

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis de alternativas para la repotenciación o sustitución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia General Morales, Cantón Cañar, Provincia Cañar.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Construcción y Saneamiento

Presentado por:

Diego Patricio Avila Avila

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado para mi
Ana Julia y mi tía Aidita.

AGRADECIMIENTOS

Para mi esposa, mis padres, y de manera especial para la ingeniera Fernanda Mejía, por su apoyo incondicional durante la realización del proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Diego Patricio Ávila Ávila doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Diego Patricio Avila
Avila

EVALUADORES

M.Sc Nadia Quijano Arteaga

PROFESOR DE LA MATERIA

M.Sc Fernanda Estefanía Mejía Peralta.

TUTORA ACADEMICA

M.Sc Samantha Hidalgo Astudillo

PROFESORA DE LA MATERIA

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló en la parroquia General Morales, cantón y provincia del Cañar. Ante la necesidad de una evaluación a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existente, con el objetivo de repotenciar o sustituir la misma.

Luego de realizar el levantamiento de la información existente, y el análisis de calidad de agua de la PTAR, concluimos en sustituir la PTAR, ya que el agua del efluente estaba más contaminada que el agua de ingreso.

Se sustituyó la PTAR por una planta formada por un pretratamiento, tratamiento primario, mediante un tanque Imhoff y tratamiento secundario mediante sistemas extensivos como humedales artificiales.

Las opciones analizadas fue un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. Realizamos un diseño de los dos sistemas para analizar cuál es el más idóneo para cumplir con las necesidades y se ajusta a las limitaciones del proyecto. Tomado en cuenta las características del terreno escogimos la opción del humedal de flujo subsuperficial vertical.

Adicional a esto, el fango primario producido en el tanque Imhoff será dispuesto en un lecho de secado para el proceso de digestión. Obteniendo como resultado: planos constructivos, presupuesto de obra, especificaciones técnicas y un manual de operación y mantenimiento.

Palabras Clave: General Morales, sistemas extensivos, humedal artificial, agua residual.

ABSTRACT

This project was developed in the parish of General Morales, canton, and province of Cañar. Given the need for an evaluation of the existing wastewater treatment plant (WWTP), with the objective of upgrading or replacing it.

After collecting the existing information and analyzing the water quality of the WWTP, we concluded to replace the WWTP, since the effluent water was more polluted than the incoming water.

The WWTP was replaced by a plant consisting of pretreatment, primary treatment using an Imhoff tank and secondary treatment using extensive systems such as artificial wetlands.

The options analyzed were a horizontal subsurface flow artificial wetland and a vertical subsurface flow artificial wetland. We carried out a design of the two systems to analyze which is the most suitable to meet the needs and fits the project constraints. Considering the characteristics of the terrain, we chose the vertical subsurface flow wetland option.

In addition to this, the primary sludge produced in the Imhoff tank will be placed in a drying bed for the digestion process. As a result, construction drawings, construction budget, technical specifications and an operation and maintenance manual were obtained.

Key words: General Morales, extensive systems, artificial wetland, wastewater.

Translated with DeepL.com (free version)

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
PROFESORA DE LA MATERIA.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Antecedentes.....	12
1.3 Problemática a resolver.....	14
1.4 Justificación.....	17
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo General.....	17
1.5.2 Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO 2.....	18
2.1 Humedales Artificiales.....	18
2.1.1 Humedales artificiales de flujo superficial.....	18
2.1.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	18
2.2 Tratamiento primario.....	22
2.2.1 Fosas sépticas.....	22
2.2.2 Decantadores primarios.....	24

2.2.3	Tanque Imhoff.....	25
2.3	Mecanismos de depuración en humedales artificiales	27
2.4	Métodos de Diseño.....	28
2.4.1	Caudales.....	28
2.4.2	Vertedero de excesos	31
2.4.3	Canal de desbaste	32
2.4.4	Tanque Imhoff.....	36
2.4.5	Lecho de secado.....	41
2.4.6	Humedal artificial.....	43
CAPÍTULO 3	53
3.1	Marco Metodológico	53
3.1.1	Etapa 1	53
3.1.2	Etapa 2	53
3.1.3	Etapa 3	53
3.1.4	Etapa 4	56
3.1.5	Etapa 5	56
CAPÍTULO 4	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1	Análisis de la PTAR existente.....	57
4.2	Caudales	58
4.3	Vertedero de excesos.....	59
4.4	Canal de desbaste.....	60
4.5	Tanque Imhoff	62
4.6	Lecho de secado	65
4.7	Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	66
4.8	Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	68

4.9	Estudio de factibilidad.....	69
	Conclusiones.....	70
	Recomendaciones.....	71
	BIBLIOGRAFÍA	72
6.	Bibliografía.....	72

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno.
DQO	Demanda química de oxígeno.
SST	Sólidos suspendidos totales.
SS	Sólidos sedimentables.
HAFSsH	Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial Horizontal.
HAFSsV	Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial Vertical.

SIMBOLOGÍA

m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División del cantón Cañar.....	13
Figura 2. Estado actual de la PTAR.....	15
Figura 3. Vista aérea de la PTAR.	15
Figura 4. Ingreso a la PTAR.	16
Figura 5. Filtro de la PTAR	16
Figura 6. Salida de la PTAR.	16
Figura 7. Humedal con flujo superficial.	18
Figura 8. Humedal de flujo subsuperficial horizontal.....	19
Figura 9. Humedal con flujo subsuperficial vertical.	22
Figura 10. Corte longitudinal de fosa séptica	23
Figura 11. Diagrama de flujo de una PTAR, con una fosa séptica como primer tratamiento.	24
Figura 12. Corte transversal de un decantador primario cónico.	25
Figura 13. Corte transversal de un tanque Imhoff.....	26
Figura 14. Ilustración de un aliviadero o vertedero de excesos.....	32
Figura 15. Esquema de la zona de decantación de un Tanque Imhoff.	38
Figura 16. Ilustración general de un Tanque Imhoff.....	40
Figura 17. Vista lecho de secado.....	42
Figura 18. Levantamiento de la infraestructura existente.....	54
Figura 19. Toma de muestras de agua en la entrada a la PTAR.	55
Figura 20. Toma de muestras de agua en la salida de la PTAR.	56
Figura 21. Profundidades recomendadas. Fuente: (Dotro, y otros, 2017).....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de sistemas para el primer tratamiento según la aplicación en función de la población.	22
Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de una fosa séptica.	24
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la instalación de decantadores primarios.	25
Tabla 4. Ventajas y desventajas de la implantación de un tanque Imhoff.	26
Tabla 5. Recomendación EMAAP-Q.....	29
Tabla 6. Recomendación EMAAP-Q. Fuente: (EMAAP-Q, 2009)	29
Tabla 7. Recomendación EMAAP-Q. Fuente: (EMAAP-Q, 2009)	29
Tabla 8. Recomendación EMAAP-Q. Fuente: (EMAAP-Q, 2009)	29
Tabla 9. Valores para el cálculo de un canal de desbaste y enrejados.	33
Tabla 10. Valores usados en el cálculo de desarenadores.	35
Tabla 11. Valor usual de los parámetros más importantes para el dimensionamiento de un tanque Imhoff.....	36
Tabla 12. Síntesis de la superficie de un humedal para el hogar de una familia de 5 integrantes.....	43
Tabla 13. Recomendaciones para el parámetro P en humedales FH, FV, FS.	44
Tabla 14. Recomendaciones para el parámetro C* en humedales FH, FV, FS.	45
Tabla 15. Recomendaciones para el parámetro de coeficientes de reacción basados en áreas, en humedales FH y FS	45
Tabla 16. Recomendaciones para el factor de corrección θ en humedales FH y FS (50 th percentil).....	45
Tabla 17. Materiales comunes para un humedal horizontal.	46
Tabla 18. Valores recomendados de cara a dimensionar un HAFSSV.....	50
Tabla 19. Resultados del análisis de las aguas residuales de la PTAR de General Morales. Fuente: Laboratorio de Etapa EP.....	55
Tabla 20. Resultados obtenidos del análisis físico químico de la PTAR.	57
Tabla 21. Resumen del cálculo del caudal de diseño. Fuente:	58
Tabla 22. Resumen de caudales calculados.....	58
Tabla 23. Resumen del cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado.....	59
Tabla 24. Intensidad máxima (mm/h).....	59
Tabla 25. Parámetros de diseño para el vertedero de excesos.	60

Tabla 26. Resultados del diseño del vertedero.	60
Tabla 27. Parámetros de diseño para el enrejado.	61
Tabla 28. Resultados del diseño del enrejado.	61
Tabla 29. Resultados canal de desbaste.	61
Tabla 30. Parámetros de diseño. Fuente: El autor.	62
Tabla 31. Diseño de la zona del desarenado. Fuente: El autor.	62
Tabla 32. Valore usados en el dimensionamiento del tanque Imhoff.	63
Tabla 33. Resultado del dimensionamiento de la zona de decantación.	63
Tabla 34. Resultados de diseño y control.	64
Tabla 35. Dimensionamiento de la zona de digestión.	64
Tabla 36. Dimensiones de implantación del tanque Imhoff.	65
Tabla 37. Calidad del efluente al salir del tanque Imhoff.	65
Tabla 38. Diseño del lecho de secado. Fuente: el autor.	65
Tabla 39. Parámetros para el diseño.	66
Tabla 40. Resultados del diseño.	66
Tabla 41. Profundidades y volúmenes del humedal vertical.	67
Tabla 42. Calidad del efluente al salir del humedal. Fuente: El autor.	68
Tabla 43. Parámetros de diseño.	68
Tabla 44. Diseño del humedal horizontal.	68

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Emplazamiento de la PTAR
- PLANO 2 Pretratamiento y tratamiento primario
- PLANO 3 Tratamiento secundario

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Este proyecto se enfoca en explorar alternativas para la mejora o sustitución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Parroquia General Morales. La iniciativa surge ante el funcionamiento deficiente de la PTAR actual, cuya ineficiencia incide negativamente en la salud pública y el medio ambiente. La esencia del estudio se centra en la necesidad de asegurar un tratamiento eficaz de las aguas residuales de la parroquia. Mediante la propuesta de soluciones factibles y sostenibles que optimicen la infraestructura y la gestión de la PTAR, se aspira a tener un impacto beneficioso en el entorno ambiental y en la salud de la población.

El objetivo de este estudio consiste en llevar a cabo una evaluación integral de la calidad operativa de la PTAR existente, examinar las condiciones y calidad del efluente de la planta, y determinar las necesidades específicas de la parroquia, jugando un papel crucial en la mejora de la gestión ambiental y en el incremento de la calidad de vida dentro de la parroquia, estableciendo un marco referencial para investigaciones futuras y aplicaciones prácticas y sostenibles en el ámbito del tratamiento de aguas residuales. Se adopta por un enfoque metodológico mixto, combinando análisis cualitativos y cuantitativos, y utilizando técnicas avanzadas de muestreo de agua, evaluación estructural y diseño de ingeniería. Este enfoque promete proporcionar una comprensión completa y detallada de los desafíos presentes y las posibles soluciones, asegurando que el estudio tenga una base sólida, relevancia y aplicabilidad en contextos reales. Además, se realizará una revisión de literatura pertinente para contextualizar la investigación dentro del ámbito global del tratamiento de aguas residuales, resaltando la importancia de adoptar prácticas innovadoras y sostenibles aplicables en otros contextos similares, cumpliendo con los objetivos de desarrollo sostenible número 6 Agua limpia y Saneamiento y 14 Vida Submarina del Programa de las Naciones Unidas.

1.2 Antecedentes

General Morales es una de las 12 parroquias que forman parte del cantón Cañar, está ubicado al norte del cantón Cañar. Este proyecto se desarrolla específicamente en la cabecera parroquial de General Morales, misma que tiene una población de 294

habitantes. La temperatura anual varía entre 10 a 22 °C (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cañar, 2021).

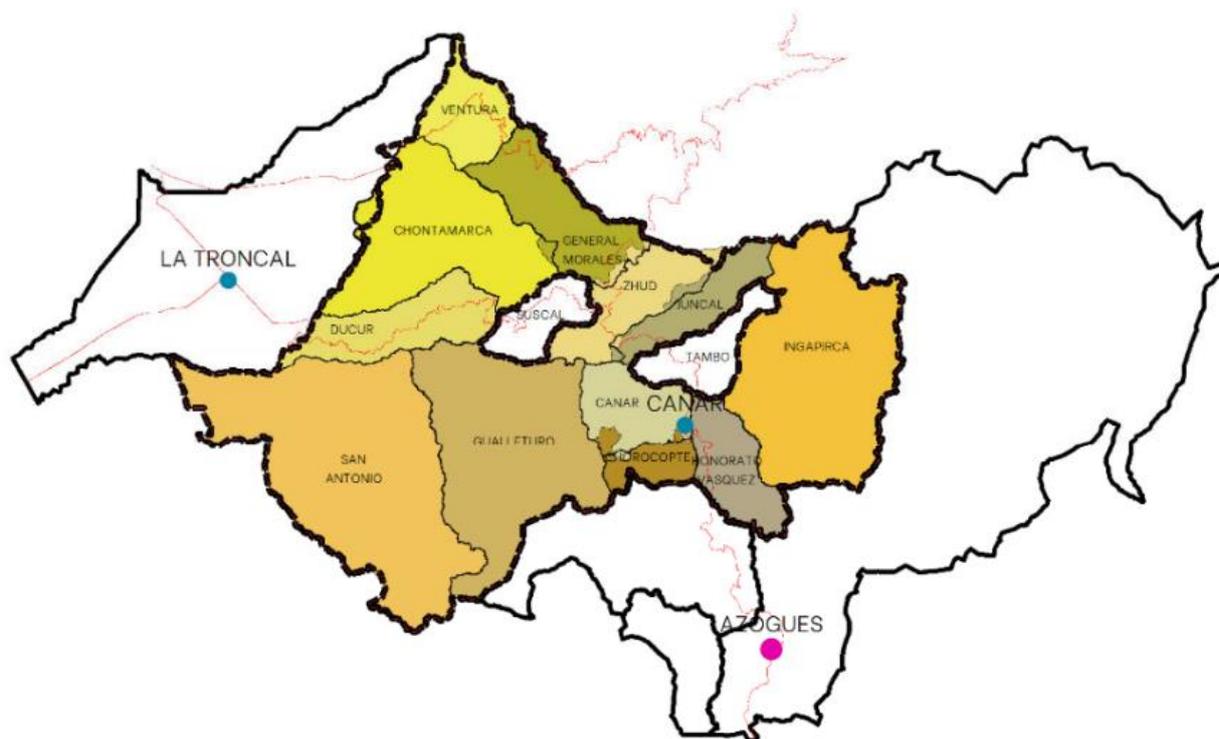


Figura 1. División del cantón Cañar.

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cañar, 2021)

En el cantón Cañar, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de 2021, el 31.46 % de la población tiene acceso a la red pública de alcantarillado sanitario, 24.53 % utilizan pozo séptico, 8.79 % pozos ciegos y el 35.22% de la población no tienen cobertura de alcantarillado o utilizan otros medios para la evacuación de las aguas servidas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cañar, 2021).

Según el PDOT de 2021, el cantón y provincia de Cañar, General Morales es parte de las parroquias que presentan los valores más críticos en cobertura de red de alcantarillado, con un déficit del 93.55 % en evacuación y tratamiento de las aguas servidas. Es importante indicar que para la elaboración de este PDOT se utilizaron los datos del VII Censo de Población Y VI de vivienda 2010- INEC.

Actualmente, la parroquia cuenta con una red pública de alcantarillado sanitario y una planta de tratamiento de aguas residuales, misma que recibe las aportaciones de 1200 usuarios, conformada por un pozo séptico, un filtro anaerobio y la descarga hacia la quebrada. Tanto la planta de tratamiento y la red de alcantarillado sanitario fueron construidos hace 18 años, con una vida útil estimada de 20 años (Muñoz, 2006).

1.3 Problemática a resolver

General Morales cuenta, con una red pública de alcantarillado, y una planta de tratamiento de agua residual convencional, conformada por un pozo séptico y un filtro anaerobio, mismo que su funcionamiento no es el adecuado, es decir, el agua llega al pozo séptico y es conducida directamente hacia la quebrada, sin recibir tratamientos previos adicionales, afectando la calidad ambiental de dicho cuerpo natural.

Según el INEC el 26.7 % de los municipios a nivel nacional no realizan tratamiento de aguas residuales, siendo el Cañar uno de los cantones que no presta este servicio básico. (INEC, 2022).

El tratamiento insuficiente de las aguas en dichas plantas se debe a que no se dispone de mano de obra calificada para la operación y mantenimiento, y en el presente caso de estudio la PTAR se encuentra en total abandono, su operación no es la apropiada y no se le ha proporcionado el mantenimiento adecuado.

El no tratar las aguas residuales trae consecuencias ambientales y sociales negativas, ya que, al descargar agua contaminada a una quebrada, puede propiciar problemas en la salud de las personas y un daño al ecosistema.

Por lo tanto, es necesario analizar la calidad de las aguas residuales en la PTAR de General Morales mínimamente en dos puntos: afluente a la PTAR, y en el punto de descarga, para así proponer una repotenciación de la planta tratamiento de aguas residuales de la parroquia General Morales, o, una nueva planta de tratamiento en caso de que la actual cumpla con las características técnicas y legales (según las normativas afines vigentes) para ser sustituida.



Figura 2. Estado actual de la PTAR.



Figura 3. Vista aérea de la PTAR.



Figura 4. Ingreso a la PTAR.



Figura 5. Filtro de la PTAR



Figura 6. Salida de la PTAR.

1.4 Justificación

El tratamiento de aguas residuales en la parroquia General Morales es vital para la salud, el medio ambiente y el desarrollo sostenible. La falta de un sistema efectivo conlleva serias implicaciones en estos ámbitos. Este estudio se propone enriquecer el conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales basado en sistemas extensivos, tales como, los humedales artificiales de flujo subsuperficial. Evaluando la eficiencia de las PTAR y proponiendo alternativas sostenibles. Este proyecto será útil para mejorar el diseño, operación y mantenimiento de las PTAR. Aportando datos esenciales para optimizar el tratamiento de aguas en General Morales, ofreciendo opciones viables y sostenibles para la mejora o sustitución de la infraestructura actual. La meta es influir en las decisiones locales y fomentar un desarrollo sostenible que proteja la salud pública, mejore el entorno e impulse el crecimiento económico. A fin de que se dé cabal cumplimiento a lo establecido en el artículo 314 de la Constitución del Ecuador y el art. 55 del COOTAD, en cuanto al derecho de los ciudadanos ecuatorianos al acceso de los servicios públicos básicos. Así como, el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes en cuanto a límites permisibles de contaminantes en efluentes de aguas residuales tratadas vertidas en cuerpos de agua dulce.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Analizar la calidad de funcionamiento de la PTAR existente de la parroquia General Morales, para determinar la necesidad de repotenciación o sustitución de esta, mediante alternativas de sistemas extensivos de tratamiento de aguas residuales (humedales artificiales).

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar si la PTAR de la parroquia General Morales requiere ser repotenciada o sustituida por una nueva PTAR que satisfaga de manera eficiente las necesidades de la parroquia.
- Diseñar alternativas de tratamientos de aguas residuales basadas en sistemas extensivos, como por ejemplo humedales artificiales.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento, especificaciones técnicas, planos constructivos y presupuesto de obra de la alternativa final de la PTAR de la parroquia General Morales.

CAPÍTULO 2

2.1 Humedales Artificiales.

Son sistemas de depuración de aguas residuales formados por lagunas o canales con una profundidad máxima de 1 metro, vegetación propia de las zonas húmedas donde los procesos de descontaminación se dan por la interacción entre agua, sustrato sólido, vegetación y microorganismos. Según la circulación del agua los humedales artificiales son de flujo superficial o flujo subsuperficial (Garcia & Corzo, 2008).

2.1.1 Humedales artificiales de flujo superficial

El agua está expuesta a la atmósfera y circula a través de los tallos y hojas de las plantas. Además, su lámina de agua tiene una profundidad entre 0.3 y 0,4 m (Garcia & Corzo, 2008)

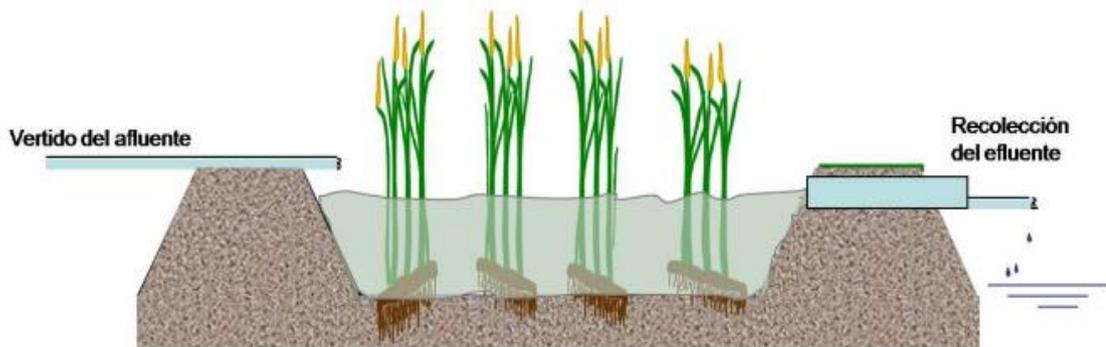


Figura 7. Humedal con flujo superficial.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

2.1.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial

El agua circula mediante un medio de material granular estando en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. Generalmente, la profundidad de la lámina de agua está entre 0.3 a 0.9 metros (Garcia & Corzo, 2008)

Las ventajas de usar un sistema de flujo subsuperficial son las siguientes:

- Mayor capacidad de tratamiento.
- Bajo riesgo de contacto del agua con las personas.
- Bajo riesgo de aparición de insectos.

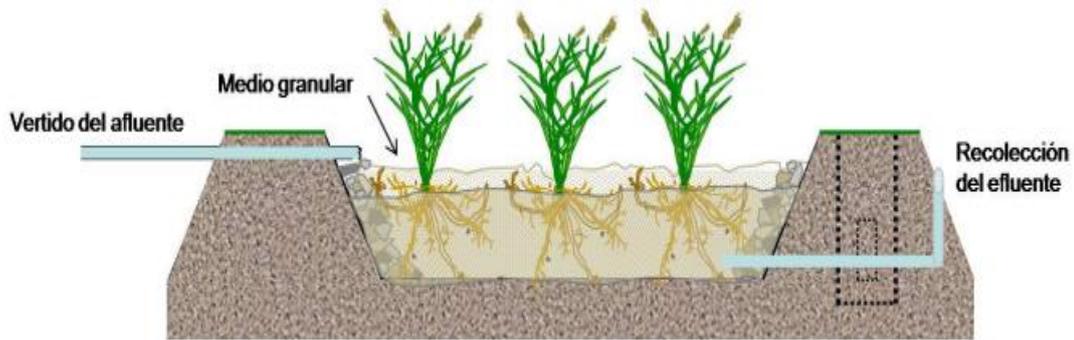


Figura 8. Humedal de flujo subsuperficial horizontal

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

Existen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial:

- Humedales de flujo horizontal.
- Humedales de flujo vertical.

2.1.2.1 Humedales de flujo subsuperficial de flujo horizontal

El agua circula de forma horizontal a través del medio granular, los rizomas y las raíces de las plantas. Se caracterizan por funcionar siempre inundados, su nivel de agua varía entre 0.05 a 1 m bajo la superficie y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m² día (Garcia & Corzo, 2008).

Este tipo de humedal horizontal está formado por los siguientes elementos según (Vásquez et al., 2023):

- Estructuras de entrada del afluente.
- Impermeabilización de fondo y lateral (laminas sintéticas o arcilla compactada).
- Medio granular.
- Vegetación.
- Estructuras de salida (regulables para controlar el nivel de agua).

Estructuras de entrada y salida. – Se requieren estructuras de entrada y salida cuidadosamente diseñadas y diseñadas para lograr un rendimiento óptimo de los humedales. Las aguas residuales pretratadas ingresan al pozo, donde el flujo se distribuye uniformemente y se vierte en el lecho a través de varias tuberías. Alternativamente, el agua se puede desviar a un canal con un rebosadero que distribuya el agua uniformemente a lo ancho del sistema. Las aguas residuales se recogen a través de tuberías perforadas ubicadas en el fondo del humedal. Este tubo está conectado a otro tubo en forma de "L" invertida y es regulable en altura. Este diseño permite cambiar el nivel del agua y así drenar el humedal durante los trabajos de mantenimiento.

Impermeable. – Es necesario limitar el sistema para evitar la entrada de agua subterránea. La impermeabilización dependerá de las características del terreno, que decidirán si se utiliza tierra compactada, arcilla o láminas sintéticas para la impermeabilización.

Medio granular. - Los medios granulares/biopelícula/flora deben considerarse como los componentes principales del humedal; se colocan piedras para distinguir los medios granulares de las estructuras de entrada y salida. En el entorno granular tienen lugar procesos clave como la retención de materiales, la descomposición orgánica, la transformación de nutrientes y la neutralización de patógenos. Este medio debe ser limpio, homogéneo, duradero y debe mantener su estructura que promueve el crecimiento de plantas y biopelículas. El diámetro óptimo es de 5-8 mm. A la hora de diseñar es muy importante tener en cuenta su conductividad hidráulica, que determina el caudal de agua e irá disminuyendo con el tiempo.

Vegetación. – Al momento de elegir la vegetación a utilizar en el sistema de humedales se deben tener en cuenta las características del área donde se planea implementar el proyecto y las siguientes recomendaciones según (Vásquez et al., 2023):

- Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
- Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
- La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
- Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
- Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
- Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
- Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Se deben utilizar especies propias de la flora local.

2.1.2.2 Humedales de flujo subsuperficial de flujo vertical

La circulación del agua es vertical, a diferencia de los humedales de flujo horizontal, que funcionan periódicamente, es decir, no se inundan constantemente. La profundidad del medio granular está entre 0.5 y 0.8 m y su carga de trabajo es de aprox. 20 g

DBO/m²*día. Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los sistemas horizontales, es decir, requieren menos superficie para tratar una determinada carga orgánica, pero los materiales granulares son más propensos a obstruirse.

Está formado por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluente.
- Impermeabilización.
- Medio granular.
- Vegetación.
- Estructuras de salida (regulables para controlar el nivel de agua).
- Tubería de aireación.

Las características de impermeabilización y vegetación de los sistemas verticales se estudiaron de forma idéntica a las de los sistemas horizontales.

Estructuras de entrada y salida. – Utilizan una red de tuberías radialmente en la superficie o a lo largo del lecho. Para evitar la congelación en climas fríos, las tuberías suelen enterrarse a una profundidad de 0,05 a 0,1 m debido al flujo irregular de agua. El agua sale a través de tuberías perforadas en el fondo y a lo largo del lecho.

Medio granular. - Debe ser limpio, duro, duradero y capaz de mantener su forma durante mucho tiempo. Es de tipo heterogéneo, dispuesto en tres capas horizontales con diferentes tamaños de grano que aumentan con la profundidad del lecho. La capa superior es arena gruesa, la capa intermedia es grava y la capa inferior es grava gruesa. Esta disposición se utiliza para evitar que el agua fluya demasiado rápido o demasiado lento a través del lecho.

Tuberías de aireación. – Su función es airear el lecho en profundidad optimizando los procesos de degradación aeróbica y la nitrificación. Se recomienda la instalación de 1 tubería por cada 4 m² (Vásquez et al., 2023).

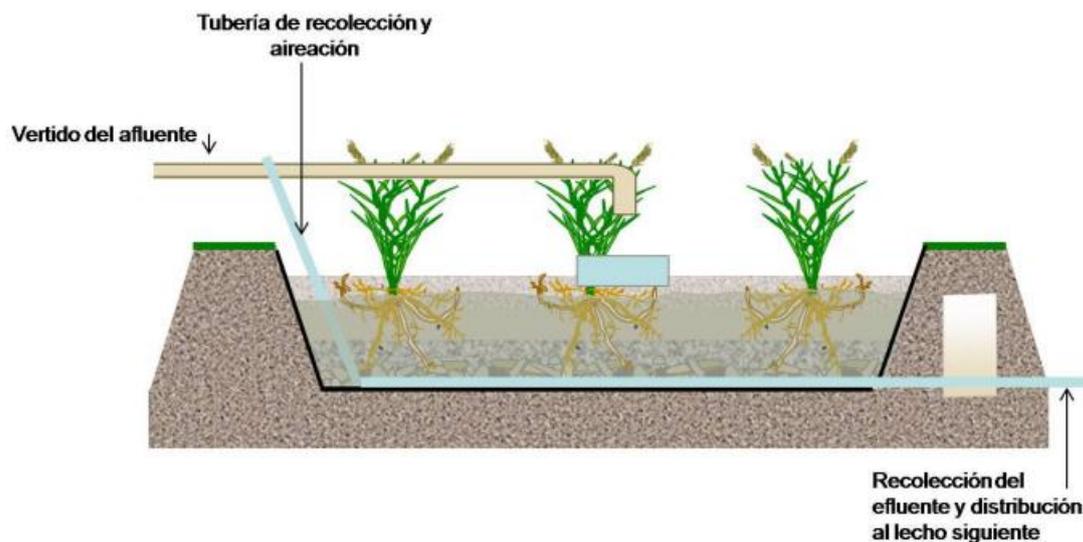


Figura 9. Humedal con flujo subsuperficial vertical.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

2.2 Tratamiento primario

Según (Salas, Pidre, & Fernandez, 2007) para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales a tratar, y disminuir los riesgos de colmatación del sustrato filtrante (Mejia, 2021). Los elementos más empleados para la realización de tratamiento primario en pequeñas poblaciones urbanas son: fosas sépticas, decantadores primarios y tanques Imhoff. (CEDEX, 2010) La Tabla 1 detalla los rangos de aplicación para cada elemento de tratamiento primario.

Tabla 1. Tipos de sistemas para el primer tratamiento según la aplicación en función de la población.

Fuente: (CEDEX, 2010)

Elemento de tratamiento	Rango de Aplicación
Fosas sépticas	<200 h.e.
Tanque Imhoff	50-200 h.e.
	200-500 h.e.
	500-1000 h.e.
Decantadores Primarios	>500 h.e.

2.2.1 Fosas sépticas

Son dispositivos que permiten un tratamiento primario de las aguas residuales, reduciendo su contenido de sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes. Generalmente, se disponen enterradas y constituyen uno de los tratamientos previos

más usados en los sistemas de depuración descentralizados y en aglomeraciones de tamaño muy pequeño. La disposición habitual de estos dispositivos es mediante dos compartimentos en serie como observamos en la Figura 10. El agua clarificada en el primer compartimento pasa al segundo a través de un orificio ubicado en un punto intermedio entre las capas de flotantes y de fangos, para evitar el arrastre de estos. En el segundo compartimento se vuelve a dar una separación de materias flotantes y sedimentables, pero en menor cuantía. (CEDEX, 2010)

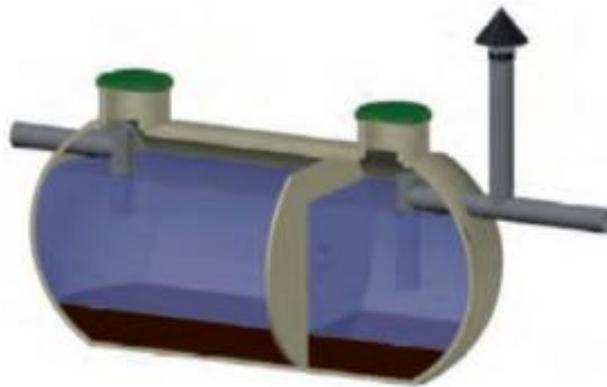


Figura 10. Corte longitudinal de fosa séptica

Fuente: (CEDEX, 2010)

Se recomienda el empleo de fosas sépticas para aguas residuales generadas en grupos de viviendas y otras instalaciones de pequeña entidad poblacional, como campings, gasolineras, etc., carentes de redes de alcantarillado cercanas. Además, en instalaciones de mayor tamaño, normalmente como etapa previa de otros tratamientos: Humedales Artificiales, Filtros Intermitentes de Arena, Filtros de Turba, etc. Figura 11, si bien, su aplicación no suele superar el rango de los 200 habitantes equivalentes. (CEDEX, 2010)

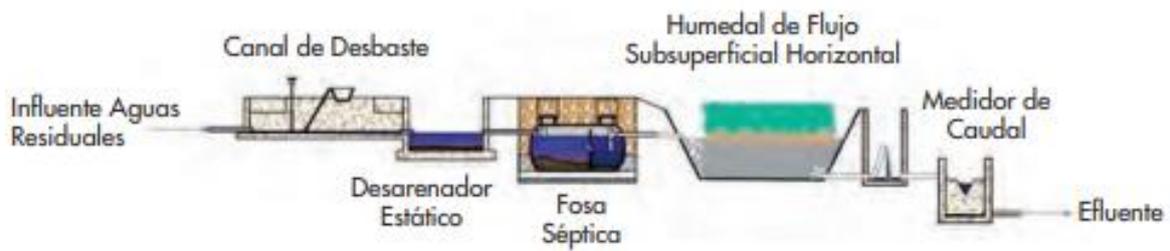


Figura 11. Diagrama de flujo de una PTAR, con una fosa séptica como primer tratamiento.

Fuente: (CEDEX, 2010)

La Tabla 2 detalla las ventajas y desventajas de este sistema como elemento de tratamiento primario de las aguas residuales.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de una fosa séptica.

Fuente: (CEDEX, 2010)

Ventajas	Desventajas
Bajos costes de implantación y mantenimiento.	Solo permite alcanzar tratamiento primario.
Fácil y rápida instalación cuando se opta por el uso de fosas prefabricadas.	
Permite la atenuación de los picos de carga contaminante.	Efluentes sépticos.
Simplifican la gestión de fangos.	
No existe contaminación visual ya que su implantación es bajo el nivel del terreno.	Impacto olfativo
Nulo impacto sonoro.	

2.2.2 Decantadores primarios

Son plantas de tratamiento que, bajo la influencia de la gravedad, eliminan un determinado porcentaje de sedimentos y materias en suspensión de las aguas residuales sin afectar la concentración de coloides y sustancias disueltas. (Mejia, 2021). Estos mecanismos pueden ser estáticos o dinámicos, en la Figura 12 se muestra los elementos que constituyen un decantador primario estático cilindrocónico, que son utilizados para poblaciones pequeñas (<2000 h.e.). Sin embargo, en poblaciones con menos de 1000 h.e. se sustituyen estos mecanismos para evitar el manejo de lodos sin digerir, ya que, el diseño de la purga se realiza con tiempos de permanencia de los lodos menores a 5

horas, con el objetivo que no se produzcan condiciones anaerobias, obteniendo lodos sin digerir (CEDEX, 2010).

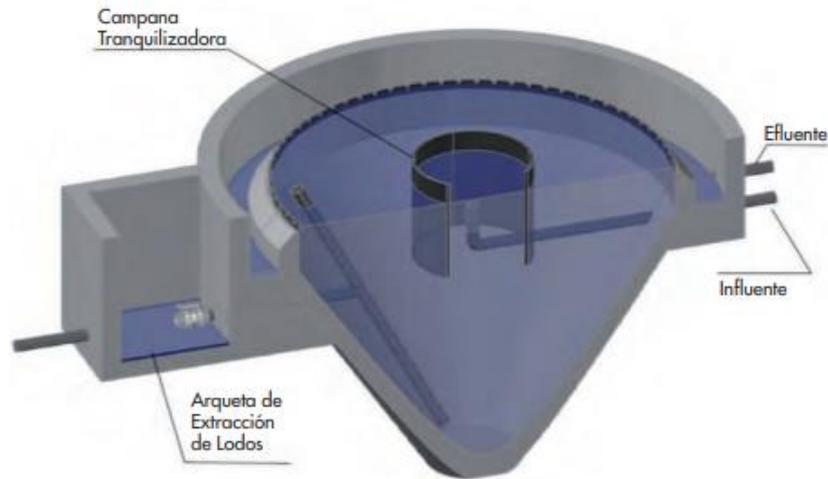


Figura 12. Corte transversal de un decantador primario cónico.

Fuente: (CEDEX, 2010)

La Tabla 3 indica las ventajas y desventajas de este sistema como primer elemento para el tratamiento de aguas servidas.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la instalación de decantadores primarios.

Fuente: (CEDEX, 2010)

Ventajas	Desventajas
Baja inversión en la etapa de implantación y mantenimiento.	Solo permite alcanzar niveles de tratamiento primario.
Fácil y rápida instalación para unidades prefabricadas.	Inestable frente a sobrecargas hidráulicas.
Escaso impacto visual.	Impactos olfativos.
Escaso impacto sonoro.	Generación de lodos inestables.

2.2.3 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff genera un tratamiento primario en las aguas residuales, reduciendo el contenido de sólidos sedimentables y flotantes. Estos elementos de tratamiento primario están enterrados y son de los sistemas más comunes en zonas con población baja y utilizados para depuración descentralizada. Constan de un único depósito, formado por una zona de decantación ubicada en la parte superior del depósito y una zona de digestión ubicada en la parte inferior Figura 13. El diseño de la apertura, que comunica a ambas

zonas, impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación de esta forma, se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables, como ocurre en el caso de las Fosas Sépticas (CEDEX, 2010).

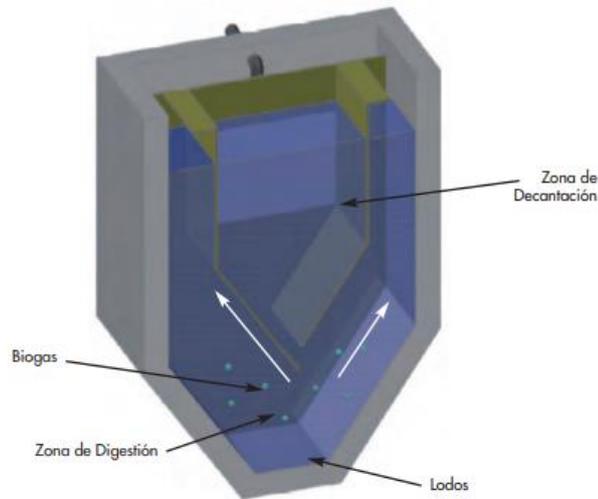


Figura 13. Corte transversal de un tanque Imhoff

Fuente: (CEDEX, 2010)

Según el manual de la (CEDEX, 2010) se debe dar un pretratamiento a el agua residual mediante un canal de desbaste con rejillas de gruesos de limpieza manual, en zonas urbanas entre 50 a 200 h.e. Y en zonas urbanas hasta 1000 h.e., el sistema de enrejados deberá tener dos rejillas, de finos y gruesos, y de ser posible un sistema de limpieza automática (Mejia, 2021).

La Tabla 4 detalla las ventajas y desventajas de este sistema como primer elemento para el tratamiento de aguas servidas.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de la implantación de un tanque Imhoff.

Fuente: (CEDEX, 2010)

Ventajas	Desventajas
Baja septicidad en los efluentes tratados.	Permite alcanzar niveles de tratamiento primario.
Bajas inversión en la etapa de implantación y mantenimiento.	
Fácil y rápida instalación en unidades prefabricadas.	Desestabilidad frente a sobrecargas hidráulicas
Simplificación en el tratamiento de lodos.	Impactos olfativos.
Nulo impacto visual.	Riesgo de contaminación de aguas subterráneas, cuando el proceso constructivo no es el adecuado.
Nulo impacto sonoro.	

2.3 Mecanismos de depuración en humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan los procesos naturales de depuración que se producen en los ecosistemas acuáticos. Estos procesos se basan en la interacción entre el agua, el sustrato, la vegetación y los microorganismos (Alonso y Cuesta, 2023).

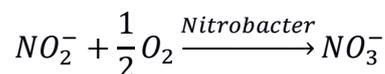
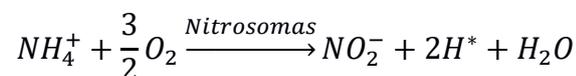
Los principales mecanismos de depuración que se producen en los humedales artificiales son los siguientes:

Mecanismos Físicos:

- **Filtración:** La filtración es un mecanismo de depuración importante en los humedales artificiales. Las partículas sólidas de las aguas residuales, como arena, limo y materia orgánica, se eliminan a través del sustrato del humedal.
- **Adsorción:** La adsorción es un proceso por el cual las sustancias disueltas en las aguas residuales se adhieren a la superficie del sustrato.

Mecanismos Químicos:

- **Oxidación biológica:** La oxidación biológica es un proceso por el cual los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en presencia de oxígeno.
- Los microorganismos que realizan la oxidación biológica se encuentran en el agua, el sustrato y la vegetación del humedal.
- **Nitrificación:** La nitrificación es un proceso por el cual los microorganismos transforman el amonio en nitrato.



- **Desnitrificación:** La desnitrificación es un proceso por el cual los microorganismos transforman el nitrato en nitrógeno gaseoso.



2.4 Métodos de Diseño

2.4.1 Caudales

2.4.1.1 Caudal de diseño

En proyectos donde no se disponga de registros confiables de caudales de por lo menos los últimos 12 meses en forma ininterrumpida como en este caso de estudio, el caudal de diseño ecuación (1) será la suma de los aportes domésticos, comerciales, institucionales e industriales (EMAAP-Q, 2009).

$$Q_{dis} = Q_{dom} + Q_c + Q_{ins} + Q_{ind} + Q_{inf} + Q_{ilic} \quad (1)$$

Donde:

Q_{dis} : Caudal de diseño (l/s).

Q_{dom} : Caudal residual doméstico (l/s).

Q_{com} : Caudal comercial (l/s).

Q_{ins} : Caudal institucional (l/s).

Q_{ind} : Caudal de industrial (l/s).

Q_{inf} : Caudal por infiltración (l/s).

Q_{ilic} : Caudal de aguas ilícitas (l/s).

- **Caudal residual doméstico.**

$$Q_{dom} = Q_m * F \quad (2)$$

$$Q_m = \frac{Cr * D * Pf}{86400} \quad (3)$$

Donde:

Q_m : Caudal medio de aguas residuales domésticas (l/s).

F: Coeficiente máximo horario.

Cr: Coeficiente de retorno.

Pf: Población futura.

D: Dotación.

- **Caudal comercial.**

Tabla 5. Recomendación EMAAP-Q.

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

Contribución Comercial	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (l/s-ha-com)
Cualquiera	0.4 - 0.5

- **Caudal Institucional.**

Tabla 6. Recomendación EMAAP-Q.

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

Contribución Institucional	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución institucional (l/s-ha-ins)
Cualquiera	0.4 - 0.5

- **Caudal Industrial.**

Tabla 7. Recomendación EMAAP-Q.

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

Contribución Industrial	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (l/s-ha-ind)
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio Alto	0.8
Alto	1 – 1.5

- **Caudal por infiltración.**

Tabla 8. Recomendación EMAAP-Q.

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

Contribución por Infiltración			
Nivel de complejidad del sistema	Infiltración Alta (l/s-ha)	Infiltración Media (l/s-ha)	Infiltración Baja (l/s-ha)
Bajo y medio	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2
Medio alto y alto	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

- **Caudal por aguas ilícitas.**

La normativa (EMAAP-Q, 2009) recomienda un valor de 5 l/hab*día.

2.4.1.2 Caudal punta horario

Según (Martín & Hernández, 2021) el caudal punta horario puede considerarse como el doble o triple del caudal medio diario.

$$Q_{p,h} = Q_{m,d} * 3 \quad (4)$$

2.4.1.3 Caudal punta diario

$$Q_{p,d} = Q_{m,d} * C_{pd} \quad (5)$$

Donde:

$Q_{p,d}$: caudal punta diario. (m³/día)

C_{pd} : coeficiente punta diario. Valor recomendado 1.7 según (Garcia & Corzo, 2008).

$Q_{m,d}$: caudal medio diario. (m³/día)

2.4.1.4 Caudal máximo diario

(Garcia & Corzo, 2008) recomienda que el caudal máximo diario sea el doble que el caudal punta diario ecuación (6).

$$Q_{máx,d} = Q_{p,d} * 2 \quad (6)$$

2.4.1.5 Caudal de Lluvia

$$C_p = \frac{\sum A_i * C_i}{A_t} \quad (7)$$

Donde:

C_p : Coeficiente de escorrentía ponderado (adim).

A_i : área según la superficie (m²).

C_i : coeficiente de escorrentía según cada superficie "i".

A_t : área total (m²).

$$Q_{lluvia} = \frac{A_t * k_t * I * C_p}{360} \quad (8)$$

Donde:

k_t : coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

I : intensidad de la lluvia, según el periodo de retorno y el tiempo de concentración (mm/h).

2.4.2 Vertedero de excesos

El grado de dilución es un parámetro muy importante previo a un óptimo diseño de un vertedero de excesos. Según (INGNOVA, 2020) el grado de dilución varía entre 2 - 3. De esta manera, el caudal que circula por la parte interna del canal es determinado mediante la ecuación (9).

$$Q_i = \alpha * Q_{m,d} \quad (9)$$

Donde:

Q_i : Caudal máximo que fluye al interior del canal luego del vertedero (m^3/s).

$Q_{m,d}$: Caudal medio diario (m^3/s).

El vertedero de excesos está determinado por el flujo de descarga que pasa por el vertedero y la descarga por unidad de ancho de desbordamiento según la ecuación (10) y (11) (Ngamalieu, 2015).

$$Q = Q_o - Q_i \quad (10)$$

Donde:

Q : caudal vertido por el aliviadero (m^3/s).

Q_o : caudal de entrada al canal (m^3/s).

$$q = \frac{2}{3} * C_D * \sqrt{2 * g} * h^{3/2} \quad (11)$$

Donde:

q : caudal de descarga por unidad de ancho (L) del vertedero ($m^3/m*s$).

C_D : coeficiente de descarga, ecuación (adim).

h : altura del agua en el vertedero (m).

P : altura de la pared del vertedero (Figura 14)(m).

g : gravedad (m/s^2).

El coeficiente de descarga es calculado mediante la ecuación de Bazin, ecuación (12) (INGNOVA, 2020).

$$\frac{2}{3} * C_D = \left(0.405 + \frac{0.003}{h} \right) * \left[1 + 0.55 * \frac{h^2}{(h + P)^2} \right] \quad (12)$$

Los valores que suelen ser usados para el cálculo de P son entre: 0.2 y 2.00 m; en el caso de h los valores son entre: 0.10 y 0.60 m (Mejia, 2021).

reja limpia o cuando su porcentaje de colmatación está cerca del 30%. (Ferrer & Torrecillas, 2005).

$$h = \frac{V^2 - v^2}{2 * g} * 1/0.7 \quad (14)$$

Diseño canal de desbaste.

(Mejia, 2021) presenta una metodología paso a paso para el diseño del canal de desbaste, misma que es tomada en consideración en el presente trabajo, y se explica a continuación.

- I. Se establece un ancho de canal entre 0.2 y 2 m dependiendo el ancho de la estructura para el ingreso, sin embargo, se debe considerar la parte constructiva y de mantenimiento por lo tanto se considera un ancho mínimo de cal de 0.3 m.
- II. La Tabla 9 nos indica los valores más utilizados para el dimensionamiento.

Tabla 9. Valores para el cálculo de un canal de desbaste y enrejados.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

Características	Rejas de Gruesos	Rejas de finos
Funcionamiento	Manual	Automático
Ancho de las barras (mm)	>12	<6
Luz entre luz entre barras (mm)	50 - 100	10 - 25
Pendiente con relación a la vertical (grados)	30 – 45	
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3 – 0.6	
Pérdida de carga admisible (m)	0.15	0.15

- III. Calculamos los espacios entre barras y la cantidad de barras, usando las ecuaciones (15) y (16), respectivamente.

$$n_e = \frac{A_c + a_b}{l_b + a_b} \quad (15)$$

Donde:

A_c: ancho del canal (m).

a_b: ancho de las barras (m).

l_b: luz entre las barras (m).

n_e: número de espacios.

$$n_b = n_e + 1 \quad (16)$$

Donde:

n_b : número de barras (unidades).

IV. Se calcula el ancho útil, ecuación (17).

$$W_u = (A_c - n_b * a_b) * (1 - \frac{G}{100}) \quad (17)$$

Donde:

W_u : ancho útil de paso (m).

A_c : ancho del canal (m).

n_b : número de barrotes (unidades).

a_b : ancho de las barras (m).

G : gado de colmatación, (%) normalmente se utiliza 30%.

V. La ecuación (18), calcula la altura del canal de desbaste en función de su colmatación G .

$$h = \frac{Q_{p,h}}{v} * \frac{1}{W_u} \quad (18)$$

Donde:

h : calado del canal (m).

$Q_{p,h}$: caudal de paso (se recomienda el caudal punta horario para evitar reboses) (m^3/s).

v : velocidad de aproximación (m/s).

W_u : ancho útil de paso (m).

VI. Calculamos la longitud del canal de desbaste ecuación (19). Según fuentes bibliográficas se recomienda un tiempo hidráulico entre 5 a 15 segundos.

$$L_R = T_H * v \quad (19)$$

Donde:

L_R : longitud del canal en la zona de enrejados (m).

v : velocidad de aproximación (m/s).

T_H : tiempo de retención hidráulico (s).

VII. Finalizado el diseño de la zona de desbaste, continuamos con el desarenado, la Tabla 10 nos indica los valores más usados para el diseño.

Tabla 10. Valores usados en el cálculo de desarenadores.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor típico
Flujo Horizontal (canal de desbaste)		
Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² *hora (a Qmax)	
Velocidad horizontal del agua	0.2 – 0.4 m/s	
Tiempo de retención	40 – 90 s	
Longitud	20 – 25 veces la altura de la lámina de agua	
Relación largo- ancho	1.5 – 3.0	2

VIII. Para calcular el calado del canal en la zona del desarenado, primero determinamos el área de la sección transversal mediante la ecuación(**20**), luego el calado mediante la ecuación (**21**)(**20**).

$$A_t = \frac{Q_{p,h}}{v_H} \quad (20)$$

Donde:

A_t: área transversal del canal en la zona del desarenado (m²).

Q_{p, h}: caudal de paso (caudal punta horario, m³/s).

v_h: velocidad horizontal del agua (m/s).

$$h = \frac{A}{W} \quad (21)$$

Donde:

A: sección transversal (m²).

W: ancho del canal de desbaste (m).

h: calado del canal (m).

Es importante considerar que la altura del canal de desbaste será la mayor entre: calado de la zona del enrejado y desarenador.

IX. Calculamos la longitud de la zona de desarenado mediante la ecuación (**22**), en función al ancho del canal y la relación L/W.

$$L = W * \text{relación } L/W \quad (22)$$

Donde:

L: longitud del canal de desbaste en la zona de desarenado (m).

W: ancho del canal de desbaste en la zona de desarenado (m).

L/W: relación largo/ancho del canal (m).

- X. Se verifica el caudal máximo, para que, a caudal punta horario la carga superficial sea menor que $70 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$, según la ecuación (23).

$$C_s = \frac{Q_{p,h}}{L * W} \quad (23)$$

Donde:

C_s: carga superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$).

Q_{p,h}: caudal de paso (caudal punta horario, m^3/s).

L: longitud del canal de desbaste (m).

W: ancho del canal de desbaste (m).

2.4.4 Tanque Imhoff

La Tabla 11 detalla los valores recomendados para el diseño del tanque Imhoff.

Tabla 11. Valor usual de los parámetros más importantes para el dimensionamiento de un tanque Imhoff.

Fuente: (Mejia, 2021)

Parámetro	Unidades	Rango	Valor Usual
Zona de decantación			
Carga hidráulica superficial punta diaria	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	24 - 40	32
Tiempo de retención Q _{med}	h	2 - 4	3
Tiempo de retención a Q _{punta} horario	h	1 – 1.5*	1
Velocidad horizontal punta horaria	m/min	-	<0.3
Relación longitud/ancho (L/W)	-	2/1 – 5/1	3/1
Pendiente de la cámara de decantación	-	1.25:1 - 1.75:1	1.5:1
Obertura inferior	m	0.15 – 0.3	0.25
Pestaña inferior	m	0.15 – 0.3	0.25
Deflector debajo de la superficie	m	0.25 – 0.4	0.3
Deflector encima de la superficie	m	0.3	0.3
Resguardo		0.45 – 0.6	0.6
Zona de escape de gases			
Área (% de la superficie total)	%	15 - 30	30
Anchura	m	0.45 – 0.75	0.6
Zona de digestión			
Tiempo de digestión	años	0.5 – 1.5	1
Tasa de emisión unitaria de lodos	L/hab*año	100 - 200	140
Tubería de extracción de lodos	m	0.2 – 0.3	0.25
Distancia libre hasta el nivel del lodo (h ₁)	m	0.3 – 0,9	0.6
Profundidad total del agua en el tanque (desde la superficie hasta el Fondo)	m	7 - 9	9

La zona de decantación y digestión se diseña por separado, (Mejia, 2021) resume el procedimiento de diseño paso a paso, el cual presentamos a continuación:

- I. El área para la decantación define el área del tanque Imhoff, la cual calculamos mediante la ecuación (24).

$$S_{dec} = \frac{Q_{p,h}}{C_{s\ punta,d}} \quad (24)$$

Donde:

S_{dec} : superficie de la zona de decantación (m^2).

$Q_{p, d}$: caudal punta diario (m^3/d).

$C_{s\ punta, d}$: carga hidráulica superficial punta diaria ($m^3/m^2 \cdot h$).

- II. La Figura 15. Esquema de la zona de decantación de un Tanque Imhoff. muestra un esquema general de los parámetros para el cálculo de la zona de decantación. Mismos que serán calculados por las ecuaciones (25), (26), (27), (28), (29), (30).

$$W = \sqrt{\frac{S_{dec}}{L/W}} \quad (25)$$

$$L = \left(\frac{L}{W}\right) * W \quad (26)$$

Donde:

L/W : relación largo/ancho de la superficie del TI, (m).

L : largo de la superficie del TI (m).

W : ancho de la superficie del TI (m).

$$P = \left[\frac{(W - O_i)}{2}\right] * p \quad (27)$$

$$A_1 = \left[\frac{(W - O_i)}{2}\right] * \frac{P}{2} \quad (28)$$

$$A_e = O_i * P \quad (29)$$

$$A_t = 2 * A_1 + A_e \quad (30)$$

Donde:

P: profundidad de la zona de decantación (m).

O_i: longitud de la abertura inferior (m).

p: pendiente de la zona de decantación (m/m).

A₁, A_e, A_t: superficie del triángulo, rectángulo y total, respectivamente (m²).

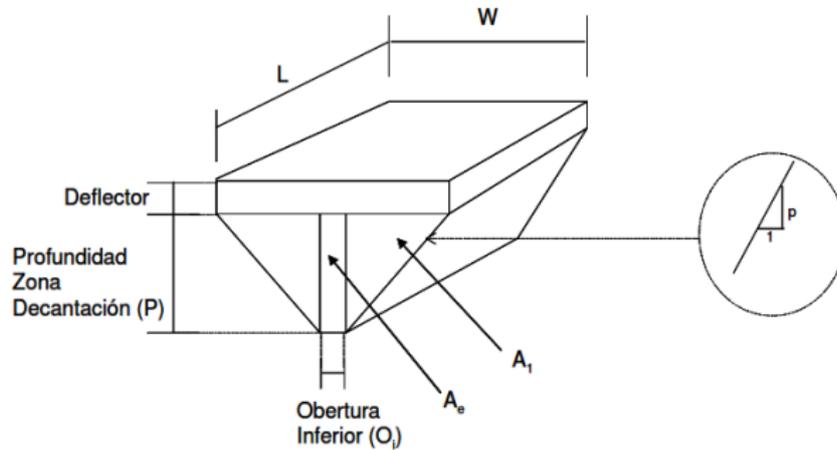


Figura 15. Esquema de la zona de decantación de un Tanque Imhoff.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008)

III. Calculamos el volumen de la zona de decantación con la ecuación (31).

$$V_{dec} = (h_{deflector} * S_{dec}) + (A_t * L) \quad (31)$$

Donde:

V_{dec}: volumen de la zona de decantación (m³).

h_{deflector}: altura de la zona sumergida del deflector (m).

L: longitud del deflector (m).

IV. Se realiza una comprobación mediante las ecuaciones (32), (33), (34), para verificar el correcto diseño de la zona de decantación.

$$v_{punta,h} = \frac{Q_{p,h}}{A_t * 60} < 0.3 \text{ m/min} \quad (32)$$

$$2h < TRH_{med,d} = \frac{V_{dec}}{Q_{m,d}} < 4 \text{ h} \quad (33)$$

$$TRH_{punta,h} = \frac{V_{dec}}{Q_{p,h}} \geq 1 \text{ h} \quad (34)$$

Donde:

$v_{punta, h}$: velocidad horizontal punta horario (m/min).

$Q_{p, h}$: caudal punta horario (m^3/h).

$TRH_{med, d}$: tiempo de retención hidráulico para un caudal medio diario (h).

$TRH_{punta, h}$: tiempo de retención hidráulico para un caudal punta horario (h).

$Q_{m, d}$: caudal medio diario (m^3/h).

V. Seguimos con el diseño de la zona de digestión, mediante la ecuación (35).

$$S_t = (1 + \%S_{gas}) * S_{dec} \quad (35)$$

Donde:

S_t : superficie total del tanque (m^2).

$\%S_{gas}$: porcentaje de la superficie de la zona de escape de gases respecto a la superficie total.

S_{dec} : superficie de la zona de decantación (m^2).

VI. Calculamos el ancho y longitud mediante las ecuaciones (36), (37).

$$W_t = W_{dec} + W_{gas} \quad (36)$$

$$L_t = \frac{S_t}{W_t} \quad (37)$$

Donde:

W_t : ancho total del tanque (m).

W_{dec} : ancho de la zona de decantación (m).

W_{gas} : ancho de la zona de escape de gases (m).

L_t : longitud total del tanque (m).

S_t : superficie total del tanque (m^2).

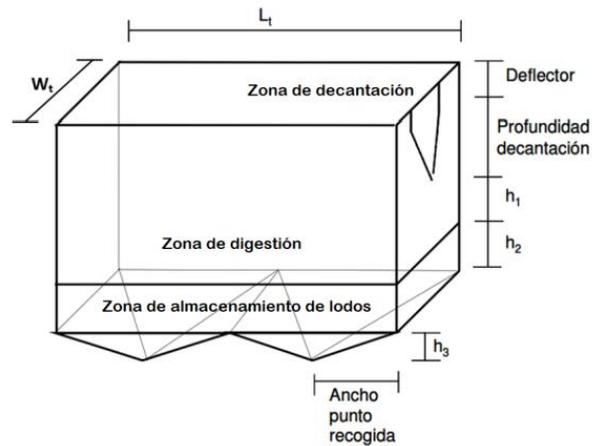


Figura 16. Ilustración general de un Tanque Imhoff.

Fuente: (Garcia & Corzo, 2008).

- VII. En la Figura 16, observamos el área donde los lodos son almacenados, para el cálculo de su volumen utilizamos la ecuación (38).

$$V_{lodos} = \frac{VEU * T_d * N}{1000} \quad (38)$$

Donde:

V_{lodos} : volumen ocupado por los lodos (m^3).

VEU: velocidad de emisión unitaria de lodos (L/hab*año).

T_d : tiempo de digestión (años).

N: número de habitantes (hab).

- VIII. Calculado el volumen de lodos, las ecuaciones (39), (40), (41) calculan las alturas de la zona de digestión y almacenamiento de lodos.

$$h_3 = \left[\frac{L_t}{n} \right] * \tan \alpha \quad (39)$$

Donde:

h_3 : altura del fondo (m).

n: número de puntos de recogida de lodos.

α : inclinación de las paredes del fondo.

$$h_2 = \frac{V_{lodos} - \left(\frac{1}{3} * L_t * W_t * h_3 \right)}{L_t * W_t} \quad (40)$$

$$h_t = h_{reguardo} + h_{deflector} + P + h_1 + h_2 + h_3 \quad (41)$$

Donde:

h_2 : altura ocupada por los lodos sin tener en cuenta h_3 .

h_t : profundidad total (m).

$h_{resguardo}$: profundidad de la zona de resguardo (m).

h_1 : distancia entre la abertura inferior y la superficie de lodo acumulado (m).

IX. Finalmente, con las ecuaciones (42) y (43) determinamos el volumen del TI.

$$V = V_{resguardo} + V_{dec} + V_{lodos} + [h_1 * L_t * W_t] \quad (42)$$

$$V_{resguardo} = h_{resguardo} * S_{dec} \quad (43)$$

Donde:

V : volumen total del tanque (m^3).

$V_{resguardo}$: volumen correspondiente al resguardo (m^3).

2.4.5 Lecho de secado

Para el dimensionamiento se considera que el lodo será extraído cada 6 meses del tanque Imhoff, para luego ser deshidratado en la era o lecho de sacado, debido a que la parroquia General Morales tiene dos estaciones climáticas marcadas, una temporada de invierno que dura 6 meses aproximadamente y una época de verano que de la misma manera dura un tiempo aproximado de 6 meses.

El volumen de lodos a tratar en el lecho de secado es el volumen de fango primario calculado en el diseño del tanque Imhoff. Adicional a esto la (OPS, 2005) recomienda que la profundidad de aplicación de lodos sea un valor entre 0.20 -0.40 m.

Con estas consideraciones iniciales, procedemos al cálculo del área requerida para el lecho de secado mediante la ecuación (44).

$$S = V_{lodos}/h \quad (44)$$

Donde:

S : área del lecho de secado (m^2).

V_{lodos} : volumen de lodos calculados en el Tanque Imhoff (m^3).

h : profundidad de aplicación de lodos (m).

Considerando una relación largo/ ancho igual a 2, calculamos el valor del largo y ancho del lecho de secado mediante la ecuación (45) y (46) respectivamente.

$$L = \sqrt{2 * S} \quad (45)$$

$$W = L/2 \quad (46)$$

Donde:

L: longitud del lecho de secado (m).

W: ancho del lecho de secado (m).

- Medio de drenaje

La (OPS, 2005) indica que el medio de drenaje generalmente tiene un espesor de 0.3 m y debe contar con los siguientes componentes:

- El medio de soporte debe estar construido por una capa de 15 cm, formada por una capa de ladrillo colocado sobre el medio filtrante, con 2 a 3 cm de separación y llena de arena.
- La arena es el medio filtrante, y debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm y coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Debajo de la arena se recomienda colocar una capa de grava graduada entre 1.6 y 51 mm de 0.2 m de espesor, como se indica en la Figura 17.

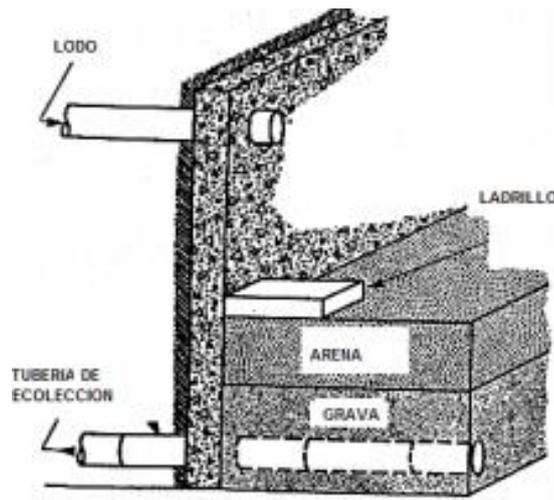


Figura 17. Vista lecho de secado.

Fuente: (OPS, 2005).

2.4.6 Humedal artificial

Los métodos más comunes para el diseño biológico de humedales son:

- Rule-of-thumb (Reglas empíricas).
- Regression equation (Ecuación de regresión).
- Plug-flow k-C* (Modelo de flujo pistón).
- Mass loading chart (Gráficos de carga).
- P-k-C*

Según (Dotro, y otros, 2017) los dos últimos métodos son utilizados en el diseño biológico de HAFSsV y los primeros tres métodos descritos son aplicables para el diseño biológico de HAFSsH y para humedales de flujo superficial o libre (Mejia, 2021).

En el apartado (2.4.6.1y 2.4.6.2) se explica los métodos utilizados en este trabajo.

2.4.6.1 Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontales (HAFSsH)

2.4.6.1.1 Dimensionamiento Biológico

El manual de la (IWA, 2017) desarrolla un ejemplo de diseño de un HAFSsH comparando los métodos mencionados anteriormente. En la Tabla 12, presentamos un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 12. Síntesis de la superficie de un humedal para el hogar de una familia de 5 integrantes.

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Método	¿Producirá el humedal una concentración de efluente de 30 mg/L de DBO ₅ ?	Área mínima calculada del humedal (m ²)	Área mínima practica del humedal (m ²)
Rule-of-thumb	SI	25.0	25.5
Regression equation	NO	-	-
Plug-Flow k-C*	SI	27.9	30.0
Mass loading chart	SI	22.2	24.0
P-k-C*	SI	44.0	44.0

Además, el manual nos deja las siguientes recomendaciones al momento de escoger un método para el cálculo de humedales:

- El método de ecuaciones de regresión no proporciona la información necesaria para el diseño de los humedales.

- Por otro lado, el uso del método de la regla empírica es más sencillo que los otros métodos, sin embargo, se debe considerar que el nuevo diseño se ajuste a lo asumido para la obtención del tamaño recomendado.
- A pesar de que el método Plug-Flow k-C* es el más común dentro de las bibliografías, no es recomendable su uso para el diseño.
- El método de cargas es el menos conservador.
- Por último, del método P-k-C* resulta parámetros explícitos de los coeficientes como: degradación de contaminantes, hidráulica de humedales y concentraciones de fondo. Sin embargo, este método funciona bajo las condiciones climáticas del lugar donde fue desarrollado, por lo tanto, es necesario una corrección por temperatura (Dotro, y otros, 2017).

Considerando las recomendaciones del manual, en este documento se diseñará un HAFSSH mediante el método P-k-C* para determinar el área del humedal mediante la ecuación (47).

$$A = \frac{P * Q_i}{k_A} \left(\frac{C_i - C^*}{C_o - C^*} - 1 \right) \quad (47)$$

Donde:

P: número aparente de tanques en serie (TIS), adimensional (Tabla 13).

Qi: caudal influente (caudal medio diario de ingreso), (m³/d).

Co: concentración de salida, (mg/L).

Ci: concentración de entrada, (mg/L).

C*: concentración de fondo, (mg/L). (Tabla 14).

h: calado o nivel de agua en el humedal, (m).

kA: coeficiente de degradación de primer orden basados en áreas, (m/día). (Tabla 15).

Tabla 13. Recomendaciones para el parámetro P en humedales FH, FV, FS.

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Parámetro	FH	FV	FS
DBO ₅	3	2	1
NT	6	n.g. ^a	3
NH ₄ -N	6	6	3

^a n.g. = not given

Tabla 14. Recomendaciones para el parámetro C* en humedales FH, FV, FS.

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Parámetro	FH	FV	FS	
			Ligeramente cargado	Muy cargado
DBO ₅	10	2	2	10
NT	1	0	1.5	-
NH ₄ -N	0	0	0.1	0.1

Tabla 15. Recomendaciones para el parámetro de coeficientes de reacción basados en áreas, en humedales FH y FS

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Contaminante	FH	FS
	K _A -rate (m/año)	K _A -rate (m/año)
DBO ₅	25	33
NT	8.4	12.6
NH ₄ -N	11.4	14.7
NO _x -N	41.8	26.5
Thermotolerant coliform	103	83

La corrección por temperatura se realiza según la expresión de Arrhenius ecuación (48).

$$k_T = k_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (48)$$

Donde:

K_T: velocidad de degradación de la temperatura del agua, (m/año).

K₂₀: velocidad de degradación a 20°C, (m/año).

Θ: factor adimensional de modificación de temperatura de Arrhenius.

T: temperatura del agua, (°C).

Tabla 16. Recomendaciones para el factor de corrección θ en humedales FH y FS (50th percentil).

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Contaminante	FH	FS
BOD ₅	0.981	0.985
NT	1.005	1.056
NH ₄ -N	1.014	1.014
NO _x -N	-	1.102
Thermotolerant coliform	1.002	-

2.4.6.1.2 Dimensionamiento Hidráulico

Consiste en determinar la geometría y dimensiones del humedal, para lo cual estamos sujetos a la ley de Darcy misma que trata del flujo dentro de un medio poroso según la ecuación(49).

$$Q_{p,d} = k_s * A_s * s \quad (49)$$

Donde:

$Q_{p,d}$: caudal punta diario, (m³/d).

K_s : conectividad hidráulica del medio poroso en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, (m³/m²*d).

A_s : sección transversal del humedal perpendicular a la sección del flujo, (m²).

S : gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), (m/m).

La Tabla 17 indica los valores k_s para los diferentes tipos de sustratos, se debe tener en cuenta que esos valores consideran sustratos limpios, según (García & Corzo, 2008) debemos utilizar un factor de seguridad mínimo de k_s igual a 7.

Tabla 17. Materiales comunes para un humedal horizontal.

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D ₁₀ (mm)	Conectividad hidráulica, k_s (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n (%)
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-100000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-45

2.4.6.1.3 Procedimiento de cálculo

Según (Mejía, 2021) el procedimiento de cálculo es el siguiente:

- I. Calculamos el área necesaria para que el HAFSsH satisfaga las solicitudes de depuración, mediante la ecuación (47). Con los valores de P, K_A y C recomendados por la bibliografía.
- II. Mediante la ecuación (50) y ecuación (51) calculamos la carga superficial máxima y la carga hidráulica que debe controlar el humedal para evitar afloraciones y colmataciones.

$$C_s = \frac{C_{org}}{S} = \frac{Q_{m,d} * C_i}{S} < 6 \text{ g/DBO}_5/\text{m}^2/\text{dia} \quad (50)$$

Donde:

C_s : carga orgánica superficial, (gDBO₅/m²*día).

S : superficie del humedal, (m²).

C_{org} : carga orgánica de entrada, (gDBO₅/día).

$Q_{m, d}$: caudal medio de diseño, (m³/día).

C_i : concentración de materia orgánica de entrada al humedal, (mgDBO₅/L o gDBO₅/m³).

$$20 < C_H = \frac{Q_{p,d}}{S} < 40 \text{ L/m}^2 * \text{dia} \quad (51)$$

Donde:

$Q_{p, d}$: caudal punta diario, (L/d).

S : superficie del humedal, (m²).

C_H : carga hidráulica, (L/m²*día).

- III. Calculamos el ancho (W) del humedal con la ecuación (52) y la superficie transversal con la ecuación(53). “Para el efecto, se define la profundidad (h), que generalmente varía entre 0.3 a 1 m, siendo el valor usual 0.6 m (Delgadillo et al,2010).” (Mejia, 2021).

$$W = \sqrt{\frac{S}{\text{relación}(\frac{L}{W})}} \quad (52)$$

Donde:

W : ancho del humedal, (m).

S : área del humedal, (m²).

Relación (L/W): relación largo ancho del humedal,

Esta relación debe ser mínimo 1:1 (Garcia & Corzo, 2008).

$$S_t = W * h \quad (53)$$

Donde:

S_t : superficie transversal del humedal, (m²).

W : ancho del humedal, (m).

h : profundidad del medio granular del humedal, (m).

- IV. Verificamos el cumplimiento de la carga orgánica transversal óptima según (Dotro, y otros, 2017), mediante la ecuación(54) .

$$C_t = \frac{C_{org}}{S_t} < 250 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2 * \text{dia} \quad (54)$$

Donde:

C_{org} : carga orgánica de entrada, (gDBO₅/día).

S_t : superficie transversal del humedal, (m²).

C_t : carga orgánica transversal, (gDBO₅/m²*día).

- V. Cumpliendo con la carga orgánica transversal, verificamos que el S_t sea mayor o igual al obtenido en el dimensionamiento hidráulico ecuación (49) , mediante la siguiente ecuación (55).

$$S_t = \frac{Q_{p,d}}{k_s * s} \quad (55)$$

Donde:

$Q_{p,d}$: Caudal punta diario, (m³/día).

k_s : conectividad hidráulica del medio poroso en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, (m³/m²*d).

S_t : superficie transversal del humedal, (m²).

s : gradiente hidráulico o pendiente (dh/dl), (m/m). "Oscila entre 0.1 a 1 % el valor habitual suele ser 0.5%, (Delgadillo et al,2010)." (Mejia, 2021).

- VI. El largo L se determina mediante la ecuación(56) .

$$L = \frac{S}{W} \quad (56)$$

Donde:

L: largo del humedal, (m).

S: área superficial del humedal, (m²).

W: ancho del humedal, (m).

- VII. En el caso de que la carga orgánica transversal no cumpla con lo requerido en la ecuación(54), se calcula el área transversal mínima con la ecuación (57).

$$S_t = \frac{C_{org}}{C_{t,max}} = \frac{Q_{m,d} * C_i}{C_{t,max}} \quad (57)$$

Donde:

C_{org} : carga orgánica de entrada, (gDBO₅/día).

S_t : superficie transversal del humedal, (m²).

$C_{t, máx}$: carga orgánica transversal máxima recomendada, (250 gDBO₅/m²/día).

- VIII. Con altura y área mínima ya calculados, determinamos el ancho (W) del humedal, ecuación (58).

$$W = \frac{S_t}{h} \quad (58)$$

Donde:

W: ancho del humedal, (m).

H: altura del sustrato del humedal, (m).

- IX. Largo del humedal, ecuación (59).

$$L = \frac{S}{W} \quad (59)$$

Donde:

L: largo del humedal, (m).

S: área superficial del humedal, (m²).

- X. Para un funcionamiento óptimo del humedal, usar celdas es una buena alternativa, se mantiene el largo (L) ecuación (59) y dividir el ancho total del humedal según el número de celdas (W_c), obtenidos de la ecuación (60).

$$W_c = \frac{L}{\text{relación } \left(\frac{L}{W}\right)_c} \quad (60)$$

Donde:

W_c : ancho de celda, (m).

L: largo del humedal, (m).

Relación (L/W)_c: relación largo/ancho de las celdas, mínimo recomendado 1:1.

- XI. Las celdas se calculan con la ecuación:

$$n = \frac{W}{W_c} \quad (61)$$

Donde:

n: número de celdas en paralelo.

XII. Concluimos con el cálculo del tiempo de retención hidráulico, mediante las ecuaciones.

$$THR = \frac{V}{Q_{m,d}} \quad (62)$$

$$V = S * h * n \quad (63)$$

Donde:

THR: tiempo de retención hidráulico, (días).

V: volumen del humedal, (m³).

Q_{m, d}: caudal medio de diseño, (m³/día).

S: area superficial del humedal, (m²).

h: altura de la capa del medio granular, (m).

n: porosidad del medio granular, (%expresado en fracción).

2.4.6.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial verticales (HAFSSV)

Para el diseño utilizamos el método propuesto por el manual (Dotro, y otros, 2017). En la Tabla 18 se resume las recomendaciones de diseño.

Tabla 18. Valores recomendados de cara a dimensionar un HAFSSV.

Fuente: (Dotro, y otros, 2017)

Parámetro	Valor
Carga orgánica máxima por unidad de superficie, (g DBO/m ² *día)	Arena fina (0.06-4 mm):20
	Arena gruesa (2-3 mm):80
Carga hidráulica máxima, (m ³ /m ² *día)	Para tratamiento secundario: 0.08 A intervalos de carga entre 3-6 h
	Para tratamiento terciario: 0.12 A intervalos de carga >= 3h
Área superficial máxima, (m ²)	400
Otras recomendaciones	
<ul style="list-style-type: none"> • Para sistemas con >= 100 h.e. se recomienda dividir el área total en varias unidades. • En climas cálidos el área puede alcanzar a 2 m²/h.e. 	

2.4.6.2.1 Procedimiento de calculo

XIII. Calculamos la carga orgánica de entrada, ecuación (64).

$$C_{org} = Q_{m,d} * DQO \quad (64)$$

Donde:

C_{org} : carga orgánica, (g DQO/día).

$Q_{m,d}$: caudal medio diario, ($m^3/día$).

DQO: concentración de DQO en el efluente primario, (g DQO/ m^3).

XIV. Determinamos el area superficial mediante la ecuación (65).

$$S = \frac{C_{org}}{C_{org/m^2}} \quad (65)$$

Donde:

S: superficie del humedal, (m^2).

C_{org/m^2} : carga orgánica máxima por unidad de superficie, (g DQO/ m^2*d).

XV. El área obtenida debe cumplir con la carga hidráulica máxima por unidad de superficie, comprobamos mediante la ecuación (66) y (67)según el tratamiento del humedal.

Tratamiento secundario:

$$HLR = \frac{Q_{m,d}}{S} < 0.08 m^3/m^2 * dia \quad (66)$$

Tratamiento terciario:

$$HLR = \frac{Q_{m,d}}{S} < 0.12 m^3/m^2 * dia \quad (67)$$

XVI. Verificado el valor de la carga hidráulica máxima superficial, determinamos el número de celdas del humedal, mediante la ecuación (68).

$$n = \frac{S}{S_c} \quad (68)$$

Donde:

n: número de celdas del humedal.

S_c : área de cada celda (max. recomendada 400 m^2), (m^2).

XVII. Calculamos las dimensiones del largo (L) y ancho (W) de cada celda, utilizando la relación (L/W), mediante las ecuaciones (69) y (70).

$$W = \frac{S_c}{\left(\frac{L}{W}\right)} \quad (69)$$

$$L = \left(\frac{L}{W} \right) * W \quad (70)$$

Donde:

(L/W): relación largo/ancho, adimensional.

W: ancho de la celda, (m).

L: largo de la celda, (m).

XVIII. Calculamos el tanque dosificador que está en función del intervalo de carga seleccionado para el sistema, mediante la ecuación (71).

$$V_{\text{tanque dosif.}} = \frac{Q_{m,d}}{\frac{24 h}{\text{intervalo de carga}}} \quad (71)$$

Donde:

$V_{\text{tanque dosificador}}$: volumen del tanque para una sola descarga, (m³).

$Q_{m,d}$: caudal medio diario, (m³/día).

CAPÍTULO 3

3.1 Marco Metodológico

La metodología utilizada para la elaboración de este trabajo de titulación es la metodología tradicional o secuencial, también conocida como enfoque cascada. Este Trabajo de Fin de Máster se divide en 5 etapas que se detallan a continuación, es importante señalar que para iniciar una nueva etapa se debe culminar su antecesora.

3.1.1 Etapa 1

Consiste en la revisión de literatura, con el fin de obtener conocimientos sólidos de cara al inicio de este Trabajo de Fin de Máster. Obtener información acerca de los sistemas extensivos para el tratamiento de aguas residuales y su aplicación alrededor del mundo. Generando así, una base sólida de conocimientos y metodologías de diseño que faciliten e impulsen la culminación de este trabajo.

3.1.2 Etapa 2

En la etapa dos se realizó el levantamiento de toda la información disponible de la zona de estudio, como levantamientos topográficos, planos de la red de alcantarillado existente, imágenes satelitales, modelos de elevación digital, Plan de Ordenamiento Territorial del Canto Cañar y la parroquia General Morales. Toda esta información fue facilitada por los técnicos del GADIC-Cañar.

3.1.3 Etapa 3

En este nivel de proyecto se realizó la evaluación de la infraestructura existente, mediante una visita a la PTAR y un levantamiento topográfico de la zona donde está emplazada la PTAR.



Figura 18. Levantamiento de la infraestructura existente.

Adicional a esto se realizó la toma de muestras de agua residual al ingreso de la y salida de la PTAR, para la realización de un análisis físico químico de las muestras, mismo que fue analizado en el laboratorio de sanitaria de ETAPA.EP en la ciudad de Cuenca, obteniendo un resultado para los siguientes parámetros:

- Conductividad
- Demanda Bioquímica de oxígeno
- Demanda Química de oxígeno
- Fosforo total
- nitrógeno amoniacal
- nitrógeno orgánico
- nitratos
- nitritos
- ph
- solidos totales
- solidos sedimentables
- solidos suspendidos totales
- sulfatos
- turbiedad
- coliformes totales y termot.

Estos resultados nos ayudaron en la toma de decisiones previo a definir si reemplazamos o repotenciamos la PTAR existente.

Tabla 19. Resultados del análisis de las aguas residuales de la PTAR de General Morales.

Fuente: Laboratorio de Etapa EP.

PARAMETRO	UNIDAD	INGRESO PTAR	SALIDA PTAR
Conductividad	eS7cm	538	598
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	43	87
Demanda química de oxígeno	mg/l	191	214
Fosforo total	mg/l	17.87	3.59
Nitratos	mgN/l	0.67	>0.2
Nitritos	mgN/l	0.31	>0.002
Nitrógeno amoniacal	mg/l	37.35	53.28
Nitrógeno orgánico	mg/l	1.84	11.63
Nitrógeno Total	mg/l	40.17	64.91
ph		7.53	6.44
Solidos sedimentables	ml/l	100	0.6
Solidos suspendidos	mg/l	36	61
Sólidos totales	mg/l	344	437
Sulfatos	mg/l	68.64	69.88
Turbiedad	NTU	24.7	51.1
Coliformes totales	NMP/100ml	7.80E+05	1.10E+05
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	7.80E+05	1.10E+05



Figura 19. Toma de muestras de agua en la entrada a la PTAR.



Figura 20. Toma de muestras de agua en la salida de la PTAR.

3.1.4 Etapa 4

En esta etapa se realizó la propuesta de diseño para la PTAR de la parroquia General Morales, de los resultados de la etapa 3 propondremos repotenciar o sustituir el tratamiento primario existente en la PTAR, adicional a esto, tomando en cuenta la topografía y el área del sitio propondremos un tratamiento secundario mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal o vertical.

3.1.5 Etapa 5

Se concluyó la metodología con un estudio de viabilidad de la PTAR propuesta. Incluyendo manual de operación y mantenimiento, presupuesto, especificaciones técnicas y planos constructivos del diseño seleccionado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la PTAR existente.

Se realizó ensayos físicos y químicos de las aguas residuales, con el fin de evaluar el rendimiento de la PTAR, en la Tabla 20 se puede observar los resultados de dos muestras de agua que fueron tomadas a la entrada y salida de la PTAR.

Tabla 20. Resultados obtenidos del análisis físico químico de la PTAR.

Fuente: Laboratorio ETAPA EP.

PARAMETRO	UNIDAD	INGRESO PTAR	SALIDA PTAR	Norma
Conductividad	eS7cm	538	598	
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	43	87	100
Demanda química de oxígeno	mg/l	191	214	250
Fosforo total	mg/l	17.87	3.59	10
Nitratos	mgN/l	0.67	>0.2	
Nitritos	mgN/l	0.31	>0.002	
Nitrógeno amoniacal	mg/l	37.35	53.28	
Nitrógeno orgánico	mg/l	1.84	11.63	
Nitrógeno Total	mg/l	40.17	64.91	15
ph		7.53	6.44	
Solidos sedimentables	ml/l	100	0.6	1
Solidos suspendidos	mg/l	36	61	100
Sólidos totales	mg/l	344	437	1600
Sulfatos	mg/l	68.64	69.88	1000
Turbiedad	NTU	24.7	51.1	
Coliformes totales	NMP/100ml	7.80E+05	1.10E+05	
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	7.80E+05	1.10E+05	

Los resultados evidenciados en la Tabla 20 permiten tomar decisiones en torno al futuro de la PTAR. Observamos que en parámetros como: Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total entre otros; se ha obtenido valores de concentración más altos en la salida de la PTAR, en comparación con los resultados de la entrada; es decir, no existe un tratamiento efectivo de las aguas residuales, al contrario, se está incrementando la contaminación del agua. Además, la PTAR está

cerca de cumplir con su vida útil, ya que fue diseñada en el año 2006 con un periodo de diseño de 20 años (Muñoz, 2006).

Por lo tanto, este estudio propone una sustitución de la planta actual por un tanque Imhoff como alternativa de tratamiento primario, y sistemas extensivos como humedales artificiales como tratamiento secundario.

4.2 Caudales

Al no tener información sobre aforos, tanto del caudal de aguas residuales como del caudal de ingreso a la PTAR, se obtuvo un caudal de diseño según (EMAAP-Q, 2009), el mismo que fue considerado como caudal medio diario para el presente diseño. En el apartado 2.4.1.1 se indica las consideraciones tomadas para el cálculo de los caudales obtenidos como evidenciamos en la Tabla 21.

Tabla 21. Resumen del cálculo del caudal de diseño.

Fuente: El autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Coefficiente de retorno	0.80	adim	Cr
Población futura	294.00	unidad	H
Dotación	75.00	l/hab/día	D
Coefficiente máximo horario	2.66	adim	F
Caudal medio de aguas residuales domesticas	0.20	l/s	Qm
Caudal residual doméstico	0.54	l/s	Qdom
Caudal comercial	0.05	l/s	Qc
Caudal institucional	0.18	l/s	Qins
Caudal por infiltración	0.95	l/s	Qinf
Caudal aguas ilícitas	0.02	l/s	Qilic
Caudal de Diseño	1.74	l/s	Qdis

En la Tabla 22 se indica el resultado del cálculo de caudales explicado en los apartados 2.4.1.2, 2.4.1.3, 2.4.1.4 de este documento.

Tabla 22. Resumen de caudales calculados.

Fuente: El autor.

Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Caudal medio diario	150.33	m ³ /día	Qm, d
Caudal punta horario	18.79	m ³ /h	Qp, h
Caudal punta diario	255.56	m ³ /día	Qp, d
Caudal máximo diario	511.11	m ³ /día	Qmáx, d

En la Tabla 23 se indica los valores utilizados para el cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado, cuyo procedimiento es resumido en el apartado 2.4.1.5. Es

importante indicar que los valores “C” de la Tabla 23 son proporcionados por (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 23. Resumen del cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado.

Fuente: el autor.

	Área	C	C*A	C ponderado (C*A Total) / (Área Total)
	2.78	0.8	2.2	
	2.38	0.77	1.8	0.79
Total	5.15		4.1	

Para el cálculo de la intensidad utilizamos un tiempo de concentración de 15 min y un periodo de retorno de 5 años según la recomendación de (EMAAP-Q, 2009). Con estos datos adoptamos un valor de intensidad de 32.3 mm/h según el informe meteorológico del (INAMHI, 2015). La Tabla 24 indica el valor de intensidad utilizado.

Tabla 24. Intensidad máxima (mm/h).

Fuente: (INAMHI, 2015).

T (min)	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	50.6	63.8	76.0	95.8	114.1	135.9
10	33.0	41.5	49.5	62.4	74.3	88.6
15	25.6	32.3	38.5	48.6	57.8	68.9
20	21.5	27.1	32.2	40.6	48.4	57.7
30	18.8	22.3	25.4	30.3	34.5	39.3
60	11.0	13.1	14.9	17.7	20.2	23.0
120	6.8	8.0	9.1	10.7	12.1	13.7
360	2.8	3.3	3.8	4.4	5.0	5.7
1440	0.9	1.1	1.2	1.5	1.6	1.9

De este modo utilizando la ecuación (8) obtenemos un caudal de lluvia igual a:

$$Q_{lluvia} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3 Vertedero de excesos.

En la Tabla 25 describe los parámetros adoptados para el cálculo del vertedor. Y la Tabla 26 muestra los resultados de dicho cálculo, mismo que fue descrito en el apartado 2.4.2. de este documento.

Tabla 25. Parámetros de diseño para el vertedero de excesos.

Fuente: el autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Caudal medio diario	0.0017	m ³ /s	Q _{m, d}
Grado de dilución	3	adim	alpha
Caudal punta horario	0.0028	m ³ /h	Q _{p,h}
Caudal lluvia	0.36	m ³ /s	Q _{lluvia}
Altura del agua en el vertedero	0.15	m	h
Altura de la pared del vertedero	0.2	m	P
Gravedad	9.81	m/s ²	g

Tabla 26. Resultados del diseño del vertedero.

Fuente: el autor.

CALCULOS			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Caudal que fluye al interior del canal	0.0028	m ³ /s	Q _i
Caudal para aliviar	0.364	m ³ /s	Q
Caudal combinado	0.37	m ³ /s	Q _o
Coefficiente de descarga	0.70	adim	C _d
caudal de descarga/unidad de ancho	0.120	m ³ /m*s	q
Longitud del vertedero	3.02	m	L
Longitud del vertedero seleccionada	3.1	m	L
Velocidad	0.78	m/s	V

En la Tabla 26 observamos que el caudal circula dentro del canal es el caudal punta horario, ya que este valor, equivale al triple del caudal medio diario. Es decir, en condiciones punta todo el caudal lluvia deberá ser aliviado y el caudal punta diario es el caudal máximo que fluirá después del vertedero, todo esto en condiciones punta.

4.4 Canal de desbaste

Zona de enrejados

Se realizó el diseño siguiendo las indicaciones bibliográficas descritos en el apartado 2.4.1.5 de este documento. Por motivos constructivos, se considera un ancho de canal de 30 cm, y, con el fin de detener un máximo posible de solidos de gran tamaño, se seleccionó las rejas finas para este diseño. En la Tabla 27, Tabla 28 indicamos los valores utilizados en el dimensionamiento y el diseño final respectivamente.

Tabla 27. Parámetros de diseño para el enrejado.

Fuente: El autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Caudal punta horario	18.79	m ³ /h	Qp, h
Espesor de rejas	10.00	mm	ab
Luz entre las rejas	15.00	mm	lb
Porcentaje de colmatación	30.00	%	G
Inclinación de las rejas con relación al plano vertical	45.00	°	α
Ancho del canal	30.00	cm	Ac
Velocidad de aproximación	0.30	m/s	v
Tiempo de retención hidráulico	15.00	s	Th

Tabla 28. Resultados del diseño del enrejado.

Fuente: El autor.

CALCULOS			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Número de espacios calculado	12.40	unidad	ne
Número de espacios seleccionado	13.00	unidad	ne
Número de rejas	14.00	unidad	nb
Ancho útil del canal	0.11	m	Wu
Calado canal	0.16	m	h
Altura del canal	0.40	m	hr
Longitud del canal	4.50	m	Lr

En la Tabla 28 observamos que el calado del canal es de 0.16 m, sin embargo se considera una altura de 0.4 m con el fin de tener 24 cm de resguardo.

En la Tabla 29 obtenemos el calado del canal con una colmatación de 0 % y 30% con el fin de evitar acumulación y sedimentación de arenas y otros sólidos en suspensión en el agua.

Tabla 29. Resultados canal de desbaste.

Fuente: El autor.

CALCULOS				
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología	
Porcentaje de colmatación	0.00	30.00	%	G
Caudal medio diario	6.26	6.26	m ³ /h	Qm, d
Espesor de rejas	10.00	10.00	mm	ab
Luz entre las rejas	15.00	15.00	mm	lb
Inclinación de las rejas con relación al plano vertical	45.00	45.00	°	α
Ancho del canal	15.00	15.00	cm	Ac
Número de espacios calculado	6.40	6.40	Unidad	ne

Número de espacios seleccionado	7.00	7.00	Unidad	ne
Número de rejas	8.00	8.00	Unidad	nb
Ancho útil del canal	0.07	0.05	m	Wu
Velocidad de aproximación	0.30	0.30	m/s	v
Calado del canal	0.08	0.12	m	h

Zona del desarenado

El punto 2.4.1.5 de este documento indica la metodología para el dimensionamiento. La Tabla 30 y Tabla 31 muestran los parámetros para el diseño y los resultados del diseño respectivamente.

Tabla 30. Parámetros de diseño.

Fuente: El autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Caudal punta horario	18.79	m ³ /h	Q _p , h
Velocidad horizontal del agua	0.3	m/s	v _H
Relación largo -ancho	3	adm	L/W
Ancho del canal	0.35	m	W
Altura del canal	0.40	m	h _{des}

Tabla 31. Diseño de la zona del desarenado.

Fuente: El autor.

CALCULOS			
Parámetro	Valor	Unidad	simbología
Sección transversal	0.0174	m ²	At
Calado	0.05	m	h
Longitud del canal	1.05	m	L
Longitud de la canal seleccionada	1.10	m	L
Carga superficial máxima	70.00	m ³ /m ² *hora	Cs, pta
Carga superficial	48.81	m ³ /m ² *hora	Cs
CUMPLE			

En la Tabla 31 observamos que el calado es de 0.05 m, y es menor al calado del de la zona del enrejado de 0.4. Por lo tanto, mantenemos la altura de 0.4 m para la zona del desarenado.

Finalmente, en la tabla anterior observamos que cumplimos con la carga máxima recomendada en la bibliografía.

4.5 Tanque Imhoff

La primera etapa de tratamiento se realizó utilizando tanques Imhoff, ya son recomendados para una población de 50 a 500 h.e. según Tabla 1. Se propone el diseño

de dos tanques ya que esto ayuda en la etapa de operación y mantenimiento. Para el cálculo del tanque seguiremos la metodología descrita en sección 2.2.3. La Tabla 32 muestra los parámetros recomendados para el diseño según la bibliografía estudiada.

Tabla 32. Valore usados en el dimensionamiento del tanque Imhoff.

Fuente: El autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Habitantes	294.00	hab	N
Caudal medio diario	6.26	m ³ /h	Q _m , d
Caudal punta horario	18.79	m ³ /h	Q _p , h
Caudal punta diario	255.56	m ³ /día	Q _p , d
Carga hidráulica superficial punta diaria	12.00	m ³ /m ² *día	C _s
TRH a caudal medio	3.00	h	TRH _{med}
TRH a caudal punta horario	1.00	h	TRH _{punta}
Relación long/ancho L/W	2.00	adim	L/W
Pendiente de la cámara de decantación	1.50	m/m	p
Obertura inferior	0.30	m	O _i
Resguardo	0.45	m	hres
Deflector	0.30	m	hdef
Altura libre	0.50	m	h _l
Tasa de emisión unitaria de lodos	140.00	l/hab*año	VEU
Porcentaje de la superficie de la zona de escape de gases	20.00	%	%S _{gas}
Ancho de la zona de gases	0.50	m	W _{gas}
Tiempo de digestión	1.00	año	T _d
Número de puntos de extracción de lodos	2.00	unidad	n
Inclinación de las paredes del fondo	30.00	°	α
Velocidad horizontal punta horaria max	0.3	m/min	
TRH a caudal medio diario	2	h	
	4	h	
TRH a caudal punta horario	1	h	
Espesor de las paredes zona de decantación	0.1	m	ep

Zona de decantación.

La Tabla 33 indica el resultado del dimensionamiento de la zona de decantación.

Tabla 33. Resultado del dimensionamiento de la zona de decantación.

Fuente: El autor.

CALCULOS DECANTADOR			
Parámetro	Valor	Unidad	simbología
Numero de tanques	2.00	Unidad	n
Superficie	10.65	m ²	S
Medidas: Superficie rectangular			
Ancho	2.31	m	W
Largo	4.61	m	L
Medidas seleccionadas			
Ancho	2.30	m	W
Largo	4.60	m	L
Superficie	10.58	m²	S

Seleccionamos valores de largo y ancho que permitan una fase constructiva optima, que permitan cumplir con las recomendaciones del diseño.

Tabla 34. Resultados de diseño y control.

Fuente: El autor.

VALORES FINALES				
Profundidad de la zona de decantación	1.50	m	P	
Área transversal triangular	0.75	m ²	A1	
Área transversal rectangular	0.45	m ²	Ae	
Área transversal total	1.95	m ²	At	
Volumen de la zona de decantación	12.14	m ³	Vdec	
CONTROL				
Velocidad horizontal punta horaria	0.08	m/min	Vpunta, h	OK
TRH a caudal medio diario	3.88	h	TRHmed,d	OK
TRH a caudal punta horario	1.29	h	TRHpunta,h	OK

En la Tabla 34 se realiza el control de la velocidad, TRH medio diario y punta horario según bibliografía estudiada en este documento. en donde observamos que cumple con las recomendaciones de diseño.

Zona de digestión

La Tabla 35 presenta el dimensionamiento de la zona de digestión.

Tabla 35. Dimensionamiento de la zona de digestión.

Fuente: El autor.

CALCULOS ZONA DIGESTION			
Parámetro	Valor	Unidad	simbología
Superficie total	12.70	m ²	St
Ancho total	3.50	m	Wt
Longitud total	4.60	m	Lt
Superficie total final	16.10	m ²	Stf
Volumen de lodos	20.58	m ³	Vlod
Altura de fondo	0.66	m	h3
Altura ocupada por los lodos	1.06	m	h2
Altura libre	0.50	m	h1
Altura total	4.47	m	ht
Volumen de resguardo	4.76	m ³	Vres
Volumen total del tanque	45.54	m ³	Vtot

En la tabla anterior se muestran las dimensiones sin considerar el espesor de las paredes. Definiendo un ancho de pares de 0.2 m la Tabla 36 indica los valores de implantación del tanque Imhoff.

Tabla 36. Dimensiones de implantación del tanque Imhoff.

Fuente: El autor.

VALORES FINALES			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Espesor de pared	0.20	m	e
Ancho	3.90	m	W. tot
Longitud	5.00	m	L. tot
Superficie	19.50	m ²	S. tot

Finalmente, la Tabla 37 muestra la calidad del efluente al salir del tanque Imhoff, según los porcentajes de eliminación del tanque Imhoff estudiado en este documento.

Tabla 37. Calidad del efluente al salir del tanque Imhoff.

Fuente: El autor.

Calidad efluente				
Parámetro	Unidad	Co	% ELIMINACION	Cf
DBO5	mgO ₂ /l	43	30	30.10
DQO	mgO ₂ /l	191	30	133.70
SS	mgSS/l	36	60	14.40
NT	mgN/l	40.17	10	36.15
PT	mgP/l	17.87	10	16.08
NKT	mgN/l	39.19	10	35.27

4.6 Lecho de secado

Según la metodología descrita en el apartado 2.4.5, para el diseño del lecho de secado se requiere el volumen de lodos del tanque Imhoff. Dicho volumen es de 20.58 m³ producido en un tiempo de un año y por dos tanques Imhoff. Al ser nuestro periodo de digestión de 6 meses el volumen para nuestro diseño del lecho de secado sería la mitad es decir 10.29 m³. De esta manera la muestra los resultados de diseño para nuestro lecho de secado.

Tabla 38. Diseño del lecho de secado.

Fuente: el autor.

CALCULOS DECANTADOR			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Superficie del lecho de secado	34.30	m ²	Als
Longitud del lecho de secado	8.28	m	L
Ancho del lecho de secado	4.14	m	L

4.7 Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

Las pautas para el dimensionamiento de este sistema se exponen en el apartado 2.4.6.2 de este documento, en la Tabla 39 describe los parámetros para este diseño, cabe mencionar que se colocó material de tipo granular de 0.06-4mm, ya que esto se recomienda para lograr nitrificación completa (CEDEX, 2010). Los resultados del diseño observamos en la Tabla 40.

Tabla 39. Parámetros para el diseño.

Fuente: El autor.

DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
DQO salida del tratamiento primario	133.70	gDQO/m ³	DQOs
Caudal medio diario	150.33	m ³ /día	Qm, d
Carga Orgánica de entrada	20098.68	gDQO/día	CODo
Material Granular	0.06-4 mm	Arena Fina	
Carga orgánica máxima por unidad de superficie	20	gDQO/día*m ²	Corg.ud.sup.
Área superficial máxima	400.00	m ²	S cel
POBLACION	294.00		
Radio de contaminación de carga orgánica	60	g DBO5/he*día	DBO5

Tabla 40. Resultados del diseño.

Fuente: El autor.

CALCULOS			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Carga Orgánica	20098.68	g DQO/día	C org
Superficie del Humedal	1004.93	m ²	S
Carga Hidráulica por unidad de superficie			
Carga Hidráulica Máxima	0.07	m ³ /m ² *día	HLR
Dimensiones de las celdas de tratamiento			
Numero de celdas	2.51	unidad	n
Numero de celdas seleccionadas	3.00	unidad	n
Área de cada celda	334.98	m ²	S cel
Relación L/W	2.00	adim	L/W
Ancho	12.94	m	W
Largo	25.88	m	L
Área total del humedal vertical	1004.93	m ²	S
Habitantes equivalentes	107.73	h	he
Superficie por habitante equivalente	9.33	m ² /he	S he

El valor de superficie por habitante equivalente esta fuera del rango recomendado por (Dotro, y otros, 2017) que es entre 3 a 4 m²/he. Sin embargo, al tener un valor elevado estamos teniendo un diseño muy conservador para nuestro humedal.

El volumen se calcula en función de la profundidad definida según las recomendaciones de la Figura 21, adicionalmente, como se consideró un material de 0.06 hasta 4 mm para la capa principal. (Langergraber & Dotro, 2020) recomienda una capa de transición de 4 a 8 mm, con el fin de evitar el lavado de arenas. La Tabla 41 muestra las alturas y las dimensiones seleccionadas de nuestro humedal vertical.

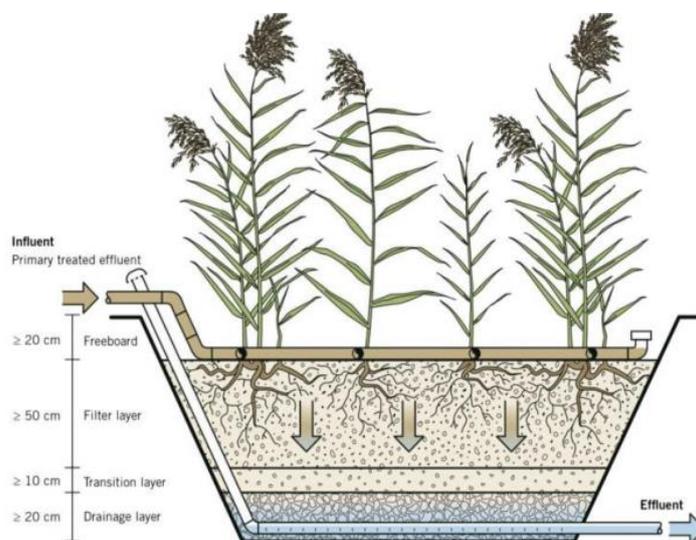


Figura 21. Profundidades recomendadas. Fuente: (Dotro, y otros, 2017).

Tabla 41. Profundidades y volúmenes del humedal vertical.

Fuente: El autor.

Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Altura de material granular superficial	0.10	m	hsup
Altura de resguardo	0.20	m	hres
Altura de la capa filtrante	0.60	m	hf
Altura de la capa de transición	0.10	m	htrans
Altura de capas de drenaje	0.20	m	hdren
Altura total	1.20	m	ht
Volumen total del sistema de HAFSsV	1205.92	m ³	V
Intervalo de carga	4	horas	tcarga
Volumen del tanque dosificador	25.054	m ³	Vdosif
Ancho	13.00	m	W
Largo	26.00	m	L
Área total del humedal vertical	1014	m ²	S

En la tabla anterior vemos que el tanque dosificador está diseñado para alimentar los humedales de forma esporádica durante un periodo de 4 horas, que son las 6 tomas diarias recomendadas. (Langergraber & Dotro, 2020).

Finalmente, en la Tabla 42 observamos el rendimiento de descontaminación del efluente que proviene del tanque Imhoff.

Tabla 42. Calidad del efluente al salir del humedal. Fuente: El autor.

Calidad efluente				
Parámetro	Unidad	Co	% ELIMINACION	Cf
DBO5	mgO2/l	30.10	90	3.01
DQO	mgO2/l	133.70	90	13.37
SS	mgSS/l	14.40	90	1.44
NT	mgN/l	36.15	15	30.73
NKT	mgN/l	35.27	90	3.53

4.8 Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Realizamos el diseño biológico para eliminar principalmente el DBO₅, utilizando la metodología P,k,C* y las recomendaciones bibliográficas. En la Tabla 43 y se evidencia los parámetros de diseño así como los resultados respectivamente.

Tabla 43. Parámetros de diseño.

Fuente: El autor.

PARAMETRO A ELIMINAR	DBO5		
DATOS	VALOR	UNIDAD	SIMB
Constante de degradación de la materia orgánica (20 °C)	25	m/año	Ka,20
Concentración inicial de DBO5	30.10	mgO2/L	Ci
Concentración final (normativa) de DBO5	24	mgO2/L	Co
Número aparente de tanques en serie	3	adim	P
Concentración de fondo	10	mgO2/L	C*
Caudal de ingreso, (Qm,d)	54869.24	m3/año	Qi

Tabla 44. Diseño del humedal horizontal.

Fuente: El autor.

CALCULOS			
Parámetro	Valor	Unidad	Simbología
Cálculo de la superficie total del HAFSSH			
Área	6400.00	m ²	S
Carga Orgánica	4524.83	gDBO5/día	Corg
Carga orgánica superficial	0.71	gDBO5/m ² *día	Cs
Carga hidráulica	39.93	l/m ² *día	CH
Relación largo/ancho	1.00	adim	L/W
Ancho	80.00	m	W
Altura del lecho de gravas	0.50	m	h
Área transversal del humedal	40.00	m ²	St

La carga orgánica superficial y la carga orgánica deben cumplir con las solicitudes descritas en el punto 2.4.6.1 de este documento, es decir ser menores a 6 gDBO5/día y estar entre 20 y 40 L/m²*día respectivamente.

Con la finalidad de que se cumplan estas dos condiciones requerimos un área de 6400 m², misma que es 6 veces mayor al área requerida por el humedal vertical propuesto en el punto 4.7. Por ser el área de implantación una limitante dentro de nuestro proyecto, se toma la decisión de optar por un humedal vertical como tratamiento secundario.

Finalmente, obtendremos las especificaciones técnicas de los materiales para la construcción, un presupuesto y un manual de operación y mantenimiento. Con el fin de que el operador de la PTAR este capacitado para mantener la planta en óptimo funcionamiento.

4.9 Estudio de factibilidad

Anexo 1: Manual de operación y mantenimiento, según las recomendaciones de: (CEDEX, 2010)

Anexo 2: Especificaciones técnicas, según (Ordoñez, 2011)

Anexo 3: Planos

Anexo 4: Presupuesto

Conclusiones

- La PTAR de la parroquia General Morales deberá ser reemplazada por una nueva planta, ya que la PTAR de la comunidad se encuentra en malas condiciones, no se le ha dado el mantenimiento correspondiente, y no cumple la función para la que fue concebida. Adicional a esto, la PATAR está por cumplir su periodo de diseño.
- Este proyecto propone como solución la construcción de una PTAR formada por: un vertedero de excesos y canal de desbaste como pretratamiento, la construcción de dos Tanques Imhoff para el tratamiento primario de las aguas servidas, dos humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical parte del tratamiento secundario. Adicional para el tratamiento de los lodos primarios generados en el Tanque Imhoff, se propone un lecho de secado como alternativa para el tratamiento de estos.
- Se tomó la decisión de la construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical ya que, el área de implantación es una limitante dentro de este proyecto, y el área del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal necesita un área de implantación de 6 veces el área del humedal escogido.
- Es importante señalar que en el presupuesto referencial no se considera el costo de la demolición PTAR actual y el tratamiento de los residuos que existen en la misma.
- De esta manera se cumple con los objetivos de desarrollo sostenible número 6 Agua limpia y Saneamiento y 14 Vida Submarina del programa de las Naciones Unidas, ya que se dota de saneamiento a una comunidad mediante la construcción de una nueva PTAR, el agua que se descarga a la quebrada llega a la misma cumpliendo con la normativa ecuatoriana, y finalmente los fangos producidos en el tratamiento primario, pueden ser utilizados como abono luego de su digestión, beneficiando a una población que en su mayoría se dedica a la agricultura cerrando así el círculo de sostenibilidad.

Recomendaciones

- Realizar aforos de caudales, con la finalidad de obtener información para futuros estudios.
- Al momento de dar de baja la PTAR existente, realizar un plan de manejo ambiental con el fin de evitar la contaminación de la zona.
- Capacitar al encargado de la operación de la PTAR, para un adecuado funcionamiento de esta.
- Tener presente las especificaciones técnicas, así como las recomendaciones del manual de operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J., & Cuesta, J. (2023). *Depuración de aguas residuales: principios y aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- CEDEX. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Sperling, M. (2017). *Biological wastewater treatment series*. London: IWA Publishing.
- EMAAP-Q. (2009). *Normas de diseño para sistemas de alcantarillado*. Quito.
- Ferrer, J., & Torrecillas, A. (2005). *Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales*. Valencia.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona.
- Huertas, R., & Carlos, M. (2012). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.
- INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. QUITO.
- INEC. (2022). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*. Quito.
- INGNOVA. (2020). *Diseño de EDAR en pequeñas poblaciones. Tema 3: Recepción de aguas residuales*.
- Kadlec, R., & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands. Second edition*.
- Langergraber, G., & Dotro, G. N. (2020). *Practical information on the design and application of treatment wetlands*.
- Martín, M., & Hernández, C. (2021). *Guía didáctica sobre diseño de humedales artificiales*. Valencia.
- Mejía, F. (s.f.). Propuesta de implementación de humedales artificiales en las EDARs de Vall de Flors y Marines (Valencia) para la mejora de la calidad de las aguas, fijación de carbono y mejora de la conectividad ecológica

del barranco Carraixet. *Trabajo Fin de Máster*. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.

Muñoz, R. O. (2006). *ESTUDIOS PRELIMINARES Y DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA*. Cañar.

Ngamaliou, U. (2015). *Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD*. Valencia.

OPS. (2005). *GUIA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SEPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACION*. LIMA.

Ordoñez, A. (2011). *PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA COMUNIDAD GUN GRANDE*. CAÑAR.

Salas, J., Pidre, J., & Fernandez, L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Andalucía: CENTA.

Vásquez, J., Flores, F., Torres, L., & Soto, C. (2023). Humedales artificiales de flujo subsuperficial de flujo vertical: una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad de Chile*. doi:<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133320>:
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133320>

ANEXO 1

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

1. Pretratamiento

La frecuencia de visitas a la PTAR es directamente proporcional a la complejidad de esta. Es decir, mientras más compleja es la PTAR mayor número de inspecciones requiere. Para instalaciones menores a 500 h-e se recomienda que las inspecciones sean semanales.

a. Obra de llegada

- Se comprobará el correcto funcionamiento del aliviadero ubicado en la obra de llegada a la PTAR. Con la finalidad de realizar una limpieza en el canal en el caso que se encuentre material sedimentado.
- Cada semana deberá comprobarse el correcto funcionamiento de las estructuras existentes en esta etapa.
- Adicional deberá comprobarse que no exista material que produzca obstrucciones en el bypass de este canal.

b. Desbaste

- La limpieza de las rejas manuales se realizará con rastrillos, este material se depositará en canastas perforadas dispuestas en la instalación, con el objetivo de que estos residuos se escurran antes de su disposición final.
- La frecuencia de limpieza de las rejillas será la misma que las inspecciones a la PTAR es decir visitas semanales.
- En época de lluvia se recomienda incrementar el número de visitas a la PTAR, ya que en esta época el volumen de residuos suele aumentar.
- Cuando se identifique sedimentación de material bajo las rejillas se procederá a la limpieza de este material.

c. Desarenado

- Las arenas ubicadas al fondo del canal se limpiarán una vez por semana, con las herramientas y equipos de protección personal adecuados.

Los residuos generados serán responsabilidad del servicio municipal de residuos sólidos, mismos que serán retirados de la PTAR cada semana.

2. Tratamiento Primario Tanque Imhoff

a. Inspección de rutina.

Para plantas depuradoras menores a 200 h-e se recomienda una visita por semana, en donde el operador deberá llevar un registro de:

- Fecha y hora de visita.
- Aspecto de las aguas residuales influentes y efluentes.
- Acumulaciones excesivas en la zona de decantación.
- Anomalías en la obra civil.
- Fechas de las operaciones de mantenimiento de los componentes del pretratamiento.
- En un apartado de “observaciones” tener un registro de las anomalías presentadas como: obstrucciones, presencia de malos olores etc.

b. Labores de operación

- Realizar la inspección del interior del tanque una vez al año, revisando: zonas de entrada y salida, posibles fugas e intrusión de aguas.
- Dos veces al año se medirá los espesores de las capas de flotantes y lodos acumulados en la zona de digestión. Para la medición de estos espesores se puede utilizar varillas graduadas.
- Dos veces al año se limpiará el tanque, extrayendo los lodos y flotantes acumulados. Para esta extracción suele recurrirse al empleo de camiones cisterna dotados de dispositivos para la aspiración de estos residuos. La disposición final de estos residuos será el lecho de secado de la PTAR.
- Control de operaciones del tanque Imhoff.
 - Velocidad ascensional en la zona de decantación (m/h): calculada en función del caudal máximo de agua residual (m^3/h) y de superficie de zona de decantación (m^2).
 - Tiempo de retención hidráulica en la zona de decantación (h): calculado en función del caudal máximo de agua residual (m^3/h) y del volumen útil de la zona de decantación (m^3).
 - Ritmo de acumulación de lodos en la zona de digestión (l/he.año): calculado en función del espesor medido de lodos, de la superficie de la zona de digestión y de la población equivalente servida.

c. Labores de mantenimiento.

- Mantenimiento de la obra civil y de las conducciones.
- Control del cerramiento.
- Cuidado de la ornamentación vegetal implantada.
- Control de roedores, insectos.

3. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.

a. Labores de operación

- Comprobar el correcto funcionamiento de los sifones de descarga controlada.
- Importante la revisión de los sistemas de alimentación y distribución del humedal. Además, el estado de la impermeabilización de la zona de confinamiento.
- Durante los primeros seis meses eliminar las malas hierbas que pueden competir con la vegetación del humedal.
- Anualmente, una vez finalizado el ciclo vegetativo de las plantas, se procederá con su siega y la evacuación de la biomasa vegetal extraída, evitando la descomposición del material vegetal dentro del humedal.
- Posterior a la siega, evaluar el estado de los dispositivos de alimentación de los humedales.
- Anualmente y coincidiendo con la siega de la vegetación, verificar la permeabilidad del sustrato filtrante con el objetivo de medir su grado de colmatación.
- Prevenir la presencia de plagas.
- Evitar la entrada de animales a la PTAR que puedan alimentarse de las plantas del humedal.

b. Control interno y externo.

- Control de aguas residuales, caudales diarios y concentraciones de DBO5, DQO, SS.
- Calidad del efluente según normativa, concentraciones de DBO5, DQO, SS.
- Control de la carga orgánica que opera en el humedal.

c. Gestión de subproductos.

- Los residuos generados en la siega periódica de la vegetación de los humedales pueden emplearse en alimentación animal, en procesos de compostaje de residuos, etc. En caso contrario, se enterrarán o se enviarán a vertedero.

d. Labores de mantenimiento.

- Control del buen estado del cerramiento.
- Cuidado de la ornamentación vegetal implantada.
- Control de roedores, insectos, etc.

ANEXO 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

DESBROCE Y LIMPIEZA

Previo a las labores de replanteo definitivo, se realizará el desbroce y limpieza, para desalojar y remover matorrales, troncos, hojarasca, residuos sueltos o cualquier material indeseable existente en el área de trabajo.

Las operaciones de desbroce y limpieza se realizarán de tal forma que no cause daño alguno a las obras existentes y para esto el constructor colocará referencias en los sitios que se requieran.

El rubro se medirá en metros cuadrados o hectáreas según el caso, pero se reconocerá solo lo realizado y no más de 5m de los ejes del proyecto.

En los casos de construcción de obras en espacios verdes, parques, avenidas, y reservas naturales, etc. se procederá primeramente a realizar un inventario de árboles, arbustos, que pueden ser afectados por la construcción que perjudique en el menor grado las condiciones de equilibrio del medio.

En los casos indicados las actividades de desbroce y limpieza se realizarán dentro de los anchos necesarios para excavar y/o implantación de las obras.

No se afectará a la vegetación circundante y de ser necesario e imprescindible la remoción de árboles o especies autóctonas o en peligro de extinción, se notificará de la decisión, proponiéndose alternativas para variar los ejes, o un proyecto de mitigación de impactos.

En el caso que la excavación esté proyectada a máquina y sea inminente el daño estético o paisajístico; los trabajos se realizarán a mano y sin bote lateral, sino de acuerdo al avance de la obra de adelante hacia atrás.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

El rubro se medirá y se pagará en metros cuadrados o hectáreas según el caso, pero se reconocerá solo lo realizado y no más de 5m de los ejes del proyecto. En todo caso la superficie será limitada de acuerdo con la orden del fiscalizador, y el pago se efectuará bajo el concepto de trabajo:

"Desbroce y limpieza", en m²

REPLANTEO Y NIVELACIÓN

Alcance y Definiciones

Este rubro comprende el suministro de materiales, uso de herramientas, equipo personal y mano de obra necesarias para realizar el replanteo y nivelación de las estructuras de acuerdo con los planos y a las especificaciones que se señalan.

Se entenderá por replanteo todos los trabajos topográficos necesarios para delinear en el terreno las alineaciones y niveles que permitan una adecuada ejecución de los trabajos, siendo obligación del Contratista efectuarlo para la totalidad de las obras del proyecto antes de iniciar los trabajos, y proponer los ajustes que sean necesarios, de ser el caso.

Trabajos Topográficos

La Fiscalización entregará al Contratista puntos con referencias de nivel (BM) que servirán de base para el replanteo y otras referencias para el trazado y orientación de los ejes de obras.

La ubicación de las obras se realizará con las alineaciones y cotas indicadas en los planos y respetando estas especificaciones de construcción, salvo modificaciones que sean receptadas por la Fiscalización y el Contratista.

Para la buena ejecución de las obras, antes de iniciar los trabajos en el terreno, el Contratista estará obligado a realizar la verificación de todos los datos topográficos indicados en los planos y corregirlos en el caso de que encuentre divergencias entre las condiciones reales en el terreno y los datos de los planos, de conformidad con la Fiscalización.

Los ejes de construcción y niveles deberán marcarse en el terreno en forma segura y permanente mediante una señalización (cuñas, estacas, etc.). Las marcas deberán ser precisas, claras, seguras y estables, cuanto más importantes sean los ejes y elementos para replantear.

Para realizar estos trabajos el Contratista deberá contar con equipos topográficos de precisión y calidad, así como con el personal especializado y con experiencia en este tipo de trabajo.

El Contratista someterá a la aprobación de la Fiscalización los trazos, niveles y replanteos ejecutados, antes de iniciar los trabajos.

La Fiscalización verificará estos trabajos y exigirá la repetición y corrección de cualquier obra impropriamente ubicada.

La operación de replanteo considera entre otras las siguientes actividades:

Replanteo de las redes principales, secundarias y emisario de la red de alcantarillado.

Replanteo de estructuras o instalaciones especiales y/o puntuales (tratamiento de aguas servidas)

MEDICION Y FORMA DE PAGO

La unidad de medida será por kilómetro para replanteos y metros lineales para nivelación. Para preparar las planillas se considerará como válido, únicamente

las cantidades que fijen los planos de diseño o las autorizadas por fiscalización, y el pago se efectuará bajo el concepto de trabajo:

"Replanteo mayor a 1 Km", en Km

"Nivelación de 1000 a 5000", en m

"Replanteo y nivelación", en m²

"Replanteo y nivelación de estructuras", en m²

EXCAVACIONES

Alcance y Definición

Este rubro comprende el suministro de materiales, uso de herramientas, equipo y mano de obra necesarias para conformar las fosas de excavación para fines diversos, y que se subdividen en dos tareas:

- Excavaciones a máquina.

Definiciones

Excavación mecánica sin clasificar

Es la remoción de suelo mediante la utilización de maquinaria tales como: retroexcavadora, Bulldoser, etc., en estratos de baja consolidación de clasificación como suelo común, arcillas, linos, arenas y que puede existir presencia de molones de roca sueltos que no requieran de actividades complementarias para su remoción.

Excavación mecánica en conglomerado

Es la remoción del estrato de mediana consolidación y que se reconocen por la presencia de destritos, molones, arcillas, areniscas, suelo y que para el corte presenta mayor dificultad que el suelo anterior, permitiendo conseguir taludes de inclinación, sin peligro de mayores desprendimientos, el grado de consistencia es de fácil apreciación al momento de realizar el corte, y no requiere de ninguna acción complementaria para su movimiento.

Excavación mecánica en suelos de alta consolidación

Es la remoción del estrato de alta consolidación, que por su dureza al corte, permite obtener taludes verticales sin riesgo de desmoronamiento que se reconocen por estar compuestos, generalmente de areniscas cementadas, cangagua, arcillas laminares de profundidad. Para la excavación se requiere de equipos especiales como compresores equipados con rompe pavimentos, no permite el uso de dinamita u otro sistema de explosión.

Excavación mecánica en roca

Es el conjunto de actividades en las que para remover o extraer material se utiliza explosivos, además de equipos mecánicos como perforadoras,

retroexcavadoras, etc. Estas excavaciones pueden efectuarse en banco o en zanja.

Generalidades

El Contratista suministrará el personal para supervisión, la mano de obra, los equipos y materiales necesarios y suficientes para realizar todas las operaciones con el objeto de completar la totalidad del trabajo requerido hasta las cotas, alineaciones, gradientes y dimensiones que se indiquen en los planos, excepto cuando se encuentren inconvenientes imprevistos, en cuyo caso aquellos pueden ser modificados de conformidad con el criterio técnico de la Fiscalización.

El Contratista ejecutará los trabajos dentro de los límites de excavación o relleno bajo las siguientes directrices:

- El Contratista notificará a la Fiscalización con suficiente anticipación el comienzo de cualquier excavación para que se puedan realizar oportunamente el control y las mediciones respectivas.
- El Contratista deberá remover la capa vegetal del suelo comprendida dentro de los límites de excavación o relleno. Este material deberá removerse sin mezclarse con el material utilizable en posibles rellenos, para ser depositado en áreas aprobadas por la Fiscalización.
- Las líneas de excavación indicadas en los planos no deben interpretarse como definitivas.
- De acuerdo con los materiales encontrados en las cotas de fundación, la Fiscalización determinará su conveniencia o no para fundación u otros propósitos y podrá ordenar excavaciones adicionales, sin que por ello cambie el precio unitario respectivo contratado.
- El terreno natural contiguo a las estructuras no deberá alterarse sin la aprobación de la Fiscalización.
- Los materiales sueltos dentro de las líneas de excavación deberán ser removidos.
- Cualquier excavación adicional a la aprobada por la Fiscalización realizada por conveniencia del Contratista no será pagada y los costos de relleno de las sobreexcavaciones con materiales aprobados serán igualmente a expensas del Contratista.
- Se tomará las precauciones necesarias para no disturbar el material que se encuentra debajo y más allá de las líneas de excavación. En los bordes superiores de la fosa se mantendrá en el terreno una franja de seguridad libre de cualquier tipo de material o equipo, para evitar que estos caigan a la fosa o causen el derrumbe de los taludes de la misma. Dicha franja tendrá un ancho mínimo de 0,6 m.

- El Contratista tomará las medidas necesarias para drenar el agua a gravedad o por bombeo construyendo diques temporales, acueductos, alcantarillas y otras obras que sean requeridas para prevenir inundaciones, erosión y agua estancada. Los drenajes temporales durante la excavación deberán ser considerados como inherentes a la excavación y estarán incluidos en los precios unitarios propuestos.
- A menos que así lo apruebe la Fiscalización, toda excavación para fundaciones de estructuras será realizada en seco.
- Cuando las condiciones del terreno o las dimensiones de la excavación sean tales que pongan en peligro la estabilidad de las paredes de la excavación, a juicio de la Fiscalización, éste ordenará al Contratista la colocación de entibados y puntales que juzgue necesarios para la seguridad de los trabajadores de la obra y de las estructuras o propiedades adyacentes. La Fiscalización debe exigir que estos trabajos sean realizados con las debidas seguridades y en la cantidad necesaria.
- Se prevendrá y evitará la ocurrencia de derrumbes o erosión causados directa o indirectamente por la ejecución de los trabajos. Si ocurriese derrumbes o daños, una vez que la Fiscalización autorizó la protección de las fosas, y estos sean por negligencia del Contratista, éste deberá reparar y restaurar a sus expensas todos los daños causados.
- El Contratista deberá proteger las superficies excavadas y mantenerlas estables, durante y hasta la terminación de la obra. La protección y mantenimiento deberán incluir limpieza, desvío de aguas superficiales, evacuación de agua subterránea, reparación de daños ocasionados por mal tiempo, crecidas y todas las demás operaciones necesarias para evitar derrumbamientos, deslizamientos, asentamientos o cualquier otro daño.
- La Fiscalización examinará la calidad de los materiales excavados y determinará el uso que puede ser dado en las diferentes obras del Proyecto, tales como terraplenes, bordos, bermas, rellenos etc., debiendo en tal caso ser dispuestos hasta su utilización, en sitios convenientes del modo más apropiado.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

La medición de este trabajo se hará en m³, calculados por diferencia de perfiles topográficos inicial (condiciones originales de suelo) y final (niveles y cotas del proyecto) por el área determinada por la Fiscalización.

El pago se realizará por 100% del trabajo ejecutado y aprobado por la Fiscalización en el período de planilla. Se pagará al Contratista a los precios unitarios fijados en la tabla de cantidades y precios del Contrato para los siguientes conceptos:

“Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,”
en m³

“Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 2 a 4 m de profundidad,”
en m³

“Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 4 a 6 m de profundidad,”
en m³

Sobreanchos en excavación de zanjas

Se establece como ancho reconocible para efectos de medición, el que en el fondo cumpla con la relación $A = D + 0.4$ En que A = el ancho del fondo de la excavación; D= el diámetro exterior de la tubería; 0.4 m el ancho para que el trabajador cumpla las tareas de encoframiento, instalación y supervisión de la construcción.

Talud en las paredes de la zanja

En función de las profundidades de excavación que constan en las especificaciones se establece expresamente que en el primer nivel, esto es de 0-2 m de profundidad, las paredes de las zanjas serán verticales y en el caso de presentarse inestabilidad esta será controlada con el empleo de sistemas de construcción como: tablaestacado, entibamiento continuo, entibamiento discontinuo o la colocación de tablonos y puntales que den seguridad para ejecución de la obra, según sea aceptado por la fiscalización.

En el caso de excavaciones profundas, esto es en los niveles subsiguientes de 2 a 6 m de profundidad se establece el talud máximo de la pared de la zanja de acuerdo con el siguiente detalle:

De 0-3 m. de profundidad el talud máximo será de 1H: 8V.

De 0-4 m. de profundidad el talud máximo será de 1H: 6V.

De 0-5 m. de profundidad el talud máximo será de 1H: 4V.

De 0-6 m. de profundidad el talud máximo será de 1H: 4V.

En el caso de inestabilidad manifiesta de la pared de la zanja esta será controlada mediante los sistemas de entibamiento y la secuencia entre la excavación y la instalación de la tubería será de manera continuada.

Pasado el nivel de los 4 m. de profundidad se recomienda realizar la excavación en longitudes no mayores a los 3 m. y en acción continuada instalar la tubería y realizar el relleno respectivo.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

De acuerdo con las dimensiones especificadas las excavaciones se pagarán por metro cúbico, y la medición se la realizará en obra y serán válidas únicamente las establecidas por los planos de diseño y lo señalado en las especificaciones técnicas generales, salvo autorización por escrito de la fiscalización para sobre excavación.

RELLENOS

Se define en el capítulo de rellenos, como el conjunto de actividades que se realizan para colocar material en las zanjas, desde el nivel del plano de

asentamiento hasta el nivel original del suelo y/o hasta el nivel de la calzada de la vía, o hasta el nivel que ordene el Contratante.

Se especifica al relleno de acuerdo a su compactación: En relleno al volteo y relleno compactado, dependiendo del sitio en el que se realice la obra.

Relleno sin compactar

Consiste en que el material, producto de la excavación, o de otra procedencia sea colocado en la zanja en forma directa mediante el tendido uniforme, sin compactación manual o mecánica alguna. Este tipo de relleno será autorizado por la fiscalización, únicamente en lugares que de acuerdo con la planificación futura se trate de espacios verdes, áreas de protección forestal, y que la pendiente de la superficie no sobrepase el 10%, y que no exista tráfico ni vehicular ni peatonal.

Si por negligencia o descuido del Constructor, la actividad de relleno no ha sido continua después de la instalación de tuberías, y por esta causa se hubieren producido derrumbes, los daños serán reparados inmediatamente a costo del Constructor, y para la medición se considerará las dimensiones de la zanja hasta antes de producirse el derrumbe.

El relleno sin compactar sea este manual o mecánico se colocará por capas de 0.6m a lo largo de la zanja, dejando al final un montículo que compense los asentamientos posteriores.

Los rellenos de zanja al volteo en pendientes entre el 5% al 10% se construirá muros de contención superficial de mampostería de piedra, que impidan el arrastre del suelo en épocas lluviosas.

Relleno compactado.

Es el conjunto de actividades para rellenar las zanjas y terraplenes dentro de un proyecto específico.

No se efectuará el relleno de excavaciones sin antes no se cuenta con la aprobación escrita del Contratante y la calificación del material a utilizar, de lo contrario, el Contratante se reserva el derecho de ordenar la extracción del material utilizando en los rellenos y no aprobados. El Constructor no tendrá derecho a retribución económica ni compensatoria por este trabajo.

Con la autorización para iniciar las labores de relleno el Contratante, a través de la Fiscalización comprobará pendientes, alineamiento y cotas del tramo que se rellenará.

El Constructor será responsable de cualquier desplazamiento o daño de la tubería y/o estructura que pudiera ser causado por procedimientos inadecuados de relleno, y el arreglo no concede derecho al Constructor para reconocerle pago adicional por los trabajos que efectúe para corregir el daño.

La tubería o estructura fundidas en sitio no serán cubiertas de relleno, hasta que el hormigón adquiera suficiente resistencia para soportar las cargas. En el caso de tubería o estructuras prefabricadas, se esperará para que el mortero utilizado en las uniones adquiera la resistencia suficiente y pueda soportar la carga del relleno en condiciones óptimas.

Para obtener una densidad de acuerdo con lo especificado, el contenido de humedad del material a ser usado en el relleno debe ser óptimo. Si el material se encuentra demasiado seco, se añadirá la cantidad necesaria de agua y si existe exceso de humedad será necesario secar el material.

Para adicionar agua al material, se la realizará antes de que el material sea colocado en la zanja, debiendo ser mezclado con el agua fuera de la zanja hasta conseguir la humedad óptima. En caso contrario para eliminar el exceso de agua, el secado del material se realizará extendiendo en capas delgadas para permitir la evaporación del exceso de agua.

No se autorizará la colocación del material de relleno en condiciones de saturación o sobresaturación, ni permitir que el exceso de agua ceda por filtración en la zanja.

Cuando el relleno se efectúe en la calle o en los caminos sujetos a tráfico vehicular, serán rellenados utilizando compactadores mecánicos, como: rodillo compactador, compactador de talón o rodillo pata de cabra.

Para iniciar el relleno de las zanjas el Fiscalizador verificará, las paredes para que el relleno se realice cuidando que tengan un plano vertical desde el fondo hasta la superficie; y en caso de haberse producido derrumbes o defectos en el proceso de excavación originándose socavaciones o bóvedas que han impedido una correcta compactación del material de relleno, serán eliminadas mediante sobrexcautación; y en caso de que el material lateral no sea apto para el relleno, se colocará en la zanja como material para las primeras capas.

Las primeras capas de relleno se las realizarán empleando tierra fina seleccionada, exenta de piedras, ladrillos o estructuras y el talud de la zanja se rellenará cuidadosamente con pala para darle un apisonamiento hasta alcanzar un nivel de 30 cm sobre la clave del tubo o de la estructura. Hasta este nivel el apisonamiento será manual o con un compactador de talón, cuidando de provocar deslizamientos y daños a la tubería o estructura. Luego en capas sucesivas, con un máximo de 0.3 m de material antes de compactar pero dependiendo de la calidad de material y equipo. La compactación será mecánica utilizando lo técnicamente aconsejable en cada caso.

Los rellenos en las zanjas, ubicadas en calles de fuerte pendiente superior al 5%, se cuidará que al término de cada capa superficial se utilice material que contenga piedras grandes para evitar el deslave del relleno, por el escurrimiento de aguas pluviales. Este de relleno será aplicado en tiempo de invierno y ante la amenaza de lluvias.

La construcción del terminado de pozos de revisión, incluyendo la instalación de sus cercos y tapas, se realizará simultáneamente con el terminado del relleno y/o capa de rodadura de la vía.

Control de calidad de los rellenos

El Contratante por medio de la Fiscalización determinará la ubicación de la prueba para ensayar la compactación de acuerdo con las recomendaciones del AASHTO o del ASTM, para verificar su cumplimiento.

Los costos del control de calidad que realizará el Contratante serán por cuenta del Contratista entendiéndose que están incorporados en los costos indirectos del proyecto. La determinación del número de pruebas y la asignación del laboratorio será de exclusiva decisión del Contratante por medio de la fiscalización.

Se entenderá como relleno compactado concluido, al llegar a los niveles especificados y se ha obtenido un grado de compactación igual o mayor al 95% del PROCTOR STANDARD (MODIFICADO).

No se reconocerá pago adicional por preparación del terreno de fundación ni por relleno de depresiones menores, considerando que estos trabajos están incluidos en los precios unitarios de rasante de la zanja. Se clasificará el material apto para el relleno.

El Contratante por medio de la fiscalización, fijará los niveles en los que se realizarán las pruebas de control de calidad dependiendo de las recomendaciones específicas en cada proyecto, y el espesor de la capa debiendo constatarse que este procedimiento se cumpla, sin que obste que pueda solicitarse ensayos adicionales de juzgarlos necesarios.

Cuando la zanja se rellene y cumplan con los ensayos y rangos establecidos, el Constructor está en la obligación de limpiar la vía de los sobrantes de material, y de los escombros producidos durante la construcción, y que serán depositados en los sitios que el contratante lo señale, no se aceptará como obra terminada si los desperdicios o restos de material se han colocado al borde de la vía o en un entorno inmediato.

Ámbito de aplicación. -

Al tratarse de obras de infraestructura, uno de los controles fundamentales que se deben efectuar es al suelo en donde se alojan las tuberías y especialmente las condiciones de relleno para que este suelo pueda soportar las sobrecargas vehiculares sin deformarse.

Para establecer un control suficiente se establece los tipos y número de ensayos que deben realizarse en cada una de las obras dependiendo de su tamaño, tal como se indica a continuación:

- Para el relleno de zanjas que alojan tuberías de alcantarillado, agua potable y telecomunicaciones, se establece realizar un ensayo de densidad de campo cada 25 metros de longitud y en dos niveles de profundidad, en la rasante de la

vía y a un nivel de 0.40 m por debajo de la rasante. En el caso de obras de alcantarillado se tomará un ensayo adicional por cada metro de incremento en la profundidad.

- Cuando se trate de rellenos para domiciliarias de agua potable o alcantarillado se tomará 1 ensayo de densidades de campo a criterio del Fiscalizador de la obra.

- En los rellenos por excavaciones para reparación de la infraestructura hidrosanitaria se tomará el ensayo de densidades de campo correspondiente.

- Para cada una de las obras de instalación de matrices se realizará un ensayo Proctor modificado al material de sitio y de ser requerido un ensayo Proctor al material de mejoramiento o reposición a criterio de la Fiscalización de la obra.

- La calificación del material para relleno de zanjas responderá a los ensayos que se realicen para determinar la plasticidad del material que no será superior al 15 %. Se deberá tomar las pruebas suficientes para garantizar la calidad del material.

- El grado de compactación requerido será del 95% del ensayo Proctor Modificado

- En el caso de que los materiales y los parámetros de clasificación y de compactación no cumplan con las especificaciones, el laboratorio informará oportunamente del hecho al fiscalizador de la obra.

- La determinación del Límite Líquido y límite plástico estará en conformidad con la Norma AASTHO – T 89.

- El ensayo de Densidad Máxima se regirá por las normas AASTHO T-99 y T-180 para el Proctor standard y modificado, respectivamente.

- Para el material de base granular Clase 2 o 3, el Índice de Plasticidad IP será menor o igual al 6%.

- Para el material de subbase granular Clase 1, 2 o 3, el Índice de Plasticidad será menor o igual al 9%.

- Los ensayos de granulometrías se realizarán en conformidad con la norma AASTHO T-88.

- Los ensayos de densidades de campo serán realizados conforme al Método del Densímetro Nuclear.

Material de reposición

En el proceso de relleno se utilizará de preferencia el material de la excavación, y cuando no fuese apropiado se seleccionará el que cumpla las condiciones técnicas con el visto bueno del Contratante por medio de la fiscalización.

El material de reposición cumplirá con las siguientes especificaciones:

- 1.- El límite líquido del material ensayado, no será superior al 40 %
- 2.- El índice de plasticidad no será superior al 15%
- 3.- La densificación del material no será menor al 95% de la densidad máxima obtenida en laboratorio, de acuerdo con el ensayo Proctor Modificado.
- 4.- El tamaño máximo de los granos no será mayor a 2", en caso de presentarse, deberán ser retirados.

El material de sitio para relleno puede ser cohesivo, pero cumplirá los siguientes requisitos:

1.- No contendrá material orgánico, ni residuos de plásticos u otros elementos que alteren la condición del material a usarse en el relleno y siempre que el límite líquido del suelo sea menor al 50 % y retirando toda partícula mayor a 2". El espesor de cada capa de relleno no será mayor de 30 cm y su densificación deberá ser igual o mayor al 95 % de la densidad máxima obtenida en laboratorio, de acuerdo al ensayo Proctor Modificado,

2.- El Constructor no podrá utilizar el material ni iniciar las tareas de relleno sin la expresa autorización del Contratante, que puede ser a través del libro de obra o de una comunicación escrita.

3.- En rellenos de vías y caminos, el material a usarse en las últimas capas, será igual al empleado en la estructura del camino pero conservando los mismos espesores, y los rangos de compactación en cada caso, hasta recuperar el camino en sus condiciones originales, y las planillas se aplicaran a los rubros correspondientes.

4.- En caso de presentarse molones de piedra en el material para relleno entre 2 y 10", se procederá al relleno de la zanja por capas alternadas de 30 cm de material fino con tamaño de grano no mayor a 2" y luego sobre esta una capa de piedra acomodada sin que se sobrepongan, hasta completar la altura total de relleno, cuidando de que la primera y última capa sea de material fino.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

El relleno se medirá de acuerdo a las dimensiones especificadas en los planos o a las determinadas en campo según las profundidades de excavación alcanzadas, tomando como unidad de medida el m³, el precio deberá considerar el volumen adicional de material para conseguir el grado de compactación especificado. En casos de derrumbes o socavaciones que amerite mayor dimensión, se considerara si el contratante lo hubiere autorizado por escrito.

Para efectos de pago se considerarán los conceptos de trabajo:

"Tapado manual de zanjas"	en m ³
"Tapado de zanjas con maquina"	en m ³
"Material de Reposición (Incluye esponjamiento)"	en m ³
"Relleno compactado"	en m ³

TRANSPORTE

Tipos de transporte
Transporte Vehicular.

En los casos que; para proveer materiales o desalojarlos; sea necesario emplear vehículos que deban cargarse a mano o a máquina, dependerá de las facilidades que ofrezca el lugar, para ingresar a el y de la cantidad de material.

La distancia media en la parroquia, para desalojos es de 5 kilómetros, y el material se depositará en los lugares que el Contratante determine. Si se detectara que el material ha sido depositado en otro sitio, se considerara como un incumplimiento del Constructor y la entidad Contratante, obligará al Constructor a cargar el material y llevarlo al botadero, tarea que será por cuenta del Constructor sin derecho a pagos adicionales.

Se prohíbe depositar los materiales retirados, en las márgenes de ríos y quebradas dentro del perímetro urbano de Cuenca.

Si la distancia de transporte pasa de los 5 kilómetros, desde este límite, se contabilizará la distancia adicional y se establecerán costos por metro cúbico por kilómetro.

En la provisión de materiales para la obra, se establecerán condiciones de transporte en especificaciones particulares de cada proyecto, considerando la distancia y la forma de pago.

Si en el suministro de materiales no se hubiere especificado el transporte, se entenderá que en los costos de los suministros se ha incluido el transporte hasta el sitio de su instalación.

Los materiales y equipos deben transportarse y protegerse de efectos nocivos por el clima, con este objeto se debe empacar con envolturas impermeables y marcar su identificación. En el caso de agregados serán cubiertos por lonas para evitar la alteración de sus condiciones en el transporte. Los equipos y tuberías serán almacenados bajo techo, observando las especificaciones del fabricante.

Transporte manual

Se entiende por transporte manual cuando los materiales llegan al sitio de instalación transportados por los trabajadores utilizando mecanismos simples como carretillas, etc.

El transporte manual no debe confundirse con el manipuleo por lo que, la distancia al sitio de la obra y la forma de pago se establecerán en las especificaciones particulares de cada proyecto.

Transporte por semovientes

Por las condiciones de ubicación del proyecto o de parte de este, no existiere acceso vehicular, el transporte de materiales en acémila se especificará en cada proyecto y la determinación de cantidades y forma de pago, constarán en los rubros contractuales.

Desalojo

El desalojo consiste en la eliminación del sitio de la obra de todo residuo de material, sobrantes excavación o productos de demolición de estructuras. Para que se considere efectuado el rubro la Fiscalización constatará que el sitio de la obra y la zona de influencia este completamente limpia.

El desalojo se realizará únicamente a los sitios que fije la fiscalización y el pago se realizará por metro cúbico con los componentes cargado y transporte que consten en el contrato; así como los porcentajes por esponjamiento serán los que están determinados en estas especificaciones.

Coeficiente de esponjamiento.

Para establecer los volúmenes de transporte de materiales, el Contratista se sujetará a la clasificación establecido en estas especificaciones que se establece en los siguientes índices:

ROCA	40%
CONGLOMERADO	30%
TIERRA	25%
ARENISCA	20%
BASE, SUBBASE Y MEJORAMIENTO	28%

MEDICION Y FORMA DE PAGO

La unidad de medida será el metro cubico cargado y transportado, tomando en cuenta que el constructor deberá incluir en los materiales que son suministrados por él el costo por transporte al sitio de la obra. Se reconocerá únicamente el transporte cuando se trate de material producto de la excavación o demolición al lugar de desalojo.

Los sitios para depositar el material de desalojo serán destinados por la entidad contratante conjuntamente con la Fiscalización del Proyecto, cuidando de no obstaculizar los drenajes naturales y las correspondientes actividades para mitigar los impactos ambientales.

Para efectos de pago se considerarán los conceptos de trabajo:

- “Cargada de material a mano”, en m³
- “Cargada de Material a máquina”, en m³
- “Transporte de material hasta 5km” en m³
- “Transporte de materiales más de 5 Km”, en m³-km

ENCOFRADOS

Los encofrados tendrán suficiente rigidez para mantener su posición y resistir las presiones del vaciado y vibrado del hormigón y no tener aberturas o juntas discontinuas para evitar la pérdida de mortero. Las superficies de contacto con el hormigón estarán limpias, libres de cualquier substancia indeseable correctamente alineadas, exentas de bordes agudos y de defectos e imperfecciones.

Los encofrados podrán ser metálicos, de madera y comprenden la configuración del elemento y la estructura de soporte y de apoyo.

El Constructor responderá de la estabilidad y cumplirá con las condiciones del diseño, dependiendo de la finalidad de la cara vista del elemento del hormigón.

Si por insuficiencia de apoyo o anclaje, los elementos de hormigón sufren variaciones en las dimensiones finales, los arreglos, serán por cuenta del constructor y no será causa para reconocer pagos adicionales.

El diseño y construcción de los encofrados serán realizados por el Constructor y será su responsabilidad el montaje, sujeción, operación y desmontaje. Las cargas verticales y empujes laterales que son actuantes durante el proceso de fraguado del hormigón estarán garantizadas en el diseño.

Todo defecto en el encofrado o cualquier colapso durante el proceso, son de responsabilidad del Constructor, aunque el Contratante hubiere revisado y aprobado los cofres, pero esta acción no le exculpa de responsabilidad.

La superficie que estará en contacto con el hormigón, después de la limpieza, será recubierta con una capa de producto bituminosos u otro material similar; o pueden ser subproductos de polímeros y plásticos, para que se forme una superficie aislante entre el hormigón fresco y el cofre, capaz de evitar en todo el elemento adherencias que en la tarea de desencofrado dañe las superficies del elemento.

Los costos de limpieza y protección de las superficies para evitar las adherencias se consideran incluidas en el precio unitario del encofrado.

De producirse adherencias y daños en las superficies del elemento, las reparaciones se realizarán siguiendo las especificaciones de reparación de hormigones y los costos serán de responsabilidad del Constructor sin tener derecho a reconocimiento económico alguno por las reparaciones.

Los materiales que se utilizaren en el encofrado dependerán del tipo de obra y condiciones de los elementos construidos, y podrán ser duelas machimbradas, tablas, madera contrachapada, metálicas, etc. En todo caso, previa a su utilización, el Contratante aprobará o rechazará, parte o el total del material que no cumpla con las condiciones establecidas.

Tipos de encofrados

RECTO. - Se denomina a los cofres que, en su composición geométrica, emplea elementos planos y rectos.

CURVO. - Se denomina a los cofres que, en su composición geométrica, emplea elementos curvos, conformar la superficie del hormigón.

En el proceso de fraguado del hormigón, no se permitirá que se apoye ninguna carga adicional, sobre los elementos ni se retiraran los elementos de sujeción y apoyo, sin antes verificar que la estructura haya conseguido una resistencia suficiente, para que soporte con seguridad el peso propio y de las cargas que se coloquen.

Remoción de encofrados.

Los encofrados podrán ser retirados después de que el constructor verifique que el hormigón ha conseguido la resistencia suficiente, evitando la formación de fisuras, grietas, desconchamientos o rupturas de aristas, y toda imperfección será corregida inmediatamente.

Los encofrados podrán ser retirados, después de transcurrido, los tiempos señalados después de la colocación del hormigón.

Losas y elementos horizontales	15 días
Paredes y elementos verticales	7 días
Muros y apoyos	5 días
Canales	2 días

La remoción de encofrados consiste en el conjunto de tareas para el retiro de los elementos, reubicación de los materiales que sirvieron para los cofres, los utilizados como puntales y elementos de apoyo y el transporte fuera de la obra.

El área en donde se realizó la obra quedará libre de escombros o residuos de materiales empleados en el proceso de construcción. El costo que demande estas tareas se considera incluido dentro del precio unitario contractual de encofrados, no teniendo el Constructor derecho a pagos adicionales.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

La unidad de medida para el cofre será el metro cuadrado y la toma de datos se realizará conjuntamente entre el Constructor y el Contratante; y será condición necesaria, la verificación de los planos de diseño para establecer las cantidades. Las dimensiones útiles para establecer cantidades serán de las superficies de contacto, en donde se produzca el vaciado del hormigón.

La calidad de los materiales a utilizarse, tipos de madera, estado, dureza, etc., es de responsabilidad del constructor y en casos de fallas o colapso de los elementos serán reparado o rehechos por cuenta del Constructor.

Para efectos de pago se considerará el concepto de trabajo:

“Encofrado Recto, con retirado de cofres, Con tablas de encofrado”, en m²

“Encofrado Curvo, con retirado de cofres, Con madera triplex”, en m²

“Encofrado Tapa Tanque circular, Con madera triplex”, en m²

HORMIGONES

Calidad de los materiales

Los materiales a emplearse en una obra deben proveerlos el Constructor, de no especificar en el contrato, obligaciones de entrega de materiales a efectuar el Contratante, en este caso se establecerá en forma conjunta la programación de entrega y ejecución, cuidando de no afectar el normal desenvolvimiento de la construcción de la obra.

Los materiales para la obra estos serán de primera calidad, debiendo el Constructor y el Contratante someterse a las evaluaciones de control de calidad.

Los ensayos y pruebas de campo y de laboratorio necesarias para comprobar la bondad de los materiales y; los costos que impliquen serán de cuenta del Constructor, considerando incorporados en los costos indirectos de la obra.

No obstante que un material hubiere sido aprobado, en cualquier momento y antes de su utilización en la obra, se constatare adulteración o que no cumpla con los requisitos establecidos, no será utilizado, debiendo notificarse, con estas novedades al constructor.

El almacenamiento de materiales se deberá establecerse de tal manera que asegure la conservación de la calidad y aceptabilidad de los materiales a ser usados.

Agregados

Los agregados que se utilizarán cumplirán con los requisitos de la especificación ASTM-C33. El agregado fino puede consistir en arena natural, o una combinación de arena natural y manufacturada, en cuyo caso el contenido de arena natural no será menor al 30% del total del agregado fino. El agregado grueso consistirá de grava natural, grava triturada, cantos rodados o triturados o de una combinación de ellos.

Los agregados que elabore o adquiera el Constructor, antes de ingresar a la obra cumplirá con lo especificado en cada proyecto, respecto al control de calidad.

Arena

La arena debe estar perfectamente limpia, dura, angulosa y áspera al tacto, no se emplearán las arenas arcillosas, suaves y disgregables, y no debe contener material orgánico u otro que altere las condiciones de aceptabilidad.

La arena para emplearse en el hormigón cumplirá con lo especificado para agregado fino de las normas ASTM Método C87.

Piedra

Serán duras, no alteradas, graníticas, limpias y de resistencia adecuada, sujetas a la aprobación de la fiscalización.

Ripio y agregado procesado

Los agregados finos y gruesos (Ripio) manufacturados, serán preparados de roca sana no alterada; las operaciones de trituración, lavado, tamizado y mezclado serán aprobadas por el Contratante por medio de las instancias técnicas.

Cemento

El cemento que se utilizará será del tipo Portland, y deberá cumplir los requerimientos de las especificaciones ASTM-C150 o una norma equivalente,

que el Constructor está obligado a presentar certificados de cumplimiento de las normas establecidas por el fabricante proveedor de cemento.

El almacenamiento se lo realizará en un local bajo cubierta; el sitio será ventilado y separado del terreno natural. El cemento almacenado tendrá un tiempo máximo de un mes para su uso, caso contrario el Constructor está en la obligación de retirarlo y cambiarlo por cemento fresco.

Las pruebas y los ensayos que el Contratante realice, para comprobar la bondad del material, corresponde decidir a la fiscalización.

El laboratorio y la supervisión de los ensayos y los costos serán de cuenta del Constructor y se consideran incluidos en los costos indirectos de las obras.

Agua

El agua a usarse, en el lavado de agregados y en la preparación de mezclas y curado del hormigón será fresca, libre de toda substancia que interfiera su proceso normal de hidratación del cemento. Se prohíbe en forma expresa, el uso de agua proveniente de afloramientos termales o contaminada con descargas sanitarias o industriales; se rechazará las aguas que contengan substancias nocivas como: aceites, ácidos, sales, álcalis, materia orgánica, etc.

Tomando como referencia la magnitud e importancia de la obra el Contratante pedirá al Constructor que presente los resultados de los análisis físico-químicos, realizados en laboratorios autorizados por el Contratante y si es necesario se ordenará realizar ensayos de resistencia según la especificación ASTM-C109, con morteros de cemento preparados con el agua propuesta y para la aprobación, la resistencia promedio de tres muestras será por lo menos el 95% de la resistencia al prepararse el mortero con agua destilada.

En el caso que por la ubicación de la obra, el agua tuviera que ser transportada, por tanqueros, tanques, o tuberías provisionales o se tuviera que usar desde las matrices públicas, los costos de este requerimiento serán de cuenta del Contratista, porque se consideran incluidos en los costos indirectos de los precios unitarios del Constructor.

Aditivos

Para la utilizar aditivos en el hormigón, deben estar especificados, en su uso y finalidad en cada uno de los diseños y será de responsabilidad del Contratante la autorización para su uso el costo se entenderá incluido en los precios unitarios del hormigón sin que el Constructor tenga derecho a reclamo económico por este concepto.

En el caso de que no esté especificado en los diseños y que por razones técnicamente justificados sea necesario su uso, el Constructor propondrá el mejor tipo de aditivo para que apruebe el Contratante, reconociéndose el costo con lo que dispone la Ley, de Contratación Pública.

El uso de aditivos se dará obligatoriamente de acuerdo con lo que indican las normas del ACI3-6. La utilización de cualquier aditivo será aprobada por el

Contratante. El Constructor presentara para, su utilización, los datos técnicos actualizados del producto propone, y los certificados del fabricante.

Los aditivos serán usados, siguiendo las especificaciones del fabricante y de haber realizado ensayos con los materiales que se utilizará en la obra. Se establece en forma expresa que el uso de aditivos se reglamenta por las especificaciones del ACI y ASTM
Preparación y dosificación.

Las estructuras a construirse, de hormigón simple, ciclópeo o armado, serán preparados y dosificados en concordancia con lo que se anota en los planos del diseño y las especificaciones técnicas particulares de cada proyecto.

Es obligación del Constructor realizar el diseño de laboratorio, con los materiales aprobados por el Contratante y que utilizará en la obra, sirviendo como normas, las que indica el código ACI 318-83 capítulo 4 sección 4-1 a 4-6 para obtener el valor mínimo de la resistencia requerida.

Es de responsabilidad absoluta del Constructor cumplir las condiciones de resistencia mínima especificadas, obligándose a vigilar el cumplimiento de preparación, dosificación y cálida de los agregados, y además ser parte de la supervisión del proceso de control de calidad.

Temperatura del hormigón

Durante su colocación, la temperatura del hormigón no será mayor a los 20°C (veinte grados centígrados). Si el vaciado se realizare en épocas calurosas, o si el cemento utilizado es de alta generación de calor, el Constructor está en la obligación de escoger los mecanismos correctivos para mantener la temperatura dentro del limite indicado, pudiendo ser el preenfriamiento de los agregados, agua de mezcla refrigerada, vaciado durante la noche, etc.

Esta obligación del Constructor, no le da derecho para reclamar costos adicionales porque se considera incluido en los costos indirectos.

Colocación (vaciado) del hormigón.

El Constructor notificará al Contratante con 24 horas de anticipación la fecha, la hora y la obra en la que realizará el vaciado de hormigón, de acuerdo con el plan y equipo aprobados.

Se prohíbe proceder al vaciado de hormigón en los siguientes casos:

- Lluvias fuertes o prolongadas, que rebasen la estabilidad de mortero.
- Si la iluminación fuere insuficiente.
- Si la temperatura del hormigón fuere mayor de 20°C.
- Cuando el equipo del Constructor fuere insuficiente, en sus requerimientos humano y de equipo.

El hormigón se colocará en forma continua evitando el flujo y la segregación de sus ingredientes, especialmente cuando se trabaje con mezclas de alta consistencia.

Todo hormigón que comience a endurecerse previamente al vaciado será rechazado.

El hormigón será colocado en capas continuas horizontales. Antes de terminado el tiempo de fraguado de la primera capa, y estando aún en estado plástico, se colocará la capa siguiente, de modo que puedan ser penetradas por el vibrador para obtener superficies de acabado homogéneo, sin pegas o juntas frías.

Si se interrumpiere el proceso de vaciado, se procurará que se produzca fuera de las zonas de esfuerzos críticos o en su defecto, se procederá a la inmediata formación de una junta de construcción técnicamente diseñada y ejecutada.

La colocación, previa la aprobación del Contratante, podrá realizarse con bombas de hormigón, bote con descarga de fondo u otros dispositivos que no produzcan segregación.

Cuando en cierto tipo de estructuras se requiera de superficies o juntas de construcción inclinadas, el Contratista tomará las medidas, por ejemplo, encofrados auxiliares no vibratorios, vibradores superficiales, para garantizar su llenado, consolidación o estabilidad.

Después que las superficies de roca o juntas de construcción, sean limpiadas y humedecidas, antes de colocar el hormigón en donde fuere posible, serán cubiertas con una capa de mortero de 1 cm y que tenga la misma proporción de agua, de inductor de aire, cemento y arena que el hormigón.

La adición de agua (retemplado) para recuperar la consistencia perdida de la mezcla fresca de hormigón no será permitida; tampoco los efectos de vibración para transportar el hormigón dentro del encofrado.

Para prevenir los bordes delgados, las juntas de construcción de las tongadas, cerca de superficies inclinadas expuestas serán diagonales, de modo que el ángulo, entre la superficie inclinada y la superficie expuesta de hormigón, no sea menor que 50°.

Durante la colocación del hormigón en masa, el contratista cuidará de mantener un área mínima de hormigón fresco expuesta, mediante la colocación del hormigón en capas aproximadamente horizontales, a todo lo ancho del bloque y a todo lo alto de la tongada, y sobre un área restringida del área total del bloque, siguiendo en etapas progresivas similares, hasta completar la totalidad del bloque.

La inclinación hacia los lados no confinados de las capas sucesivas se mantendrá con una inclinación lo más pronunciada, a fin de mantener estas áreas mínimas. El hormigón, a lo largo de estos lados, no deberá ser vibrado, hasta que el hormigón adyacente se coloque, excepto cuando las condiciones

del tiempo aceleren el endurecimiento del hormigón y se dude de la efectividad de la vibración de consolidación, para integrarlo con el hormigón adyacente.

Los agregados gruesos segregados en superficies serán esparcidos antes de colocarse el nuevo hormigón sobre ellos. Cada depósito de hormigón deberá ser vibrado completamente, antes que otro hormigón sea depositado.

Si el hormigón se coloca monolíticamente alrededor de aberturas que tengan dimensiones verticales mayores que 0.6 m, o en plataformas, losas o vigas de cimentación o elementos de soporte, la nueva capa de hormigón podrá colocarse, entre una o tres horas después de colocado el hormigón sub/o adyacente, evitándose retracciones diferenciales entre los hormigones alrededor y/o sobre elementos descritos.

Al compactar la capa subsiguiente, el vibrador penetrará por su propio peso y revibrar la capa inferior. En ningún caso la colocación de una nueva capa será retardada hasta que el vibrador no pueda penetrar por su propio peso en la capa de hormigón previamente colocada.

Compactación

Cada capa de hormigón será compactada al máximo practicable de densidad, libre de acumulaciones y agregados gruesos o aire entrampado y óptimamente acomodado en toda la superficie de las formas del encofrado y de los elementos embebidos.

La compactación se hará por medio de vibradores de tipo eléctrico o neumático, electromagnético o mecánico, de inmersión o de superficies, aprobados por la fiscalización.

Los vibradores de inmersión funcionarán a una velocidad máxima de 7.000 r.p.m. Los vibradores de inmersión para hormigón en masa serán del tipo medio.

Los vibradores de inmersión serán operados en posición vertical, debiendo la cabeza vibradora penetrar y revibrar la parte superior de la capa inferior, si existiere. Se evitará que la cabeza vibradora tope a los encofrados y las armaduras.

El tiempo y espaciamiento aproximados para las inmersiones, dependerá, de la consistencia del hormigón y de la frecuencia de operación de los vibradores y podrá variar entre 5 y 20 segundos y entre 30 y 50 cm, respectivamente. En todo caso, las experiencias de campo permitirán optimizar este trabajo. Al vibrar el hormigón en masa, la vibración continuará hasta que las burbujas de aire entrampado cesen de escapar.

Tolerancias para construcciones de hormigón

Generalidades

El Constructor efectuará las estructuras de hormigón, de acuerdo con estas especificaciones y con los requerimientos de los planos estructurales. El Constructor observará, las tolerancias que se establecen para dimensiones,

alineaciones, niveles etc., en los planos estructurales y en estas especificaciones.

Tolerancia para estructuras de hormigón armado.

A) Desviación de la Vertical (plomada)

1. En las líneas y superficies de paredes y en aristas En 3m
En máximo 6m 6 mm
10 mm

2. Para esquinas expuestas, medias cañas de control de juntas y otras líneas visibles En 12m O más
En un tramo o en máximo 6m 12 mm
6 mm

B) Variaciones del nivel o de las pendientes indicadas en los planos

1. En losas de piso
En 3m
En un tramo o en máximo 6m
En 13m o más 6 mm
10 mm
20 mm

2. Para otras líneas visibles, revestimientos hidráulicos En un tramo o en máximo 6m
En 12m o más 6 mm
12 mm

Tolerancias para estructuras masivas.

A) Toda clase de estructuras

1. Variación de las dimensiones construidas, de las establecidas en los planos
En 6m
En 12m 12 mm
19 mm

2. Variación de las dimensiones con relación a elementos estructurales individuales posición definida. En 24m o más.
En construc. enterradas
32 mm

Dos veces las tolerancias anotadas antes

b1.

Desviaciones de la vertical de los taludes especificados o de las superficies curvas de todas las En 3m
En 6m 12 mm
19 mm

Estructuras, incluyendo las líneas y superficies de paredes, secciones de arcos, medias cañas para juntas y aristas visibles. En 12m o más en construcciones enterradas Dos veces las tolerancias anotadas antes

c.1.

Variación en la sección transversal de losas, paredes y miembros similares.

En menos

En más 6 mm

12 mm

D) Zócalos y paredes laterales para compuertas e impermeables o similares.

1 variación en el nivel

o en la vertical No mayor que la relación de

3.2 mm en 3 metros.

Curado del hormigón

Esta labor tiene influencia decisiva sobre la resistencia de trabajo de la estructura, y será obligación del Contratante por medio de la fiscalización, vigilar el cumplimiento del Constructor.

El Constructor presentará por escrito o a través del libro de obra los métodos a adoptarse tendientes a proteger al hormigón colocado de daños, cambios bruscos de temperatura, secado, cargas fuertes, rayos directos del sol, choques y vibraciones mientras no haya fraguado completamente y producido la consistencia mínima para proseguir el trabajo.

Curado con agua

El agua de curado cumplirá con lo especificado para uso de agua en mezcla de hormigón. El curado se iniciará dentro de las 6 horas como mínimo y 12 horas como máximo después de colocarse la última capa de hormigón de una tongada.

Esta labor puede efectuarse cubriendo el hormigón con material que saturado, mantenga la humedad requerida para el curado.

El curado del hormigón con agua se mantendrá en forma continua por lo menos 7 días después de la fundición, o de lo contrario cuando se demuestre que el hormigón ha alcanzado el 65 % o más de la resistencia requerida.

En los componentes horizontales para no utilizar material saturado, emplearan bordillos provisionales que permitan conseguir que el elemento horizontal, permanezca anegado, cuidando de mantener el nivel de anegación.

En los componentes verticales el curado con agua se lo realizara mediante un roseado frecuente o por goteo en la parte alta del elemento, que permita permanecer húmedo.

En general el curado de hormigón a más del descrito puede usarse compuestos de curado basado en resinas, que no se permitirá el contacto con:

- Juntas de construcción
- Juntas de contracción
- Losas

Los pisos que estén sujetos a tráfico de personal o de cualquier uso durante el periodo de curado, se protegerán con una capa de material que contrarreste los daños en los elementos.

El costo que demanden las tareas de curado del hormigón, se entiende como componente del precio unitario del hormigón; y no tiene el constructor derecho a reclamar pagos adicionales.

MEDICION Y FORMA DE PAGO

Se realizará por metro cúbico colocado en obra de acuerdo con las dimensiones de diseño y tipo de hormigón utilizado, y para efectos de pago se considerarán los conceptos de trabajo:

“Hormigón Simple 140 Kg/cm ² ”,	en m ³
“Hormigón Simple 180 Kg/cm ² ”,	en m ³
“Hormigón Simple 210 Kg/cm ² ”,	en m ³
“Hormigón Ciclopeo 60% H.S 210kg/cm ² 40% piedra”,	en m ³

TUBERIA PVC 200 MM

DESCRIPCION

El objeto de un punto de desagüe es captar las aguas que se producen en los servicios sanitarios o aguas lluvias de exteriores, para su posterior evacuación. Está conformado por una tubería cuya boca debe estar ubicada en un sitio exacto para acoplarse a un aparato sanitario o sumidero; el material más adecuado es PVC para uso sanitario, E/C unión por cementado solvente.

CONTROL DE CALIDAD, REFERENCIAS NORMATIVAS, APROBACIONES

REQUERIMIENTOS PREVIOS

Como acciones previas a la ejecución de este rubro se observarán las siguientes indicaciones: Revisión general de planos con verificación de diámetros y tipo de material de tuberías; identificar exactamente cada uno de los artefactos sanitarios y otros servicios requeridos. Realizar planos y detalles complementarios, así como un plan de trabajo para aprobación de fiscalización. Ratificar o definir según el caso, el tipo de artefacto, marca y modelo a instalarse; revisar el catálogo del fabricante para ubicar correctamente en su sitio el punto de desagüe.

Disponer de una bodega cubierta para almacenar el material a cargo de una persona que mantenga un kárdex para control de entrada y salida de materiales; verificar las cantidades y calidades de los materiales a emplear. La tubería de PVC para uso sanitario cumplirá con las especificaciones de la norma NTE INEN.

1374: Tubería plástica. Tubería de PVC para usos sanitarios. Requisitos., y las determinadas en dicha norma. El constructor presentará los informes de cumplimiento de estas especificaciones, de muestras tomadas del material puesto en obra, o a su vez los certificados del fabricante. Fiscalización podrá solicitar la verificación de su cumplimiento, mediante pruebas y ensayos de laboratorio, que serán a costo del constructor. Notificar a fiscalización el inicio y condiciones de ejecución de los trabajos. Verificar los recorridos de tuberías a instalarse para evitar interferencias con otras instalaciones, procurando que éstas sean lo más cortas posibles; revisar si las tuberías cruzarán juntas de construcción o elementos estructurales para prever su paso. Marcar claramente los sitios que se requiere ubicar los puntos de desagüe, antes de la colocación de bloques de aliviamiento en losas; antes de la ejecución de mamposterías; antes de la colocación de mallas de refuerzo en contrapisos. La mampostería deberá tener un espesor mínimo de 150 mm. para abarcar tuberías de hasta 50 mm., y mampostería de 200 mm. de espesor para tubería de hasta 75 mm. de diámetro máximo. No se permitirá empotrar tuberías de desagüe en mamposterías de 100 mm. de espesor. Constatar la existencia de la herramienta apropiada para ejecutar el trabajo, así como el personal calificado. Apertura del libro de obra, en el que se registran todos los trabajos ejecutados, las modificaciones o complementaciones, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, las reparaciones y nuevas pruebas.

DURANTE LA EJECUCION

Control de ingreso de material: todas las tuberías serán en sus tamaños originales de fabricación, no se permitirá el ingreso de pedazos o retazos de tuberías. Las tuberías y accesorios ingresarán con la certificación del fabricante o proveedor, sobre el cumplimiento de las especificaciones técnicas. Verificación de los encofrados, pasos, mangas y demás elementos en los que se ubicarán los puntos y tuberías de desagüe: alineamientos, niveles y plomos. Verificar que los trabajos de mano de obra sean adecuados para PVC de uso sanitario. Escuadrado en cortes de tuberías, limado de rebabas, limpieza y pegado de tuberías, cuidado especial para proteger la tubería expuesta a maltrato. Instalar el menor número de uniones posible, utilizando tramos enteros de tubería; los cortes de tubería serán en ángulo recto y quedarán libres de toda rebaba; no se permitirá curvar los tubos, siempre se emplearán los accesorios adecuados. Para la conexión de tubería PVC uso sanitario se utilizará soldadura líquida de PVC previa una limpieza de los extremos a unirse con un solvente limpiador; el pegamento y el limpiador serán aprobados por la fiscalización. Toda tubería que se instale sobrepuesta a la vista será anclada fijamente y preferentemente a elementos estructurales, cuidando su alineación y buena presencia estética. Los elementos de fijación de las tuberías serán los establecidos en planos y a su falta los acordados por el constructor y la fiscalización. Las tuberías que se instalen empotradas en losas serán asegurarse para conservar su posición exacta y pendiente mínima recomendada.

POSTERIOR A LA EJECUCION

Antes de proceder a las fundiciones de hormigón o sellar las tuberías en mamposterías, serán sometidas a una prueba de estanquidad, de observarse

fugas de agua se hará la reparación correspondiente y se realizará una nueva prueba. La ubicación, los tramos probados, sus novedades y resultados se anotarán en el libro de obra. Ejecución de pruebas de humo y olor, para verificar el buen funcionamiento del sistema, o las indicadas por Fiscalización. Revisión y mantenimiento de las tuberías, su fijación y posición correcta tanto en alturas como en posición horizontal y profundidad de empotramiento; proceder a sellar las tuberías con el mortero utilizado para el enlucido en paredes. De requerirlo se colocarán mallas de refuerzo para impedir rajaduras posteriores en los sitios de fijación y relleno de las tuberías. Protección de las tuberías, para que no sean maltratadas o destruidas durante las fundiciones. Todas las bocas de desagüe serán selladas con tapón, hasta su utilización con la colocación de rejillas o los desagües de los aparatos sanitarios. Mantenimiento del sistema, hasta la entrega - recepción de la obra. Ejecución y entrega de los "Planos de ejecución" (As Built), planos en los que se determine la forma en que fue ejecutada toda la red de desagües, con los detalles para ubicación posterior.

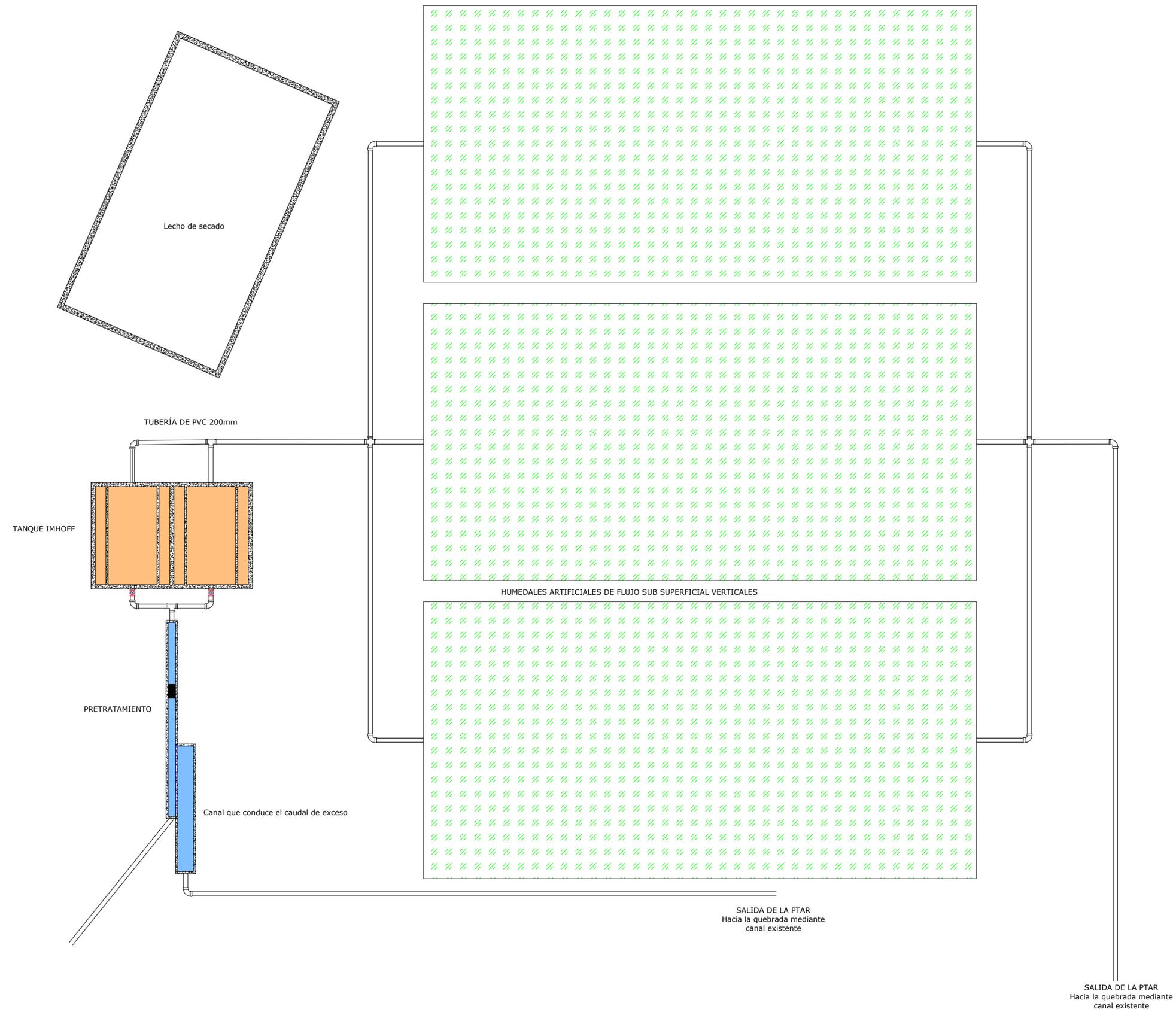
EJECUCION Y COMPLEMENTACIÓN

La instalación de tuberías horizontales en cada planta, debe considerar el replanteo previo, a fin de ubicar exactamente cada toma para desagüe en el sitio correcto, debiendo verificarse esta ubicación con la requerida por el aparato sanitario seleccionado para cada caso. Esta tubería se instalará con una pendiente recomendada del 2% y mínima del 1% en los sitios indicados; esta instalación puede ser con tubería vista por el cielo raso del piso inmediato inferior, o empotrada en la losa. Las uniones entre tuberías y accesorios deberán estar totalmente limpias antes de realizarlas. Se utilizarán limpiadores, pegamentos o sellantes líquidos garantizados para evitar fugas. Los empalmes entre tuberías de igual o diferente diámetro, se harán con accesorios que formen un ángulo de 45 grados en sentido del flujo. Fiscalización realizará la aprobación o rechazo de los puntos concluidos, verificando el cumplimiento de esta especificación, los resultados de pruebas de los materiales y de presión de agua y de la ejecución total del trabajo.

MEDICION Y PAGO

La medición y pago se hará por "Punto" de desagüe en PVC, con indicación del diámetro de tubería al que corresponde la boca del desagüe, verificado en obra y con planos del proyecto. El punto incluye todo el material y trabajo ejecutado, hasta el bajante al que se conecta o hasta la caja de revisión a la que descarga.

MAPA DE UBICACIÓN



espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Análisis de alternativas para la repotenciación o
sustitución de la Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales de la Parroquia General Morales,
Cantón Cañar, Provincia Cañar.

DIBUJO: ING. DIEGO AVILA AVILA

REVISIÓN: ING. DIEGO AVILA AVILA

Responsable:

Ing. Diego Patricio Avila Avila

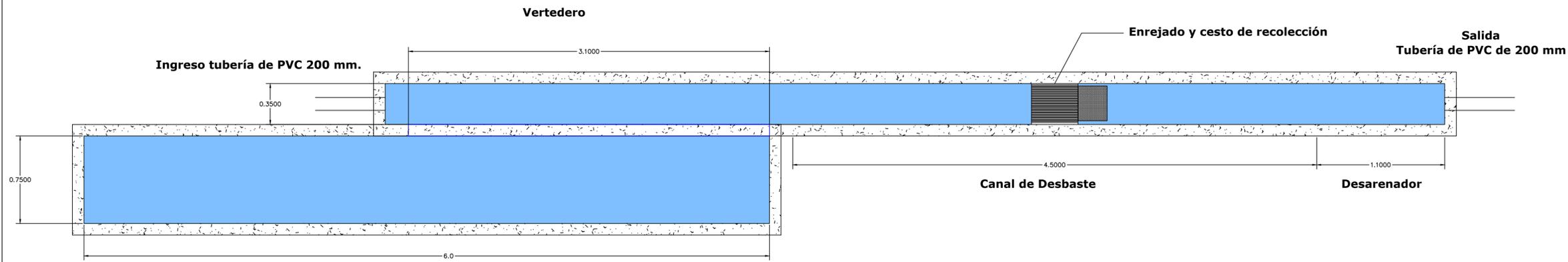
FECHA:
MARZO 2024

ESCALAS:
1:100

CONTIENE:
EMPLAZAMIENTO DE LA PTAR

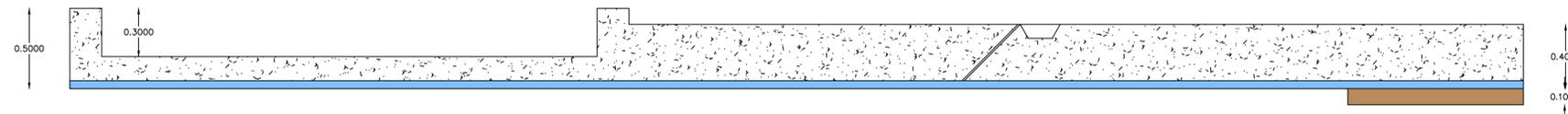
1/3

MAPA DE UBICACIÓN

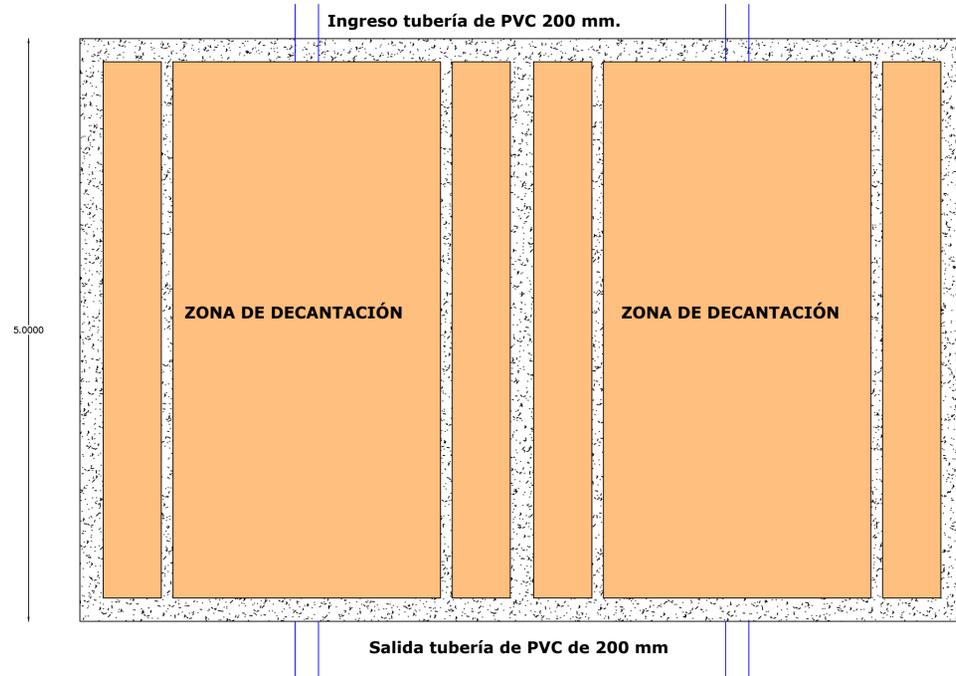
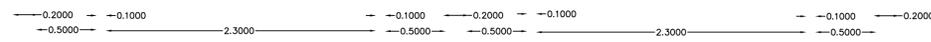


PRE-TRATAMIENTO
VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1:20

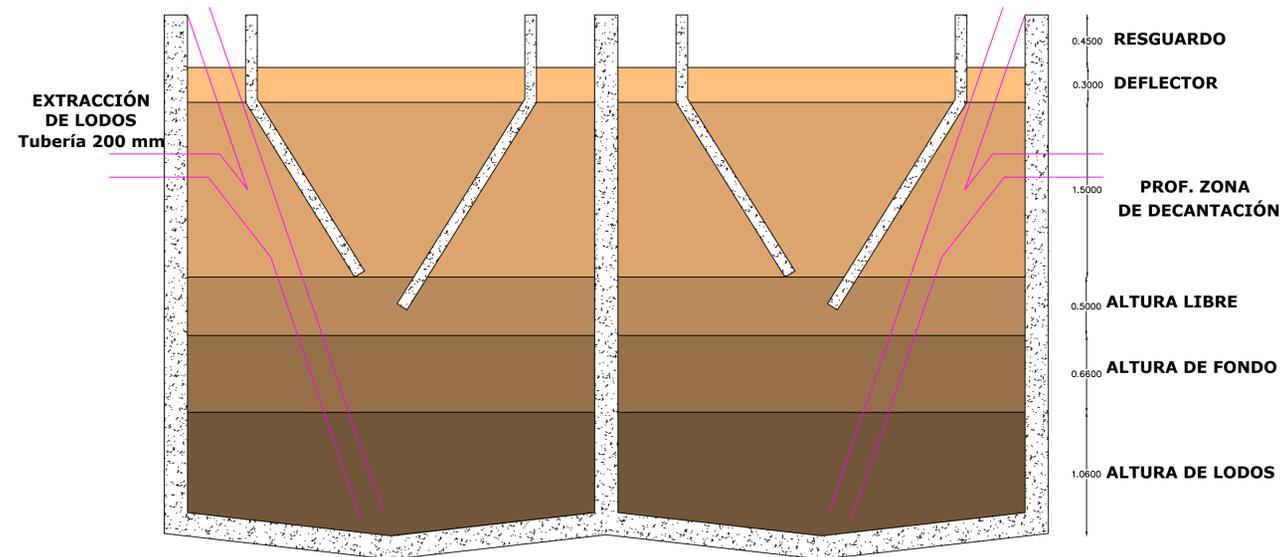
Canal que conduce el caudal de exceso.



PRE-TRATAMIENTO
CORTE LONGITUDINAL
ESCALA: 1:20



TRATAMIENTO PRIMARIO
VISTA EN PLANTA TANQUE IMHOFF
ESCALA: 1:30



TRATAMIENTO PRIMARIO
CORTE TANQUE IMHOFF
ESCALA: 1:30

espol Escuela Superior Politécnica del Litoral

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Análisis de alternativas para la repotenciación o sustitución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia General Morales, Cantón Cañar, Provincia Cañar.

DIBUJO: ING. DIEGO AVILA AVILA

REVISIÓN: ING. DIEGO AVILA AVILA

Responsable:

Ing. Diego Patricio Avila Avila

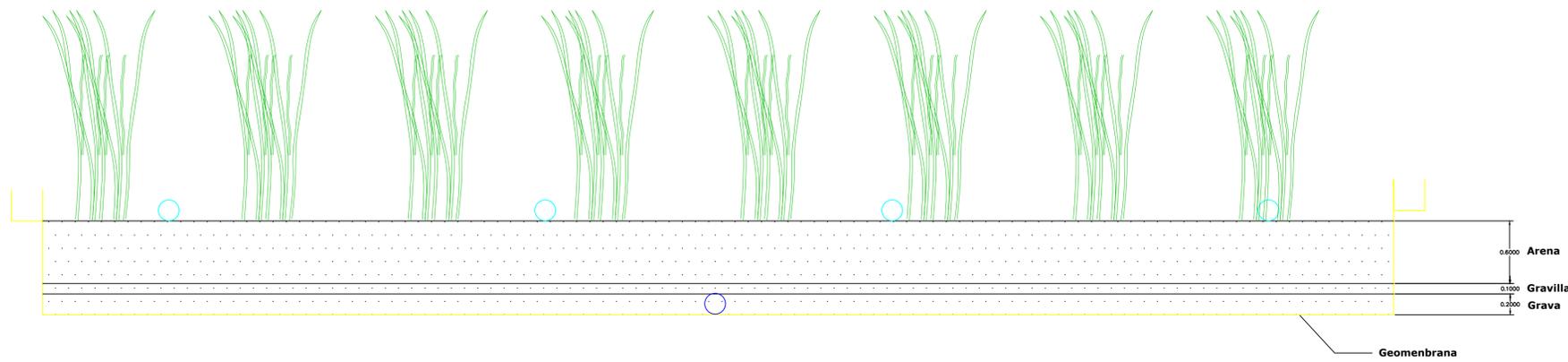
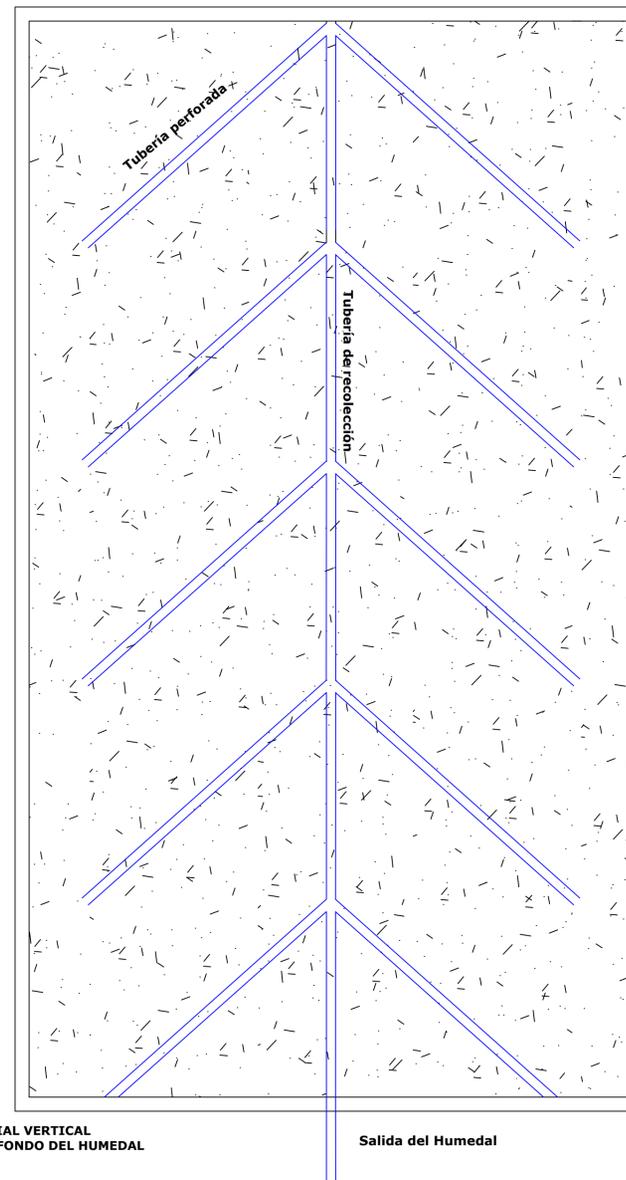
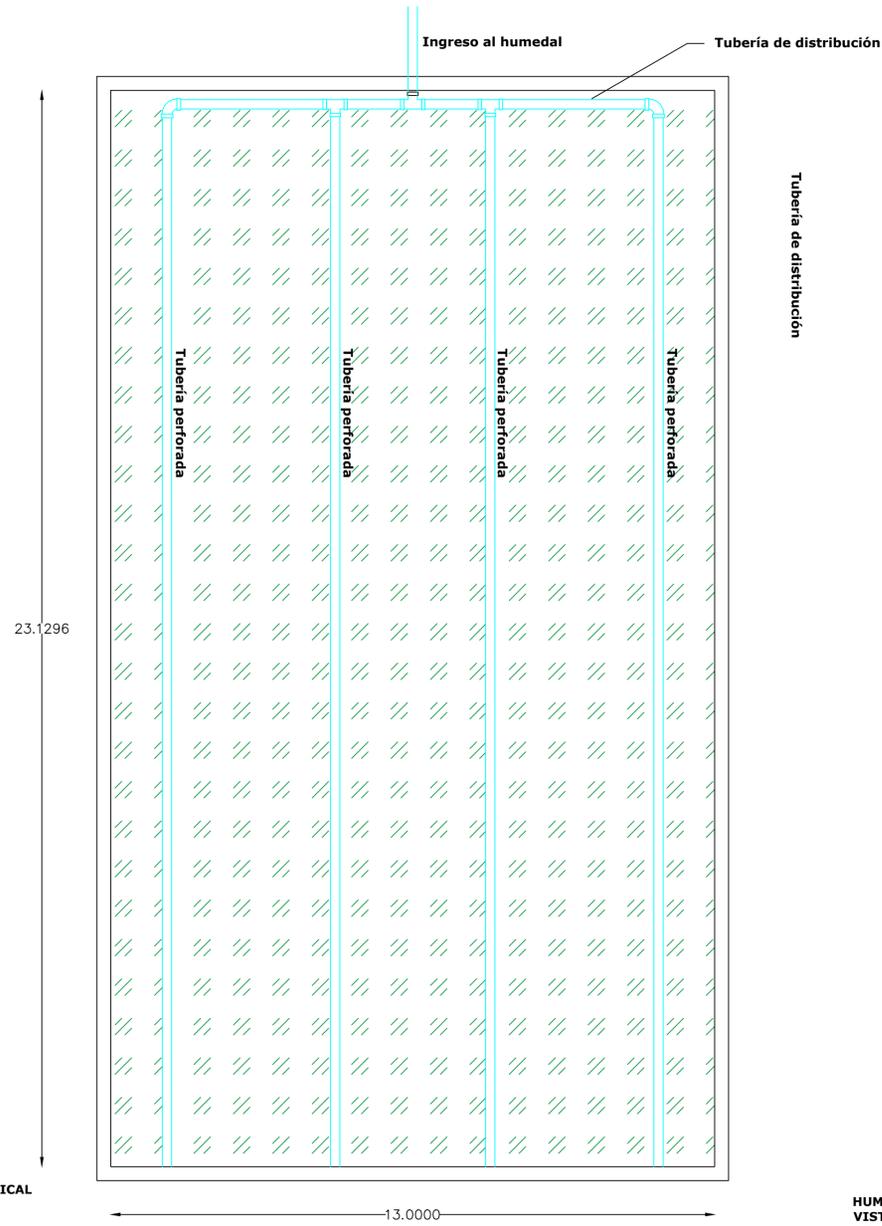
FECHA:
MARZO 2024

ESCALAS:
Las indicadas

CONTIENE:
PRETRATAMIENTO
TRATAMIENTO PRIMARIO

2/3

MAPA DE UBICACIÓN



espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Análisis de alternativas para la repotenciación o sustitución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia General Morales, Cantón Cañar, Provincia Cañar.

DIBUJO: ING. DIEGO AVILA AVILA

REVISIÓN: ING. DIEGO AVILA AVILA

Responsable:

Ing. Diego Patricio Avila Avila

FECHA:
MARZO 2024

ESCALAS:
Las
indicadas

CONTIENE:
HUMEDAD ARTIFICIAL VERTICAL

3/3

ANEXO 4

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PRELIMINARES				30308.10
Replanteo y nivelación	m2	2600.00	2.50	6500.00
Limpieza y desbroce	m2	500.00	2.00	1000.00
Cerramiento perimetral con mampostería de piedra y malla H=2.00m, poste de HG D:2" y 1 1/2"	m	210.00	108.61	22808.10
CANAL DE ENTRADA Y DESBASTE				186.54
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	2.00	2.77	5.54
Adecuación del fondo de la zanja	m2	1.50	7.00	10.50
Encofrado recto	m2	5.00	16.50	82.50
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	0.60	130.00	78.00
Reja canal de cribado	u	1.00	10.00	10.00
DESARENADOR				47.58
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	0.10	2.77	0.28
Adecuación del fondo de la zanja	m2	0.50	7.00	3.50
Encofrado recto	m2	1.00	16.50	16.50
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	0.21	130.00	27.30
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL				65852.50
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	1200.00	2.77	3324.00
Desalojo de material con volqueta	m3	1600.00	4.75	7600.00
Relleno y compactación con material mejoramiento	m3	1400.00	13.00	18200.00
Sum. Ins. Tubería de PVC, con perforaciones de 1 cm /5 cm D=160mm	m	250.00	26.83	6707.50
Sum. Ins. Tubería de PVC, Corrugada D=200mm	m	200.00	16.24	3248.00
Geotextil	m2	1600.00	2.53	4048.00
Implementación de vegetación	u	1100.00	0.25	275.00
Arena fina	m3	600.00	22.00	13200.00
Gravilla	m3	150.00	25.00	3750.00
Grava	m3	220.00	25.00	5500.00
TANQUE IMHOFF				3298.50
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	50	2.77	138.50
Adecuación del fondo de la zanja	m2	30	7.00	210.00
Encofrado recto	m2	100	16.50	1650.00
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	10	130.00	1300.00
Total sin IVA				99693.22

ANEXO 4

CRONOGRAMA VALORADO DE TRABAJOS						
Nota: En la fila 4, bajo el campo "TIEMPO EN" deberá detallar si son semanas o meses						
				TIEMPO EN		
				MESES		
RUBRO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	1	2	3
Replanteo y nivelación	2600.00	2.50	6500.00	3250.00	3250.00	0.00
Limpieza y desbroce	500.00	2.00	1000.00	1000.00	0.00	0.00
Cerramiento perimetral con mampostería de piedra y malla H=2.00m, poste d	210.00	108.61	22808.10	11404.05	11404.05	0.00
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	2.00	2.77	5.54	5.54	0.00	0.00
Adecuación del fondo de la zanja	1.50	7.00	10.50	10.50	0.00	0.00
Encofrado recto	5.00	16.50	82.50	82.50	0.00	0.00
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	0.60	130.00	78.00	78.00	0.00	0.00
Reja canal de cribado	1.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	0.10	2.77	0.28	0.28	0.00	0.00
Adecuación del fondo de la zanja	0.50	7.00	3.50	3.50	0.00	0.00
Encofrado recto	1.00	16.50	16.50	16.50	0.00	0.00
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	0.21	130.00	27.30	27.30	0.00	0.00
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	1200.00	2.77	3324.00	1662.00	1662.00	0.00
Desalojo de material con volqueta	1600.00	4.75	7600.00	2533.33	2533.33	2533.33
Relleno y compactación con material mejoramiento	1400.00	13.00	18200.00	9100.00	9100.00	0.00
Sum. Ins. Tubería de PVC, con perforaciones de 1 cm /5 cm D=160mm	250.00	26.83	6707.50	0.00	0.00	6707.50
Sum. Ins. Tubería de PVC, Corrugada D=200mm	200.00	16.24	3248.00	0.00	3248.00	0.00
Geotextil	1600.00	2.53	4048.00	0.00	4048.00	0.00
Implementación de vegetación	1100.00	0.25	275.00	0.00	0.00	275.00
Arena fina	600.00	22.00	13200.00	0.00	0.00	13200.00
Gravilla	150.00	25.00	3750.00	0.00	0.00	3750.00
Grava	220.00	25.00	5500.00	0.00	2750.00	2750.00
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	50	2.77	138.50	138.50	0.00	0.00
Adecuación del fondo de la zanja	30	7.00	210.00	210.00	0.00	0.00
Encofrado recto	100	16.50	1650.00	825.00	825.00	0.00
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	10	130.00	1300.00	650.00	650.00	0.00
INVERSIÓN MENSUAL				31007.00	39470.38	29215.83
AVANCE PARCIAL EN %				31.10	39.59	29.31
INVERSIÓN ACUMULADA				31007.00033	70477.38367	99693.217
AVANCE ACUMULADO EN %				31.10	70.69	100.00