado Corto tanque | B: | 4,30 | m |

Empuje del suelo

| | | | | | | | |
|----------------|-------------|-------------------------|-----------------|-------------|----------|-----|-------------|
| Y: | 18,5 | kN/m³ | Ø: | 32,0 | ° | Ka: | 0,31 |
| Efectivo | | | | | | | |
| Hw: | 2,20 | m | Hs: | 2,20 | m | Kp: | 3,25 |
| Altura de muro | | | Altura de Suelo | | | | |
| Po: | 19,1 | kN/m² | | | | Ko: | 0,47 |

La **Figura 40** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión



(KN/m²), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 2.2 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje total que una estructura enterrada experimentaría bajo sollicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

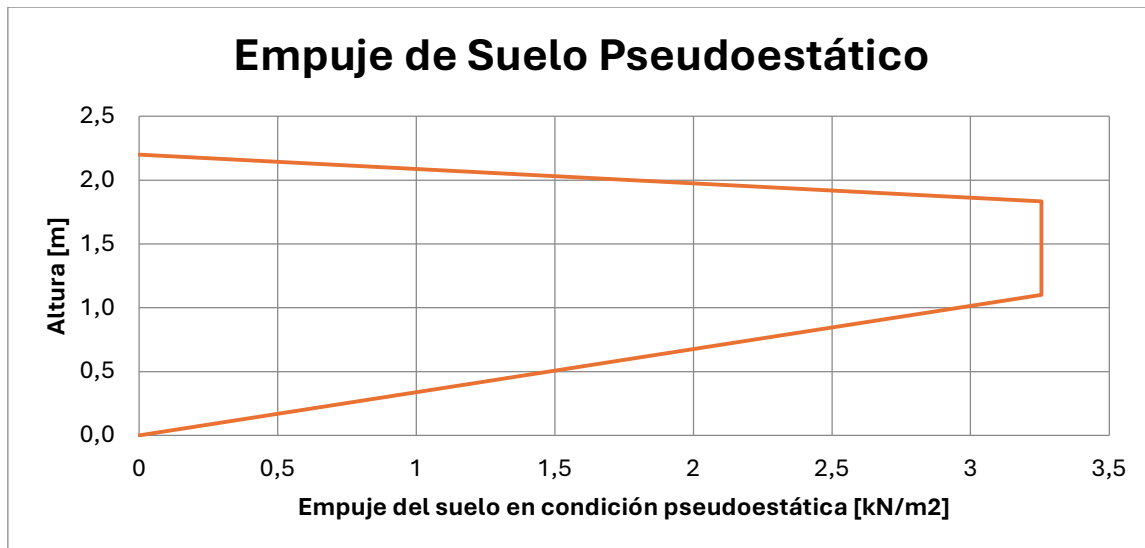


Figura 40. Empuje de Suelo Pseudoestático

Cálculo de Altura ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.



HL: **2.20** *m* Iteración I: **1.50** AIS 180 - 7.6.1-c

Lado Largo

Lado Corto

L: **8.60** *m*

L: **5.80** *m*

Tco: **3.57** *s*

Tco: **2.68** *s*

Saco: **0.254**

Saco: **0.403**

δ : **0.916** *m*

δ : **0.982** *m*

Altura máxima de Operación HL: **1.22** *m*

Descripción de los parámetros

HL = 2.20 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.5: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.


Lado Largo:

L = 8.6 m: Longitud del lado largo del tanque.

Tco = 3.57 s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

Saco = 0.254: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).

δ = 0.916 m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Lado Corto:

L = 5.80 m: Longitud del lado corto del tanque.

Tco = 2.68 s: Periodo de oscilación en el lado corto.

Saco = 0.403

δ = 0.982 m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

HL = 1.22 m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo, al igual que la arena que se implementará para el filtro. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.

| | | | |
|--------------------------------|-----|------------|-------------------------|
| <u>Elementos Estructurales</u> | Y: | 24 | kN/m³ |
| Muros | Wm: | 457 | kN |
| Losa sobre Terreno | Wl: | 239 | kN |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Peso Total Estructura

W: **696 kN**

Líquido Almacenado

Y: **10,00** kN/m³

Peso Total Líquido

WL: **548,68 kN**

Elementos de los filtros

Y: **14 kN/m³**

Capa de arena

Wg: **539 kN**

En la **Figura 41**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

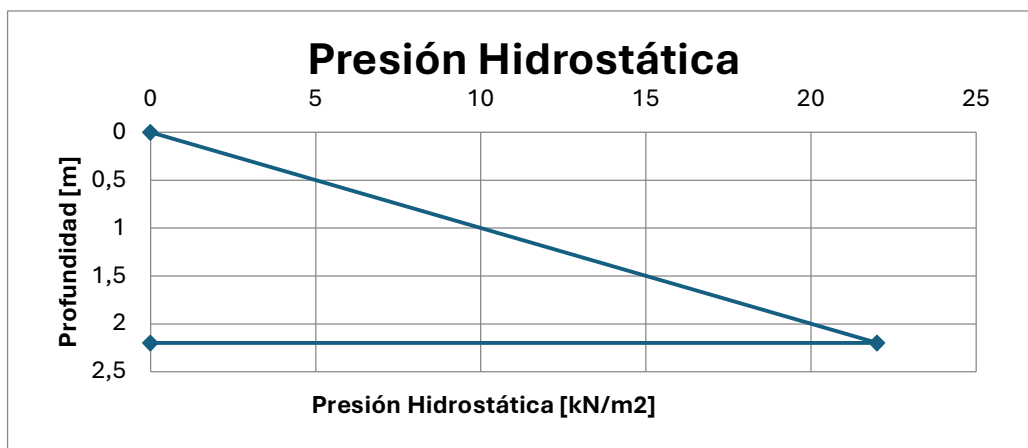


Figura 41. Presión hidrostática



Fuerzas hidrodinámicas

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.

Lado Largo

L: **5,80 m**

B: **4,30 m**

Lado corto

L: **4,30 m**

B: **5,80 m**

Masa Impulsiva

Wi: **235 kN**

Wi: **303 kN**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **0,825 m**

hi: **0,825 m**

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

hi': **2,289** m

hi': **1,717** m

Masa Convectiva

Wc: **318** kN

Wc: **262** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **1,22** m

hc: **1,29** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **2,445** m

hc': **1,858** m

Periodo Para Masa Impulsiva

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de Tc.

Periodo Para Masa Convectiva

λ : **5,08**

λ : **5,35**

Tco: **2,98** s

Tco: **2,43** s

Características Sísmicas AIS 180

I: **1,50**

I: **1,50**

Ri: **2,00**

Ri: **2,00**

Rc: **1,50**

Rc: **1,50**



VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Sai: **1,22 g**

Sai: **1,22 g**

Saco: **0,363 g**

Saco: **0,444 g**

Coefficiente de Masa Efectiva

ε : **0,623**

ε : **0,706**

Aceleración Vertical

Sav: **0,81 g**

Sav: **0,81 g**

Fuerzas Dinámicas

Ww: **457 kN**

Ww: **457 kN**

Ww': **57 kN**

Ww': **77 kN**

Pw: **173 kN**

Pw: **196 kN**

Pw': **22 kN**

Pw': **33 kN**

Pi: **143 kN**

Pi: **185 kN**

Pc: **77 kN**

Pc: **77 kN**

Cortante Total en la Base

V: **326 kN**

V: **389 kN**

Momentos en Base y Vuelco

Mw: **191 kN.m**

Mw: **216 kN.m**

Mi: **118 kN.m**

Mi: **152 kN.m**



VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Mc: **94** *kN.m*

Mc: **100** *kN.m*

Mi': **328** *kN.m*

Mi': **317** *kN.m*

Mc': **188** *kN.m*

Mc': **144** *kN.m*

M: **323** *kN.m*

M: **382** *kN.m*

M': **552** *kN.m*

M': **552** *kN.m*

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

FSD: **2,39**

FSD: **2,00**

FSV: **6,54**

FSV: **4,85**

Presión Inercial

Pwy: **14,69** *kN/m*

Pwy: **22,45** *kN/m*

Presión Vertical

Pvy₀ **17,88** *kPa*

Pwy: **17,88** *kPa*

Pvy_{HL} **0,00** *kPa*

Pvy **0,00** *kPa*

Presión Impulsiva

Piy₀ **57,05** *kN/m*

Piy **73,42** *kN/m*

Piy_{HL} **8,15** *kN/m*

Piy **10,49** *kN/m*



Presión Convectiva

| | | | |
|------------|-------------------|----------|-------------------|
| P_{cy0} | 11,99 kN/m | P_{cy} | 8,47 kN/m |
| P_{cyHL} | 22,98 kN/m | P_{cy} | 26,71 kN/m |

Presiones Totales - Lineal Equivalente

| | | | |
|-------------|--------------------|-------|--------------------|
| P_{y0} | 105,82 kN/m | P_y | 141,46 kN/m |
| P_{yHL} | 32,40 kN/m | P_y | 42,40 kN/m |
| p_{y0} : | 24,61 kN/m | p_y | 24,39 kN/m |
| p_{yHL} : | 7,54 kN/m | p_y | 7,31 kN/m |

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard.

En la **Figura 42** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared en el muro largo, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 24.41 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja



cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

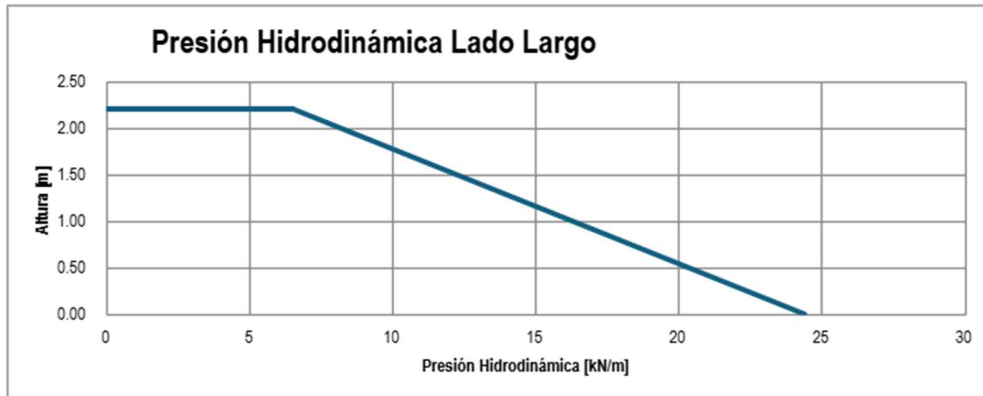


Figura 42. Presión hidrodinámica lado largo del filtro lento en arena

En la **Figura 43** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared del muro corto, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 24.61 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

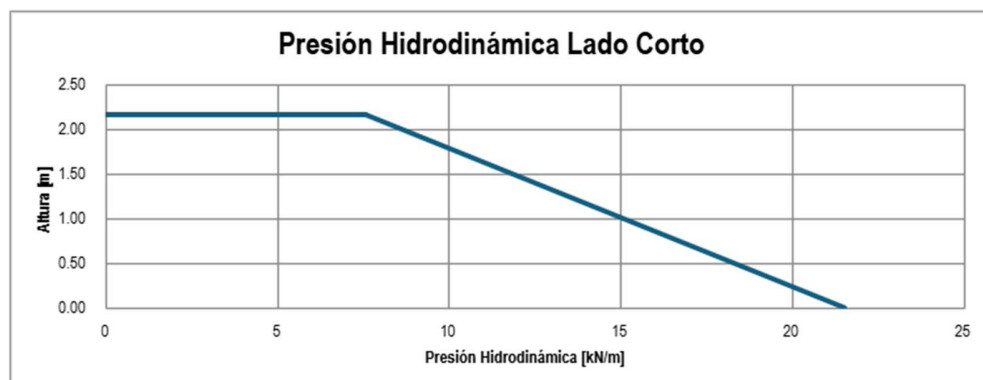


Figura 43. Presión hidrodinámica lado corto del filtro lento en arena



En las siguientes figuras se representa la distribución de las cargas sísmicas inducidas por el agua sobre las paredes del filtro lento en arena, considerando los efectos hidrodinámicos generados durante un evento sísmico.

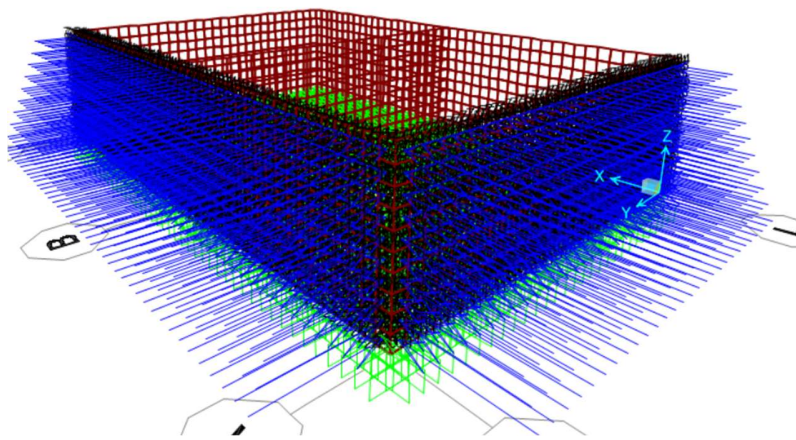


Figura 44. Carga sísmica del agua de la cara externa del filtro lento en arena

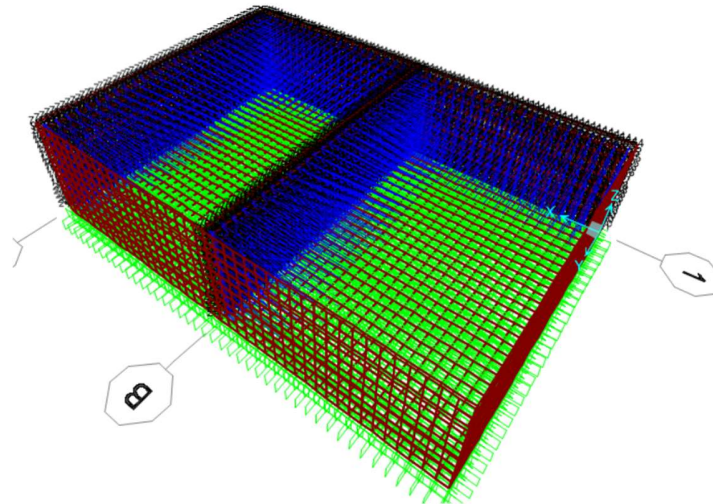



Figura 45. Carga sísmica del agua de la cara interna del filtro lento en arena

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

12.5. Tanque de Almacenamiento

12.5.1. Tanque enterrado

Se presentan los valores de las dimensiones de la estructura y las características del suelo para determinar las cargas que se aplicaran en muros y la losa superior e inferior.

Dimensiones internas

| | | |
|----------------------|-----------------|----------|
| Altura Interna muros | Hw: 4,47 | m |
| Lado largo | L: 6,00 | m |
| Lado Corto tanque | B: 5,00 | m |

Empuje del suelo

| | | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------------|---|-----------------|
| Y: 18,5 | kN/m³ | Ø: 32,0 | ° | Ka: 0,31 |
| Efectivo | | | | |
| Hw: 4,47 | m | Hs: 4,47 | m | Kp: 3,25 |
| Altura de muro | | Altura de Suelo | | |
| Po: 38,8 | kN/m² | | | Ko: 0,47 |

La **Figura 46** muestra la distribución del empuje lateral del suelo en condición pseudoestática, es decir, considerando los efectos sísmicos mediante un enfoque simplificado que introduce una componente horizontal equivalente al aplicar un coeficiente sísmico al peso del suelo. En el gráfico, el eje horizontal representa el empuje en unidades de presión (KN/m²), mientras que el eje vertical indica la altura del perfil de suelo (m). Se observa que la presión aumenta de forma casi lineal desde la base (0 m) hasta una altura aproximada de 4.5 m, donde se presenta un cambio de pendiente que sugiere una modificación en las condiciones de carga o en las propiedades del suelo. Esta distribución corresponde al empuje



total que una estructura enterrada experimentaría bajo solicitaciones sísmicas laterales, resultado de la combinación del empuje estático con el adicional inducido por el movimiento sísmico horizontal.

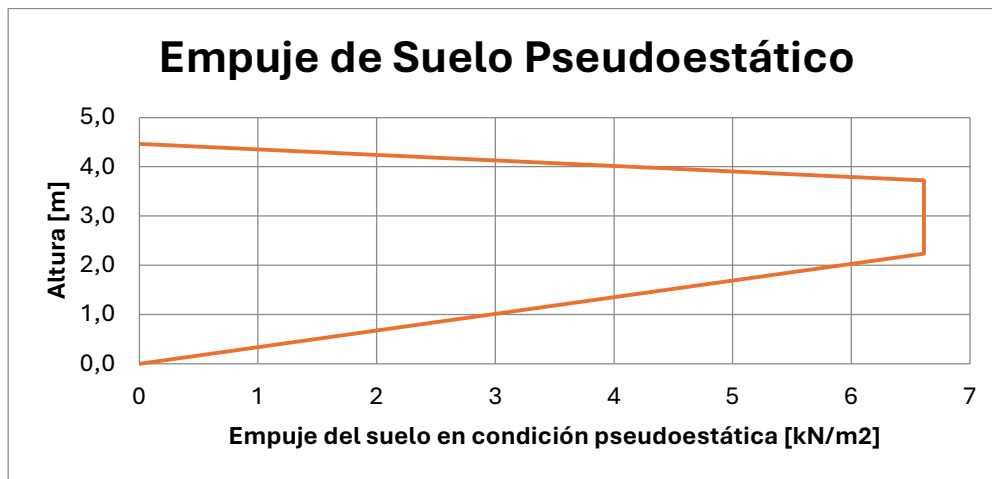


Figura 46. Empuje de Suelo Pseudoestático

Cálculo de Altura de Ola

Ahora se muestra el desarrollo del cálculo de la altura de ola (HL), un parámetro importante para el diseño estructural de tanques de almacenamiento, especialmente en contextos sísmicos, según lo establecido en la norma AIS 180 - Sección 7.6.1-c, que regula los efectos dinámicos del contenido líquido. El objetivo es estimar la altura que puede alcanzar la ola inducida por un sismo en el tanque, como criterio de diseño para evitar desbordamientos o esfuerzos adicionales no contemplados.

Lado Largo

L: **6,00 m**

Tco: **2,57 s**

Saco: **0,420**

δ : **1,058 m**


Lado Corto

L: **5,00 m**

Tco: **2,34 s**

Saco: **0,461**

δ : **0,969 m**

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Altura máxima de Operación HL: **3,41 m**

Descripción de los parámetros

HL = 4.5 m: Es la altura de ola calculada tras un proceso iterativo.

I = 1.5: Corresponde al factor de importancia sísmica, definido por la norma AIS 180, que incrementa la acción sísmica en estructuras esenciales o críticas.

Lado Largo:

L = 6 m: Longitud del lado largo del tanque.

Tco = 2.57 s: Periodo de oscilación del líquido para dicho lado.

Saco = 0.420: Parámetro intermedio del modelo (probablemente relacionado con el espectro sísmico).

δ = 1.058 m: Desplazamiento máximo del líquido debido a la acción sísmica en esa dirección.

Lado Corto:

L = 5 m: Longitud del lado corto del tanque.


Tco = 2.34 s: Periodo de oscilación en el lado corto.

Saco = 0.461

δ = 0.969 m: Valores análogos a los calculados para el lado largo.

Altura máxima de operación:

HL = 3.41 m: Es la altura de ola ajustada (menor que la inicial), considerada como valor máximo de operación tras considerar restricciones geométricas y criterios normativos.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

Cargas muertas y cargas vivas

En esta parte se realizó el cálculo del peso propio de la estructura considerando las cargas muertas, las cuales incluyen el peso del concreto de los muros y la losa de fondo, al igual que la arena que se implementará para el filtro. Adicionalmente, se evaluaron las cargas vivas asociadas al peso del líquido contenido, es decir, el agua en condiciones de operación máxima, la cual genera presión hidrostática y carga vertical sobre la losa de fondo. Estos valores son fundamentales para el análisis de esfuerzos y deformaciones, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad bajo condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o sobrellenado.

| | | | |
|--------------------------------|-----|----------------|-------------------------|
| <u>Elementos Estructurales</u> | Y: | 24 | kN/m³ |
| Muros | Wm: | 590 | kN |
| Losa sobre Terreno | Wl: | 288 | kN |
| Peso Total Estructura | W: | 878 | kN |
| <u>Líquido Almacenado</u> | Y: | 10,00 | kN/m³ |
| Peso Total Líquido | WL: | 1340,00 | kN |

En la **Figura 47**, se muestra la distribución de la presión hidrostática que ejerce un líquido en reposo sobre las superficies que lo contienen, siendo directamente proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido. En el caso se considera que el agua alcanza su nivel máximo operativo, generando una presión creciente con la profundidad, que se calcula mediante la expresión $P = \gamma \cdot h$. Esta presión actúa de forma perpendicular sobre las paredes



internas del tanque y sobre la losa inferior, generando esfuerzos que deben ser resistidos por los elementos estructurales.

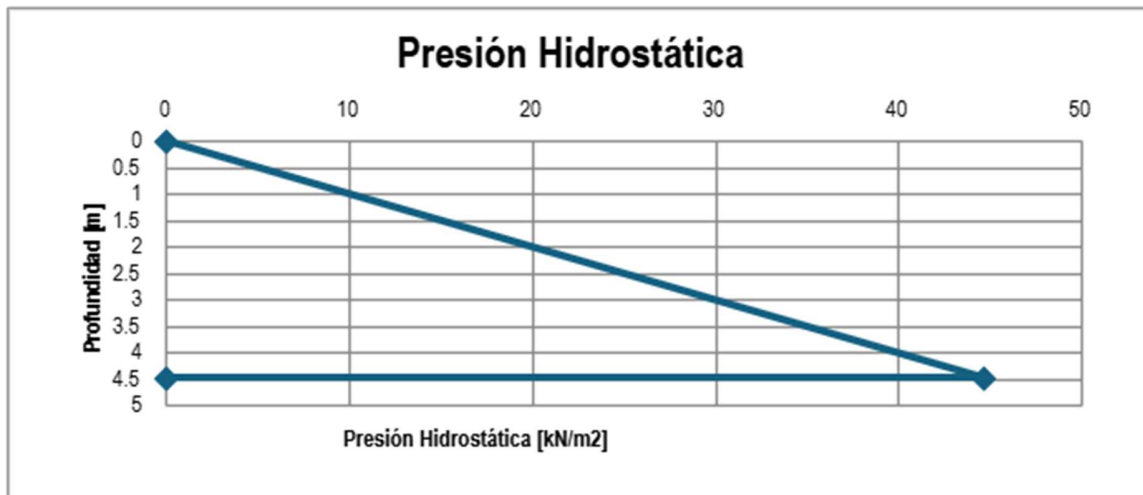


Figura 47. Presión hidrostática

Fuerzas hidrodinámicas - AIS 180, ACI 350-06

Para el diseño sísmico de la estructura se tomaron en cuenta los efectos sísmicos inducidos por el contenido líquido, considerando tanto la componente impulsiva como la componente convectiva de la acción hidrodinámica. La componente impulsiva fue evaluada mediante la aplicación de la teoría de Westergaard, la cual modela la porción del líquido que se comporta como una masa rígida solidaria a las paredes del tanque durante un evento sísmico, generando presiones adicionales distribuidas de forma triangular desde la base hacia la superficie. Por otro lado, se incluyó también la componente convectiva, correspondiente al movimiento oscilatorio libre del agua (sloshing), que produce fuerzas dinámicas de menor magnitud pero que pueden incidir en la parte superior de la estructura. La combinación de ambas componentes permite una representación más completa y realista de las cargas sísmicas aplicadas por el líquido, conforme a lo establecido en normas técnicas como la AIS 180 y guías internacionales, garantizando la estabilidad estructural y la integridad funcional del



sistema bajo condiciones de sismo. A continuación, se muestran los valores resultantes del cálculo para determinar las cargas impulsivas y convectivas para esta estructura.

Lado Largo

L: **6.00** m

B: **5.00** m

Lado corto

L: **5.00** m

B: **6.00** m

Masa Impulsiva

Wi: **947** kN

Wi: **1035** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hi: **1.675** m

hi: **1.765** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hi': **2.602** m

hi': **2.334** m

Masa Convectiva

Wc: **467** kN

Wc: **393** kN

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva EBP

hc: **2.90** m

hc: **3.06** m

Posición Centro de Gravedad de Masa Impulsiva IBP

hc': **3.266** m

hc': **3.253** m

Periodo Para Masa Impulsiva



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

La Masa Impulsiva se considera que actúa para periodos sísmicos bajos, por debajo de T_c .

Periodo Para Masa Convectiva

λ : 5.52

λ : 5.55

Tco: 2.79 s

Tco: 2.53 s

Características Sísmicas AIS 180

I: 1.50

I: 1.50

Ri: 2.00

Ri: 2.00

Rc: 1.50

Rc: 1.50

Sai: 1.22 g

Sai: 1.22 g

Saco: 0.387 g

Saco: 0.426 g

Coefficiente de Masa Efectiva

ε : 0.792

ε : 0.826

Aceleración Vertical

Sav: 0.81 g

Sav: 0.81 g

Fuerzas Dinámicas

Ww: 590 kN

Ww: 590 kN



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

Ww': **134** kN

Ww': **161** kN

Pw: **285** kN

Pw: **297** kN

Pw': **65** kN

Pw': **81** kN

Pi: **577** kN

Pi: **630** kN

Pc: **120** kN

Pc: **112** kN

Cortante Total en la Base

V: **870** kN

V: **934** kN

Momentos en Base y Vuelco

Mw: **635** kN.m

Mw: **663** kN.m

Mi: **967** kN.m

Mi: **1112** kN.m

Mc: **349** kN.m

Mc: **342** kN.m

Mi': **1501** kN.m

Mi': **1472** kN.m

Mc': **393** kN.m

Mc': **364** kN.m

M: **1640** kN.m

M: **1808** kN.m

M': **2173** kN.m

M': **2165** kN.m

Factor de Seguridad a Deslizamiento y Vuelco

FSD: **1.59**

FSD: **1.48**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

FSV: **3.06**

FSV: **2.56**

Presión Inercial

Pwy: **21.72 kN/m**

Pwy: **27.19 kN/m**

Presión Vertical

Pvy₀ **36.29 kPa**

Pwy: **36.29 kPa**

Pvy_{HL} **0.00 kPa**

Pvy **0.00 kPa**

Presión Impulsiva

Piy₀ **113.05 kN/m**

Piy **115.01 kN/m**

Piy_{HL} **16.15 kN/m**

Piy **26.14 kN/m**

Presión Convectiva

Pcy₀ **1.45 kN/m**

Pcy **-1.41 kN/m**

Pcy_{HL} **25.52 kN/m**

Pcy **26.44 kN/m**

Presiones Totales - Lineal Equivalente

Py₀ **226.03 kN/m**

Py **260.07 kN/m**

Py_{HL} **45.66 kN/m**

Py **59.52 kN/m**



p_{y0} : **45.21** kN/m

p_y **43.35** kN/m

p_{yHL} : **9.13** kN/m

p_y **9.92** kN/m

En las gráficas a continuación se presenta la distribución de presiones ejercidas por el agua en movimiento durante un evento sísmico sobre la pared larga y corta. Esta representación corresponde a la componente impulsiva de las cargas hidrodinámicas, calculadas según la teoría de Westergaard. En la **Figura 48** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared en el muro largo, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 45.21 kN/m a 0 m de altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

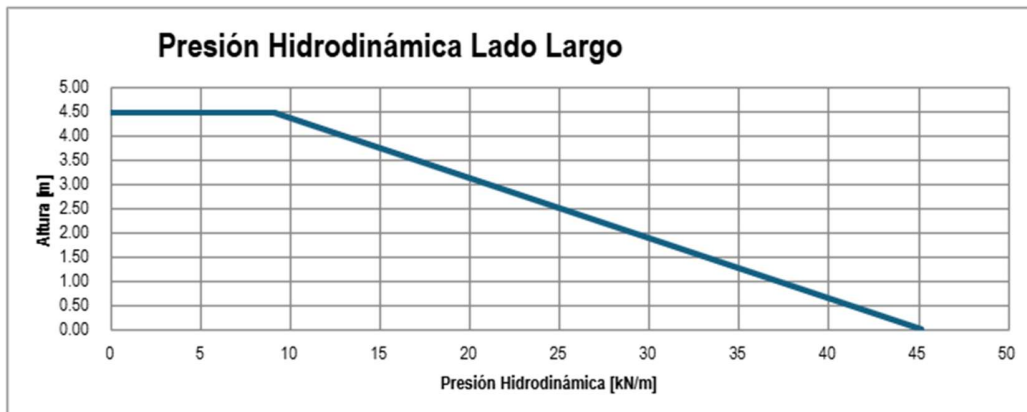


Figura 48. Presión hidrodinámica lado largo del tanque enterrado

En la **Figura 49** se observa que la presión se mantiene constante en la parte superior de la pared en el muro corto, lo que indica una zona donde el agua actúa en conjunto con la estructura, generando una presión uniforme. A partir de ese punto, la presión aumenta linealmente hasta alcanzar un máximo en la base (aproximadamente 43.35 kN/m a 0 m de



altura), siguiendo una distribución triangular típica de este tipo de carga. Esta forma refleja cómo la masa de agua en la base ejerce mayor presión debido a la inercia del líquido durante el movimiento sísmico.

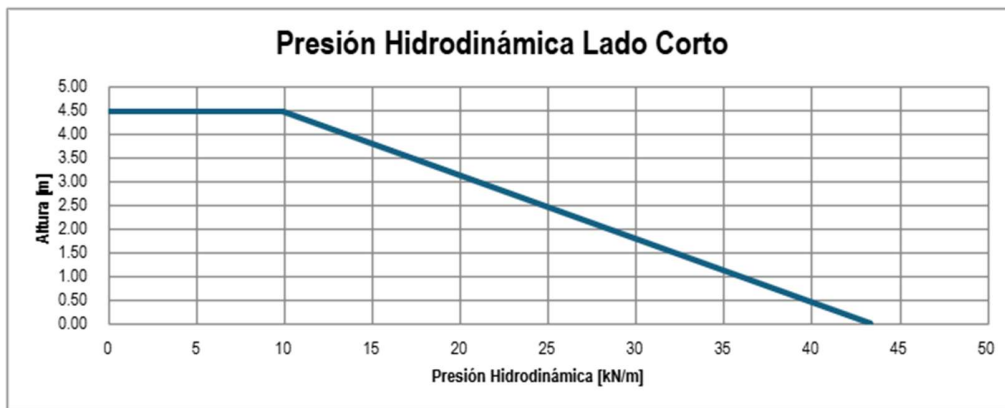


Figura 49. Presión hidrodinámica lado largo del tanque enterrado

En las siguientes figuras se representa la distribución de las cargas sísmicas inducidas por el agua sobre las paredes del tanque enterrado, considerando los efectos hidrodinámicos generados durante un evento sísmico.

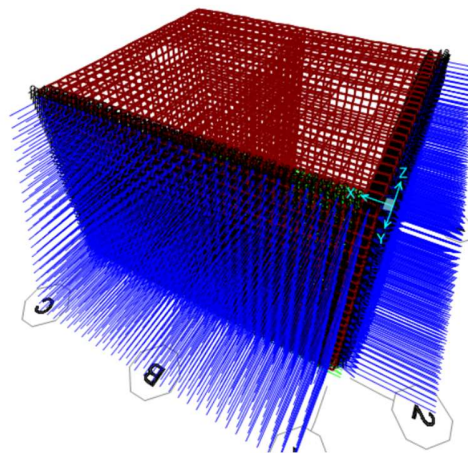


Figura 50. Carga sísmica del agua en la cara externa del tanque



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

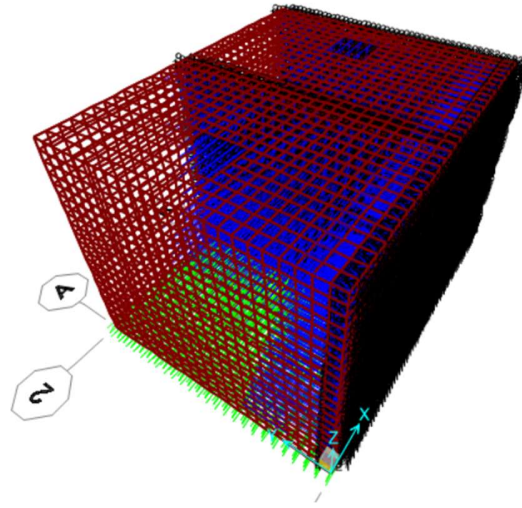



Figura 51. Carga sísmica del agua en la cara interna del tanque

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

13. MODELACIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis estructural de cada una de las estructuras del sistema de potabilización que se implementará en el municipio de Candelaria Valle del Cauca, correspondiente a los momentos de servicio y momentos últimos generados por las distintas cargas actuantes sobre la estructura evaluada. Este análisis incluye la consideración detallada de las cargas vivas y muertas, el empuje estático del agua y del suelo, así como los efectos inducidos por la acción sísmica, tanto del agua contenida como del suelo circundante. La evaluación se realizó conforme a los criterios establecidos por la normativa vigente, contemplando las combinaciones de carga requeridas para los estados límite de servicio y de resistencia. Los momentos resultantes permiten determinar el comportamiento estructural esperado bajo condiciones operativas normales y ante eventos extremos, proporcionando así una base técnica para la verificación de la seguridad y funcionalidad del sistema estructural proyectado. En el *Anexo 1- Memoria de cálculo*, se encuentra el diseño del acero de refuerzo de cada estructura.

13.1. Momento Crítico Cámara De Recolección

En la cámara de recolección, el momento flector máximo se presenta en el muro de soporte de la línea de aducción a la cámara de excesos, alcanzando un valor de 5.49 kN·m como se evidencia en la **Figura 52**, donde este corresponde al momento último estático, momento donde se observa que se presentan en las combinaciones de carga estática, debido a que estas corresponden a cargas permanentes con distribución uniforme o trapezoidal, que generan un esfuerzo constante a lo largo de la estructura. Por otro lado, la acción sísmica, al estar representada por fuerzas inerciales aplicadas a esfuerzos concentrados, no siempre genera efectos máximos. Adicionalmente, la rigidez estructural disminuye su efecto, resultando en momentos menores frente a las cargas estáticas.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

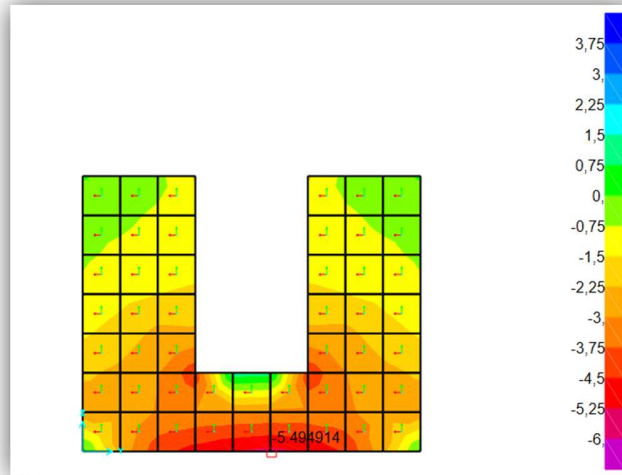


Figura 52. Momento máximo de la cámara de recolección

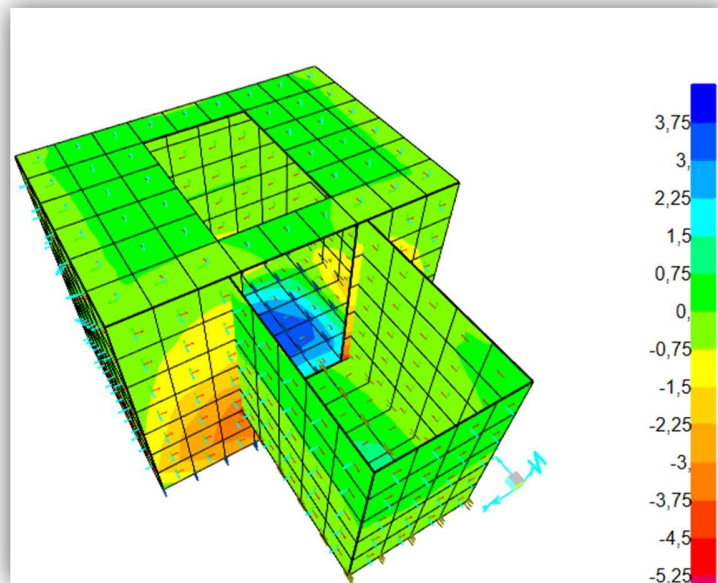


Figura 53. Aplicación de la combinación de cargas en condición estática

El diseño asegura que todos los componentes estructurales satisfacen los criterios de resistencia a flexión y cumplen con las cuantías mínimas estipuladas por la normativa vigente. En particular, la cámara de recolección, debido a sus dimensiones reducidas y a las cargas moderadas que soporta, representa el elemento con menor demanda estructural, lo que



permite emplear barras #4 espaciadas cada 20 cm sin comprometer la seguridad ni el desempeño estructural requerido, evidenciado en la **Tabla 37**.

Tabla 37. Acero de refuerzo para la Cámara de Recolección

| Elemento | ρ_{temp} /cara | ρ_{min} flex | M_u [kN.m] | ρ_{calc} | $A_{s,dis}$ [mm ²] | Ref # | S [m] | A_s [mm ²] | ρ_{opt} | ϕ | ϕM_n [kN.m] |
|-----------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------------|--------|----------------------|
| Cámara de recolección - Losa Grande | 0,0015 | 0,0033 | 8,34 | 0,00068 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Losa pequeña | 0,0015 | 0,0033 | 2,03 | 0,00017 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 1 y 3 | 0,0015 | 0,0033 | 2,20 | 0,00018 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 2 | 0,0015 | 0,0033 | 8,99 | 0,00074 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 4 | 0,0015 | 0,0033 | 5,53 | 0,00045 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Muro Pequeño 1 y 3 | 0,0015 | 0,0033 | 2,14 | 0,00017 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |
| Cámara de recolección - Muro Pequeño 2 | 0,0015 | 0,0033 | 2,24 | 0,00018 | 375,00 | 4 | 0,20 | 633 | 0,0036 | 0,90 | 41 |

13.2. Momento Crítico Del Desarenador

En el Desarenador, el momento flector máximo se presenta en la losa de fondo, alcanzando un valor de 42.08 kN·m como se muestra en la **Figura 54**, correspondiente al momento último bajo condición sísmica. Este valor representa la condición de carga más exigente para dicha losa, derivada de la acción combinada del sismo con las cargas permanentes e hidrodinámicas, y fue utilizado como base para el dimensionamiento del acero de refuerzo, garantizando la capacidad estructural frente a los efectos más críticos durante un evento sísmico.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

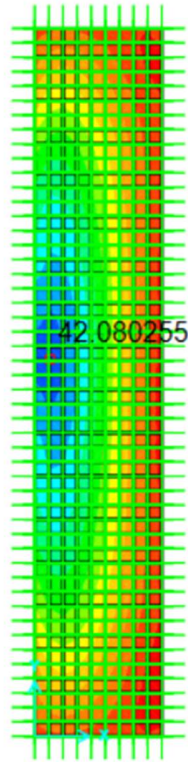


Figura 54: Momento máximo positivo del desarenador

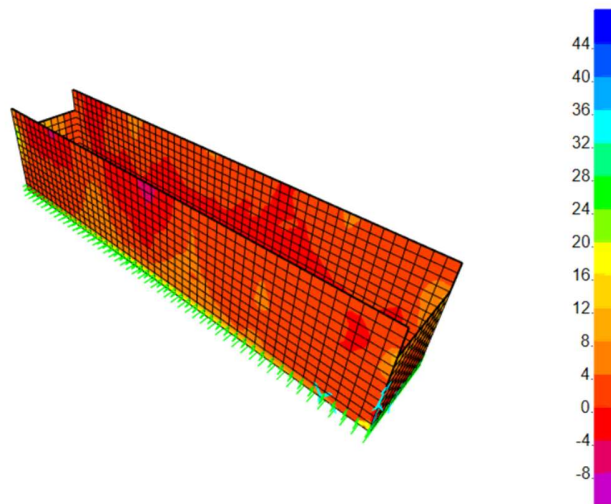


Figura 55: Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica



En términos generales, el diseño garantiza que todos los elementos cumplan con los requerimientos de resistencia a flexión y cuantías mínimas exigidas por norma. Destaca que la losa del filtro grueso dinámico es el componente con mayor exigencia estructural, con un momento último de 42.08 kN·m y una cuantía calculada de 0.001, que cumple adecuadamente con la cuantía mínima de flexión y permite una disposición barras #4 cada 20 cm, asegurando su desempeño estructural, como se observa en la **Tabla 38**.

Tabla 38. Acero de refuerzo para el desarenador

| Elemento | $\rho_{temp}/cara$ | $\rho_{min\ flex}$ | M_u [kN.m] | ρ_{calc} | $A_{s,dis}$ [mm ²] | Ref # | S [m] | A_s [mm ²] | ρ_{opt} | \emptyset | $\emptyset M_n$ [kN.m] |
|--------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|
| Desarenador - Losa | 0.0015 | 0.0033 | 42.08 | 0.001 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.90 | 76 |
| Desarenador - Muro corto | 0.0015 | 0.0033 | 35.77 | 0.003 | 583.33 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.90 | 41 |
| Desarenador - Muro largo | 0.0015 | 0.0033 | 41.60 | 0.0035 | 611.94 | 4 | 0.15 | 845 | 0.0048 | 0.90 | 53 |

13.3. Momento Crítico Del Filtro Grueso Dinámico

En el filtro grueso dinámico, el momento flector máximo se presenta en la losa de fondo, alcanzando un valor de 36.82 kN·m como se muestra en la **Figura 56**, correspondiente al momento último bajo condición sísmica. Este valor representa la condición de carga más exigente para dicha losa, derivada de la acción combinada del sismo con las cargas permanentes e hidrodinámicas, y fue utilizado como base para el dimensionamiento del acero de refuerzo, garantizando la capacidad estructural frente a los efectos más críticos durante un evento sísmico.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

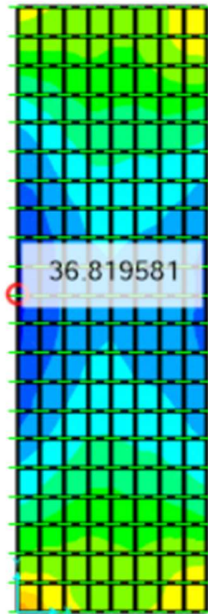


Figura 56. Momento máximo positivo del filtro grueso dinámico

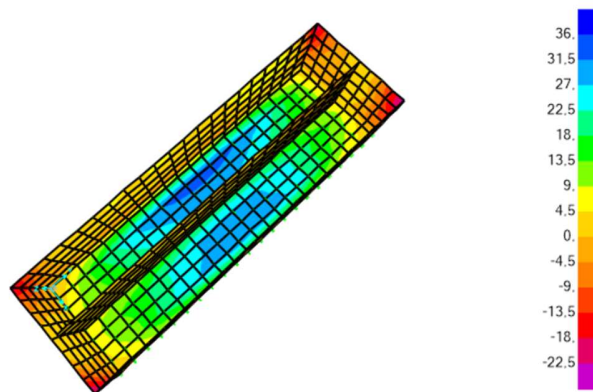


Figura 57. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica



En términos generales, el diseño garantiza que todos los elementos cumplan con los requerimientos de resistencia a flexión y cuantías mínimas exigidas por norma. Destaca que la losa del filtro grueso dinámico es el componente con mayor exigencia estructural, con un momento último de 36.81 kN·m y una cuantía calculada de 0.00087, que cumple adecuadamente con la cuantía mínima de flexión y permite una disposición barras #4 cada 20 cm, asegurando su desempeño estructural, como se observa en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Acero de refuerzo para el filtro grueso dinámico

| Elemento | p _{temp} /cara | p _{min} flex | M _u [kN.m] | p _{calc} | As, _{dis} [mm ²] | Ref # | S [m] | As [mm ²] | p _{opt} | ∅ | ∅M _n [kN.m] |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------------|-------|----------|--------------------------|------------------|-----|---------------------------|
| FGDi - Losa | 0.0015 | 0.0033 | 36.81 | 0.00087 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.9 | 76 |
| FGDi - Muro corto | 0.0015 | 0.0033 | 23.34 | 0.0019 | 450.94 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.9 | 41 |
| FGDi - Muro largo | 0.0015 | 0.0033 | 34.29 | 0.0029 | 583.33 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.9 | 41 |
| FGDi - Muro central | 0.0015 | 0.0033 | 4.42 | 0.00036 | 375.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.9 | 41 |

13.4. Momento crítico del filtro grueso ascendente

La **Figura 58** corresponde a la distribución de momentos flectores en la losa del filtro grueso ascendente en capas, obtenida mediante un análisis estructural bajo la acción combinada de cargas estáticas y sísmicas. En este caso particular, se identifica que el momento flector crítico alcanzado en la losa es de 17.89 kN·m, valor que representa la mayor exigencia estructural en términos de flexión, y que se presenta en las zonas adyacentes a los bordes, donde se concentran los esfuerzos máximos negativos por la interacción con los muros perimetrales. Este valor de momento máximo fue adoptado como criterio de diseño para el cálculo del refuerzo principal, tanto en dirección longitudinal como transversal, asegurando la resistencia adecuada de la losa frente a las condiciones de carga desfavorables.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

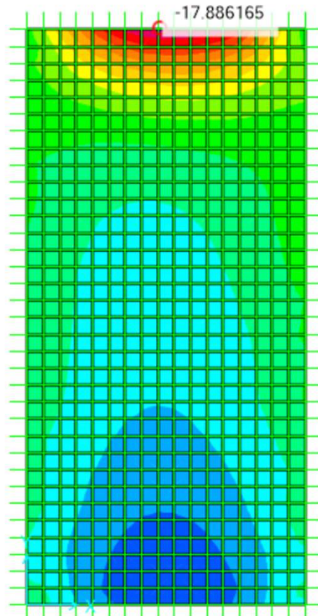


Figura 58. Momento máximo negativo del filtro grueso ascendente

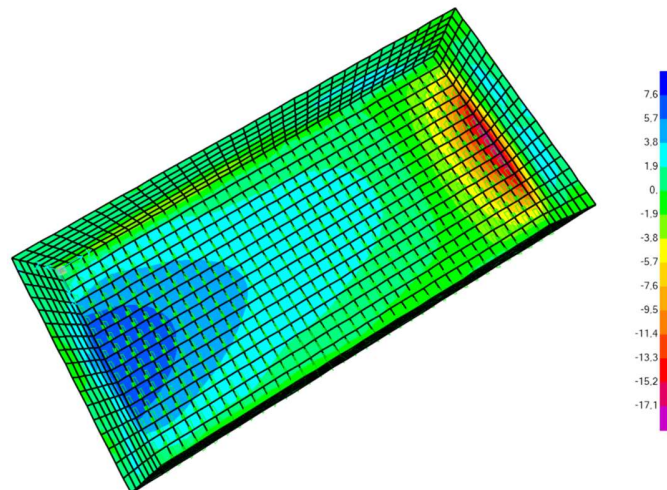


Figura 59. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica

En términos generales, el diseño garantiza que todos los elementos cumplan con los requerimientos de resistencia a flexión y cuantías mínimas exigidas por norma. Destaca que la losa del filtro grueso ascendente es el componente con mayor exigencia estructural, con

un momento último de 17.89 kN·m y una cuantía calculada de 0.00042, que cumple adecuadamente con la cuantía mínima de flexión y permite una disposición barras #4 cada 20 cm, asegurando su desempeño estructural, como se observa en la **Tabla 40**.

Tabla 40. Acero de refuerzo para el filtro grueso ascendente en capas

| Elemento | p _{temp} /cara | p _{min} flex | M _u [kN.m] | p _{calc} | As _{dis} [mm ²] | Ref # | S [m] | As [mm ²] | p _{opt} | ∅ | ∅M _n [kN.m] |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-------|-------|-----------------------|------------------|-----|------------------------|
| FGAC - Losa | 0.0015 | 0.0033 | 17.89 | 0.00042 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.9 | 76 |
| FGAC- Muro corto | 0.0015 | 0.0033 | 9.06 | 0.00074 | 375.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.9 | 41 |
| FGAC- Muro largo | 0.0015 | 0.0033 | 7.22 | 0.00059 | 375.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.9 | 41 |
| FGAC- Muro central | 0.0015 | 0.0033 | 17.87 | 0.00042 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.9 | 76 |

13.5. Momento crítico del filtro lento en arena

La **Figura 60** corresponde a la distribución de momentos flectores en el muro largo del filtro lento en arena, obtenida mediante un análisis estructural detallado en un modelo de elementos finitos. Se observa que el momento flector máximo alcanzado en esta estructura es de -44.75 kN·m, valor que se presenta en la zona superior del muro, asociada a la acción combinada del empuje hidrostático y las cargas sísmicas horizontales. Esta condición representa el punto de mayor exigencia estructural, razón por la cual dicho momento fue utilizado como base para el diseño del refuerzo de acero en esa región, garantizando la capacidad resistente del muro frente a flexión negativa.

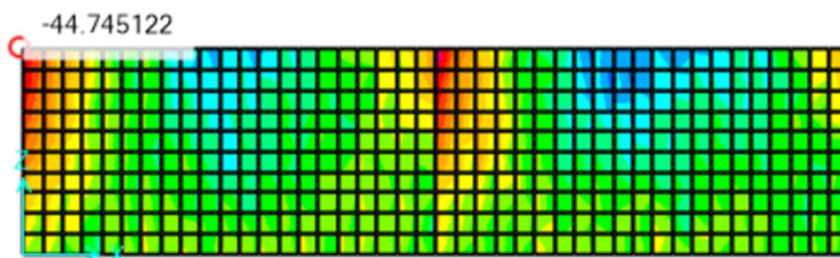


Figura 60. Momento máximo negativo del filtro lento en arena

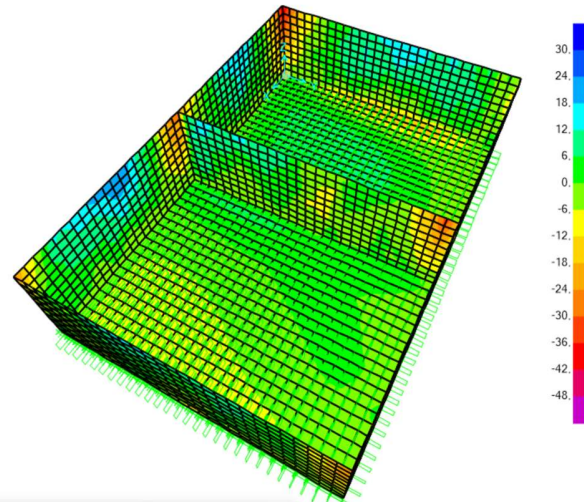



Figura 61. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica

En términos generales, el diseño garantiza que todos los elementos cumplan con los requerimientos de resistencia a flexión y cuantías mínimas exigidas por norma. Destaca que la losa del filtro lento en arena es el componente con mayor exigencia estructural, con un momento último de 44.75 kN·m y una cuantía calculada de 0.0038, que cumple adecuadamente con la cuantía mínima de flexión y permite una disposición barras #4 cada 20 cm y para el muro con mayor longitud una separación de 15cm, asegurando su desempeño estructural, como se observa en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Acero de refuerzo para el filtro lento en arena

| Elemento | ρ_{temp} /cara | ρ_{min} flex | M_u [kN.m] | ρ_{calc} | $A_{s,dis}$ [mm ²] | Ref # | S [m] | A_s [mm ²] | ρ_{opt} | \emptyset | $\emptyset M_n$ [kN.m] |
|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|
| FLA- Losa | 0.0015 | 0.0033 | 30.19 | 0.00072 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.9 | 76 |
| FLA - Muro corto | 0.0015 | 0.0033 | 38.27 | 0.0032 | 583.33 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.90 | 41 |
| FLA - Muro largo | 0.0015 | 0.0033 | 44.75 | 0.0038 | 660.04 | 4 | 0.15 | 845 | 0.0048 | 0.90 | 53 |
| FLA - Muro central | 0.0015 | 0.0033 | 38.31 | 0.0032 | 583.33 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0036 | 0.90 | 41 |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

13.6. *Momento crítico del tanque de almacenamiento*

La **Figura 62**, presentada corresponde a los resultados del análisis de momentos flectores en la losa inferior del tanque, obtenidos mediante SAP2000, considerando el efecto sísmico bajo condiciones críticas de operación. En este caso específico, el momento máximo, con un valor de 52.71 kN·m, se presenta en la zona donde uno de los compartimientos está lleno de agua, mientras el otro permanece vacío.

Este escenario representa una condición de carga asimétrica, particularmente exigente para la estructura, ya que genera un comportamiento diferencial de empujes y rigideces internas. Bajo este tipo de condición, el muro divisorio central actúa como una línea de transmisión de esfuerzos, lo cual incrementa significativamente los momentos en la losa inferior en su cercanía. Adicionalmente, al combinarse con la acción dinámica del sismo, los esfuerzos resultantes alcanzan su valor más crítico.

Este resultado fue clave en el diseño del refuerzo estructural, ya que permitió establecer las zonas de mayor demanda de acero y verificar que el diseño resistiera tanto en estados límite últimos como en estados de servicio.

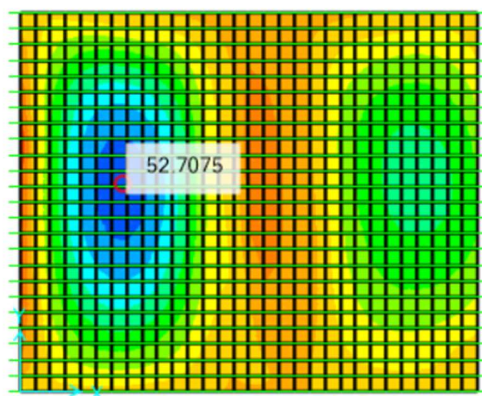


Figura 62. Momento máximo positivo del tanque de almacenamiento

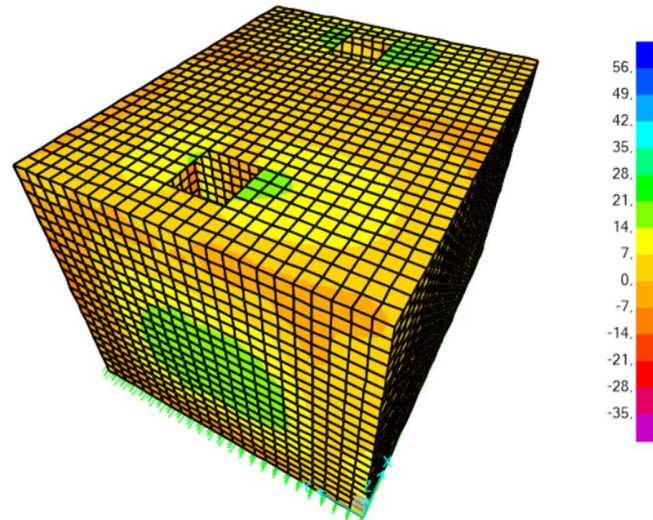


Figura 63. Aplicación de la combinación de cargas en condición sísmica

En términos generales, el diseño garantiza que todos los elementos cumplan con los requerimientos de resistencia a flexión y cuantías mínimas exigidas por norma. Destaca que la losa del tanque enterrado es el componente con mayor exigencia estructural, con un momento último de 52.71 kN·m y una cuantía calculada de 0.0013, que cumple adecuadamente con la cuantía mínima de flexión y permite una disposición barras #5 cada 20 cm en la losa inferior y en el muro largo y para el muro con menor longitud y la losa superior un refuerzo de barras #4 con separación de 20 cm, asegurando su desempeño estructural, como se observa en la **Tabla 41**.

Tabla 42. Acero de refuerzo para el tanque enterrado

| Elemento | ρ_{temp} /cara | ρ_{min} flex | M_u [kN.m] | ρ_{calc} | $A_{s,dis}$ [mm ²] | Ref # | S [m] | A_s [mm ²] | ρ_{opt} | ϕ | ϕM_n [kN.m] |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------|--------------|--------|-------------------|
| Tanque enterrado - Losa | 0.0015 | 0.0033 | 52.71 | 0.0013 | 544.85 | 5 | 0.20 | 990 | 0.0030 | 0.90 | 118 |
| Tanque enterrado - Losa superior | 0.0015 | 0.0033 | 36.29 | 0.0009 | 600.00 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0019 | 0.90 | 76 |
| Tanque enterrado - Muro corto | 0.0015 | 0.0033 | 33.77 | 0.0017 | 506.28 | 4 | 0.20 | 633 | 0.0028 | 0.90 | 53 |
| Tanque enterrado - Muro largo | 0.0015 | 0.0033 | 39.14 | 0.002 | 588.32 | 5 | 0.20 | 990 | 0.0044 | 0.90 | 81 |



13.7. *Diseño A Cortante*

En el presente análisis se realiza la verificación por esfuerzo cortante para los elementos estructurales que conforman las distintas unidades de tratamiento en una planta de agua potable, tales como filtros (grueso dinámico, ascendente y lento en arena), cámaras de recolección, tanque enterrado y desarenador. La resistencia última al corte (V_u) ha sido determinada en función de las cargas actuantes específicas para cada elemento, considerando tanto el peso propio como las cargas adicionales derivadas de los niveles operativos del agua y del suelo de relleno.

Los elementos han sido clasificados de acuerdo con su función y ubicación (losas, muros cortos, muros largos y muros centrales), y el análisis se ha realizado para un concreto con resistencia característica a la compresión de $f'_c=28$ MPa. La cuantía de refuerzo y la geometría de cada sección fueron definidas a partir de las dimensiones estructurales, el cual se presenta en **Tabla 43**.

La capacidad resistente última a cortante (ϕV_c) se ha determinado empleando las expresiones establecidas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente para elementos de concreto armado sometidos a sollicitaciones de corte. Para la verificación, se ha comparado el esfuerzo cortante actuante V_u , obtenido de la modelación en Sap 2000, con la capacidad nominal de corte del concreto (ϕV_c), considerando el factor de reducción de resistencia $\phi=0.75$, de acuerdo con las disposiciones normativas.

$$\phi V_c = 0.75 \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f'_c}$$

Donde:

B: Espesor elemento sin recubrimiento

D: Ancho elemento

F'c: Resistencia del concreto

Cumple cuando:

$$\phi V_c > V_u$$



Tabla 43. Diseño a cortante

| Elemento | f_c [MPa] | H [m] | Rec. [m] | d [m] | B [m] | V_u [kN] | ϕV_c [kN] |
|--------------------------------------------|----------------|-------|-------------|-------|-------|---------------|-----------------|
| Filtro grueso dinámico - Losa | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 11.62 | 215 |
| Filtro grueso dinámico - Muro corto | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 74.06 | 116 |
| Filtro grueso dinámico - Muro largo | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 92.49 | 116 |
| Filtro grueso dinámico - Muro central | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 10.01 | 116 |
| Filtro grueso ascendente - Losa | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 15.46 | 215 |
| Filtro grueso ascendente - Muro corto | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 51.16 | 116 |
| Filtro grueso ascendente - Muro largo | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 15.88 | 116 |
| Filtro lento en arena - Losa | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 71.3 | 215 |
| Filtro lento en arena - Muro corto | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 67.97 | 149 |
| Filtro lento en arena - Muro largo | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 110.8 | 116 |
| Filtro lento en arena - Muro central | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 46.22 | 116 |
| Cámara de recolección - Losa Grande | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 30.75 | 116 |
| Cámara de recolección - Losa pequeña | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 28.75 | 116 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 1 y 3 | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 34.36 | 116 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 2 | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 38.22 | 116 |
| Cámara de recolección - Muro Grande 4 | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 57.28 | 116 |
| Cámara de recolección - Muro Pequeño 1 y 3 | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 10.28 | 116 |
| Cámara de recolección - Muro Pequeño 2 | 28 | 0.25 | 0.075 | 0.18 | 1.0 | 10.59 | 116 |
| Tanque enterrado - Losa | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 57.17 | 215 |
| Tanque enterrado - Losa superior | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 20.68 | 215 |
| Tanque enterrado - Muro corto | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 64.95 | 149 |
| Tanque enterrado - Muro largo | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 94.67 | 149 |
| Tanque enterrado - Muro central | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 65.62 | 149 |
| Desarenador - Losa | 28 | 0.40 | 0.075 | 0.33 | 1.0 | 27.28 | 215 |
| Desarenador - Muro corto | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 21.63 | 149 |
| Desarenador - Muro largo | 28 | 0.30 | 0.075 | 0.23 | 1.0 | 76.27 | 149 |



14. PRESUPUESTO

En el presente ítem se incorpora el presupuesto detallado para la ejecución de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, el cual contempla las cantidades de obra, análisis de precios unitarios y costos totales, en la **Tabla 44**, se presentan los ítems con los valores unitarios de cada uno, las cantidades y su costo total, adicionalmente en la **Tabla 45** está el costo total de todo el proyecto, incluido IVA y el AIU (Administración, Imprevistos y Utilidad). Para su consulta, remítase al *Anexo 2 – Presupuesto PTAP Candelaria*.

Tabla 44. Ítems presupuestoPTAP Bella vista

| Código | Descripción | Unidad | Cantidad | Costo Unitario | Costo Total |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------------|-----------------------|
| 1 | Preliminares Y Adecuación Del Predio | | | | \$ 25.206.541 |
| 1.1 | Actividades Preliminares | | | | \$ 10.328.969 |
| <u>1.1.1</u> | Localización Y Replanteo | M2 | 218,92 | \$ 9.354 | \$ 2.047.909 |
| <u>1.1.2</u> | Descapote Y Limpieza (E=25cm, Incluye Acarreo Y Sobrecarreo Hasta Sitios De Almacenamiento Temporal O Final) | M2 | 218,92 | \$ 6.231 | \$ 1.364.165 |
| <u>1.1.3</u> | Cerramiento Provisional Con Tela De Polipropileno H=2.10 M | M | 190,03 | \$ 36.399 | \$ 6.916.895 |
| 1.2 | Estructuras Provisionales | | | | \$ 14.877.572 |
| <u>1.2.1</u> | Alquiler Del Campamento (Contenedor De 40 Pies Para Personal Y Contenedor De 20 Pies Para Interventoría) | Mes | 2 | \$ 5.688.224 | \$ 11.376.449 |
| <u>1.2.2</u> | Alquiler Baños Portátiles (Incluye 2 Aseos Semanales) | Mes | 1 | \$ 3.501.123 | \$ 3.501.123 |
| 2 | Movimiento De Tierras | | | | \$ 124.124.477 |
| 2.1 | Excavaciones Y Rellenos | | | | \$ 124.124.477 |
| <u>2.1.1</u> | Excavación Con Maquinaria, Incluye Retiro Hasta 20km | M3 | 974,83 | \$ 115.634 | \$ 112.723.455 |
| <u>2.1.2</u> | Relleno Material Del Sitio | M3 | 245,36 | \$ 32.547 | \$ 7.985.691 |
| <u>2.1.3</u> | Suministro E Instalación De Grava 18mm Para Filtros | M3 | 7,36 | \$ 33.926 | \$ 249.716 |
| <u>2.1.4</u> | Suministro E Instalación De Grava 12mm Para Filtros | M3 | 4,91 | \$ 33.749 | \$ 165.606 |
| <u>2.1.5</u> | Suministro E Instalación De Grava 13mm Para Filtros | M3 | 1,48 | \$ 33.571 | \$ 49.543 |
| <u>2.1.6</u> | Suministro E Instalación De Grava 6mm Para Filtros | M3 | 6,38 | \$ 33.394 | \$ 213.146 |
| <u>2.1.7</u> | Suministro E Instalación De Grava 3mm Para Filtros | M3 | 6,38 | \$ 33.216 | \$ 212.013 |
| <u>2.1.8</u> | Suministro E Instalación De Arena Para Filtros | M3 | 44,89 | \$ 56.253 | \$ 2.525.307 |
| 3 | Concreto | | | | \$ 174.438.254 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN

VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025

| | | | | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|---------------|-----------------------|
| 3.1 | Suministro De Concreto | | | | \$ 174.438.254 |
| <u>3.1.1</u> | Suministro E Instalación De Concreto F'c=14 Mpa Para Solado De Limpieza | M3 | 7,58 | \$ 600.615 | \$ 4.552.659 |
| <u>3.1.2</u> | Suministro E Instalación De Concreto F'c=28 Mpa Para Muros | M3 | 106,19 | \$ 924.493 | \$ 98.171.900 |
| <u>3.1.3</u> | Suministro E Instalación De Concreto F'c=28 Mpa Para Losas | M3 | 66,54 | \$ 905.936 | \$ 60.280.984 |
| <u>3.1.4</u> | Suministro E Instalación De Concreto F'c=28 Mpa Para Losas Aérea | M3 | 12,00 | \$ 952.726 | \$ 11.432.711 |
| 4 | Estructuras Metálicas | | | | \$ 129.862.772 |
| 4.1 | Acero | | | | \$ 129.862.772 |
| <u>4.1.1</u> | Suministro, Colocación, Corte, Figurado De Acero De Refuerzo Corrugado Fy=420 Mpa | Kg | 14902 | \$ 8.714 | \$ 129.862.772 |
| 5 | Tubería Y Accesorios | | | | \$ 35.891.966 |
| 5.1 | Tubería En Pvc | | | | \$ 1.233.667 |
| <u>5.1.1</u> | Suministro E Instalación De Tubería Pvc Dn 4" | Ml | 16,3 | \$ 75.685 | \$ 1.233.667 |
| <u>5.1.2</u> | Suministro E Instalación De Tubería Pvc Dn 6" | Ml | 1278 | \$ 146.105 | \$ 186.722.328 |
| 5.2 | Accesorios De Tubería | | | | \$ 34.658.299 |
| <u>5.2.1</u> | Suministro E Instalación De Codo Hd 90° | Und | 10 | \$ 312.687 | \$ 3.126.872 |
| <u>5.2.2</u> | Suministro E Instalación De Válvula 4" | Und | 8 | \$ 620.850 | \$ 4.966.801 |
| <u>5.2.3</u> | Suministro E Instalación De Válvula 6" | Und | 22 | \$ 1.207.483 | \$ 26.564.626 |
| <u>5.2.4</u> | Suministro E Instalación De Unión Cruz 6" | Und | 1 | \$ 173.117 | \$ 173.117 |
| <u>5.2.5</u> | Suministro E Instalación De Tee Pvc 4"X6" | Und | 4 | \$ 300.601 | \$ 1.202.405 |
| <u>5.2.6</u> | Suministro E Instalación De Abrazadera De Derivación | Und | 15 | \$ 34.479 | \$ 517.188 |
| <u>5.2.7</u> | Suministro E Instalación De Yee Pvc 6" | Und | 1 | \$ 180.900 | \$ 180.900 |
| <u>5.2.8</u> | Suministro E Instalación De Tee Pvc 6" | Und | 2 | \$ 178.801 | \$ 357.602 |
| 6 | Otros | | | | \$ 119.723.411 |
| 6.1 | Tratamientos Para Las Estructuras | | | | \$ 119.723.411 |
| <u>6.1.1</u> | Suministro E Instalación De Cinta Pvc | Ml | 148,74 | \$ 60.281 | \$ 8.966.190 |
| <u>6.1.2</u> | Suministro E Instalación De Protección Impermeable Con Aditivo Antiraiz Para Estructuras Enterradas | M2 | 274,093 | \$ 45.967 | \$ 12.599.218 |
| <u>6.1.3</u> | Suministro E Instalación De Imprimador Epoxídico Bicomponente Filerizado | M2 | 300,34 | \$ 326.823 | \$ 98.158.003 |
| 7 | Instrumentación Y Equipos | | | | \$ 16.313.780 |
| <u>7.1</u> | Suministro E Instalación De Dosificador De Cloro En Línea | Und | 1 | \$ 2.114.487 | \$ 2.114.487 |
| <u>7.2</u> | Suministro E Instalación De Bomba Sumergible | Und | 1 | \$ 14.199.294 | \$ 14.199.294 |



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE
TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-
VALLE DEL CAUCA**

PRESENTADO POR:
ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO
JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ
GABRIEL ALEJANDRO RICO
ARAGÓN


VERSIÓN 1

**DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y
MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA**

FECHA: MAYO/24/2025


Tabla 45. Costo total obra

| | |
|---------------------------|------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | \$ 625.561.201 |
| IVA 19% | \$ 118.856.628 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS+IVA | \$ 744.417.829 |
| AIU | \$ 275.434.597 |
| TOTAL | \$ 1.019.852.426 |


| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

15. CONCLUSIONES

- El diseño propuesto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para la urbanización Bella Vista en Candelaria – Valle del Cauca, constituye una solución integral que cumple con los requerimientos técnicos establecidos por el RAS 2000–2020, la NSR-10, la Resolución 330 de 2017, y la Resolución 799 de 2021, garantizando abastecimiento continuo, autónomo y seguro de agua potable.
- Se desarrolló un diseño hidráulico completo que incluye: captación por bocatoma de fondo, canal de aducción, desarenador, sistema de filtración en múltiples etapas (FiME), tanque enterrado de almacenamiento y red de distribución. Cada componente fue dimensionado según condiciones de caudal medio, máximo diario y horario, con soporte en herramientas de cálculo técnico y normativas nacionales.
- La incorporación del sistema de filtración en múltiples etapas (FiME) representa una estrategia costo-efectiva y sostenible para el tratamiento de agua superficial, permitiendo prescindir de tratamientos químicos complejos gracias al cumplimiento de los criterios establecidos por el RAS, particularmente en relación con la calidad del agua cruda. Esta tecnología mejora la eficiencia de remoción de sólidos, turbidez y carga microbiológica.
- El diseño estructural de las unidades en concreto reforzado considera cargas muertas, vivas, hidrostáticas y sísmicas (incluyendo empujes pseudoestáticos del suelo). La modelación con SAP2000 permitió evaluar esfuerzos internos y deformaciones, asegurando estabilidad, seguridad sísmica y durabilidad.
- El uso de software como EPANET, AutoCAD Civil 3D y SAP2000 permitió optimizar el diseño, anticipar interferencias entre componentes y validar el comportamiento hidráulico y estructural bajo diferentes escenarios de operación, lo cual es clave para una ejecución precisa y eficiente del proyecto.
- Con una población objetivo de 1.415 habitantes y una dotación de 130 L/hab·día, se calcularon caudales y volúmenes de almacenamiento acordes a la demanda, incorporando márgenes para pérdidas técnicas, crecimiento poblacional y reservas estratégicas. El tanque de almacenamiento garantiza tiempos de contacto adecuados para la desinfección y continuidad del suministro.
- El presupuesto detallado elaborado incluye análisis de cantidades de obra, costos directos e indirectos, cronograma preliminar y fases de ejecución, lo cual proporciona una base sólida para la planificación y desarrollo del proyecto por parte de cualquier entidad operadora o contratista.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA-VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

- El modelo planteado es escalable, de bajo costo operativo y adaptable a zonas rurales y urbanas en expansión. Se alinea con los principios del ODS 6: Agua limpia y saneamiento, y promueve la autonomía operativa frente a redes públicas insuficientes, reduciendo además el impacto ambiental mediante tecnologías de bajo consumo energético.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Cali</p> | <p>PROYECTO DE GRADO - PLANTA DE TRATAMIENTO BELLA VISTA CANDELARIA- VALLE DEL CAUCA</p> | <p>PRESENTADO POR: ALEJANDRA HERRÁN ROBLEDO JUAN JOSÉ MARÍN HINCAPIÉ GABRIEL ALEJANDRO RICO ARAGÓN</p> |
| <p>VERSIÓN 1</p> | <p>DISEÑO ESTRUCTURAL, HIDRÁULICO Y MODELACIÓN DE LA PTAP BELLA VISTA</p> | <p>FECHA: MAYO/24/2025</p> |

16. REFERENCIAS

- Galvis Castaño, G., Latorre Montero, J., & Visscher, J. T. (1999). *Filtración en múltiples etapas: Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Universidad del Valle - Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico; IRC International Water and Sanitation Centre.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 330 de 2017 por la cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título B*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 799 de 2021 por la cual se establecen los criterios de calidad del agua para consumo humano y su vigilancia*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 – Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 – Título B: Cargas*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 – Título C: Concreto estructural*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2013). *AIS 180-13: Requisitos para el diseño y construcción de tanques para almacenamiento de agua sometidos a cargas sísmicas*. Bogotá, Colombia.
- Gómez Giraldo, L., & Moreno Moreno, M. (2017). *Diseño a escala real de un sistema de filtración en múltiples etapas (FiME): Estrategia para la potabilización del agua de la comunidad rural de Guamal en Supía, Caldas* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Manizales].
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000). Título B: Acueducto, numeral B.3.2.4*.