DESARROLLO DE MEMORIAS DE CÁLCULO ESTANDARIZADAS PARA UN TREN DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL EN UNA PLANTA COMPACTA DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

AUTOR

JHONATAN ANDRÉS DAZA PRIETO

DIRECTOR

EDWARD LEONARDO TOVAR ROMERO
INGENIERO SANITARIO; TL AMBIENTAL; MAGISTER ING. CIVIL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ, COLOMBIA SEPTIEMBRE DE 2025

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4

2. OBJETIVOS 6

2.1. Objetivo General 6

2.2. Objetivos Específicos 6

3. PLAN DE TRABAJO 7

3.1 Fase 1: investigación y consolidación metodológica 7

3.2 Fase 2: desarrollo y estructuración de formatos estandarizados 8

3.3 Fase 3: aplicación y comprobación en proyectos reales 9

3.4 Fase 4: consolidación de resultados y documentación para la empresa 11

4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 12

4.1 Consolidación de Metodologías y Normativa 12

4.2 Diseño de Formatos de Cálculo para Proyectos desde Cero 18

4.3 Comprobación de la aplicación en proyectos reales 22

4.5 Reflexión y valor de los resultados 27

4.6 Entregables finales de la pasantía 27

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28

6. ANEXOS 30

7. REFERENCIAS 31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. *Normativa aplicable para el diseño de PTAP's y PTAR's.* _____*12*

Tabla 2. *Bibliografía conultada para el diseño de PTAP's y PTAR's.*_____*14*

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. *Formato de Cálculo (Metodología)*_____*19*

Ilustración 2. *Formato de Cálculo (Resultados)*_____*21*

Ilustración 3. *Ubicación del vertimiento (Google Earth 2024).*_____*23*

Ilustración 4. *Esquema de tratamiento (Fuente propia).* _____*23*

Ilustración 5. *Ubicación del proyecto PTAP Carmen de Viboral* _____*24*

Ilustración 6. *Esquema de tratamiento PTAP Carmen de Viboral*_____*25*

Ilustración 7. *Vista en planta PTAR Novayanna.*_____*25*

Ilustración 8. *Vista en planta PTAP Carmen de Viboral.* _____*26*

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento, resultado de la pasantía profesional realizada en la empresa Profesional Hidráulico SAS, se desarrolló entre octubre de 2024 y junio de 2025. Esta experiencia, motivada por el requisito académico para optar al título de Ingeniero Sanitario por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, surgió también del profundo interés por el campo de la hidráulica aplicada al tratamiento de agua. Profesional Hidráulico SAS, una consultora de ingeniería especializada en sistemas hídricos, identificó la necesidad crítica de estandarizar y optimizar sus procesos de diseño de plantas de tratamiento.

El problema central que abordó esta pasantía radicaba en la ausencia de memorias de cálculo que no solo cumplieran con la normativa vigente para plantas compactas, sino que también agilizaran el proceso de diseño y facilitaran la gestión del conocimiento interno. Ante esta situación, el proyecto se enfocó en el desarrollo de memorias de cálculo estandarizadas para el diseño de trenes de tratamiento convencional de agua potable (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) y agua residual (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección).

Para abordar este desafío, se implementó una metodología basada en una exhaustiva revisión bibliográfica de la normativa nacional (como el RAS, la RES 0330 de 2017 y la RES 799 de 2021) y recomendaciones de diseño, lo que permitió consolidar un compendio riguroso de metodologías y ecuaciones válidas. Esta recopilación fue fundamental para la creación de formatos estandarizados en Microsoft Excel, diseñados para simplificar el proceso de diseño de proyectos desde cero. Cada formato incluye una descripción del proceso, los parámetros de diseño y recomendaciones según la normativa y bibliografía, además de un cálculo paso a paso con las ecuaciones implementadas y sus referencias. La información está organizada por procedimientos y estructuras, con hojas separadas para la metodología y el cálculo, y celdas que indican el cumplimiento normativo para facilitar la detección de errores.

Una de las principales limitaciones enfrentadas durante el desarrollo fue la inherente dificultad de adaptar la normativa colombiana, generalmente orientada a grandes poblaciones, a los caudales y las características de las plantas compactas. Esto generó desafíos en la selección de tecnologías hidráulicas, pues estructuras de gran tamaño para asegurar tiempos de retención o gradientes de velocidad resultaban ineficientes y costosas para el espacio limitado y las pequeñas poblaciones. La justificación de esta aproximación radicó en la búsqueda de soluciones no convencionales, pero teóricamente eficientes, como la implementación de un floculador de lecho poroso para la PTAP y un reactor MBBR para la PTAR, tecnologías que, aunque no son de uso frecuente en Colombia, prometen buenas remociones y eficiencias para este tipo de aplicaciones.

Las memorias de cálculo estandarizadas ya desarrolladas han sido implementadas y comprobadas con éxito en dos proyectos reales de la empresa: la PTAP Carmen de Viboral y la PTAR Novayanna en Ginebra, Valle del Cauca. Esta aplicación práctica demostró la funcionalidad y pertinencia de la nueva organización, facilitando el diseño al integrar los parámetros del RAS y permitiendo una rápida identificación de áreas de optimización. Un aporte adicional, incorporado en estos formatos, es un sistema de codificación basado en el número y nombre del proyecto, tipo de planta (PTAR/PTAP), ciudad y versión. Este sistema está diseñado para mejorar la gestión documental de la empresa, facilitar la búsqueda de proyectos y evitar reprocesos al permitir un seguimiento claro de las versiones y cambios a lo largo del tiempo. Este proyecto no solo provee herramientas funcionales y precisas para los trenes de tratamiento abordados, sino que sienta las bases para que Profesional Hidráulico SAS estructure las metodologías de otras tecnologías y cálculos futuros, manteniendo la misma lógica de organización y codificación.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar memorias de cálculo estandarizadas para el diseño de un tren de tratamiento convencional de agua potable (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) y un tren de tratamiento convencional de agua residual (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección), con el fin de optimizar la precisión, eficiencia y facilidad de diseño en futuros proyectos de la empresa Profesional Hidráulico SAS.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y sintetizar las metodologías y ecuaciones válidas para el diseño de cada etapa de los trenes de tratamiento de agua potable y residual, asegurando su alineación con la normativa nacional vigente.

- Crear formatos estandarizados en Microsoft Excel para las memorias de cálculo, organizando la información de manera intuitiva y detallando los procedimientos metodológicos para simplificar el diseño de proyectos desde cero.

- Aplicar las memorias de cálculo estandarizadas en dos proyectos reales: uno para una planta de tratamiento de agua potable y otro para una planta de tratamiento de agua residual, demostrando su funcionalidad y pertinencia práctica en su nueva organización.

- Elaborar un informe final que documente el proceso de desarrollo de las memorias de cálculo, la implementación de la codificación para la gestión documental, las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos durante la comprobación en los proyectos.

3. PLAN DE TRABAJO

El presente plan de trabajo detalla las actividades concretas ejecutadas durante la pasantía profesional, estructuradas para alcanzar los objetivos propuestos en el desarrollo de memorias de cálculo estandarizadas para el diseño de trenes de tratamiento convencional de agua potable y residual. La ejecución se realizó bajo un enfoque metodológico mixto, cualitativo y cuantitativo, que permitió la investigación-acción y un diseño centrado en la aplicabilidad.

3.1 Fase 1: investigación y consolidación metodológica

Esta fase se dedicó a la fundamentación teórica y normativa, crucial para el diseño de las memorias de cálculo, garantizando su rigor técnico y legal.

Actividades Realizadas:

- Análisis exhaustivo de normativa vigente: Se estudiaron en profundidad el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), la Resolución 0330 de 2017 y la Resolución 0799 de 2021, así como otras disposiciones legales pertinentes para el diseño de plantas de tratamiento de agua potable y residual en Colombia. Se extrajeron los parámetros de diseño específicos y las directrices aplicables a cada proceso unitario.

- Recopilación y síntesis de metodologías de diseño: Se llevó a cabo una extensa revisión bibliográfica de manuales, libros de texto y publicaciones científicas especializadas en ingeniería sanitaria, con el fin de identificar y comparar diversas metodologías, ecuaciones y criterios de diseño para coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección (PTAP), y pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección (PTAR).

- Selección de tecnologías y criterios adaptados a plantas compactas: Se investigaron y seleccionaron tecnologías de tratamiento adecuadas para bajos caudales y espacios limitados, dadas las restricciones normativas que a menudo favorecen poblaciones grandes. Esto incluyó la justificación técnica de soluciones alternativas y eficientes, que aunque no son de uso frecuente en Colombia, prometen buenas remociones y eficiencias para este tipo de aplicaciones.

Recursos Utilizados:

- Bases de datos bibliográficas y científicas.
- Documentos oficiales de normativa (RAS, Resoluciones 0330 y 0799).
- Libros especializados en ingeniería sanitaria y tratamiento de aguas.
- Asesoría técnica del director de pasantía y del equipo de ingenieros de Profesional Hidráulico SAS.

3.2 Fase 2: desarrollo y estructuración de formatos estandarizados

Esta fase se enfocó en la construcción de los formatos de cálculo en Excel, integrando la metodología recopilada y diseñándolos para una máxima usabilidad y eficiencia.

Actividades Realizadas:

- Diseño estructural de los formatos Excel: Se elaboraron plantillas digitales compuestas por una hoja de portada, una hoja dedicada a la descripción de procedimientos y metodologías de diseño, y hojas subsiguientes para el desarrollo detallado de los cálculos de cada estructura y proceso unitario específico.

- Implementación de lógica de cálculo paso a paso: Dentro de cada hoja de cálculo, se estructuró la información de manera secuencial. Esto incluyó una descripción introductoria de cada proceso, la presentación de los parámetros de diseño normativos y recomendaciones bibliográficas, la visualización de las ecuaciones

utilizadas con sus respectivas referencias, y el desglose de los cálculos en celdas claras y explicativas.

- Integración de validaciones automáticas: Se programaron celdas específicas que realizan verificaciones automáticas de los resultados de diseño contra los parámetros y rangos establecidos por la normativa, indicando visualmente el cumplimiento o el incumplimiento para facilitar la optimización y detección de errores.

- Desarrollo del sistema de codificación documental: Se estableció y se integró un sistema de codificación de archivos que incluye el número del proyecto, siglas identificativas, tipo de planta (PTAR/PTAP), ciudad y número de versión, destinado a mejorar la trazabilidad y organización de los documentos de cálculo en la empresa.

Recursos Utilizados:

- Software Microsoft Excel.
- Compendio de metodologías y parámetros normativos de la Fase 1.
- Principios de diseño de interfaz de usuario para herramientas de cálculo.
- Hardware informático con capacidad de procesamiento adecuada.

3.3 Fase 3: aplicación y comprobación en proyectos reales

En esta fase se puso a prueba la funcionalidad y practicidad de las herramientas desarrolladas, aplicando los formatos a casos de estudio concretos de la empresa.

Actividades Realizadas:

- Aplicación de los formatos en la PTAP Carmen de Viboral: Se utilizaron las memorias de cálculo estandarizadas para realizar el diseño detallado de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección de la planta de tratamiento de agua potable, aplicando las metodologías seleccionadas para el tratamiento de agua.

- Aplicación de los formatos en la PTAR Novayanna (Ginebra, Valle del Cauca): Se replicó el proceso de diseño utilizando los formatos estandarizados para los procesos de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección de la planta de tratamiento de agua residual, incluyendo las metodologías elegidas para el tratamiento de agua residual.

- Comprobación de la funcionalidad y eficiencia con profesional: La aplicación práctica de los formatos en ambos proyectos fue validada con el acompañamiento y la supervisión de un profesional de la empresa. Esta comprobación incluyó la evaluación de la facilidad para realizar un proyecto desde cero, la rapidez para identificar y corregir desviaciones normativas (gracias a las celdas de cumplimiento), y la simplificación de la consulta metodológica sin recurrir constantemente a fuentes externas.

- Identificación de oportunidades de optimización: A través de esta aplicación, se detectaron puntos de mejora en los diseños y se confirmó cómo la estructura de los formatos facilitaba la optimización de los procesos de tratamiento.

Recursos Utilizados:

- Memorias de cálculo estandarizadas (formatos Excel finales).
- Datos específicos y requisitos de los proyectos PTAP Carmen de Viboral y PTAR Novayanna.
- Software de diseño y simulación (si aplica, para comparar resultados).
- Apoyo y revisión por parte de un ingeniero profesional de Profesional Hidráulico SAS.

3.4 Fase 4: consolidación de resultados y documentación para la empresa

Esta fase final se dedicó a la compilación de todos los resultados y la entrega formal a la empresa, demostrando la aplicabilidad y el valor de las memorias de cálculo.

Actividades Realizadas:

- Consolidación de informes de diseño: Se elaboraron y consolidaron los informes de diseño para cada una de las plantas de tratamiento (PTAP y PTAR), integrando los cálculos detallados resultantes de las memorias, las ecuaciones aplicadas y secciones sobre aspectos de operación y mantenimiento de las tecnologías implementadas. Estos informes sirven como entregables formales a la empresa.

- Demostración de la facilidad de implementación: Dentro de estos informes, se evidenció cómo las memorias de cálculo permiten una implementación sencilla y eficiente en la documentación de proyectos, al integrar directamente los resultados y procedimientos en un formato coherente y comprensible.

- Explicación de la aplicación de memorias y su impacto: Se documentó cómo la aplicación de las memorias de cálculo en los proyectos reales no solo facilitó el diseño, sino que también permitió la optimización de los procesos al identificar rápidamente áreas de mejora y verificar el cumplimiento normativo.

- Presentación de resultados y valor agregado a la empresa: Se preparó y ejecutó la presentación final de los hallazgos y productos de la pasantía a la dirección y equipo técnico de Profesional Hidráulico SAS, destacando el valor añadido de las memorias para la estandarización de futuros cálculos y la mejora continua en sus proyectos.

Recursos Utilizados:

- Todos los entregables y resultados de las Fases 1, 2 y 3 (memorias de cálculo, datos de proyectos).

- Software de procesamiento de texto para la elaboración de informes.
- Software de presentaciones para la exposición de resultados.
- Retroalimentación final del director de pasantía y del equipo de la empresa.

4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados clave obtenidos durante el desarrollo de la pasantía, los cuales se alinean directamente con los objetivos propuestos y reflejan el esfuerzo ejecutado a lo largo del plan de trabajo. Estos resultados no solo representan la culminación de las actividades planeadas, sino que también constituyen un aporte tangible y de valor para la empresa.

El desarrollo del proyecto se enfocó en la creación de herramientas de diseño que abordaran una necesidad específica de la empresa, demostrando su aplicabilidad y eficiencia en un entorno práctico. A continuación, se detallan los resultados alcanzados para cada objetivo.

4.1 Consolidación de Metodologías y Normativa

La elaboración de las memorias de cálculo se fundamenta en un análisis riguroso de la normativa colombiana y guías técnicas oficiales. El siguiente compendio representa las principales fuentes regulatorias que se consultaron y su aplicación directa en el diseño.

Tabla 1. *Normativa aplicable para el diseño de PTAP's y PTAR's.*

Normativa	Descripción
Resolución 0330 de 2017 y Resolución 799 de 2021	Normativa técnica fundamental que establece, actualiza y consolida los criterios del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Su consulta directa

	asegura que el diseño de las memorias de cálculo esté alineado con la regulación más reciente y vigente en Colombia.
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)	Marco técnico fundamental para el diseño de plantas de tratamiento. El Título B establece criterios para sistemas de potabilización; y el Título E para el tratamiento de aguas residuales. El Anexo 2 del Título E es particularmente crucial, ya que detalla los criterios de diseño para cada una de las estructuras de tratamiento, como reactores biológicos y unidades de clarificación, garantizando la conformidad con los estándares nacionales.
Resolución 2115 de 2007	Define los valores límite y parámetros de calidad del agua para consumo humano. Su consulta es esencial para el diseño de las PTAP, ya que establece los objetivos de remoción de contaminantes que deben cumplirse para garantizar la potabilidad del agua.
Resolución 631 de 2015	Establece los parámetros y valores límite para los vertimientos de aguas residuales a cuerpos de agua. Esta normativa se utiliza para fijar las metas de remoción de contaminantes, como DBO y SST, en las PTAR, influenciando directamente el cálculo del reactor biológico.
Norma Técnica Colombiana (NTC) 1500	Guía la selección y dimensionamiento de la tubería, accesorios y componentes hidráulicos. Su uso es crucial para asegurar que el diseño de las redes internas cumpla con los estándares de instalación y seguridad.

Ley 142 de 1994	Marco legal para la prestación de los servicios públicos domiciliarios. Aunque no es una norma técnica, su consulta es relevante para comprender el contexto regulatorio y la viabilidad del proyecto en el sector de acueducto y saneamiento.
NTC 5596	Norma específica para el diseño de unidades de tratamiento de aguas residuales domésticas. Su aplicación valida la elección de tecnologías compactas y proporciona criterios de diseño para sistemas modulares y de pequeña escala.

La base conceptual y metodológica del proyecto se fortaleció con el estudio de diversas fuentes académicas y de referencia en ingeniería sanitaria. La siguiente tabla presenta las obras más relevantes consultadas y su aporte al desarrollo de las memorias de cálculo.

Tabla 2. *Bibliografía consultada para el diseño de PTAP's y PTAR's.*

Autor/Referencia	**Obra**	**Año de publicación**	**Descripción**
Metcalf & Eddy	Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (Ingeniería de aguas residuales)	2014 (última edición)	Aporta metodologías avanzadas para el diseño de procesos biológicos, incluyendo el reactor de lecho móvil de biopelícula (MBBR), y para el dimensionamiento de sedimentadores, complementando la normativa local.

Gilberto Sotelo	Hidráulica General: Fundamentos y Aplicaciones	2010	Proporciona los principios y ecuaciones para los cálculos hidráulicos, como la determinación de pérdidas de carga, necesarios para el diseño de vertederos y canales de flujo.
Ven Te Chow	Open-Channel Hydraulics (Hidráulica de canales abiertos)	1959	Se utiliza como referencia para el diseño de canales a superficie libre, esenciales para unidades de mezcla rápida y floculadores, optimizando la distribución del flujo.
Arturo Rocha	Hidráulica de Canales y Tuberías	-	Proporciona una base conceptual y práctica para el cálculo y diseño de redes hidráulicas, incluyendo la determinación de pérdidas en tuberías, lo que complementa los criterios de la NTC 1500.
Jorge Arboleda Valencia	Teoría y práctica de la purificación del agua	2000	Brinda los fundamentos teóricos para el diseño de unidades de PTAP, como la coagulación-floculación, sedimentación y filtración,

			aportando criterios adicionales a los de la normativa.
Guillermo Lozano	Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio	2015	Ofrece una guía integral sobre los fundamentos teóricos y prácticos para el diseño y operación de plantas de tratamiento de agua potable, con un enfoque en procesos y control de calidad.
Organización Panamericana de la Salud (OPS) / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)	Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización	2004	Guía el diseño de unidades de tratamiento primario, como tanques sépticos, y proporciona criterios adaptados al contexto regional, siendo de gran utilidad para el diseño de las plantas compactas.
Organización Panamericana de la Salud (OPS) / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del	Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores	2005	Provee criterios específicos para el diseño de unidades de pretratamiento y acondicionamiento previo, fundamentales para el dimensionamiento de desarenadores y sedimentadores en sistemas

Ambiente (CEPIS)			de tratamiento de agua potable.
Organización Panamericana de la Salud (OPS) / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)	Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría	2004	Provee un manual detallado sobre los principios teóricos y criterios de diseño para plantas de filtración rápida, unidad clave en las PTAP, complementando las bases teóricas del proyecto.
João Paulo Bassin y Márcia Dezotti	Chapter 3: Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	2018	Proporciona un análisis detallado de los principios, operación y diseño de reactores biológicos de lecho móvil (MBBR), justificando la elección de esta tecnología para los diseños compactos.
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	Tratamiento de agua. Manuales. Coagulación, floculación y clarificación.	Varía según la edición	Ofrece los fundamentos teóricos y criterios de diseño para las etapas de coagulación, floculación y sedimentación, considerados esenciales en el tren de

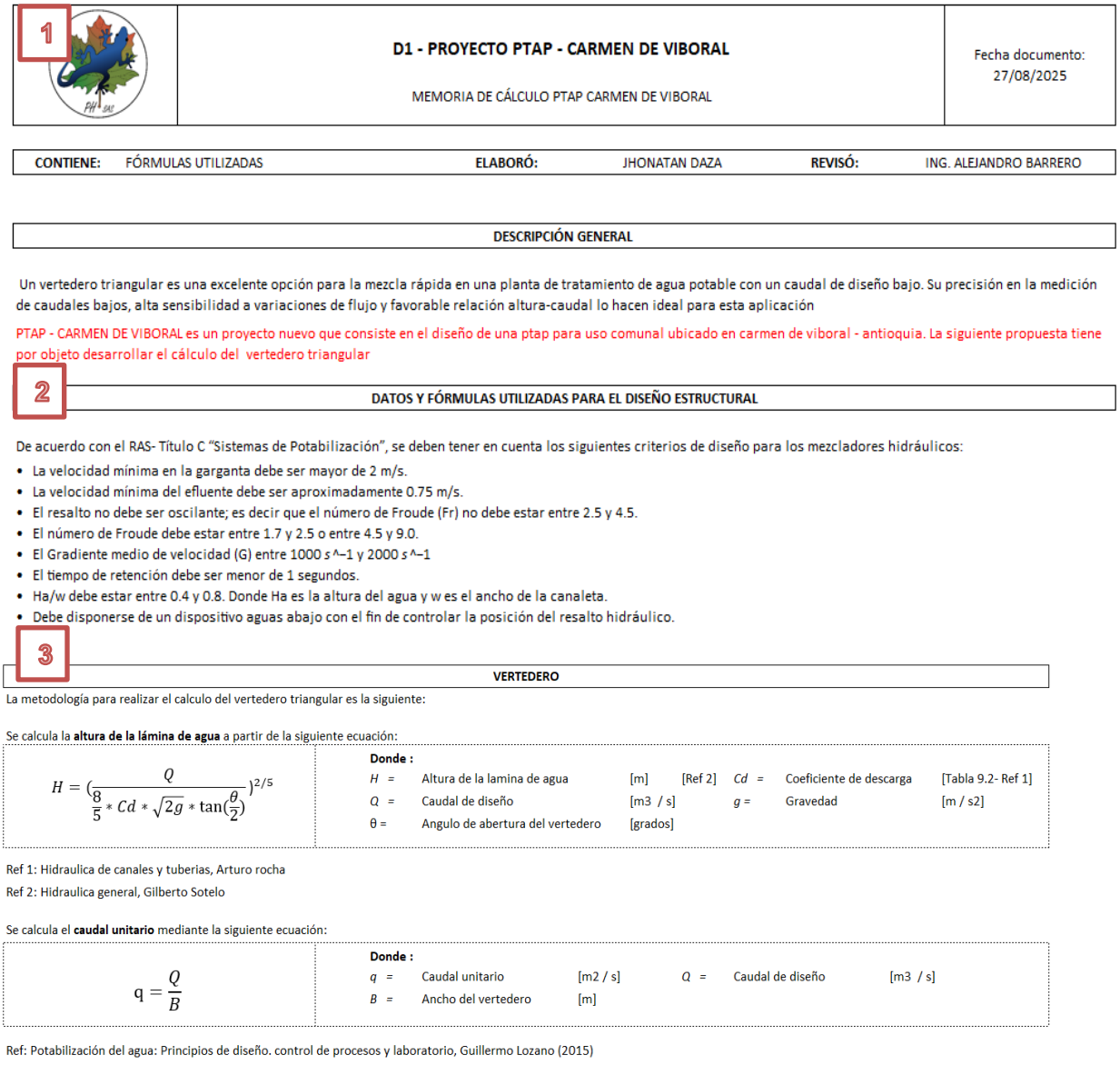
			tratamiento convencional de agua potable.
American Society of Civil Engineers (ASCE)	Manuales de diseño	Varía según el manual	Ofrecen datos técnicos y coeficientes de diseño para estructuras y unidades de tratamiento preliminar, como cribados y desarenadores, asegurando la solidez ingenieril del proyecto.
APHA, AWWA, WEF	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	2023 (24ª edición)	Referencia para comprender y justificar los parámetros de calidad de entrada y salida, lo cual es fundamental para el diseño de los procesos de remoción de contaminantes.

4.2 Diseño de Formatos de Cálculo para Proyectos desde Cero

El objetivo principal de esta etapa fue crear herramientas de diseño que optimizaran y estandarizaran el proceso de cálculo en la empresa. Para lograrlo, se diseñaron formatos en Microsoft Excel que garantizan la precisión y eficiencia en el desarrollo de las memorias de cálculo. Estos formatos no solo contienen los cálculos, sino que también actúan como una guía metodológica y un registro completo del proceso de diseño.

La estructura de los formatos se organizó de manera lógica en hojas de trabajo separadas: una hoja dedicada a la metodología y teoría y otra para los cálculos. Esta segmentación permite una fácil consulta y verificación de los datos.

A continuación, se detalla la estructura y las funcionalidades clave de estos formatos, con el apoyo de las imágenes anexas.



1

D1 - PROYECTO PTAP - CARMEN DE VIBORAL

MEMORIA DE CÁLCULO PTAP CARMEN DE VIBORAL

Fecha documento: 27/08/2025

CONTIENE:	FÓRMULAS UTILIZADAS	ELABORÓ:	JHONATAN DAZA	REVISÓ:	ING. ALEJANDRO BARRERO

DESCRIPCIÓN GENERAL

Un vertedero triangular es una excelente opción para la mezcla rápida en una planta de tratamiento de agua potable con un caudal de diseño bajo. Su precisión en la medición de caudales bajos, alta sensibilidad a variaciones de flujo y favorable relación altura-caudal lo hacen ideal para esta aplicación

PTAP - CARMEN DE VIBORAL es un proyecto nuevo que consiste en el diseño de una ptap para uso comunal ubicado en carmen de viboral - antioquia. La siguiente propuesta tiene por objeto desarrollar el cálculo del vertedero triangular

2

DATOS Y FÓRMULAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

De acuerdo con el RAS- Título C "Sistemas de Potabilización", se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño para los mezcladores hidráulicos:

- La velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.
- La velocidad mínima del efluente debe ser aproximadamente 0.75 m/s.
- El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2.5 y 4.5.
- El número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0.
- El Gradiente medio de velocidad (G) entre 1000 *s* ^−1 y 2000 *s* ^−1
- El tiempo de retención debe ser menor de 1 segundos.
- Ha/w debe estar entre 0.4 y 0.8. Donde Ha es la altura del agua y w es el ancho de la canaleta.
- Debe disponerse de un dispositivo aguas abajo con el fin de controlar la posición del resalto hidráulico.

3

VERTEDERO

La metodología para realizar el calculo del vertedero triangular es la siguiente:

Se calcula la **altura de la lámina de agua** a partir de la siguiente ecuación:

$$H = \left(\frac{Q}{\frac{8}{5} * Cd * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}\right)^{2/5}$$

Donde :

H =	Altura de la lamina de agua	[m]	[Ref 2]	Cd =	Coeficiente de descarga	[Tabla 9.2- Ref 1]
Q =	Caudal de diseño	[m3 / s]		g =	Gravedad	[m / s2]
θ =	Angulo de abertura del vertedero	[grados]				

Ref 1: Hidraulica de canales y tuberias, Arturo rocha

Ref 2: Hidraulica general, Gilberto Sotelo

Se calcula el **caudal unitario** mediante la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{B}$$

Donde :

q =	Caudal unitario	[m2 / s]	Q =	Caudal de diseño	[m3 / s]
B =	Ancho del vertedero	[m]			

Ref: Potabilización del agua: Principios de diseño. control de procesos y laboratorio, Guillermo Lozano (2015)

Ilustración 1. *Formato de Cálculo (Metodología)*

Análisis del Formato

4.2.1 Encabezado y Sistema de Identificación

En la esquina superior de cada formato, se incluyó un encabezado estandarizado, que cumple con el sistema de codificación de la empresa. Este encabezado incluye:

- Logotipo de la empresa: Brinda una identidad visual y formal al documento.
- Nombre del proyecto: Permite una rápida identificación del proyecto al que corresponde la memoria.
- Fecha y responsables: Consigna el registro del documento, incluyendo la fecha de elaboración y los nombres del diseñador y el revisor.

Este sistema de identificación asegura la trazabilidad de la información y facilita la gestión de los documentos de diseño.

4.2.2. Descripción General y Criterios de Diseño

Una sección de "Descripción General" introduce el propósito de la memoria de cálculo, como se muestra en la imagen. Esta sección explica de manera concisa la función de la estructura que se está diseñando, su aplicación en el proyecto específico y la justificación técnica detrás de su elección. Por ejemplo, en el caso de la PTAP de Carmen de Viboral, se justifica la selección de un vertedero triangular para caudales bajos.

Además, esta sección integra los criterios de diseño del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Al vincular directamente la metodología a la normativa vigente, se asegura que el diseño cumpla con los estándares nacionales.

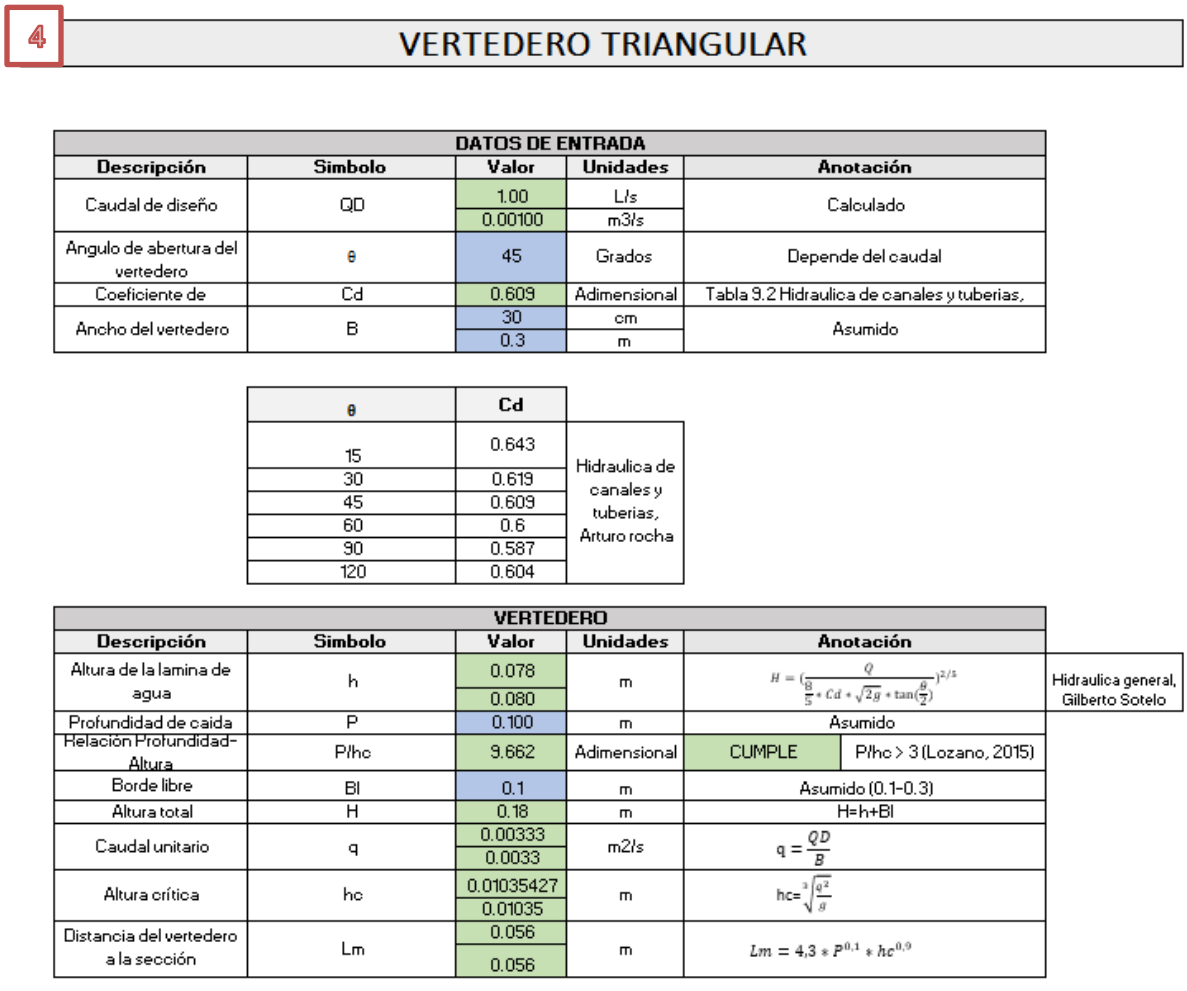
4.2.3. Metodología de Cálculo con Referencias

Una de las características más importantes de los formatos es la estandarización de la metodología de cálculo. Como se observa en la primera imagen, cada cálculo está acompañado de la ecuación utilizada y la referencia bibliográfica de donde se extrajo.

- Ecuaciones claramente definidas: Las fórmulas están presentadas de forma legible y con las variables debidamente identificadas para evitar errores de interpretación.

- Referencias bibliográficas: Cada ecuación tiene una referencia directa, como "Ref 1: Hidráulica de canales y tuberías, Arturo Rocha", lo que permite a cualquier usuario verificar la fuente original de la metodología.

Esta inclusión de referencias bibliográficas, junto a la segregación en una hoja de metodología, simplifica el proceso de diseño y facilita la revisión por parte de profesionales externos.



4 VERTEDERO TRIANGULAR

DATOS DE ENTRADA				
Descripción	**Simbolo**	**Valor**	**Unidades**	**Anotación**
Caudal de diseño	QD	1.00	L/s	Calculado
		0.00100	m3/s	
Angulo de abertura del vertedero	θ	45	Grados	Depende del caudal
Coeficiente de	Cd	0.609	Adimensional	Tabla 9.2 Hidraulica de canales y tuberias,
Ancho del vertedero	B	30	cm	Asumido
		0.3	m	

θ	Cd	
15	0.643	Hidraulica de canales y tuberias, Arturo rocha
30	0.619	
45	0.609	
60	0.6	
90	0.587	
120	0.604	

VERTEDERO					
Descripción	**Simbolo**	**Valor**	**Unidades**	**Anotación**	
Altura de la lamina de agua	h	0.078	m	$H=(\frac{Q}{\frac{8}{5}*Cd*\sqrt{2g}*\tan(\frac{\theta}{2})})^{2/5}$	Hidraulica general, Gilberto Sotelo
		0.080			
Profundidad de caida	P	0.100	m	Asumido	
Relación Profundidad-Altura	P/hc	9.662	Adimensional	CUMPLE	P/hc > 3 (Lozano, 2015)
Borde libre	Bl	0.1	m	Asumido (0.1-0.3)	
Altura total	H	0.18	m	H=h+Bl	
Caudal unitario	q	0.00333	m2/s	$q=\frac{QD}{B}$	
		0.0033			
Altura crítica	hc	0.01035427	m	$hc=\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	
		0.01035			
Distancia del vertedero a la sección	Lm	0.056	m	$Lm=4{,}3*P^{0,1}*hc^{0,9}$	
		0.056			

***Ilustración 2**. Formato de Cálculo (Resultados)*

4.4.4. Cálculos Paso a Paso y Validaciones Automáticas

Los formatos fueron diseñados para guiar al usuario a través del cálculo paso a paso. Cada celda está formulada para realizar una operación específica, de modo que el diseñador solo necesita ingresar los datos iniciales para obtener los resultados finales.

Además, se integraron validaciones automáticas y criterios de alerta. Estas funcionalidades permiten detectar errores de forma instantánea y optimizar el diseño, alertando al usuario si un resultado se encuentra fuera de los rangos recomendados por la normativa o la literatura técnica. Esto no solo previene errores, sino que también optimiza el tiempo de diseño.

La combinación de estos elementos —el encabezado estandarizado, la descripción y normativa, la metodología con referencias y los cálculos guiados— hace que las memorias de cálculo no sean solo un entregable final, sino una herramienta de diseño poderosa y de alto valor para la empresa.

4.3 Comprobación de la aplicación en proyectos reales

La funcionalidad de los formatos de cálculo se validó de manera práctica a través de dos estudios de caso con datos reales: los proyectos de la PTAP El Carmen de Viboral, Antioquia y la PTAR Novayanna en Ginebra, Valle del Cauca. La implementación en contextos reales demostró que las hojas de cálculo son una herramienta esencial para la gestión de la información y el rigor técnico en la ingeniería sanitaria.

Estudio de Caso 1: PTAR Novayanna

El sistema de tratamiento propuesto para el proyecto Novayanna se diseñó para tratar las aguas residuales de 220 viviendas en las coordenadas geográficas 3°40'00.6"N 76°12'53.4"W.

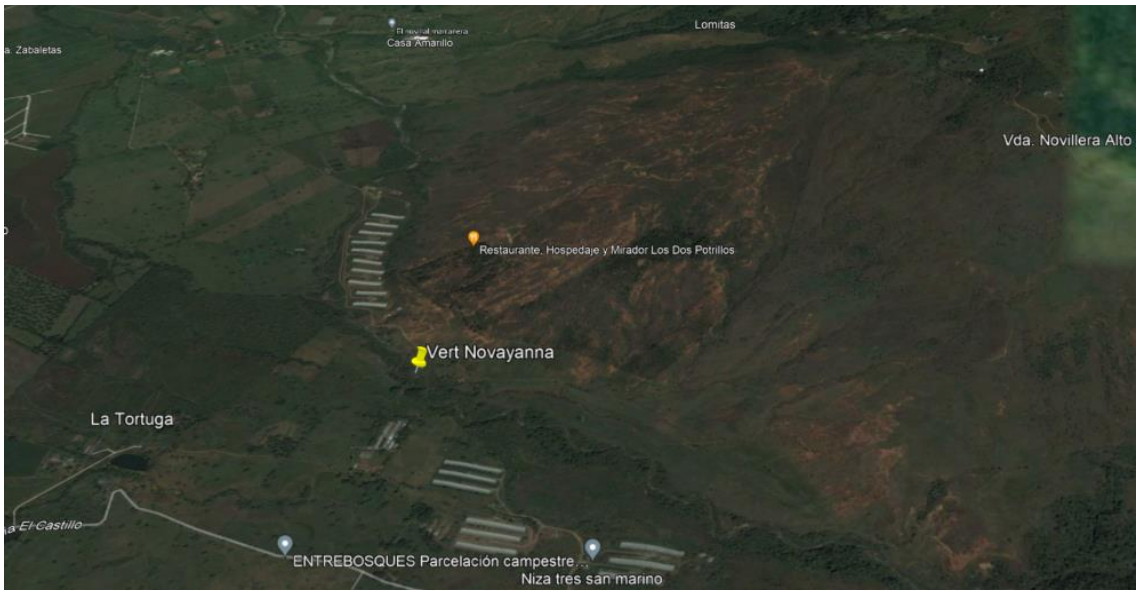


Ilustración 3. *Ubicación del vertimiento (Google Earth 2024).*

El diseño se fundamentó en el Título E del RAS y en referencias bibliográficas clave. El tren de tratamiento se compuso de unidades de bajo mantenimiento aptas para la zona rural: canal de entrada, tanque Imhoff, reactor biológico rotatorio (biodiscos), sedimentador de alta tasa con flujo helicoidal y lechos de secado de lodos.

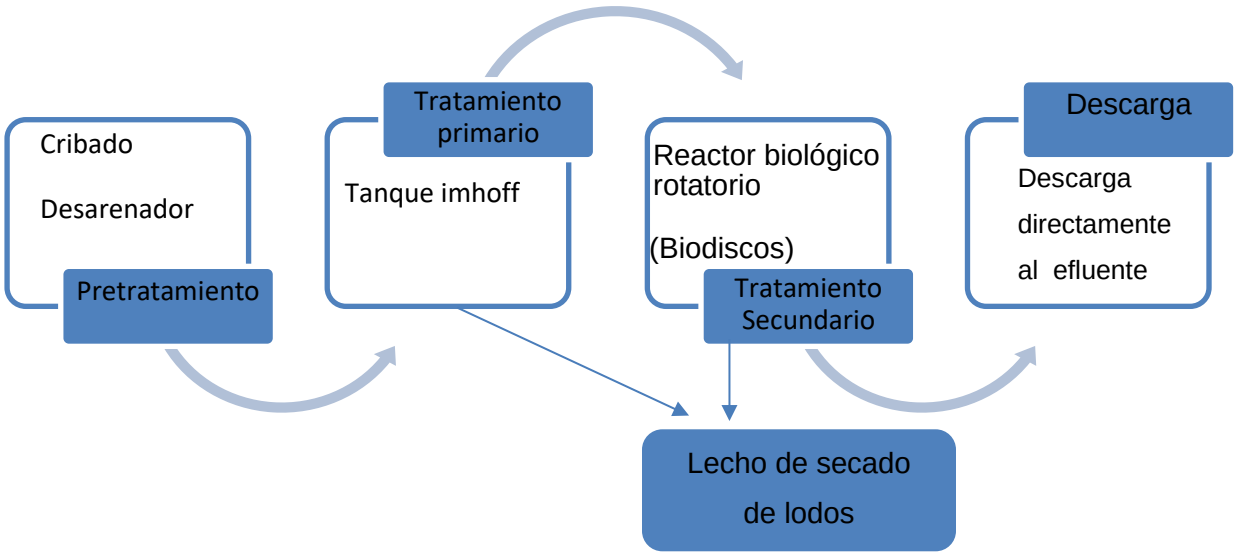


Ilustración 4. *Esquema de tratamiento (Fuente propia).*

La aplicación de los formatos en este proyecto permitió organizar la información de cada unidad de tratamiento, evidenciando la viabilidad y el rigor técnico del diseño propuesto para cumplir con la normativa ambiental.

Estudio de Caso 2: PTAP El Carmen de Viboral

El sistema de potabilización se proyectó en una zona rural del municipio El Carmen de Viboral, Antioquia, en las coordenadas de referencia 6.066192N, -75.341636W. Este diseño consideró una población de 72 habitantes y 50 reses de ganado.



Ilustración 5. *Ubicación del proyecto PTAP Carmen de Viboral*

La metodología de cálculo se basó en los Títulos B y C del RAS, la NTC 1500, y en referencias bibliográficas clave para el diseño hidráulico y de procesos. El tren de tratamiento se configuró para asegurar un bajo mantenimiento y una operación eficiente, abarcando unidades como: un mezclador hidráulico (vertedero triangular), un floculador mecánico y una alternativa adicional un floculador de lecho poroso, un sedimentador de alta tasa, una unidad de filtración rápida con lecho simple y un tanque de contacto para desinfección con cloro.



***Ilustración 6**. Esquema de tratamiento PTAP Carmen de Viboral*

El uso del formato de cálculo para este proyecto no solo facilitó la aplicación de múltiples metodologías, sino que también aseguró la coherencia entre los cálculos de cada estructura. Esta integración se ve reflejada en los planos de diseño, donde las dimensiones y el esquema de flujo se corresponden directamente con los datos de las memorias. A continuación, se presentan las vistas en planta de los planos de diseño, que visualizan la disposición y las dimensiones de las estructuras calculadas en las memorias para cada proyecto.

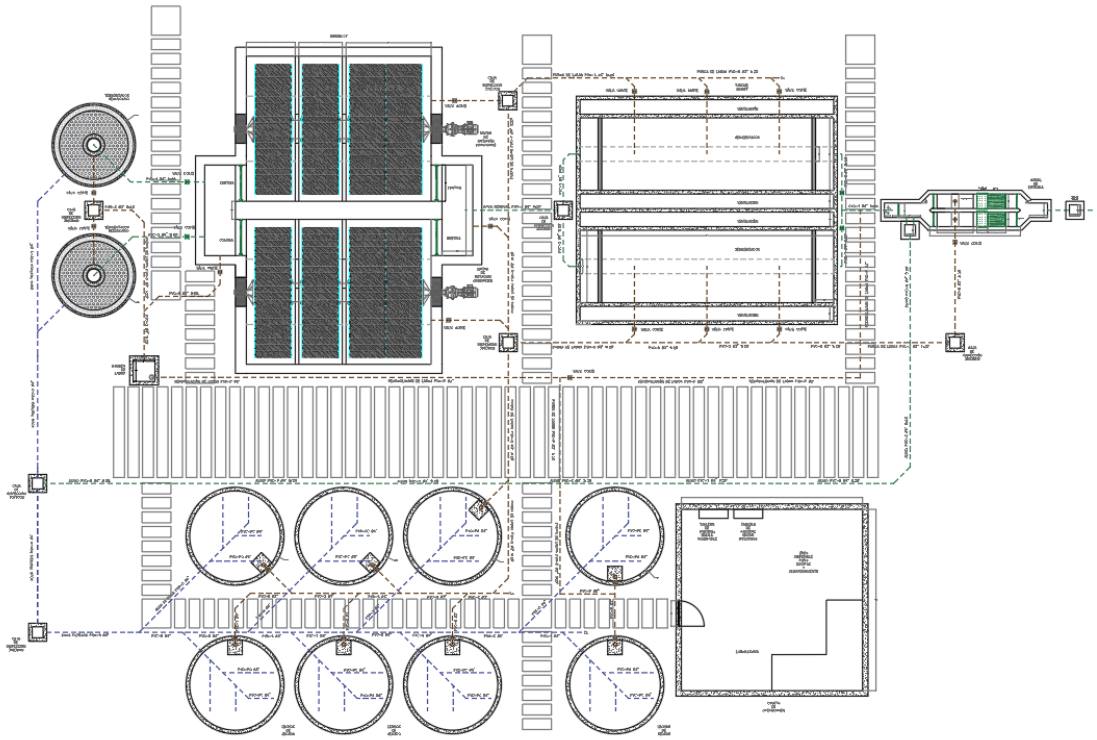


***Ilustración 7.** Vista en planta PTAR Novayanna.*

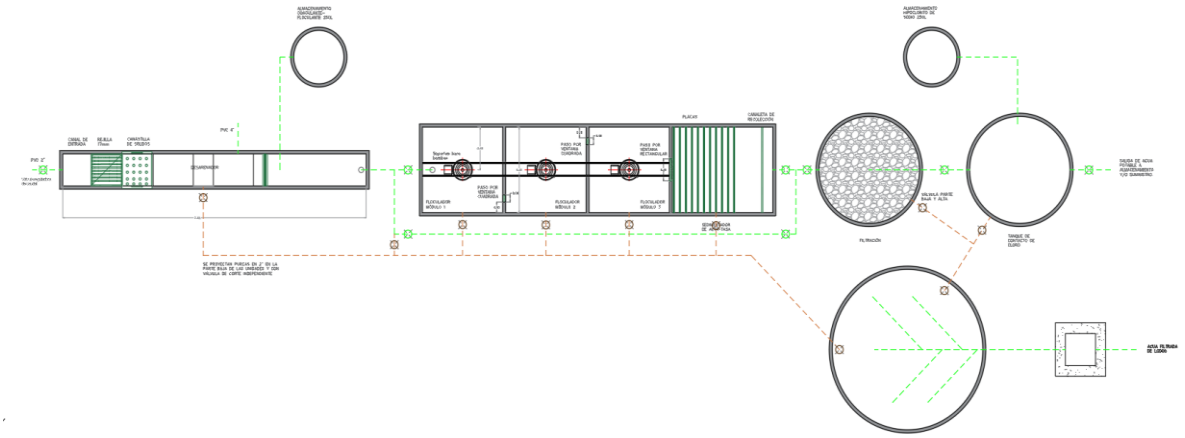


***Ilustración 8**. Vista en planta PTAP Carmen de Viboral.*

Para una revisión detallada de cada cálculo y variable, se hace referencia a los anexos del proyecto, los cuales contienen las tablas completas de resultados y las ecuaciones detalladas.

4.4 Sistematización del conocimiento y resultados tangibles

El resultado principal del proyecto es la sistematización del conocimiento en la empresa, materializado en informes de diseño detallados y de alto valor. Estos documentos van más allá de las memorias de cálculo, ofreciendo un registro completo que facilita su comprensión y uso futuro.

Los informes de diseño, como los generados para la PTAP y la PTAR, se caracterizan por su organización y claridad. Integran los cálculos validados con datos reales y los presentan de manera lógica, lo que permite a cualquier usuario comprender el proceso de diseño sin necesidad de una guía adicional. La estructura de los formatos, con hojas separadas para metodología y cálculos, garantiza la transparencia y la trazabilidad de la información. Una de las ventajas más significativas es que la arquitectura de los formatos permite su actualización y mejora continua. Se pueden incorporar nuevas metodologías o criterios de

diseño para estructuras innovadoras, lo que convierte estas herramientas en un activo duradero para la empresa.

Además, los informes de los proyectos contienen secciones detalladas sobre la operación y el mantenimiento de las plantas, lo que agrega un valor sustancial al servir como manuales de referencia para los operadores. En definitiva, este proyecto no solo resolvió un problema de diseño, sino que sentó las bases para una gestión del conocimiento más eficiente en la empresa.

4.5 Reflexión y valor de los resultados

El trabajo realizado trasciende la mera creación de herramientas; representa una solución estratégica para la empresa. Se logró una estandarización rigurosa y, a la vez, flexible, que permite a los diseñadores abordar nuevos proyectos de manera más eficiente y con un mayor grado de certeza técnica. El principal aprendizaje del trabajo fue la importancia de organizar la información de forma coherente y accesible, demostrando que el orden en un documento de cálculo es tan crítico como las ecuaciones mismas para garantizar la calidad del diseño.

Los resultados de esta pasantía serán utilizados principalmente por el equipo de diseño e ingeniería de Profesional Hidráulico SAS. Los formatos y la metodología desarrollada se convierten en una base sólida para la realización de futuros proyectos, facilitando la capacitación de nuevo personal y asegurando la coherencia y calidad de los diseños. Además, la estructura de los formatos y el sistema de codificación implementado tienen un impacto duradero al sentar un precedente para la estandarización de otros cálculos y la mejora de la gestión documental de la empresa.

4.6 Entregables finales de la pasantía

A continuación, se presenta un listado conciso de los entregables producidos y formalmente entregados a Profesional Hidráulico SAS como resultado del presente trabajo de pasantía:

- Formatos estandarizados en Microsoft Excel para el diseño de un tren de tratamiento convencional de agua potable y uno de agua residual.

- Informe de diseño detallado de la PTAP Carmen de Viboral, incluyendo cálculos, aspectos de operación y mantenimiento.

- Informe de diseño detallado de la PTAR Novayanna, incluyendo cálculos, aspectos de operación y mantenimiento.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El desarrollo de memorias de cálculo estandarizadas para los trenes de tratamiento de agua potable y residual permitió consolidar una metodología rigurosa que, al estar integrada en un formato único, agiliza significativamente los procesos de diseño y reduce la necesidad de búsquedas externas de información normativa.

- La aplicación de las memorias de cálculo en dos proyectos reales demostró su viabilidad y pertinencia. Esta comprobación confirmó que la organización de la información y las validaciones automáticas integradas garantizan una mayor precisión y facilitan la identificación de errores, lo cual es fundamental para optimizar la calidad de los proyectos.

- La pasantía concluye que la estandarización de las memorias de cálculo es una solución efectiva para abordar las limitaciones de la normativa en proyectos de plantas compactas. Al justificar la implementación de tecnologías de tratamiento alternativas, se estableció un precedente valioso para el diseño de soluciones eficientes que se adaptan a las condiciones particulares de caudal y espacio.

- La implementación de un sistema de codificación para los archivos y la organización lógica de los formatos contribuyen directamente a una mejor gestión documental. Esto facilita la trazabilidad, el control de versiones y el acceso a la información de diseño, previniendo reprocesos y optimizando el uso de los recursos.

Recomendaciones

- Se recomienda a Profesional Hidráulico SAS utilizar los formatos de cálculo desarrollados como un estándar para todos sus proyectos de plantas de tratamiento. Además, se sugiere emplear la misma estructura y lógica para estandarizar las memorias de cálculo de otras tecnologías o procesos que la empresa implemente en el futuro.

- Para maximizar el valor de esta herramienta, es fundamental capacitar al equipo de ingeniería en el uso de los nuevos formatos. Socializar la estructura, las funcionalidades y la lógica de los cálculos asegurará su adopción plena y consolidará la metodología como una práctica estándar de la empresa.

- Es crucial establecer un protocolo para la revisión y actualización de los formatos de cálculo. Esto garantizará que se mantengan coherentes con cualquier modificación en la normativa nacional (RAS) e incorporen nuevas tecnologías o criterios de diseño, asegurando su relevancia a largo plazo.

- Para complementar la estandarización, se recomienda investigar y explorar herramientas de software que faciliten el dimensionamiento de estructuras o procesos de tratamiento. Esto podría agilizar aún más la etapa de diseño y visualización, integrándose de manera eficiente con las memorias de cálculo ya desarrolladas.

6. ANEXOS

1. Concepto evaluativo de la Empresa.
2. Informe técnico de la PTAR Novayanna.
3. Informe técnico de la PTAP Carmen de Viboral.
4. Planos de la PTAR Novayanna. (Vista en planta, corte y detalles)
5. Planos de la PTAP Carmen de Viboral. (Vista en planta, corte y detalles)
6. Formatos estandarizados y Memorias de cálculo (PTAR Novayanna y PTAP Carmen de Viboral)

7. REFERENCIAS

Bunge, M. (1993), *La Investigación Científica*, Barcelona. Editorial Ariel.

Infante, C. (2010). Guía para la presentación de proyecto se investigación. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Méndez E., Vélez, R. (2009). *Metodología Diseño y desarrollo del Proceso de investigación*. Editorial McGraw-Hill.