



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO, PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

AUTOR: Klever Leonardo Barros Manotoa

TUTOR: Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos

AMBATO – ECUADOR

Marzo – 2023

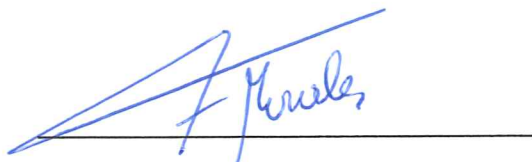
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención de Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Klever Leonardo Barros Manotoa, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1850127596, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Klever Leonardo Barros Manotoa, con C.I. 1850127596 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Klever Leonardo Barros Manotoa

C.I. 1850127596

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



Klever Leonardo Barros Manotoa

C.I. 1850127596

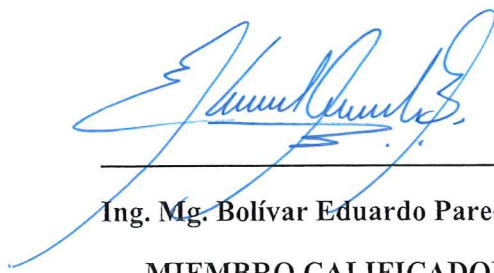
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

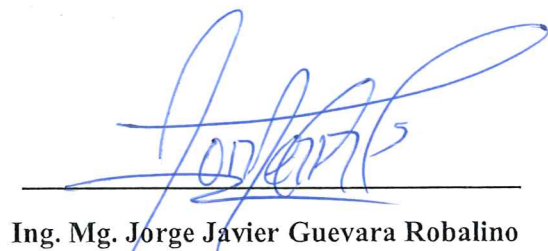
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Klever Leonardo Barros Manotoa, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el Tema: “EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo a mi madre María Francisca (+) y a mi tía Celinda Clemencia quienes, con paciencia, amor y mucho sacrificio me han apoyado incondicionalmente en mi formación académica y quienes me han enseñado la importancia de superarme y alcanzar mis objetivos a través de la disciplina, indudablemente sin sus enseñanzas no habría podido llegar a donde estoy ahora.

A mi prima Mónica Patricia quien ha sido mi ejemplo de perseverancia y mi mayor símbolo de admiración y quien me ha impulsado seguir adelante. A mi padre Segundo Eloy que ha sabido compartir su sabiduría conmigo y me ha apoyado para cumplir mis objetivos. A mi familia quienes me han dado consejos en momentos difíciles y con quienes he compartido gratos momentos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, María Francisca (+) y Segundo Eloy, a mi tía Celinda Clemencia y a mi prima Mónica Patricia, quienes durante toda esta etapa me han brindado su apoyo y me han motivado a cumplir mis objetivos.

A la secretaria de Educación Superior, Ciencia, tecnología e Innovación (SENESCYT) institución que mediante el programa de becas nacionales “Eloy Alfaro para estudios de grado 2017” – componente “Beneficiarios del Bono de Desarrollo Humano BDH y Pensiones Asistenciales” me han brindado un apoyo financiero que ha sido fundamental para lograr mis objetivos académicos y poder llegar a este punto. Agradezco a la SENESCYT por su compromiso con la educación superior en Ecuador y por su valioso apoyo a estudiantes como yo.

A mi tutor de tesis Ing. Fabián Morales por ser una guía en este proyecto de investigación. A mis amigos y compañeros de Facultad con quienes he compartido gratos momentos y quienes me han ayudado en situaciones complicadas. Y a todos los docentes de esta prestigiosa facultad quienes compartieron sus conocimientos y experiencias durante mi etapa como estudiante.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
DERECHOS DE AUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	7
1.2.1 Objetivo General	7
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.3. Hipótesis	8
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	9
2.1. Materiales	9
2.2. Métodos	10
2.2.1 Etapa I Levantamiento de información de la PTAR	10
2.2.2 Etapa II Investigación de campo	11
2.2.3 Etapa III Investigación de laboratorio.....	13
2.2.4 Etapa IV Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR	17
2.2.5 Etapa V Verificación y mejoramiento de la PTAR.....	17
CAPÍTULO III	18
3.1. Análisis y discusión de resultados	18
3.1.1 Levantamiento de información de la PTAR.....	18
3.1.2 Medición de Caudales	21
3.1.3 Análisis de resultados de laboratorio	29
3.1.4 Procesos unitarios de la PTAR y su dimensionamiento.....	33

3.1.5	Diagnóstico técnico de los procesos unitarios de la PTAR.....	44
3.1.1	Verificación de la hipótesis	63
3.1.2	Sugerencias para mejorar el funcionamiento de la PTAR	65
3.1.3	Presupuesto referencial del Plan de Operación y Mantenimiento	72
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
3.2.	Conclusiones	73
3.3.	Recomendaciones	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		76
ANEXOS		81
	ANEXO 1: RESULTADOS DE LABORATORIO.....	81
	ANEXO 2: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	84
	ANEXO 3: PLANOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales empleados.....	9
Tabla 2. Materiales de seguridad.....	10
Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	15
Tabla 4. Parámetros analizados en la muestra de agua residual.....	16
Tabla 5. Caudal de ingreso medido durante la semana 1.....	23
Tabla 6. Caudal de ingreso medido durante la semana 2.....	23
Tabla 7. Caudal de ingreso medido durante la semana 3.....	23
Tabla 8. Caudal de ingreso medido durante la semana 3.....	24
Tabla 9. Caudal promedio de ingreso a la PTAR.....	24
Tabla 10. Estadística descriptiva de los caudales de ingreso.....	25
Tabla 11. Caudal de salida medido durante la semana 1.....	26
Tabla 12. Caudal de salida medido durante la semana 2.....	26
Tabla 13. Caudal de salida medido durante la semana 3.....	26
Tabla 14. Caudal de salida medido durante la semana 4.....	27
Tabla 15. Caudal medio de salida de la PTAR.....	27
Tabla 16. Estadística descriptiva de los caudales de salida.....	28
Tabla 17. Resultados del análisis del agua residual de la PTAR Andahuayo.....	30
Tabla 18. Porcentaje de eficiencia de remoción de los parámetros físico - químicos analizados.....	31
Tabla 19. Dimensiones de cajón colector y el desarenador.....	34
Tabla 20. Dimensiones de la rejilla.....	36
Tabla 21. Dimensiones reactor UASB.....	37
Tabla 22. Dimensiones del filtro biológico.....	40
Tabla 23. Dimensiones del Lecho de Secado de Lodos.....	42
Tabla 24. Tamaño de apertura de rejas y rejillas.....	44
Tabla 25. Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica.....	45
Tabla 26. Datos para el diagnóstico del desarenador.....	46
Tabla 27. Coeficiente "a" en función del diámetro de la partícula.....	50
Tabla 28. Dimensiones reales del desarenador y dimensiones teóricas calculadas.....	52
Tabla 29. Datos para el cálculo del TRH del reactor UASB.....	53

Tabla 30. Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un reactor UASB...	53
Tabla 31. Datos para el cálculo de la altura del reactor UASB.....	54
Tabla 32. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente.	55
Tabla 33. Comparación de los parámetros reales de la PTAR Andahualo con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.	58
Tabla 34. Datos utilizados para el diagnóstico del lecho de lodos.....	59
Tabla 35. Tiempo requerido para la digestión de lodos.....	60
Tabla 36. Resumen del funcionamiento actual de la PTAR Andahualo San Isidro..	63
Tabla 37. Mantenimiento de la rejilla de cribado.....	66
Tabla 38. Mantenimiento del desarenador.	67
Tabla 39. Mantenimiento del Reactor UASB.	68
Tabla 40. Mantenimiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	69
Tabla 41. Mantenimiento del lecho de secado de lodos.....	70
Tabla 42. Monitoreo del agua residual tratada.....	71
Tabla 43. Presupuesto referencial del plan de operación y mantenimiento de la PTAR "Andahualo".....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entrevista realizada a los beneficiarios de la PTAR Andahualo.	11
Figura 2. Medición de los componentes unitarios de la PTAR.	12
Figura 3. Medición del caudal de ingreso de la PTAR de Andahualo.....	13
Figura 4. Medición del caudal de salida de la PTAR de Andahualo.	13
Figura 5. Recolección de muestras del afluente de la PTAR.....	14
Figura 6. Recolección de muestras del efluente de la PTAR.....	14
Figura 7. Ubicación del proyecto.....	18
Figura 8. Cultivos que se dan en la zona.....	19
Figura 9. Comunidad Andahualo San Isidro.....	19
Figura 10. Componentes de la PTAR Andahualo.....	21
Figura 11. Medición del caudal de entrada.	22
Figura 12. Medición del caudal de salida de la PTAR Andahualo.	29
Figura 13. Conservación de muestras hasta el transporte al laboratorio.....	30
Figura 14. Porcentajes de remoción de la PTAR en general.	32
Figura 15. Esquema del tren de tratamiento de la PTAR de Andahualo.	33
Figura 16. Vista en planta del cajón recolector y el desarenador.	35
Figura 17. Vista en perfil del cajón recolector y desarenador.	35
Figura 18. Cajón recolector y desarenador.	36
Figura 19. Representación gráfica de la rejilla de cribado.....	36
Figura 20. Rejilla de la PTAR "Andahualo".....	37
Figura 21. Vista en planta del Reactor UASB.	38
Figura 22. Vista en perfil B-B del reactor UASB.....	38
Figura 23. Vista del corte C-C del reactor UASB.	39
Figura 24. Reactor UASB.	39
Figura 25. Vista en planta filtro biológico.....	40
Figura 26. Vista en perfil del filtro biológico.	41
Figura 27. Filtros biológicos PTAR de Andahualo.	41
Figura 28. Vista en planta del Lecho Secado de Lodos.....	42
Figura 29. Vista en perfil del lecho secado de lodos.	43
Figura 30. Lecho de secado de lodos.	43
Figura 31. Valores de sedimentación.....	48

RESUMEN

Un inadecuado funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la comunidad de Andahualo, del cantón Píllaro, ocasiona que el medio en donde se vierta el agua tratada se contamine poniendo en riesgo la salud pública y afectando además a la flora y fauna del sector, es por esta razón que en el presente trabajo experimental se evaluó el funcionamiento de la instalación, para determinar si la PTAR depura el agua residual en óptimas condiciones.

Mediante la investigación documental se verificó el estado actual de la PTAR y a través de un trabajo de campo se midió el caudal de entrada y salida durante un mes, adicionalmente se tomó las muestras del agua residual del afluente y efluente y se envió a un laboratorio calificado para el análisis de los parámetros físico - químicos de dichas muestras, los resultados obtenidos se compararon con la norma TULSMA 2015.

Además, se realizó un diagnóstico técnico de cada etapa de tratamiento de la planta que incluye; rejilla de cribado, desarenador, reactor UASB, filtros biológicos de flujo ascendente y secado de lodos, lo que permitió verificar que la planta de tratamiento se encuentra en óptimas condiciones para tratar las aguas residuales del sector. Por último, se propuso recomendaciones que permitirán a la planta mejorar su funcionamiento.

Palabras clave: Planta de tratamiento, aguas residuales, TULSMA, DBO, DQO.

ABSTRACT

An inadequate operation of the Wastewater Treatment Plant (PTAR) of the Andahualo community, in the Píllaro canton, causes the environment where the treated water is discharged to become contaminated, putting public health at risk and affecting the flora and fauna. fauna of the sector, it is for this reason that in the present experimental work the operation of the installation was evaluated, to determine if the WWTP purifies the residual water in optimal conditions.

Through documentary research, the current status of the WWTP was verified and through field work, the inlet and outlet flow were measured for a month, additionally, samples of residual water from the influent and effluent were taken and sent to a qualified laboratory. For the analysis of the physical-chemical parameters of said samples, the results obtained were compared with the TULSMA 2015 standard.

In addition, a technical diagnosis of each stage of treatment of the plant was made, which includes screening grid, sand remover, UASB reactor, upflow biological filters and sludge drying, which made it possible to verify that the treatment plant is in optimal conditions to treat wastewater from the sector. Finally, recommendations were proposed that will allow the plant to improve its operation.

Keywords: Treatment plant, wastewater, TULSMA, BOD, COD.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

El vertido de aguas residuales e industriales sin tratar o con un tratamiento inadecuado representa un grave problema de contaminación de las fuentes de agua superficial y por lo tanto influye en la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo agrícola, doméstico o industrial, es por esta razón que dicha problemática demanda una atención urgente, para que se evite poner en mayor riesgo la salud humana y los ecosistemas debido al deterioro de la calidad del agua. Una mejor gestión de las aguas residuales contribuye a que las tendencias actuales de contaminación disminuyan.

Las Naciones Unidas estima que en los países desarrollados el 70% de las aguas residuales e industriales que generan son tratadas antes de enviar a un cuerpo de agua, mientras que, en los países en vías de desarrollo el promedio de aguas residuales tratadas se encuentran entre el 38% y 28%, por último en los países de ingresos bajos la mayor parte de aguas residuales (92%) no reciben ningún tipo de tratamiento [1].

Si bien en los últimos años se ha evidenciado una mejora y aumento del acceso a sistemas de saneamiento a nivel mundial todavía sigue existiendo una inadecuada gestión de las aguas residuales. Una infraestructura de saneamiento mejorada no siempre significa una adecuada gestión de aguas residuales, a nivel mundial en el 2015, solo el 26% en las áreas urbanas y el 34% en rurales de los sistemas de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, son manejados de tal forma que evitan eficazmente el contacto humano con las heces a lo largo del sistema de saneamiento [2], [3].

En países como los Estados árabes un adecuado tratamiento de las aguas residuales e industriales se traduce en una fuente adicional de agua para determinadas actividades de la población, este proceso forma parte un plan de gestión de recurso hídricos en la región que en 2013 permitió que el 21% del total de aguas residuales tratadas en estos estados fueran reutilizadas en actividades agrícolas como el riego o en la recarga de acuíferos [4].

Debido a la importancia que tienen las aguas residuales tratadas en los Estados Árabes los estudios referentes al tema se realizan constantemente, es así que, en una investigación se evaluó el riesgo para la salud humana de los productos farmacéuticos en aguas residuales tratadas que son reutilizadas para aplicaciones no potables en Sharjah, Emiratos Árabes y se determinó que la exposición de los habitantes del sector a los productos farmacéuticos encontrados en los efluentes de aguas residuales de la PTAR de Sharjah es segura y por tanto, no representan ningún riesgo para la salud [5].

En China, en un estudio se realizaron análisis integrales basados en datos estadísticos recopilados de 3340 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para comprender mejor los efectos de la calidad de las aguas residuales afluentes y efluentes en el rendimiento del tratamiento, las preocupaciones ambientales y la utilización de recursos. En este estudio, los parámetros de calidad del agua indicaron que los afluentes de aguas residuales en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales municipales en China se encontraban dentro de los rangos adecuados para los procesos de tratamiento biológico posteriores [6].

En la India, se realizó un estudio sobre la Evaluación del Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chennai, que opera con un método de tratamiento biológico (proceso de lodos activados), para lo cual se recolectaron muestras de aguas residuales en diferentes etapas de las unidades de tratamiento, los resultados obtenidos mostraron que la eficiencia de eliminación del DBO fue del 94,56 % y la de SST del 93,72 % y que las unidades individuales de la planta funcionan bien puesto que sus eficiencias de remoción son satisfactorias [7].

Los resultados de la evaluación de la eliminación de la toxicidad de las aguas residuales municipales durante el tratamiento biológico con lodos activados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Thessaloniki, Grecia, mostraron una correcta eliminación de sustancias tóxicas durante la clarificación primaria y secundaria, correlaciones positivas significativas entre los valores de porcentaje de inhibición y los parámetros de las aguas residuales (DBO, DQO, SS) y correlaciones negativas más débiles en el efluente del tanque de sedimentación secundario [8].

En Estados Unidos cada vez se está haciendo un mayor énfasis en la reutilización y el reciclaje del agua [9], por ello diversas investigaciones se han enfocado en evaluar efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, en una investigación el análisis de 90 muestras tomadas del efluente de 17 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales diferentes en los EE. UU. se encontró que las instalaciones representan una vía para que los microplásticos ingresen al medio ambiente acuático, puesto que, las PTAR están liberando más de 4 millones de micropartículas por instalación por día [10].

En América Latina y el Caribe, en las áreas urbanas la cobertura del saneamiento comprende al 88%, mientras que en las áreas rurales estos valores disminuyen al 64% [11]. En el caso de México, es visible un aumento de la cobertura de los sistemas de saneamiento como el alcantarillado (90.3%) y agua potable (40.2%) en los últimos años [12]. El porcentaje de tratamiento de aguas residuales generadas en Latinoamérica es de aproximadamente un 20%, esto es significativamente menor a la gestión de aguas residuales urbanas que se realizan en otras partes del mundo, como en Europa en donde se trata un 71% de dichas aguas antes de que se vierta a un cuerpo hídrico [4]. Sin embargo, este promedio varía según el país en el que se analice, por ejemplo, en México se trata un 48%, un 35% en Brasil y Uruguay, mientras que, en Centroamérica solo se trata un 5%, un caso excepcional de la región es el de Chile que cuenta con un 100% de tratamiento. La región apunta eliminar esta brecha existente imitando el caso de Chile, para mejorar la gestión de las aguas residuales en todos los países latinoamericanos para entre otras metas mantener la calidad del agua de los cuerpos hídricos y mejorar la calidad de vida de los habitantes [13], [14].

La evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias realizada en Costa Rica, mostró que el tren de tratamiento de la PTAR, cumplió con los límites de DBO y DQO del reglamento de vertido y reúso de aguas residuales del país, mientras que para el parámetro SST se notó un incumplimiento del 25% del tiempo, debido al arrastre de lodos ocasionado por un inadecuado funcionamiento del sedimentador secundario por lo que se recomendó mejorar dicho sedimentador [15].

En Brasil en una investigación se realizó el diagnóstico del desempeño de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sao Jao de Iracema en la remoción de materia orgánica, sólidos y organismos fecales, para lo cual se midió el oxígeno disuelto, pH, temperatura, DBO, DBO filtrada, DQO, sólidos y coliformes del afluente y efluente de la planta de tratamiento, los resultados obtenidos mostraron una acumulación de lodos del 1.3 al 6.5% del volumen de las lagunas anaerobias, además que la remoción de DBO fue del 73.6% (porcentaje inferior al recomendado por la normativa brasilera) y por último que la cantidad de coliformes fecales en el efluente final supera el límite máximo por la normativa, es por ello que la investigación recomendó implementar un sistema de post-tratamiento para que los parámetros incumplidos se ajusten a la normativa ambiental del país [16].

En Ecuador para el año 2015, se notó una mejora en la cobertura de instalaciones de saneamiento, puesto que, se cubrió un 85% del total requerido [11]. La Secretaría del Agua (SENAGUA) estima que, en el 2016 la población que cuenta con alcantarillado en el área urbana es de un 78,4% y en el área rural un 72.6% [17]. Respecto al tratamiento de aguas residuales, en el 2015, los GAD Municipales trataron aproximadamente un 62% de las aguas servidas, siendo la Sierra la región con el mayor número de PTAR con cerca del 50% del total existente en el país [18].

Dentro del país se han realizado varios trabajos de investigación sobre la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales, así, por ejemplo la evaluación de la PTAR de la ciudad de Babahoyo, concluyó que la instalación tiene una eficiencia aceptable basándose en los límites de descarga permitidos por la norma TULSMA aunque los reactores UASB no operaban eficientemente, sin embargo, en la parte física de la planta la estructura metálica presenta corrosión y la estructura de hormigón una capa negra de moho, por esta razón, en la investigación recomendó realizar un mantenimiento adecuado preventivo de la PTAR [19].

Por otro lado, en el cantón Daule, en la evaluación de la PTAR de la Ciudadela Cosmos, se concluyó que la instalación se encontraba en mal estado puesto que los aireadores se encontraban dañados, el digestor de lodos estaba vacío y no existía lodos

biológicos en las áreas destinadas al secado. Un hecho llamativo que se evidenció en la investigación es que el agua tratada es usada para riego de la jardinería en la urbanización y aunque esta agua cumplió con los límites de la norma TULSMA la investigación recomendó hacer más pruebas de laboratorio para que se certifique que el agua es apta para el riego [20].

En la región Amazónica, en la provincia de Napo también se realizó una evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la parroquia del Tena, los resultados de esta investigación mostraron que la PTAR de Palandacocha descargaba al río Pano el agua tratada sobrepasando 43.52 veces el límite máximo de descarga a un cuerpo de agua dulce permitido por la norma TULSMA, al igual que la PTAR de Terere que sobrepasaba en 3.59 veces los límites de coliformes fecales permitidos por la normativa ecuatoriana, por ello se recomendó que se realicen continuamente monitoreos físicos – químicos, microbiológicos y bióticos para tener datos actualizados de la calidad del agua y que se tomen acciones inmediatas en caso de incumplimiento con la normativa [21].

A la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Estatal Amazónica se le realizó una evaluación sobre su funcionamiento y los resultados mostraron que a excepción de coliformes fecales los demás parámetros cumplen con los límites permitidos de descarga establecidos en la normativa ambiental, por lo que en el trabajo investigativo se recomienda entre otros aspectos poner en funcionamiento la línea del lodos, para que se permitan recoger los mismos del filtro biológico [22].

En Quito la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Pintag mostró que el sistema de tratamiento cuenta con un inadecuado proceso de cribado debido al espaciamiento entre las barras de la rejilla, porque lo que los procesos de sedimentación y degradación de materia orgánica son ineficientes, así mismo, con un 88% de DBO₅ y 90% del DQO se concluyó que la instalación se encuentra por debajo de la eficiencia teórica, por estas razones se recomendó realizar un rediseño de la rejilla de cribado y realizar una estabilización química de lodos primario y secundarios [23].

Al evaluar plantas de tratamiento de aguas residuales se puede encontrar con problemas de funcionamiento muy graves como se menciona en algunos de los estudios citados anteriormente o leves como es el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de las comunidades de Soldados y Chiribugos en Cuenca, donde los principales problemas encontrados fueron que la PTAR no disponía de acceso vehicular ni peatonal, que la fosa séptica no contaba con una tapa de revisión y que el pozo final de la estructura de descarga no se encontraba en óptimas condiciones [24].

En Tungurahua también se han encontrado problemas en el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En el caso de la PTAR de Poatug, en Patate después del análisis de la calidad del agua tratada se encontró una ineficiente remoción de contaminantes con porcentajes de remoción de alrededor del 27% y 43% [25]. De igual forma, después del análisis físico químico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag en Quero, se evidenció que los aceites y grasas descargados al efluente no cumplen con los límites permitidos por la norma ambiental correspondiente, por lo que su funcionamiento tampoco es óptimo [26].

En el caso de la PTAR de Quisapincha en el cantón Ambato, el análisis físico-químico del agua residual tratada indicó que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa ecuatoriana ambiental, TULSMA, además que los porcentajes de remoción de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales son elevados [27].

El desarrollo de sistemas de saneamiento disminuyen la cantidad de contaminantes de las aguas negras y son indispensables para mantener un bienestar en la salud pública [28], por lo tanto la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad de Andahualo que cuenta con una población de no más de 1000 habitantes, es una infraestructura muy decisiva en el bienestar de salud de los habitantes del sector, por lo que el vertido del agua tratada debe respetar la Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de Ecuador (TULSMA) para que se minimicen los impactos ambientales que puede ocasionar la instalación, es por esta razón que resulta fundamental una evaluación técnica del funcionamiento de la PTAR.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad del sector Andahualo de la parroquia San Andrés perteneciente al cantón Santiago de Píllaro, de la provincia de Tungurahua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información respecto al funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector de Andahualo para el dimensionamiento de las unidades existentes.
- Analizar el afluente y efluente de la planta de tratamiento en cuestión.
- Examinar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en base a la norma actual TULSMA 2015.
- Proponer un mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el caso de ser necesario, según el análisis realizado con sus respectivos planos.

1.3. Hipótesis

¿Es la evaluación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad Andahualo, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua la que determina si en su estado actual trabaja correctamente?

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Durante el desarrollo del trabajo de investigación se necesitó de insumos para la medición de caudales y recolección de muestras de agua residual del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, estos materiales se detallan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales empleados.

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Balde de 4 lt	1.00	Unidad
Probeta plástica 500 ml	1.00	Unidad
GPS	1.00	Unidad
Flexómetro	1.00	Unidad
Cinta métrica	1.00	Unidad
Cronómetro	1.00	Unidad
Cuaderno	1.00	Unidad
Cámara	1.00	Unidad
Frasco ámbar	4.00	Unidad
Impresora	1.00	Unidad
Hojas de papel bond	1.00	Resma

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

En la Tabla 2 se detallan los materiales de seguridad que se utilizaron durante la etapa de investigación en la PTAR para proteger al usuario de posibles accidentes y evitar efectos adversos en la salud que se podrían producir por la exposición a las aguas residuales que circulan a través de la instalación.

Tabla 2. Materiales de seguridad.

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Guantes de látex	2.00	Par
Mandil	1.00	Unidad
Mascarilla	14.00	Unidad
Botas de seguridad	1.00	Par

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

2.2. Métodos

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo en el cantón Píllaro, se realizó mediante cuatro etapas en donde se menciona la metodología utilizada para que se cumplan con cada uno los objetivos planteados, estas etapas se detallan a continuación:

2.2.1 Etapa I Levantamiento de información de la PTAR

En esta primera etapa la metodología utilizada fue de tipo documental, puesto que, el primer paso de la investigación fue obtener toda la información bibliográfica disponible acerca del sector en donde se asienta la planta de tratamiento de aguas residuales, tales como; su ubicación exacta con sus respectivos límites y las actividades económicas más importantes que realizan sus habitantes además fue necesario recabar información sobre el aspecto social del sector. Con las fuentes documentales investigadas también se pudo conocer información sobre el año en el que empezó a operar, las actividades de mantenimiento y el seguimiento que se ha realizado desde entonces en la PTAR.

Andahualo es una comunidad rural con una población dispersa que se dedica principalmente a la agricultura, por lo que, algunos datos precisos y confiables del sector solo se pudieron obtener mediante un contacto directo con sus moradores, este proceso se realizó a través de una entrevista personal con algunos de los beneficiarios de la planta de tratamiento, como se muestra en la figura 1, las entrevistas realizadas

permitieron comprender algunos de los factores que influyen en el funcionamiento de la PTAR y que podrían afectar a corto o largo plazo, además, gracias la información sobre las actividades diarias que normalmente se realizan en la comunidad, proporcionada por los usuarios de la instalación, se pudo identificar un rango de horas en el que el caudal del efluente es mayor.

Figura 1. Entrevista realizada a los beneficiarios de la PTAR Andahualo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En esta etapa también se utilizó el método de observación directa, para identificar y caracterizar el estado en el que se encontraban los componentes de cada proceso unitario de tratamiento, es importante mencionar que no se notó mayores problemas en la estructura que conforma la instalación de la PTAR, ni en el predio en el que se asienta, por último, esta metodología permitió verificar la eficiencia con la que se encontraba funcionando la planta de tratamiento.

2.2.2 Etapa II Investigación de campo

Para lograr un diagnóstico y una propuesta de diseño adecuada de la PTAR, en esta etapa se procedió a determinar las dimensiones exactas del largo, ancho, altura y el espesor de cada uno de los componentes que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales de Andahualo, como se muestra en la figura 2. Adicionalmente con

la ayuda de un GPS se georreferenció los puntos relevantes de la estructura, los cuales se detallan en el plano actual de la PTAR.

Figura 2. Medición de los componentes unitarios de la PTAR.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Durante la investigación en campo, mediante el método volumétrico se midió los caudales del efluente y afluente de la PTAR. El método volumétrico consistió en tomar una cantidad de agua en un tiempo determinado para posteriormente medirlo en una probeta y obtener así el caudal, dividiendo el volumen entre el tiempo en el que se recogió el agua [29]. Los datos que se obtuvieron con la metodología mencionada anteriormente sirvieron para saber cuál es el día y el rango de horas en el que más caudal circula por la instalación, esta información y el criterio de Metcalf y Eddy que indica que el momento más adecuado para recoger una muestra con características concretas está determinado por el aforo de la PTAR sirvió para recoger una muestra representativa del agua residual de entrada y salida de la instalación aplicando una metodología experimental [30]. En la figura 3 y 4 se muestra una evidencia gráfica de cómo se realizó la medición del caudal del afluente y efluente de la instalación.

Figura 3. Medición del caudal de ingreso de la PTAR de Andahuayo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Figura 4. Medición del caudal de salida de la PTAR de Andahuayo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

2.2.3 Etapa III Investigación de laboratorio

Para determinar las propiedades físico – químicas del agua residual, se tomaron 2 litros de muestras tanto de la salida como de la entrada de la PTAR, utilizando el método mencionado en la etapa anterior y posteriormente estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo,

para su respectivo análisis. En la figura 5 y 6, se observa la evidencia fotográfica de la recolección de la muestra de agua residual del ingreso y salida respectivamente.

Figura 5. *Recolección de muestras del afluente de la PTAR.*



Fuente: *Klever Leonardo Barros Manotoa.*

Figura 6. *Recolección de muestras del efluente de la PTAR.*



Fuente: *Klever Leonardo Barros Manotoa.*

En la tabla 3, se puede observar los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce expresados en la norma TULSMA 2015:

Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresada como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbn. Clfr.ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0
Fósforo Total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Comp. Organofosforados	Organofosforados tot.	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0.5
Temperatura	°C	mg/l	Con. Nat. ±3
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

Fuente: Anexo 1, del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente [31].

Algunos de los parámetros más relevantes que indican una adecuada remoción de contaminantes en el agua residual según Metcalf & Eddy, son los sólidos suspendidos puesto que, en el caso de que no se dé un adecuado tratamiento a las aguas residuales son estas partículas las responsables de la generación de los depósitos de lodos en el efluente de descarga, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), son uno de los indicadores más importantes del nivel de contaminación del agua tratada de una PTAR debido a que, indican el contenido de materia orgánica presente en el agua (DQO) y si la materia orgánica del agua se está estabilizando biológicamente (DBO), el pH también es un parámetro de gran importancia para evaluar la calidad del agua puesto que, si no se da un adecuado tratamiento a este parámetro el efluente de un planta de tratamiento puede modificar el pH en las aguas naturales [30]. Los parámetros estudiados para determinar la eficiencia del funcionamiento de la PTAR se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros analizados en la muestra de agua residual.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
pH	-	PE-LSA-01
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 – D
DBO5	mgO2/l	STANDARD METHODS 5210 – B
Sólidos suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 - D
Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540 - B

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH.

El informe del análisis de los parámetros físico – químicos del agua residual del afluente y efluente de la PTAR entregado por el laboratorio de servicios ambientales acreditado por el SAE, de la Universidad Nacional de Chimborazo se muestra en la parte de Anexos del presente documento, la comparación e interpretación de dichos resultados se exponen en el siguiente capítulo.

2.2.4 Etapa IV Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR

En esta fase se utilizó una metodología descriptiva para valorar el funcionamiento de cada componente del tren de tratamiento de la PTAR, primero se determinó si la unidad se encontraba o no en funcionamiento y después se detalló en qué condiciones lo hacía, adicionalmente también se realizó un diagnóstico técnico de cada proceso unitario, basándose en manuales de diseño internacionales.

La metodología analítica se utilizó en el capítulo de discusión de resultados en donde se compararon los resultados obtenidos del análisis de laboratorio con los valores límites de descarga a un cuerpo de agua dulce según lo estipulado en la Tabla 9, del libro VI de la norma TULSMA, para determinar si la descarga de la planta cumple con dicha normativa [31]. Además, se utilizó el porcentaje de eficiencia de remoción de los parámetros analizados empleando la ecuación 1:

$$E = \frac{Co - Cf}{Co} * 100 \quad (Ec. 1)$$

Donde:

E = eficiencia del parámetro (%)

Co = Valor inicial del parámetro

Cf = Valor final del parámetro

2.2.5 Etapa V Verificación y mejoramiento de la PTAR

Por medio del método deductivo y basándose en el diagnóstico técnico de los componentes del tren de tratamiento y el análisis de los parámetros físico – químicos de las muestras de agua residual, realizada en la etapa anterior se propuso un mejoramiento y un plan de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo San Isidro, en el que se incluyó un presupuesto referencial de acuerdo con el análisis de precios unitarios.

CAPÍTULO III

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Levantamiento de información de la PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales a ser evaluada está situada en la comunidad rural de Andahualo San Isidro, aproximadamente a 8 kilómetros de la ciudad de Píllaro, en la parroquia de San Andrés al Oeste del cantón Píllaro, en la provincia de Tungurahua. La parroquia en la que se ubica, está limitada al norte por el cantón San Miguel de Salcedo, al este por la parroquia de San José de Paolo, al sur por la ciudad de Píllaro y la parroquia Presidente Urbina y al oeste limita con la parroquia de Panzaleo, su temperatura promedio varía entre los 10 y 12 grados centígrados en un piso térmico Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo [32]. En la figura 7 se muestra la ubicación de la instalación respecto a la comunidad en la que se asienta.

Figura 7. Ubicación del proyecto



Fuente: Google Earth Pro.

La zona de estudio está conformada predominantemente por el ecosistema de bosque húmedo montano - bosque muy húmedo y cuenta con zonas de suelos de pradera en climas templados, horizonte superficial blando, rico en materia orgánica, espeso y oscuro, la constitución del suelo es de naturaleza limosa-arenosa. Andahualo San

Isidro cuenta con una población de aproximadamente 865 personas que se dedican principalmente a la agricultura y ganadería, los cultivos predominantes en el sector son de papas, maíz y pastizales [32]. En la figura 8 se observa a los habitantes de la comunidad realizando actividades agrícolas, que es una de las labores principales que se realizan en el sector:

Figura 8. Cultivos que se dan en la zona.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

La planta de tratamiento de aguas residuales que se evaluó se ubica entre los 3115 y 3160 m.s.n.m., su precipitación promedio oscila entre los 500mm a 750mm anuales, y su encuentra en un área con terrenos de relieve moderadamente ondulado con gran capacidad de escurrimiento con pendientes que varían entre los 12% a 25% y que tienen baja susceptibilidad de erosión [33]. En la figura 9 se puede observar la zona centro de la comunidad de Andahualo San Isidro.

Figura 9. Comunidad Andahualo San Isidro.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

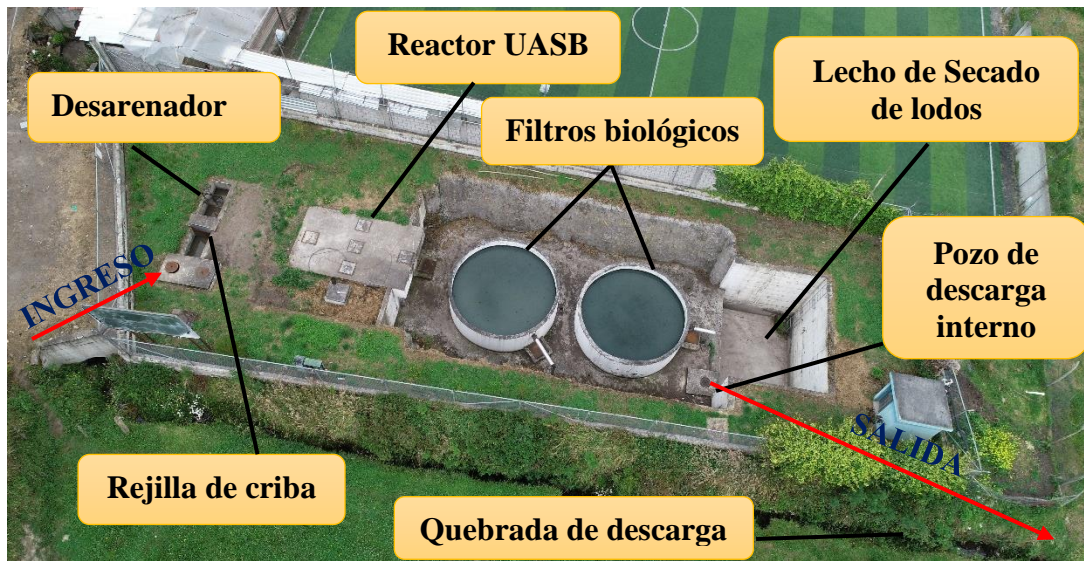
La PTAR "Andahualo" diseñada para tratar aguas residuales domésticas sirve a los sectores de Andahualo Paccha que cuenta con una población de aproximadamente 750 personas y Andahualo San Isidro (comuna en la que se asienta la instalación) con una población aproximada de 115 personas según el PDOT de San Andrés [32].

La pendiente del terreno en el que se asienta la instalación no es muy elevada por lo que para que la instalación pueda funcionar a gravedad, el reactor UASB, los filtros anaerobios y el lecho de secado de lodos se encuentran en una excavación de 2.8 metros debajo de la superficie del terreno natural.

El año de inicio de operación de la PTAR fue en el 2016 y su superficie de ocupación es de 483.21m² [34], está conformada por una estructura de hormigón armado y articulada con tuberías y accesorios PVC, posee un cerramiento perimetral que presenta un leve desgaste debido al desprendimiento de la pintura en los muros, el acceso hacia la instalación surge a través de la vialidad secundaria que se encuentra asfaltada y en buen estado además, es importante mencionar que se observó un adecuado mantenimiento a la vegetación presente en el predio. La obra está constituida en diferentes niveles para que funcione a gravedad natural, cuenta con paredes estabilizadas con hormigón proyectado, dentro del área de implantación.

La Planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con dos niveles de tratamiento: primario y secundario. El tratamiento primario está conformado por una cámara de entrada, una rejilla de acceso y el sedimentador, mientras que, en el tratamiento secundario – biológico, se encuentra el reactor UASB, el lecho de secado de lodos y el filtro biológico. La descarga de la planta de tratamiento se realiza por una tubería PVC de diámetro equivalente a 200mm a la quebrada La Libertad, afluente de la Quebrada Callate y posteriormente del Río Culapachán. En la figura 10 se puede observar los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales visto desde la parte superior.

Figura 10. Componentes de la PTAR Andahualo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.2 Medición de Caudales

La medición del caudal del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo San Isidro, se realizó con la finalidad de conocer el comportamiento del caudal en la instalación y, además, determinar el caudal máximo horario que circula en la planta de tratamiento en un año a través, de un muestreo estadístico representativo, este dato es fundamental para el dimensionamiento y diagnóstico de las diferentes unidades de tratamiento de la PTAR.

La medición del caudal de ingreso y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó durante 30 días de acuerdo con la recomendación de Metcalf & Eddy que menciona que considerando factores variables como el clima y las actividades antrópicas se necesita de un mínimo de 30 días consecutivos para obtener una muestra representativa y resultados confiables del caudal promedio al momento de realizar la evaluación de una planta depuradora de aguas residuales [30].

En la entrevista realizada el 25 de septiembre del 2022, a los habitantes de la sector de Andahualo se pudo determinar que debido a que la comunidad se dedica mayormente a la agricultura y a la ganadería, las labores en el sector inician muy temprano, sin embargo, la mayoría de actividades que demandan un consumo de agua como la

alimentación y el aseo personal, inician entre las 7 y 8 de la mañana, los moradores del sector también manifestaron que al mediodía podría presentarse un gran afluente en la PTAR puesto que, las personas regresan de sus actividades agrícolas a la hora del almuerzo además, en este horario algunos estudiantes regresan y salen a sus actividades educativas. Por último, debido a las condiciones climáticas (temperaturas muy bajas en la noche) y por su condición de zona rural, en el sector las actividades diarias de los habitantes terminan muy temprano. Basándose en los criterios mencionados anteriormente la medición del caudal de entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó de siete de la mañana a cuatro de la tarde durante un mes consecutivo, desde el 5 de septiembre hasta el 4 de octubre del 2022.

En la figura 11 se muestra un registro fotográfico de cómo se realizó la medición del caudal de ingreso en el área del cajón recolector de la planta de tratamiento de aguas residuales, a través del método volumétrico con la ayuda de una probeta plástica.

Figura 11. Medición del caudal de entrada.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos de los caudales de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales, medidos durante cuatro semanas en el horario de 7:00 horas a 14:00 horas de la tarde, se debe tomar en cuenta que para cada horario se realizaron tres mediciones del caudal, que posteriormente fueron promediadas para obtener un valor más exacto del comportamiento del caudal en cada hora.

Tabla 5. Caudal de ingreso medido durante la semana 1.

HORA	SEMANA 1 - CAUDAL DE ENTRADA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 5 AL 11 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.975	1.899	2.209	2.170	1.978	1.833	1.802	1.981
8:00 - 9:00	1.362	1.277	1.551	1.502	1.896	1.604	1.652	1.549
9:00 - 10:00	1.524	3.026	1.837	1.732	2.203	1.775	1.402	1.928
10:00 - 11:00	1.344	1.532	1.654	1.344	1.976	1.785	1.632	1.609
11:00 - 12:00	1.676	1.898	1.366	1.202	1.731	1.639	1.499	1.573
12:00 - 13:00	2.031	3.122	1.973	3.221	2.562	2.004	1.965	2.411
13:00 - 14:00	1.328	1.483	1.474	1.209	1.963	1.626	1.601	1.526
14:00 - 15:00	1.275	1.648	1.638	1.730	1.686	1.509	1.456	1.563
15:00 - 16:00	1.985	2.632	1.932	3.352	3.125	2.441	1.926	2.485
PROMEDIO	1.611	2.057	1.737	1.940	2.124	1.802	1.659	1.847

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 6. Caudal de ingreso medido durante la semana 2.

HORA	SEMANA 2 - CAUDAL DE ENTRADA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 12 AL 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	2.023	1.956	1.902	2.208	2.036	2.861	1.801	2.112
8:00 - 9:00	1.462	1.675	1.498	1.603	1.904	1.506	1.526	1.596
9:00 - 10:00	1.425	2.056	1.783	1.459	2.159	1.653	1.401	1.705
10:00 - 11:00	1.341	1.377	1.754	1.562	1.899	1.875	1.633	1.634
11:00 - 12:00	1.766	1.764	1.620	1.532	1.756	1.396	1.502	1.619
12:00 - 13:00	1.923	3.314	2.034	3.028	2.462	2.266	1.960	2.427
13:00 - 14:00	1.975	1.840	1.576	1.308	2.562	1.594	1.723	1.797
14:00 - 15:00	1.264	1.560	1.600	1.659	1.785	1.509	1.564	1.563
15:00 - 16:00	1.997	2.459	2.036	2.596	3.458	3.261	1.957	2.547
PROMEDIO	1.686	2.000	1.756	1.884	2.232	1.991	1.674	1.889

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 7. Caudal de ingreso medido durante la semana 3.

HORA	SEMANA 3 - CAUDAL DE ENTRADA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 19 AL 25 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.859	1.989	2.354	2.712	1.998	1.785	2.096	2.113
8:00 - 9:00	1.453	1.397	1.652	1.603	1.956	1.653	1.753	1.638
9:00 - 10:00	1.975	2.541	1.796	1.745	2.189	1.875	1.326	1.921
10:00 - 11:00	1.431	1.623	1.596	1.429	1.975	1.687	1.730	1.639
11:00 - 12:00	1.562	1.785	1.499	1.402	1.634	1.796	1.569	1.607
12:00 - 13:00	1.924	2.659	1.902	2.564	2.851	2.128	1.875	2.272
13:00 - 14:00	1.283	1.396	1.376	1.310	2.114	1.521	1.223	1.489
14:00 - 15:00	1.476	1.752	1.739	1.784	1.585	1.950	1.526	1.687
15:00 - 16:00	2.061	2.434	1.954	3.123	3.236	2.645	3.234	2.670
PROMEDIO	1.669	1.953	1.785	1.964	2.171	1.893	1.815	1.893

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 8. Caudal de ingreso medido durante la semana 3.

HORA	SEMANA 4 - CAUDAL DE ENTRADA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 26 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.967	1.948	2.155	2.136	2.030	1.9405	1.958	2.019
8:00 - 9:00	1.563	1.654	1.567	1.659	1.859	1.703	1.609	1.659
9:00 - 10:00	1.544	1.567	1.805	1.624	2.423	1.601	1.556	1.731
10:00 - 11:00	1.279	3.026	1.668	1.902	1.590	1.709	2.153	1.904
11:00 - 12:00	1.777	1.851	1.495	1.475	1.607	1.683	1.814	1.672
12:00 - 13:00	2.014	2.964	1.970	2.965	3.452	2.002	2.489	2.551
13:00 - 14:00	1.243	1.766	1.542	1.672	2.312	1.372	1.699	1.714
14:00 - 15:00	1.438	1.563	1.659	1.725	1.657	1.738	1.501	1.612
15:00 - 16:00	1.986	2.631	3.023	3.321	2.684	2.940	1.857	2.635
PROMEDIO	1.689	2.108	1.876	2.053	2.179	1.854	1.848	1.944

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Los datos obtenidos durante las cuatro semanas, en el horario establecido en el que se realizó la medición del caudal de ingreso se promediaron, estos valores se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Caudal promedio de ingreso a la PTAR.

HORA	PROMEDIO CAUDAL DE ENTRADA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 2 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.956	1.948	2.155	2.307	2.011	2.104875	1.914	2.056
8:00 - 9:00	1.46	1.501	1.567	1.592	1.904	1.617	1.635	1.611
9:00 - 10:00	1.617	2.298	1.805	1.640	2.244	1.726	1.421	1.821
10:00 - 11:00	1.349	1.889	1.668	1.559	1.860	1.764	1.787	1.697
11:00 - 12:00	1.695	1.824	1.495	1.403	1.682	1.628	1.596	1.618
12:00 - 13:00	1.973	3.015	1.970	2.945	2.832	2.100	2.072	2.415
13:00 - 14:00	1.555	1.621	1.542	1.375	2.238	1.528	1.562	1.601
14:00 - 15:00	1.363	1.631	1.659	1.725	1.678	1.676	1.512	1.606
15:00 - 16:00	2.007	2.539	2.236	3.098	3.142	2.822	2.244	2.584
PROMEDIO	1.653	2.030	1.781	1.960	2.177	1.885	1.749	1.893

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Para una mejor interpretación de los datos en la tabla 9, se presenta una estadística descriptiva de resultados obtenidos de la medición del caudal de ingreso:

Tabla 10. Estadística descriptiva de los caudales de ingreso.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CAUDALES DE INGRESO (l/s)							
MEDIDA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Media	1.653	2.030	1.781	1.960	2.177	1.885	1.744
Mediana	1.617	1.889	1.668	1.640	2.011	1.726	1.635
Mínimo	1.349	1.501	1.475	1.375	1.678	1.528	1.421
Máximo	2.007	3.015	2.236	3.098	3.142	2.822	2.244
Desviación Estándar	0.268	0.497	0.281	0.661	0.508	0.406	0.281

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la tabla 9, se identifica que el horario con mayor ingreso de caudal en la instalación es de 15:00 a 16:00 horas con un valor promedio de 2.584 l/s y de 13:00 a 14:00 horas se da el menor ingreso de caudal (1.601 l/s). En la tabla 10, se puede observar que los caudales de ingreso a la PTAR para cada día de la semana tienen una desviación estándar muy baja, debido a que no existe una variación significativa entre los datos medidos, también se identifica que: el viernes es el día que más caudal promedio ingresa con un valor de 2.177 l/s, el lunes con un promedio de 1.653 l/s es el día con menor caudal. Además, el máximo valor del caudal de ingreso que se midió durante un mes fue de 3.458 l/s en la semana 2, el viernes en el horario de 15:00 a 16:00 horas.

Se puede evidenciar que los datos obtenidos del caudal de ingreso tienen una estrecha relación con las actividades que se realizan en el sector detalladas anteriormente, es así como, el horario de mayor ingreso de caudal se da cuando los habitantes mencionaron que generalmente regresan de sus labores diarias y el lunes que es el día con menor caudal promedio de ingreso coincide con el día en el que los moradores del sector por lo general salen a la feria agrícola en la ciudad para vender sus productos.

El caudal de salida se midió de la misma manera que el de entrada, las tablas de cada semana con su respectivo horario se presentan a continuación:

Tabla 11. Caudal de salida medido durante la semana 1.

HORA	SEMANA 1 - CAUDAL DE SALIDA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 5 AL 11 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.842	1.993	1.728	1.681	2.384	1.865	1.789	1.897
8:00 - 9:00	1.344	1.840	1.107	1.571	1.705	1.712	1.544	1.546
9:00 - 10:00	1.691	1.690	1.901	2.096	2.222	1.932	1.488	1.860
10:00 - 11:00	1.556	1.567	1.460	1.567	1.881	1.526	1.621	1.597
11:00 - 12:00	1.472	1.446	1.523	1.915	1.727	1.196	1.464	1.535
12:00 - 13:00	1.830	2.343	1.833	2.046	2.407	2.336	1.675	2.067
13:00 - 14:00	1.389	1.674	1.645	1.628	1.084	1.604	1.485	1.501
14:00 - 15:00	0.907	1.853	1.319	1.956	1.474	1.682	1.603	1.542
15:00 - 16:00	1.886	2.296	3.124	2.832	3.391	1.837	1.773	2.448
PROMEDIO	1.546	1.856	1.738	1.921	2.031	1.743	1.605	1.777

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 12. Caudal de salida medido durante la semana 2.

HORA	SEMANA 2 - CAUDAL DE SALIDA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 12 AL 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.915	1.866	1.939	1.684	2.407	1.888	1.801	1.929
8:00 - 9:00	1.367	1.863	0.950	1.594	1.728	1.735	1.528	1.538
9:00 - 10:00	1.714	1.413	1.334	1.819	1.945	1.655	1.411	1.613
10:00 - 11:00	1.679	1.390	1.583	1.340	1.904	1.549	1.594	1.577
11:00 - 12:00	1.635	1.609	1.546	1.278	1.890	1.359	1.627	1.563
12:00 - 13:00	2.053	2.266	2.201	2.019	3.562	2.159	1.902	2.309
13:00 - 14:00	1.712	1.697	1.998	1.501	1.357	1.877	1.849	1.713
14:00 - 15:00	1.020	1.606	1.242	1.709	1.627	1.635	1.576	1.488
15:00 - 16:00	1.819	2.069	2.947	2.555	3.309	2.979	1.746	2.489
PROMEDIO	1.657	1.753	1.749	1.722	2.192	1.871	1.670	1.802

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 13. Caudal de salida medido durante la semana 3.

HORA	SEMANA 3 - CAUDAL DE SALIDA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 19 AL 25 DE SEPTIEMBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.915	1.873	1.835	1.691	2.220	1.895	1.819	1.892
8:00 - 9:00	1.294	1.600	1.207	1.390	1.775	1.782	1.685	1.533
9:00 - 10:00	1.912	1.620	1.899	2.026	2.152	1.862	1.785	1.893
10:00 - 11:00	1.536	1.397	1.539	1.347	1.910	1.556	1.701	1.569
11:00 - 12:00	1.531	1.626	1.502	1.295	1.906	1.376	1.644	1.554
12:00 - 13:00	2.060	2.273	2.099	2.026	3.256	2.166	1.955	2.262
13:00 - 14:00	1.419	1.404	1.575	1.208	1.063	1.584	1.565	1.402
14:00 - 15:00	1.176	1.763	1.248	1.866	1.784	1.791	1.763	1.627
15:00 - 16:00	1.976	2.326	2.954	2.712	3.466	2.526	1.953	2.559
PROMEDIO	1.646	1.764	1.762	1.729	2.170	1.837	1.763	1.810

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Tabla 14. Caudal de salida medido durante la semana 4.

HORA	SEMANA 4 - CAUDAL DE SALIDA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 26 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	2.001	1.925	2.235	2.196	2.004	1.859	1.828	2.007
8:00 - 9:00	1.388	1.303	1.577	1.528	1.922	1.630	1.678	1.575
9:00 - 10:00	1.300	2.802	1.613	1.508	2.114	1.551	1.178	1.724
10:00 - 11:00	1.370	1.558	1.680	1.370	2.002	1.811	1.658	1.635
11:00 - 12:00	1.702	1.924	1.392	1.228	1.757	1.665	1.525	1.599
12:00 - 13:00	2.057	3.148	1.999	3.247	2.588	2.030	1.991	2.437
13:00 - 14:00	1.354	1.509	1.500	1.235	1.989	1.652	1.627	1.552
14:00 - 15:00	1.301	1.674	1.664	1.756	1.712	1.535	1.482	1.589
15:00 - 16:00	2.011	2.658	1.958	3.378	3.251	2.467	2.073	2.542
PROMEDIO	1.609	2.056	1.735	1.938	2.149	1.800	1.671	1.851

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Los datos obtenidos de la medición del caudal de salida durante los 30 días se promediaron para una mejor interpretación de los resultados, estos valores se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Caudal medio de salida de la PTAR.

HORA	CAUDAL PROMEDIO DE SALIDA DE LA PTAR ANDAHUALO (l/s) DEL 2 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DEL 2022							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
7:00 - 8:00	1.918	1.914	1.934	1.813	2.254	1.877	1.809	1.931
8:00 - 9:00	1.348	1.652	1.210	1.521	1.782	1.715	1.609	1.548
9:00 - 10:00	1.654	1.881	1.687	1.862	2.108	1.750	1.466	1.773
10:00 - 11:00	1.535	1.478	1.566	1.406	1.924	1.610	1.643	1.595
11:00 - 12:00	1.585	1.651	1.491	1.429	1.820	1.399	1.565	1.563
12:00 - 13:00	2.000	2.507	2.033	2.334	2.953	2.173	1.881	2.269
13:00 - 14:00	1.468	1.571	1.680	1.393	1.373	1.679	1.631	1.542
14:00 - 15:00	1.101	1.724	1.368	1.822	1.649	1.661	1.606	1.562
15:00 - 16:00	1.923	2.337	2.746	2.869	3.354	2.452	1.886	2.510
PROMEDIO	1.615	1.857	1.746	1.828	2.135	1.813	1.677	1.810

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

La estadística descriptiva de los datos obtenidos de la medición del caudal de salida o efluente de la planta de tratamiento se presentan en la tabla 16:

Tabla 16. Estadística descriptiva de los caudales de salida.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CAUDALES DE SALIDA (l/s)							
MEDIDA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Media	1.615	1.857	1.746	1.828	2.135	1.813	1.677
Mediana	1.585	1.724	1.680	1.813	1.924	1.715	1.631
Mínimo	1.101	1.478	1.210	1.393	1.373	1.399	1.466
Máximo	2.000	2.507	2.746	2.869	3.354	2.452	1.886
Desviación Estándar	0.296	0.351	0.455	0.495	0.638	0.318	0.147

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

La tabla 15 muestra que, los valores promedio obtenidos de la medición del caudal de salida de la planta de tratamiento a ser evaluada son relativamente inferiores a los caudales medios diarios del caudal de entrada (tabla 9), esto se puede explicar por el tiempo de retención en los componentes hidráulicos de la instalación, además, se observa que; de 15:00 a 16:00 horas sale un mayor volumen de agua por segundo (2.510 l/s) y el horario con menor caudal de salida se da entre la 13:00 y 14:00 horas con 1.542 l/s.

Según la tabla 16, la desviación estándar no es muy elevada, por lo que se puede inferir que la medición del caudal se realizó correctamente, además, al no existir una gran variación de los valores de caudal de salida medidos, los días y horas en los que se da el máximo y mínimo aforo, coinciden con los de entrada, entonces; el viernes es el día con el máximo valor promedio del caudal de salida con 2.135 l/s y el mínimo es el lunes con 1.615 l/s.

En la figura 12, se muestra una ilustración del instante en el que se realiza la medición del caudal de salida en el pozo de revisión.

Figura 12. Medición del caudal de salida de la PTAR Andahualo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

3.1.3 Análisis de resultados de laboratorio

La recolección de muestras del agua residual se realizó basándose en los criterios técnicos establecidos en la norma INEN 2176 sobre técnicas de muestreo y sobre el manejo y conservación de muestras [36][37]. Se realizó un muestreo representativo simple el día 25 de octubre del 2022, en el horario con mayor promedio de caudal de entrada y salida de la PTAR que de acuerdo con la tabla 9 y 15 se da en el intervalo de 15:00 a 16:00 horas de la tarde.

Las muestras se recolectaron en botellas ámbar para reducir en lo posible las actividades fotosensitivas y se procuró evitar que las muestras se expongan a la temperatura ambiente, utilizando una hielera hasta su traslado a los laboratorios de servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, la recolección de las muestras en el recipiente térmico se muestra en la figura 13.

Figura 13. Conservación de muestras hasta el transporte al laboratorio.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos del análisis de cada parámetro físico químico de las muestras del efluente y afluente de la PTAR comparados con la norma TULSMA 2015 para verificar el cumplimiento de cada indicador analizado.

Tabla 17. Resultados del análisis del agua residual de la PTAR Andahuayo.

Parámetros	Unidades	Afluente	Efluente	Límite Máximo TULSMA	Verificación cumplimiento
pH	-	6.77	6.73	6 - 9	CUMPLE
DQO	mg/l	259	84	200	CUMPLE
DBO ₅	mgO ₂ /l	133	44	100	CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/l	86	47	130	CUMPLE
Sólidos Totales	mg/l	402	306	1600	CUMPLE

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

Como se puede apreciar, en la tabla 17, los resultados obtenidos de los parámetros físico – químicos, analizados de las muestras del agua residual del efluente de la PTAR están por debajo del límite máximo permitido por la tabla 9 de la Norma de calidad

ambiental y de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce. Se observa también que, el pH, los sólidos suspendidos y los sólidos totales, se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa ambiental incluso antes del respectivo tratamiento del agua residual.

Un buen criterio para saber si la planta de tratamiento de aguas residuales de Andahuayo, elimina adecuadamente los contaminantes del agua residual que llega a sus instalaciones es el porcentaje de eficiencia de remoción, como se detalló en el capítulo anterior, dicho porcentaje se calcula aplicando la ecuación 1 a los resultados de laboratorio obtenidos de cada parámetro físico – químico analizado, en la tabla 18 se presentan los resultados de este cálculo.

Tabla 18. Porcentaje de eficiencia de remoción de los parámetros físico - químicos analizados.

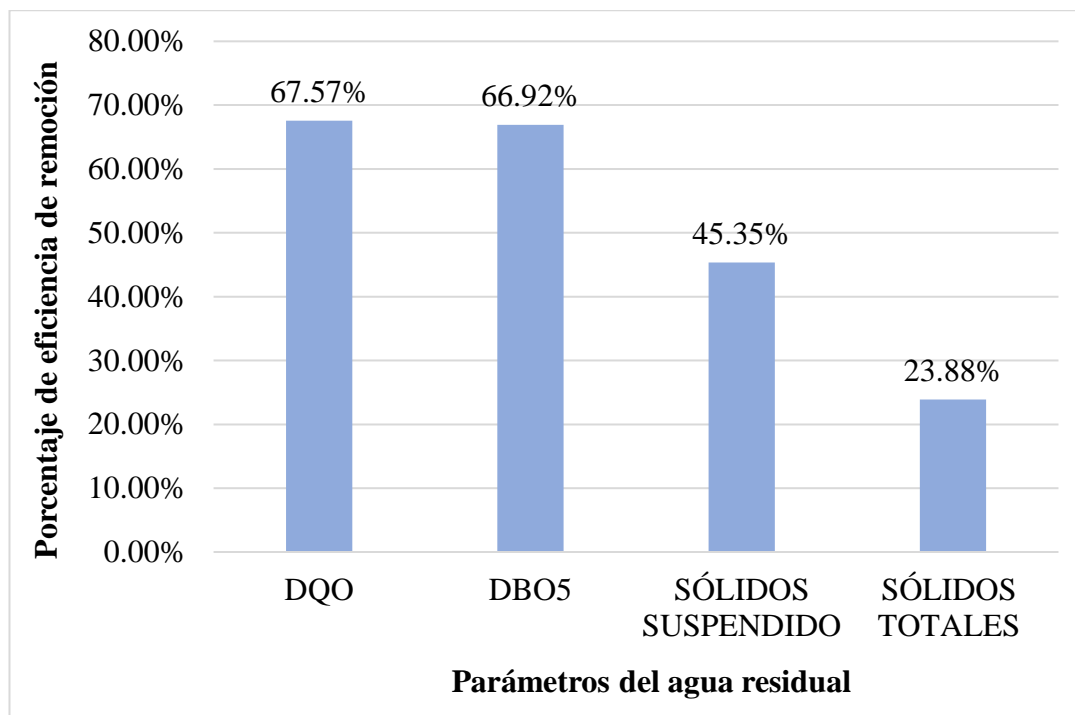
Parámetros	Unidades	Afluente	Efluente	% de eficiencia de remoción
pH	-	6.77	6.73	-
DQO	mg/l	259	84	67.57
DBO ₅	mgO ₂ /l	133	44	66.92
Sólidos suspendidos	mg/l	86	47	45.35
Sólidos Totales	mg/l	402	306	23.88

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

La eficiencia de remoción de los parámetros de calidad del agua analizados de la PTAR en general, es un factor determinante para evaluar el funcionamiento de la planta de

tratamiento de aguas residuales [30]. En el diagrama de barras de la figura 14 se observa gráficamente los porcentajes de remoción de contaminantes detallados en la tabla anterior.

Figura 14. Porcentajes de remoción de la PTAR en general.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa

Del gráfico de barras se puede analizar que el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos es relativamente bajo (45.35%), este factor contribuye a la acumulación de sólidos totales por lo que consecuentemente, su eficiencia de remoción también es menor con solo 23.88%. Por otro lado, la remoción del DBO y DQO₅ tampoco son muy elevadas puesto que presentan valores de 67.57% y 66.92% respectivamente.

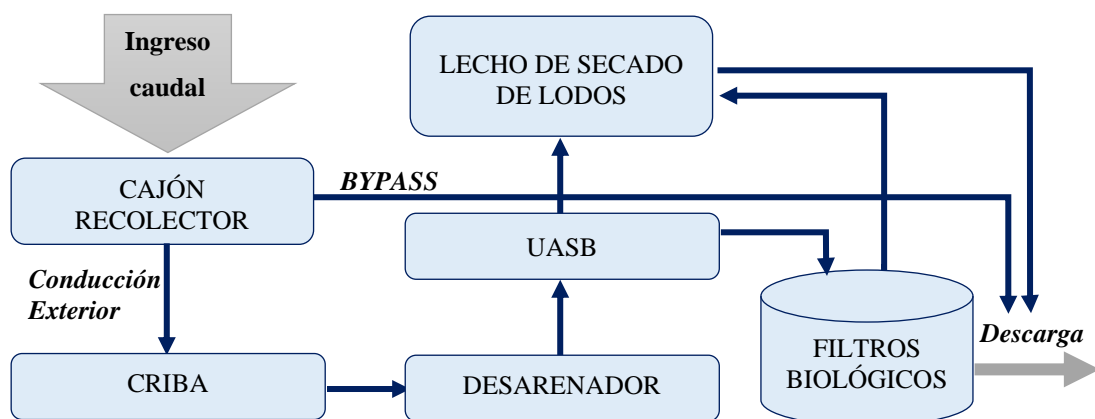
Si bien los parámetros del agua tratada cumplen con los límites establecidos por la normativa ambiental, las componentes del tren de tratamiento de la instalación evidencian un inadecuado mantenimiento, por lo que es necesario realizar un plan de mejoramiento que ayude a alargar la vida útil de la instalación en general.

3.1.4 Procesos unitarios de la PTAR y su dimensionamiento

La PTAR diseñada para tratar las aguas residuales domésticas de las comunidades de Andahualo Paccha y Andahualo San Isidro, está construida por hormigón armado y cuenta con tuberías y accesorios de PVC, además, posee un cerramiento perimetral y terrazas y paredes estabilizadas con hormigón proyectado que se encuentran en buen estado. Durante el mes en el que se realizó la medición del caudal, se observó que a la instalación se le está dando un adecuado mantenimiento, puesto que, trabajadores del GAD municipal de Píllaro realizaron un control de la vegetación presente en la instalación y una entrevista realizada a uno ellos, permitió conocer que el mantenimiento de la vegetación se ejecuta mensualmente al igual que el de los demás componentes hidráulicos – sanitarios.

Debido a como está estructurada, la PTAR “Andahualo” funciona a gravedad natural a través de dos niveles de tratamiento: primario y secundario. El tratamiento primario está compuesto por una cámara de entrada, la rejilla de acceso y un sedimentador y el tratamiento secundario o biológico está conformado por el reactor UASB, el lecho de secado de lodos y el filtro biológico, finalmente la descarga del agua tratada se realiza mediante una tubería de 8 pulgadas a la quebrada “La Libertad”. En la figura 15 se muestra el esquema del tren de tratamiento de la PTAR:

Figura 15. Esquema del tren de tratamiento de la PTAR de Andahualo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.4.1 Cajón Recolector y Desarenador

Las aguas residuales domésticas que se generan en la comunidad de Andahualo San Isidro y Andahualo Paccha, llegan al cajón recolector de la PTAR que cuenta con dos tapas de revisión, posteriormente, se canaliza hacia la rejilla de cribado y luego al desarenador a través de una tubería de 200 mm empotrada al piso que tiene una leve inclinación en su ingreso. El componente está constituido por hormigón armado y no presenta problemas estructurales severos.

El resumen de las dimensiones del cajón recolector y del desarenador de la PTAR se presentan en la tabla 19:

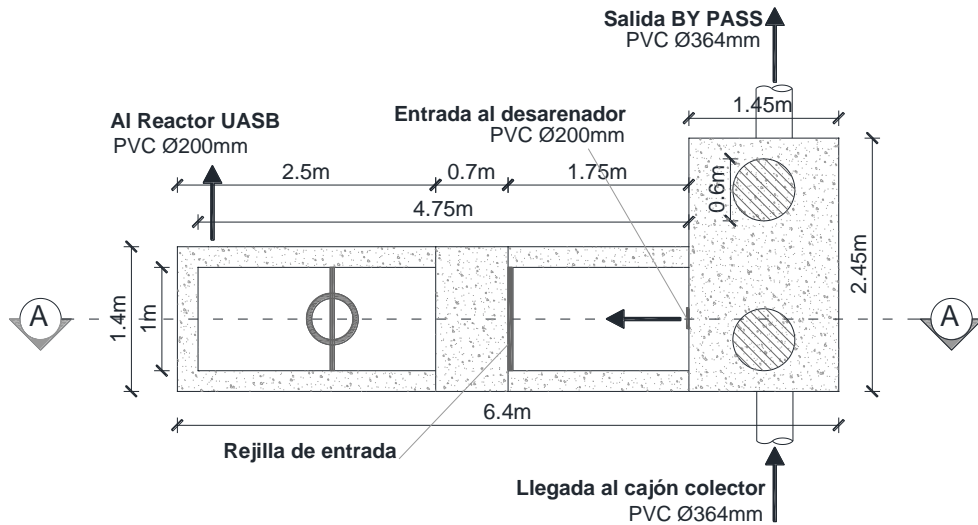
Tabla 19. Dimensiones de cajón colector y el desarenador.

Parámetro	Valor	Unidad
Cajón colector		
Largo	2.45	m
Ancho	1.45	m
Altura	1.20	m
Espesor paredes	0.20	m
Desarenador		
Largo	3.20	m
Ancho	1.40	m
Altura	0.80	m
Espesor paredes	0.20	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la figura 16, se presenta la vista en planta del cajón recolector y el desarenador con las direcciones de flujo, como se observa; en el cajón recolector existe una salida de By Pass, que conecta directamente con el pozo de revisión interno de salida.

Figura 16. Vista en planta del cajón recolector y el desarenador.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la figura 17, se muestra la vista del corte longitudinal A - A' de la vista en planta.

Figura 17. Vista en perfil del cajón recolector y desarenador.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En el cajón recolector y el desarenador se observaron patologías estructurales de carácter superficial principalmente ampollas y desprendimiento de la pintura ocasionadas por la humedad. En la figura 18 se muestra una vista en planta del componente de la PTAR, en donde también se puede identificar las patologías de carácter superficial antes mencionadas y además se observa que las tapas de revisión tienen presencia de óxido.

Figura 18. Cajón recolector y desarenador.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.4.2 Cribado

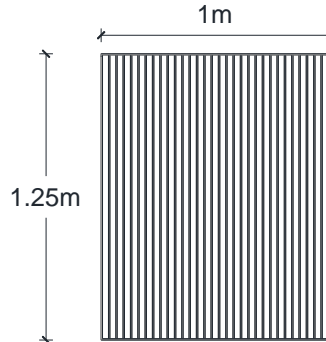
El proceso de cribado en la PTAR se da a través de una rejilla de barras rectangulares cuya finalidad es la de retener la mayor cantidad de sólidos posibles, previo al tratamiento en el desarenador y posteriormente en el reactor UASB. En la rejilla se observó presencia de corrosión, sus dimensiones se detallan en la tabla 20 y su representación gráfica en la figura 19:

Tabla 20. Dimensiones de la rejilla.

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	1.25	m
Ancho	1.00	m
Dimensiones de barras		
Ancho	6.00	mm
Profundidad	27.00	mm

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Figura 19. Representación gráfica de la rejilla de cribado.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Figura 20. Rejilla de la PTAR "Andahualo"



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.4.3 Reactor UASB

Este componente es parte del tratamiento secundario de la PTAR, conocido también como tratamiento biológico de las aguas residuales, el reactor UASB cuenta con una válvula para el dragado de lodos y una cámara con un volumen de aproximadamente 96.41 m³. Los lodos que se generan durante el tratamiento en este componente son enviados al lecho de secado mientras que, el agua continua su proceso de tratamiento y mediante una tubería de 20 cm es enviada hacia los filtros biológicos de flujo ascendente. En la tabla 21 se muestran un resumen de las dimensiones del reactor.

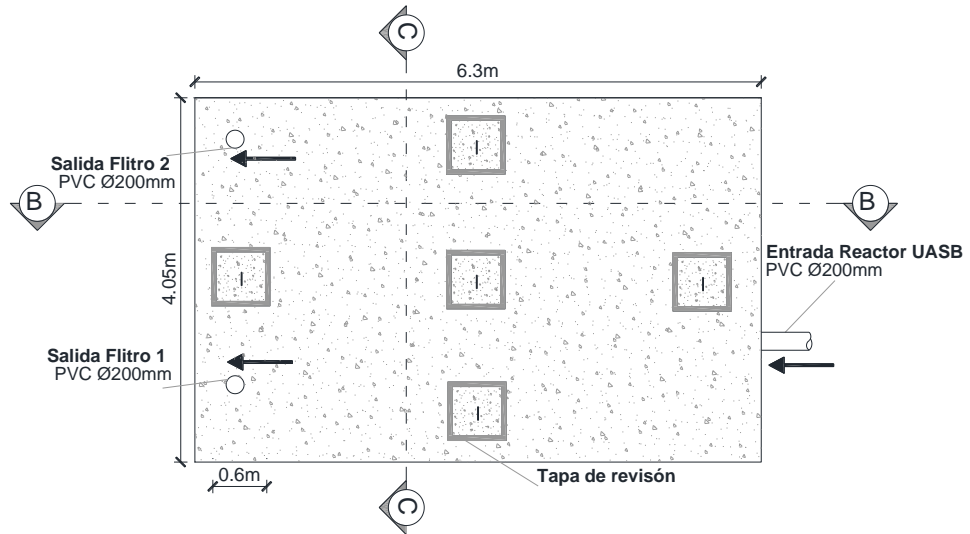
Tabla 21. Dimensiones reactor UASB.

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	6.30	m
Ancho	4.05	m
Altura	5.90	m
Espesor paredes	0.20	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la figura 21 se puede observar la vista superior de reactor, en donde se puede apreciar que la entrada y salida del agua residual del reactor se da a través de una tubería de 200 mm.

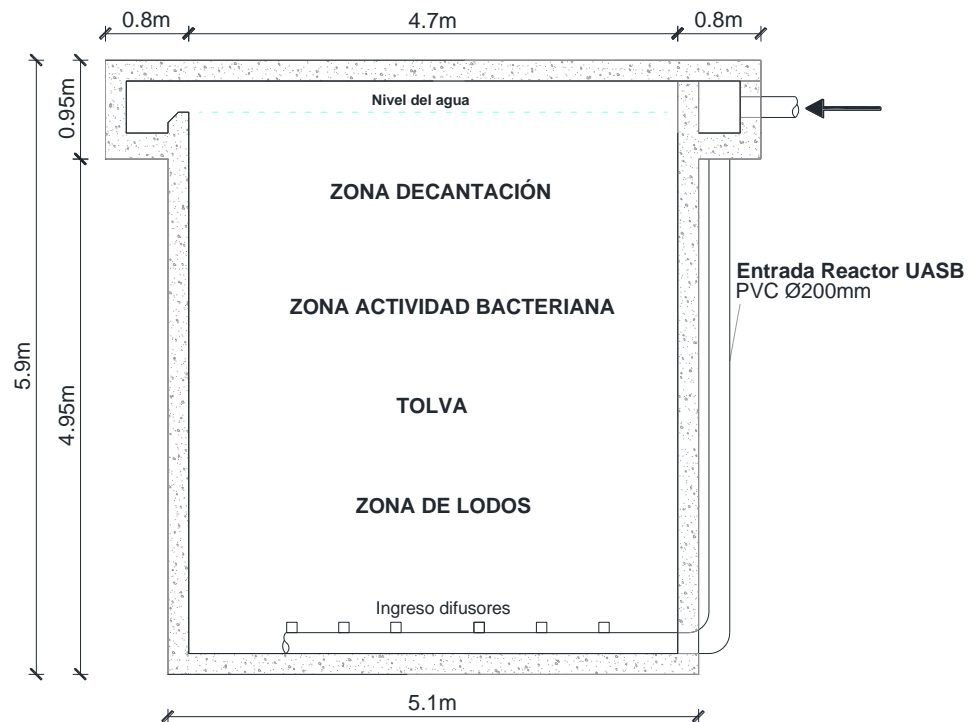
Figura 21. Vista en planta del Reactor UASB.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Los detalles de la vista en perfil del reactor UASB de la planta de tratamiento se muestran en la figura 22, en donde se puede apreciar que la unidad tiene una zona de lodos, tolva, una zona bacteriana y de decantación.

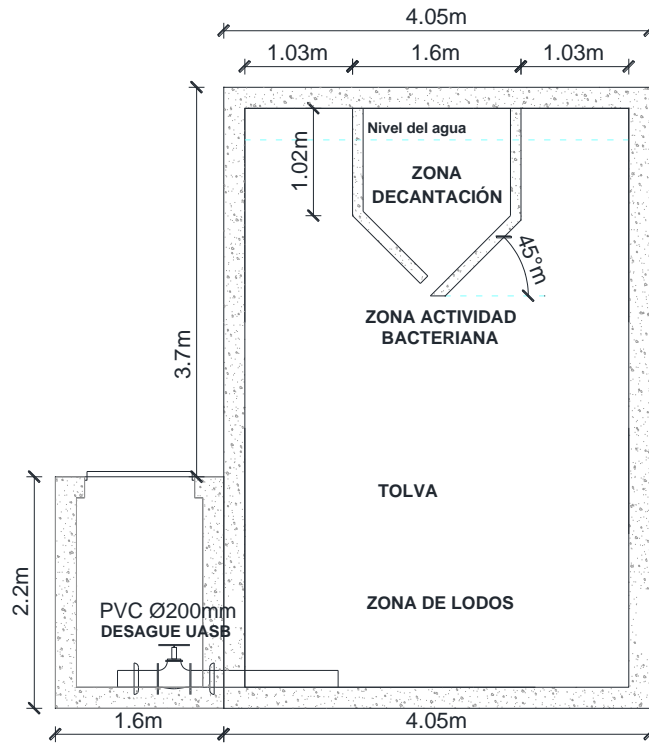
Figura 22. Vista en perfil B-B del reactor UASB.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

El reactor UASB de la PTAR está hecho de hormigón armado al igual que las 5 bocas de revisión, no se observó problemas estructurales en este componente, sino problemas de mantenimiento principalmente en la pintura. En la figura 22 se muestra el corte C-C de reactor, y en la figura 23 se observa la imagen tomada en campo.

Figura 23. Vista del corte C-C del reactor UASB.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Figura 24. Reactor UASB.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.4.4 Filtro Biológico de flujo ascendente

El agua residual tratada que sale del reactor UASB es transportada mediante tuberías de 20cm de diámetro hacia los filtros biológicos circulares con los que cuenta la PTAR. El volumen de cada uno de los filtros es de aproximadamente 59.13 m³, el resumen de las dimensiones estructurales del elemento se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 22. Dimensiones del filtro biológico.

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro	5.90	m
Altura	3.00	m
Espesor paredes	0.18	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

La estructura de los filtros también está conformada por hormigón armado, en la siguiente imagen se puede apreciar la vista en planta del filtro:

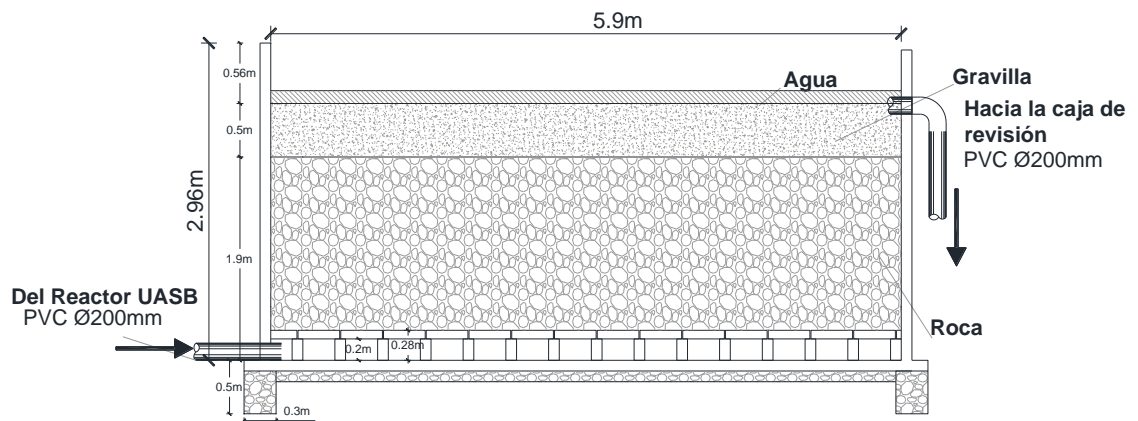
Figura 25. Vista en planta filtro biológico



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la vista en perfil que se muestra en la figura 25 se puede apreciar que el filtro está compuesto por gravilla y roca, además de suelo por el que ingresa la tubería de 200mm del reactor UASB.

Figura 26. Vista en perfil del filtro biológico.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

No se observaron problemas estructurales en el elemento, sin embargo, si existe un desgaste en la pintura producto de la humedad y agentes climáticos, como se puede apreciar en la imagen 26.

Figura 27. Filtros biológicos PTAR de Andahuayo.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.4.5 Lecho de secado de Lodos

Los lodos generados en el reactor UASB son enviados a través de una tubería de 18cm al tanque de secado de lodos, que se encuentra ubicado en la cota más baja de la instalación, tiene un volumen aproximado de 55.29 cm³ y se le da un mantenimiento mensual por parte del GAD municipal. El resumen de las medidas del tanque se presenta en la tabla 23.

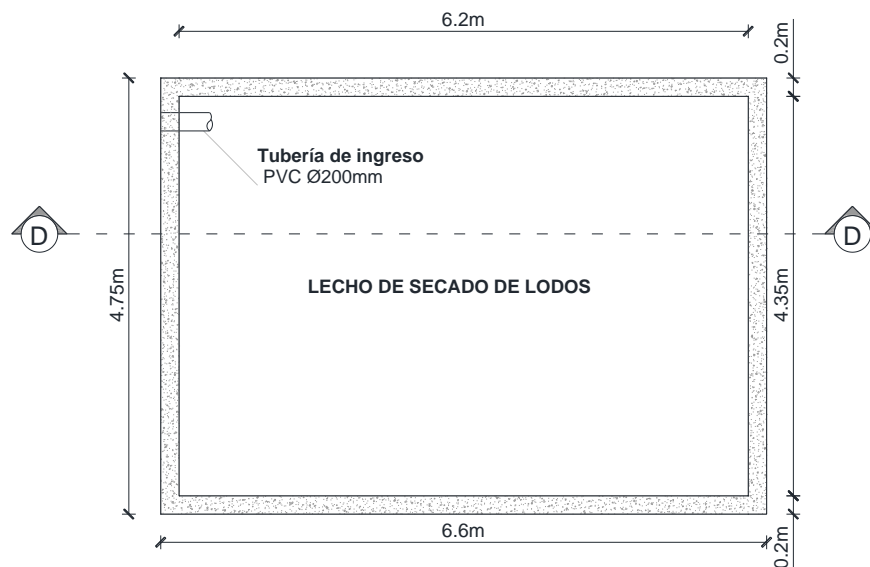
Tabla 23. Dimensiones del Lecho de Secado de Lodos.

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	6.20	m
Ancho	4.35	m
Altura	2.05	m
Espesor paredes	0.20	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

En la figura 27 se muestra una vista en planta del componente de la PTAR.

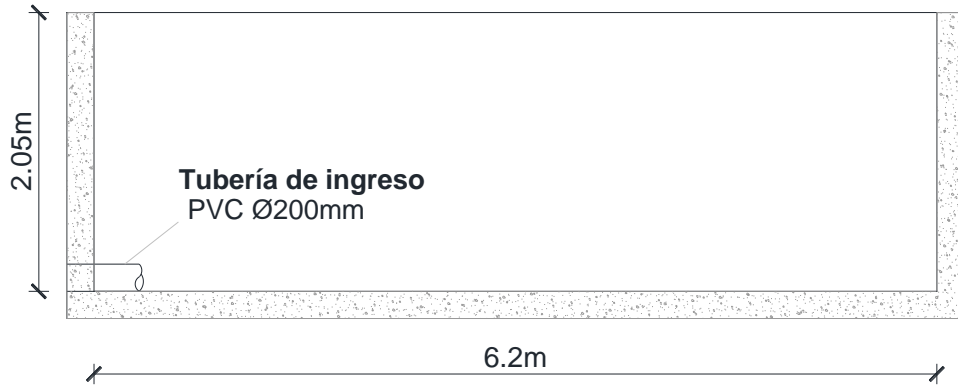
Figura 28. Vista en planta del Lecho Secado de Lodos.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

El lecho de secado de lodos tiene una altura de 2.05m, como se muestra en la vista en perfil en la figura 28.

Figura 29. Vista en perfil del lecho secado de lodos.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Este componente de la planta de tratamiento está construido en hormigón armado y al igual que en los anteriores casos no presenta problemas estructurales severos, en la siguiente imagen se muestra una imagen tomada en campo:

Figura 30. Lecho de secado de lodos.



Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.5 Diagnóstico técnico de los procesos unitarios de la PTAR.

3.1.5.1 Cribado

El cribado forma parte del pretratamiento que se da al agua residual en la PTAR, este proceso se da a través de una rejilla de acceso cuya finalidad es la de retener la mayor cantidad de sólidos posibles, especialmente los de tamaño considerable como troncos, maderas y otros residuos, antes de su tratamiento en el reactor UASB. La verificación de los parámetros técnicos de este proceso se realizará basándose en el manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA, en la tabla 1.1 de dicho manual, se detalla el tamaño de apertura de rejas y rejillas según los requerimientos [38].

Tabla 24. Tamaño de apertura de rejas y rejillas.

Concepto	Rango	Comentarios
Aperturas de rejas retenedoras de basura	38 – 150 mm	Se usa frecuentemente en combinación con otros sistemas, el tamaño de las aperturas depende del equipo
Apertura de rejillas manuales	25 – 50 mm	Se usan en plantas pequeñas o en canales bypass.
Velocidad de aproximación	0.30 – 0.60 m/s	
Rejillas de limpieza mecánica	6 – 38 mm	La apertura de 18 mm se considera satisfactoria para la protección de los equipos de los procesos siguientes
Velocidad de aproximación máxima	0.60 – 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	Velocidad necesaria para evitar la acumulación de arenas
Rejillas continuas	6 – 38 mm	Este tipo de rejilla es conveniente con aperturas de 6 a 18 mm
Velocidad de aproximación máxima	0.30 – 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	
Pérdida de carga admisible	0.15 – 0.60 m	
Triturador (reducción de tamaño solamente)	6 – 13 mm	Apertura de una función de la capacidad hidráulica de la unidad
Molino (reducción de tamaño solamente)	6 – 13 mm	En canal abierto
Pérdidas típicas	300 – 450 mm	
Tamiz fijo estático (rejilla fina)	2.3 a 6.4 mm	Aperturas menores a 2.3 mm son usadas en pretratamiento o tratamiento primario
Tamiz ajustable	0.02 a 0.3 mm	Poco utilizado en plantas municipales, solo en el efluente secundario

Fuente: Conagua [38].

Las características de rejas de barras de limpieza manual y mecánica, según Metcalf & Eddy, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 25. Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica.

Características	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica	Dimensiones Proyecto	Cumplimiento
Tamaño de la barra: Anchura, mm Profundidad, mm	5 – 15 25 – 37,5	5 – 15 25 – 37,5	6 27	CUMPLE
Separación entre barras, mm	25 – 50	15 – 75	26	CUMPLE
Pendiente en relación con la vertical, grados	25 - 50	50 – 82.5	15	NO CUMPLE

Fuente: Metcalf & Eddy [30].

La planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo, cuenta con una rejilla de cribado de 26 mm de apertura, por lo que según los rangos de la tabla 24, se clasifica dentro del concepto de rejillas manuales que se usan en plantas pequeñas o canales Bypass, esta clasificación concuerda con los parámetros reales de la PTAR, además, como se mencionó anteriormente las dimensiones de la barra de las rejas son de 6 mm de ancho, 27 mm de profundidad por lo que se puede afirmar que la rejilla se encuentra dentro de los rangos propuestas por Metcalf & Eddy, para rejas de barra de limpieza manual.

Debido a que, la rejilla de la instalación es de limpieza manual, en la tabla 25 se observa que la recomendación respecto a la pendiente que debe tener con la vertical es de 25 a 50 grados, esta condición no se cumple en la planta puesto que normalmente se verificó que la rejilla la colocan entre los 10 y 20 grados, aunque esto no es un inconveniente de gran importancia se debe tomar en cuenta y realizar la corrección necesaria para un mejor proceso de cribado.

3.1.5.2 Desarenador

La verificación del funcionamiento del desarenador se realizó en base a los fórmulas y criterios de diseño presentados en el Manual de diseño de desarenadores de la Comisión Nacional del Agua 2015 [39]. Los datos necesarios para el diagnóstico del componente se asumen de acuerdo con las condiciones específicas de la comunidad de Andahuayo y se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 26. Datos para el diagnóstico del desarenador.

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Caudal máximo	Q	3.46	l/s
Peso específico de la arena	ρ_s	2.65	g/cm ³
Temperatura del agua residual	T	15	°C
Viscosidad cinemática (en función de la temperatura)	η	1.1457×10^{-2}	cm ² /s
Tamaño de partículas	d	0.02	cm
Aceleración de gravedad	g	981	cm/s ²

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

- **Cálculo del de la velocidad de sedimentación (Vs):**

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2 \quad (Ec. 2)$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \left(\frac{2.65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 1}{1.1457 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}} \right) 0.02^2$$

$$V_s = 3.14 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

- **Comprobación del número de Reynolds:**

$$Re = \frac{Vs * d}{\eta} \quad (Ec. 3)$$

$$Re = \frac{3.14 \frac{cm}{s} * 0.02cm}{1.1457 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s^2}}$$

$$Re = 5.48$$

Puesto que el número de Reynold es mayor a 0.5 y no se encuentra en la zona de la ley de Stokes, es necesario realizar un reajuste en función del diámetro de la partícula:

- **Término del diámetro:**

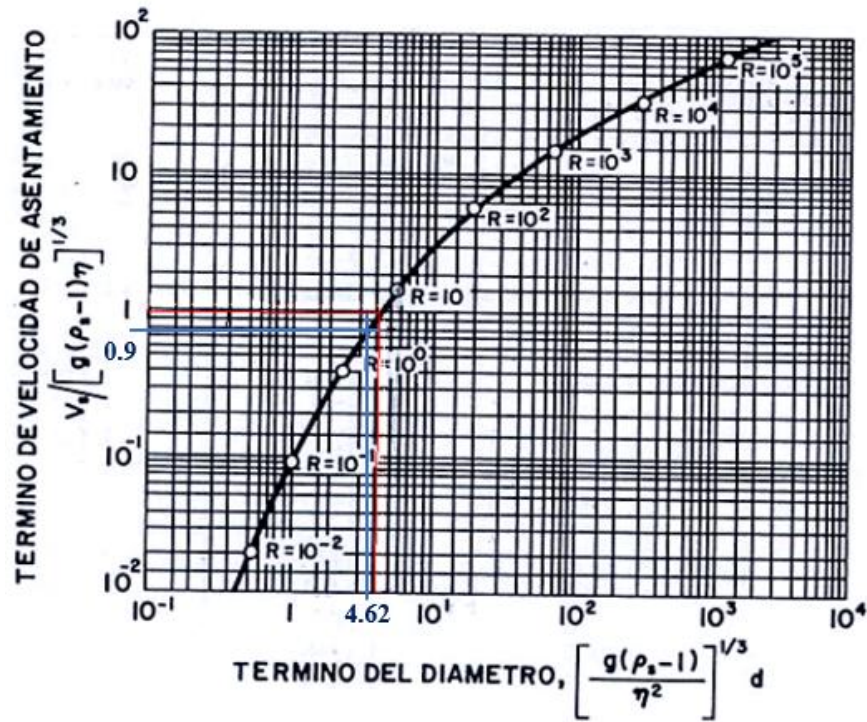
$$Tdd = \left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} * d \quad (Ec. 4)$$

$$Tdd = \left[\frac{981 \frac{cm}{s^2} (2.65 \frac{g}{cm^3} - 1)}{(1.1457 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s^2})^2} \right]^{1/3} * 0.02cm$$

$$Tdd = 4.62$$

El término de la velocidad de asentamiento se calcula utilizando el diagrama expuesto en la normativa, para ello se traza una vertical en el término del diámetro obtenido y posteriormente un horizontal en el punto que interseca con la curva:

Figura 31. Valores de sedimentación.



Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores OPS [39].

- **Término de la velocidad de sedimentación:**

$$0.9 = \frac{V_s}{[g(\rho_s - 1) * \eta]^{1/3}} \quad (Ec. 5)$$

$$V_s = 0.9[g(\rho_s - 1) * \eta]^{1/3}$$

$$V_s = 0.9 \left[981 \frac{cm}{s^2} \left(2.65 \frac{g}{cm^3} - 1 \right) * 1.1457 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s^2} \right]^{1/3}$$

$$V_s = 2.38 \frac{cm}{s}$$

- **Comprobación del número de Reynolds:**

$$Re = \frac{Vs * d}{\eta} \quad (Ec.6)$$

$$Re = \frac{2.38 \frac{cm}{s} * 0.02cm}{1.1457 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s^2}}$$

$$Re = 4.15$$

Al utilizar el gráfico 26, se asegura de que el resultado se encuentre en la zona de transición (ley de Allen) por lo que se validan los resultados de Vs y Re:

- **Coefficiente de arrastre (Cd):**

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (Ec.7)$$

$$C_D = \frac{24}{4.15} + \frac{3}{\sqrt{4.15}} + 0.34$$

$$C_D = 7.6$$

- **Velocidad de la partícula en la zona de transición (Vs):**

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) * d} \quad (Ec.8)$$

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \frac{cm}{s^2}}{7.6} \left(2.65 \frac{g}{cm^3} - 1\right) * 0.02cm}$$

$$Vs = 2.38 \frac{cm}{s}$$

- **Velocidad crítica de flujo (V_D):**

La velocidad crítica de flujo se calcula utilizando el parámetro “a”, que se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 27 Coeficiente "a" en función del diámetro de la partícula.

a	Diámetro
36	d > 1mm
44	1mm > d > 0.1mm
51	d < 0.1mm

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores [40].

Puesto que el tamaño de partículas asumido es de 0.2mm se toma un valor de a=44

$$Vd = a * \sqrt{d} \quad (Ec. 9)$$

$$Vd = 44 * \sqrt{0.2}$$

$$Vd = 19.68 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0.1968 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Área transversal del desarenador (A_{trans}):**

$$A_{trans} = \frac{Q}{Vd} \quad (Ec. 10)$$

$$A_{trans} = \frac{0.00346 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.1968 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_{trans} = 0.018 \text{m}^2$$

- **Ancho del canal (b):**

$$b = \sqrt{\frac{A_{trans}}{1.5}} \quad (Ec. 11)$$

$$b = \sqrt{\frac{0.018m^2}{1.5}}$$

$$\mathbf{b = 0.11m}$$

- **Altura (h):**

$$h = 1.5b \quad (Ec. 12)$$

$$h = 1.5 * 0.11m$$

$$\mathbf{h = 0.17m}$$

- **Tiempo de residencia (TRH):**

$$TRH = \frac{h}{V_s} \quad (Ec. 13)$$

$$TRH = \frac{0.17m}{0.0238 \frac{m}{s}}$$

$$\mathbf{TRH = 7.14s}$$

- **Largo (L):**

$$L = TRH * V_{agua} \quad (Ec. 14)$$

$$L = 7.14s * 0.30 \frac{m}{s}$$

$$\mathbf{L = 2.14 m}$$

- **Largo adicional (L):**

$$L = L * 1.25 \quad (\text{Ec. 15})$$

$$L = 2.14 \frac{m}{s} * 1.25$$

$$L = 2.68 \frac{m}{s}$$

En la siguiente tabla se presentan, las dimensiones del canal desarenador obtenido a partir de las ecuaciones de la normativa OPS y las dimensiones reales:

Tabla 28. Dimensiones reales del desarenador y dimensiones teóricas calculadas.

Parámetro	Unidad	Dimensión calculada	Dimensión real	Verificación
Largo	m	2.68	3.00	Cumple
Ancho	m	0.11	1.00	Cumple
Altura	m	0.17	0.80	Cumple

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Como se observa en la tabla 28, las dimensiones reales del desarenador tanto para el largo, ancho y altura son superiores, por lo que se puede inferir que el desarenador está correctamente dimensionado, además las dimensiones del desarenador de la PTAR se encuentran dentro de los rangos recomendados de diseño para la profundidad (0.6 – 1.5 m) y longitud (3 – 25 m) según la normativa CONAGUA.

3.1.5.3 Reactor UASB

El diagnóstico del reactor UASB se realizó apegándose a la normativa CONAGUA para reactores anaerobios de flujo ascendente [41], para lo cual se determinó el volumen del tanque utilizando las medidas detalladas anteriormente, el valor obtenido fue de 94.41 m³ y además se utilizó el máximo caudal diario determinado durante la medición en campo, este valor según la tabla 6, es igual a 3.46 l/s. La verificación del

dimensionamiento del componente se realizó determinando primero su TRH para determinar si este valor se encuentra dentro los rangos recomendados por la normativa:

Tabla 29. Datos para el cálculo del TRH del reactor UASB.

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal promedio del afluente	Q	12.46	m ³ /h
Volumen del reactor	V	94.41	m ³

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

- **Cálculo del tiempo de residencia hidráulica (TRH):**

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (Ec. 16)$$

$$TRH = \frac{94.41m^3}{12.46m^3/h}$$

$$TRH = 7.58 h$$

En la siguiente tabla se presentan valores del tiempo de residencia hidráulica recomendados para reactores anaerobios de flujo ascendente:

Tabla 30. Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un reactor UASB.

Temperatura del agua residual	Tiempo de residencia hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo (durante 4 – 6 h)
16 – 19	10 - 14	7 – 9
22 – 26	7 – 9	5 – 7
> 26	6 – 8	4 - 5

Fuente: Metcalf & Eddy [30].

Puesto que la temperatura del sector en donde se asienta la PTAR varía entre los 10 y 12 °C, según la tabla 30 el tiempo mínimo de residencia hidráulica es de 7 a 9 horas, el valor de TRH calculado fue 7.78 horas, por lo que se puede afirmar que el diseño del volumen del tanque es el adecuado y cumple con las recomendaciones de la

normativa para un óptimo funcionamiento, sin embargo en la visita de campo se verifico que el componente presenta un desgaste en la pintura y grietas superficiales, que pueden contribuir a una disminución de la vida útil de la PTAR.

- **Cálculo de la altura del reactor UASB (TRH):**

Para el cálculo de la altura del reactor UASB, se debe tener las siguientes consideraciones: la velocidad de flujo ascendente normalmente no debe exceder el valor de 1 m/h, por tanto, adoptando un margen de seguridad para que se logre una mejora global en el proceso de tratamiento se define en 0.58 m/h y con la tabla 32 se asume un valor de TRH de 8 horas, estos valores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 31. Datos para el cálculo de la altura del reactor UASB.

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Velocidad de flujo ascendente	v	0.58	m/h
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	8	h

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

$$H = v * TRH \quad (Ec. 17)$$

$$H = 0.58 \frac{m}{h} * 8h$$

$$H = 4.64 m$$

El valor obtenido de la altura del reactor aplicando la fórmula del manual es de 4.64 m y la altura con la que se construyó el reactor UASB es de 5.9 m, por lo que se puede comprobar que la altura también cumple con las recomendaciones de diseño propuestas por el manual CONAGUA.

3.1.5.4 Filtro biológico de flujo ascendente

El diagnóstico técnico de este componente se realizó siguiendo los criterios de diseño de filtros anaerobios de flujo ascendente propuestos por el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA) [42]. En la tabla 32 se detallan los datos necesarios para realizar la verificación a través de las fórmulas expuestas en dicho manual, el valor de cada parámetro está de acuerdo con las condiciones propias del sector y los resultados obtenidos que se obtuvieron mediante la medición del caudal realizado en las etapas anteriores.

Tabla 32. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente.

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal máximo de ingreso	Q	298.94	m ³ /día
DBO presente en el afluente	So	133	mg O ₂ /l
Diámetro del filtro	D	5.3	m
Altura del filtro	H	2.68	m
Longitud del borde libre	b	0.60	m
Longitud del bajo dren	d	0.28	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

- **Área superficial del filtro (A):**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (Ec. 18)$$

$$A = \frac{\pi * (5.9m)^2}{4}$$

$$A = 27.34m^2$$

- **Volumen total del filtro (Vt):**

$$Vt = A * H \quad (Ec. 19)$$

$$Vt = 27.34m^2 * 3.00m$$

$$Vt = 82.02m^3$$

- **Altura del medio filtrante (hm):**

$$hm = H - b - d \quad (Ec. 20)$$

$$hm = 3.00 - 0.60m - 0.28m$$

$$hm = 2.12m$$

- **Volumen del lecho filtrante (Vm):**

$$Vm = hm * A \quad (Ec. 21)$$

$$Vm = 2.12m * 27.34m^2$$

$$Vm = 57.961m^3$$

- **Estimación del tiempo de residencia hidráulica (TRH):**

$$TRH = \frac{Vm}{Q} \quad (Ec. 22)$$

$$TRH = \frac{57.96 m^3}{298.94 \frac{m^3}{día}}$$

$$TRH = 0.194día = 4.66horas$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial (CHS):**

$$CHS = \frac{Q}{A} \quad (Ec. 23)$$

$$CHS = \frac{298.94 \frac{m^3}{día}}{27.34m^2}$$

$$CHS = 10.93 \frac{\frac{m^3}{día}}{m^2}$$

- **Cálculo de la carga orgánica volumétrica total (COV):**

$$COV = \frac{Q * So}{Vt} \quad (Ec. 24)$$

$$COV = \frac{298.94 \frac{m^3}{día} * 0.133 \frac{kg * DBO_5}{m^3}}{82.02m^3}$$

$$COV = 0.485 \frac{kg * DBO_5}{m^3 * día}$$

- **Cálculo de la carga orgánica volumétrica del medio filtrante (COVm):**

$$COVm = \frac{Q * So}{Vm} \quad (Ec. 25)$$

$$COVm = \frac{298.94 \frac{m^3}{día} * 0.133 \frac{kg * DBO_5}{m^3}}{57.961m^3}$$

$$COVm = 0.686 \frac{kg * DBO_5}{m^3 * día}$$

- **Eficiencia esperada de remoción (E):**

$$E = 100[1 - 0.87(TRH^{-0.5})] \quad (Ec. 26)$$

$$E = 100[1 - 0.87(4.66^{-0.5})]$$

$$E = 62.94\%$$

Los resultados obtenidos se compararon con los criterios de diseño para filtros anaerobios según la normativa CONAGUA:

Tabla 33. Comparación de los parámetros reales de la PTAR Andahualo con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.

Parámetro de diseño	Rango de valores		
	Normativa para Q máximo horario	Valor real calculado	Verificación
Medio de empaque	Piedra	Piedra	Cumple
Altura del medio filtrante (m)	0.8 a 3.0	1.92	Cumple
Tiempo de residencia hidráulica (horas)	3 a 6	4.7	Cumple
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² d)	10 a 15	10.93	Cumple
Carga orgánica volumétrica (kg BDO/m ³ d)	0.15 a 0.50	0.485	Cumple
Carga orgánica en el medio filtrante (kg BDO/m ³ d)	0.25 a 0.75	0.686	Cumple

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento[42].

Como se observa en la tabla 33, los parámetros reales del componente analizado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo, cumplen con los parámetros de diseño para filtros anaerobios aplicables para el post tratamiento de efluentes de reactores anaerobios especificados en el manual de CONAGUA, por lo

que se puede afirmar que el filtro biológico depura el agua residual adecuadamente. En la visita de campo se pudo observar que el filtro no presenta problemas estructurales y solo tiene un desgaste en la pintura de las paredes producto de la humedad.

3.1.5.5 Lecho de secado de lodos

Para evaluar el correcto dimensionamiento del lecho de secado de lodos se utilizó la guía de diseño OPS 2015 [43]. Los datos utilizados para la evaluación de este componente se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 34. Datos utilizados para el diagnóstico del lecho de lodos.

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal promedio de aguas residuales	Q	3.46	l/s
Sólidos en suspensión presentes en el agua residual cruda	SS	86	mg/l
Densidad de lodos	ρ_{lodo}	1.04	kg/l
Largo actual del componente	a	6.20	m
Ancho actual del componente	b	4.35	m

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

- **Determinación del porcentaje de sólidos presentes en el lodo:**

Por normativa este parámetro debe encontrarse en el 8 y 12%, por lo tanto, el valor seleccionado es:

$$\% \text{sólidos} = 10\%$$

- **Tiempo de digestión de lodos:**

El tiempo de digestión de lodos se calculó en base a la tabla presentada en la normativa OPS (tabla 30), conociendo que la temperatura de la comunidad de Andahualo varía entre los 10 y 12 °C, el tiempo de digestión de lodos seleccionado es:

Tabla 35. Tiempo requerido para la digestión de lodos.

Temperatura	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: Manual OPS [44].

$$T_d = 76 \text{ días}$$

- **Profundidad de aplicación:**

La norma establece que este parámetro se debe encontrar en el rango de 0.20 a 0.40m, por lo que se decidió tomar el promedio:

$$H_a = 0.30$$

- **Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C):**

$$C = Q * SS * 0.0864 \quad (\text{Ec. 27})$$

$$C = 3.46 \frac{l}{s} * 86 \frac{mg}{l} * 0.0864$$

$$C = 25.71 \frac{kg \text{ de } SS}{\text{día}}$$

- **Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd):**

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C) \quad (Ec. 28)$$

$$Msd = \left(0.5 * 0.7 * 0.5 * 25.71 \frac{kg \text{ de } SS}{día} \right) + \left(0.5 * 0.3 * 25.71 \frac{kg \text{ de } SS}{día} \right)$$

$$Msd = 8.36 \frac{kg \text{ de } SS}{día}$$

- **Volumen diario de lodos digeridos (Vld):**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * (\%sólidos/100)} \quad (Ec. 29)$$

$$Vld = \frac{8.36 \frac{kg \text{ de } SS}{día}}{1.04 \frac{kg}{l} * (10/100)}$$

$$Vld = 80.38 \frac{l}{día}$$

- **Volumen de lodos a extraerse del tanque (Vel):**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad (Ec. 30)$$

$$Vel = \frac{80.38 \frac{l}{día} * 76días}{1000}$$

$$Vel = 6.11m^3$$

- **Área del lecho de secado (Als):**

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad (Ec. 31)$$

$$Als = \frac{6.11m^3}{0.40m}$$

$$Als = 15.28 m^2$$

- **Área actual del lecho de secado de lodos (Aa):**

$$Aa = a * b \quad (Ec. 32)$$

$$Aa = 6.20m * 4.35m$$

$$Aa = 26.97 m^2$$

Al comparar el área del lecho de secado de lodos calculada en base a la normativa con el área real, se observa que el área real supera a la calculada (15.28 m²), por lo que se infiere que el lecho de secado de lodos tiene un dimensionamiento adecuado para cumplir con su función. Además, puesto que, el ancho del componente es de 4.35 m también cumple con la recomendación de la norma OPS, que menciona que el ancho debe ser de 3 a 6 m.

A pesar de que el lecho de secado de lodos cumple con un dimensionamiento correcto según la normativa, el mantenimiento del componente no es el adecuado, puesto que, en ocasiones se ha notado una demora en el proceso de limpieza, ocasionando que crezca mucha maleza y contribuya a la aparición de vectores, de igual forma el componente no cuenta con un techo para que se produzca el secado de lodo en óptimas condiciones, todos estos factores pueden ocasionar que la instalación disminuya su tiempo de vida útil.

3.1.1 Verificación de la hipótesis

¿Es la evaluación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad Andahualo, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua la que determina si en su estado actual trabaja correctamente?

Una culminado la evaluación del funcionamiento de la PTAR Andahualo San Isidro, se determinó que los parámetros físico – químicos analizados del efluente de la planta de tratamiento se encuentran dentro de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que permite el libro VI de la norma TULSMA, con estos resultados se puede afirmar que los niveles de contaminación actualmente no representan un problema para el medio en el que se descarga, además el diagnóstico técnico permitió verificar que el dimensionamiento de los componentes del sistema de tratamiento son los adecuados para el funcionamiento de cada proceso unitario, un resumen de este diagnóstico se puede observar en la tabla 36, adicionalmente se verificó que el mantenimiento que se le da a la instalación no es el adecuado por lo que se propuso un Manual de Operación y Mantenimiento para la PTAR, por estas razones se puede inferir que la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales es un medio válido para verificar si su funcionamiento es el adecuado.

Tabla 36. Resumen del funcionamiento actual de la PTAR Andahualo San Isidro.

Componente	Funcionamiento actual vs. Teórico calculado	Observación	Cumplimiento
Desarenador	El largo del desarenador (0.3m) y su profundidad (0.8m) se encuentran dentro del rango recomendado por la norma CONAGUA (3–25m-ancho) y (0.6-1.5m-profundidad), el ancho mínimo calculado con la norma OPS es de 0.11 m, en campo se verificó que el ancho es de 1m, esto indica que también este parámetro cumple con la normativa.	El desarenador no presenta problemas estructurales severos, solo se observó un desgaste de la pintura por la humedad. Además, se verificó que el tiempo en el que se realiza el mantenimiento del desarenador no sigue criterios técnicos.	-Cumple con el dimensionamiento según la Norma CONAGUA y OPS 2015. -No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento del componente.
Rejilla de cribado	La apertura de la rejilla (26 mm), es la indicada para	La inclinación de la rejilla se puede	-Cumple el dimensionamiento

	rejillas manuales de acuerdo con el manual CONAGUA. El ancho (6mm), profundidad de la barra (27mm) al igual que la separación (26mm) se encuentran dentro del rango recomendado por Metcalf y Eddy para rejillas manuales, mientras que, la pendiente de la rejilla (15°) se encuentra fuera del rango de 25-50° que recomienda el libro.	corregir de manera muy sencilla, puesto que la rejilla puede moverse con facilidad a la pendiente deseada. El componente actualmente presenta problemas de corrosión, por lo que necesita un mantenimiento inmediato.	según la Norma CONAGUA y recomendaciones de Diseño de Metcalf y Eddy. -No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento del componente.
Reactor UASB	El tiempo de residencia hidráulica calculado (7.6 h) se encuentra dentro del rango mínimo (7 - 9 h) establecido por Metcalf y Eddy, de igual forma la altura mínima calculada (4.64m) es inferior a la dimensión real del componente (5.9m)	En el reactor se observó problemas de desprendimiento de pintura ocasionado por la humedad.	-Cumple la normativa CONAGUA y recomendaciones de Diseño de Metcalf y Eddy. -No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.
Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente	La altura del medio filtrante (1.92m), el tiempo de residencia hidráulica (4.7m), la carga hidráulica superficial (10.93 m ³ /m ² d), la carga volumétrica (0.485 kg BDO/m ³ d) y la carga orgánica en el medio filtrante (0.686 kg BDO/m ³ d) calculado con los parámetros actuales del componente, cumplen con la normativa CONAGUA.	Presenta problemas estructurales leves como desprendimiento de pintura por humedad.	-Cumple con el dimensionamiento según la Norma CONAGUA. -No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.
Lecho de secado de lodos	El área calculada para el lecho de secado (15.28 m ²), es inferior al área real (26.7m ²), así mismo, el ancho actual (4.35m) se encuentre dentro de los (3 y 6m) recomendados por la norma OPS.	El componente no cuenta con un techo para un mejor cumplimiento de su función y su mantenimiento no es el adecuado.	-Cumple con el dimensionamiento según la Norma OPS 2015. -No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

3.1.2 Sugerencias para mejorar el funcionamiento de la PTAR

Como se detalló anteriormente el GAD municipal de Píllaro da un mantenimiento a la PTAR, sin embargo, se verificó que este procedimiento no se ejecuta siguiendo criterios técnicos, puesto que, se ha observado que la rejilla no la colocan a una inclinación adecuado, no se da mantenimiento en el tiempo oportuno al desarenador y además en ciertas ocasiones se ha observado presencia de vegetación en el lecho de secado de lodos y en toda el área de implantación por lo tanto, a continuación, se sugiere un plan de mantenimiento que se podría implementar en la planta de tratamiento de aguas residuales.

3.1.2.1 Plan de operación y mantenimiento de la PTAR “Andahualo”

El plan de operación y mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de Andahualo, a través de criterios y recomendaciones técnicas permitirá mantener en buen estado la instalación y cada uno de sus componentes para garantizar un correcto funcionamiento y procurar que se cumpla con el tiempo de vida útil estimado durante su diseño. El responsable de ejecutar el plan de operación y mantenimiento de la PTAR será el GAD Municipal de Píllaro.

a) Medida 1: Rejilla de Cribado

Limpieza y mantenimiento

-Eliminar el material acumulado en la rejilla de cribado para evitar desbordamientos, realizarlo diariamente en épocas lluviosas y una vez a la semana en días sin presencia de lluvia.

-Realizar la limpieza de la unidad de cribado utilizando un rastrillo y procurando separar los materiales no degradables como plásticos, cartón, papeles entre otros, para que posteriormente se coloquen en un lugar adecuado para su eliminación.

-Realizar la limpieza de la criba con una manguera a presión.

Mantenimiento preventivo

-Utilizar pintura anticorrosiva en la rejilla para evitar su desgaste, realizar este procedimiento por lo menos una vez al año.

Señalética

-Colocar un letrero de identificación del componente, 30x70cm de metal resistente al agua conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 439:1984 [45] y NTE INEN 878:1985[46], a una altura de 1.00 m.

Tabla 37. Mantenimiento de la rejilla de cribado.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Limpieza y mantenimiento	. Diariamente en días lluviosos y 1 vez por semana en días normales	Operador Peón	Pala, cuchara de albañil, manguera y carretilla	\$196.8 anual
Mantenimiento preventivo	1 vez por año	Albañil Peón	Herramienta menor	\$18.15 anual
Señalética	1 vez por año	Operador	Accesorios y tornillería	\$19.53 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

b) Medida 2: Desarenador

Limpieza y mantenimiento

-Revisar los niveles del material arenoso presente en la unidad para planificar la limpieza con herramientas menores.

-Limpiar de las paredes del tanque utilizando agua a presión.

-Remover natas y sólidos flotantes.

Mantenimiento preventivo

-Pintar las paredes del componente con pintura resistente a la humedad.

Señalética

- Colocar un letrero de identificación del componente, 30x70cm de metal resistente al agua conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 439:1984 [45] y NTE INEN 878:1985[46], a una altura de 1.00 m.

Tabla 38. Mantenimiento del desarenador.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Limpieza y mantenimiento	Semanalmente	Operador Peón	Pala, manguera y carretilla	\$824.99 anual
Mantenimiento preventivo	1 vez por año	Pintor Peón	Herramienta menor	\$33.51 anual
Señalética	1 vez por año	Operador	Accesorios y tornillería	\$19.53 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

c) Medida 3: Reactor UASB

Limpieza y mantenimiento

-Limpieza del conducto de la cámara de repartición de caudales cada año.

-Escobillado de la espuma flotante y natas que se encuentran en parte superior del reactor.

-Abrir las tapas de revisión para que se ventilen los gases acumulados.

-Remoción de lodos mediante la apertura de la válvula hacia el lecho de secado de lodos.

Mantenimiento preventivo

-Lijar, resanar y pintar las paredes del componente con pintura resistente a la humedad.

-Revisar diariamente las tuberías de ingreso al componente para evitar obstrucciones.

Señalética

- Colocar un letrero de identificación del componente, 30x70cm de metal resistente al agua conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 439:1984 [45] y NTE INEN 878:1985[46], a una altura de 1.00 m.

Tabla 39. Mantenimiento del Reactor UASB.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Limpieza y mantenimiento	Cada 55 días	Operador Peón	Pala, manguera y carretilla, coladera	\$276.23 anual
Mantenimiento preventivo	1 vez por año	Pintor Peón Operador	Herramienta menor	\$157.26 anual
Señalética	1 vez por año	Operador	Accesorios y tornillería	\$19.53 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

d) Medida 4: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Limpieza y mantenimiento

-Remoción de sólidos del material filtrante para evitar generación de malos olores y plagas.

-Escobillado de la espuma flotante y natas de la superficie del filtro.

-Remoción de lodos mediante la apertura de la válvula hacia el lecho de secado de lodos.

-Limpieza del área superficial del tanque utilizando cepillos adecuados.

-Revisar diariamente las tuberías y válvulas de ingreso al componente para evitar obstrucciones.

Mantenimiento preventivo

-Lijar, resanar y pintar las paredes del componente con pintura resistente a la humedad.

Señalética

- Colocar un letrero de identificación del componente, 30x70cm de metal resistente al agua conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 439:1984 [45] y NTE INEN 878:1985[46], a una altura de 1.00 m.

Tabla 40. Mantenimiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Limpieza y mantenimiento	Mensualmente	Operador Peón	Coladera o tamiz, cepillos	\$807.67 anual
Mantenimiento preventivo	1 vez por año	Pintor Peón Operador	Herramienta menor	\$395.12 anual
Señalética	1 vez por año	Operador	Accesorios y tornillería	\$19.53 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

e) Medida 5: Lecho de secado de Lodos

Limpieza y mantenimiento

-Remoción del lodo seco con palas siempre y cuando el contenido de humedad se encuentre por lo menos entre el 60 y 70%, siendo la condición ideal un 40% de humedad.

-Limpieza del área superficial del tanque utilizando cepillos adecuados.

-Limpiar las paredes del lecho de secado de lodos con agua a presión.

-Revisar diariamente las tuberías y válvulas de ingreso al componente para evitar obstrucciones.

Mantenimiento preventivo

-Lijar, resanar y pintar las paredes del componente con pintura resistente a la humedad.

Señalética

- Colocar un letrero de identificación del componente, 30x70cm de metal resistente al agua conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la NTE INEN 439:1984 [45] y NTE INEN 878:1985[46], a una altura de 1.00 m.

Tabla 41. Mantenimiento del lecho de secado de lodos.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Limpieza y mantenimiento	Mensualmente	Operador peones	Pala, manguera, balde y carretilla	\$579.58 anual
Mantenimiento preventivo	1 vez por año	Pintor Peón Operador	Herramienta menor	\$530.20 anual
Señalética	1 vez por año	Operador	Accesorios y tornillería	\$19.53 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

Cubierta Metálica

Adicionalmente se recomienda colocar una cubierta metálica, para evitar que la lluvia interfiera en el secado del lodo. La cubierta metálica diseñada consta de un Alutecho Galvalume de 3 mm, que está asentada sobre correas tipo G de 100x50x15x2 y estas a su vez se ubican sobre vigas rectangulares de 200x100x3 que transmitirán las cargas mediante columnas cuadradas de 150x150x4. Esta cubierta se ubicará en la parte superior del lecho de secado de lodos, a nivel del suelo, anclada a 5 placas. La cubierta metálica propuesta se realizó en base a la normativa NEC 2015, en el Anexo 2 se puede observar el detalle estructural de este componente.

f) Medida 6: Monitoreo del agua residual tratada

Se debe realizar un análisis del agua residual tratada de la PTAR, para verificar su correcto funcionamiento, el análisis de los parámetros físico – químicos del agua tiene que realizarse en laboratorios certificados.

Tabla 42. Monitoreo del agua residual tratada.

Actividades	Frecuencia	Personal	Herramientas	Costo
Monitoreo del análisis físico químico del efluente	Cada 6 meses	Operador	Botellas de muestreo Ámbar	\$322.50 anual

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

g) Medida 7: Operador de la planta de tratamiento

Funciones

-Entender el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahualo, para que pueda realizar la supervisión de cada uno de los procesos que componen el tren de tratamiento de la PTAR.

-Realizar los trabajos de mantenimiento de las unidades de tratamiento siguiendo el plan de mantenimiento propuesto.

Protección e higiene

-Realizar los trabajos de mantenimiento con utilizando: mascarillas, casco, guantes y gafas de protección y un overol.

-Una vez culminado los trabajos de mantenimiento los operadores tendrán que lavar las herramientas utilizadas adecuadamente y cuidar su higiene personal, se recomienda mantener controles médicos periódicos.

3.1.3 Presupuesto referencial del Plan de Operación y Mantenimiento

En la tabla 43 se presenta a detalle el presupuesto referencial anual del plan de operación y mantenimiento de la PTAR “Andahualo”.

Tabla 43. Presupuesto referencial del plan de operación y mantenimiento de la PTAR "Andahualo".

PRESUPUESTO REFERENCIAL ANUAL DEL PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR “ANDAHUALO SAN ISIDRO”					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Limpieza y mantenimiento	m2	2378.51	1.64	3900.76
2	Pintura de caucho	m2	343.53	4.22	1449.70
3	Pintura anticorrosiva	m2	18.15	4.91	89.12
4	Señalética de información	u	7.00	19.53	136.71
5	Monitoreo del análisis físico químico del efluente	u	2	161.25	322.50
Mantenimiento y operación de la PTAR					\$5898.77
Cubierta del lecho de secado de lodos					
6	Hormigón ciclópeo 60% HS y 40% piedra f ^c =210 kg/cm ²	m3	4.40	89.08	391.952
7	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	49.84	2.24	111.64
8	Acero estructural A36, montaje manual	kg	1305.32	5.60	7309.78
9	Cubierta Galvalumen e=30mm	m2	40.8	23.44	956.352
Cubierta del lecho de secado de lodos					\$8769.73
TOTAL					\$14668.50

Fuente: Klever Leonardo Barros Manotoa.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.2. Conclusiones

- La Planta de Tratamiento recolecta aguas residuales domésticas provenientes de las comunidades de Andahualo San Isidro y Andahualo Paccha, la instalación inició su funcionamiento en el año 2016, cuenta con un área de ocupación de 483.21m² y realiza el proceso de tratamiento a través de una rejilla de cribado, un sedimentador, un reactor UASB, dos filtro anaerobios de flujo ascendente y un lecho de secado de lodos, la descarga del efluente se realiza en la Quebrada “La Libertad” y adicionalmente se observó que la instalación no tiene problemas estructurales significativos, sino problemas leves como el desgaste de pintura en paredes por humedad y presencia de óxido en las rejillas y tapas de revisión metálicas.
- La medición del caudal de la PTAR por el método volumétrico indicó que el viernes es el día que más caudal promedio ingresó a la instalación con un valor de 2.177 l/s, además, el horario con mayor ingreso de caudal es 15:00 a 16:00 horas con un valor promedio de 2.584 l/s y por último el caudal máximo de ingreso medido durante un mes fue de 3.458 l/s el viernes de la semana 2, en el horario de 15:00 a 16:00 horas.
- El análisis de los parámetros físico – químicos permitió verificar que la PTAR depura adecuadamente el agua residual, debido a que, las concentraciones de DBO (259 mg/l), DQO₅(44 mgO₂/l), SST (47 mg/l) y ST (306 mg/l) del efluente de la PTAR se encuentran dentro de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce permitidos por la normativa Ambiental TULSMA 2015, además se determinó que los parámetros de DBO y DQO₅ son los que mayor porcentaje de eficiencia de remoción tienen, con un 67.57% y 66.92% respectivamente.

- El diagnóstico técnico realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales basándose en las recomendaciones de diseño del manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA y de la OPS, sirvió para verificar que la dimensión (largo, ancho, área, profundidad, volumen y abertura en el caso de las rejillas) de los componentes de tratamiento de la instalación son los adecuados para una correcta remoción de los contaminantes presentes el afluente, sin embargo, se determinó que a la PTAR se le da un mantenimiento poco técnico que puede influir en la disminución de su vida útil por lo que se propuso un plan de operación y mantenimiento para procurar que la instalación cumpla con su período de diseño en óptimas condiciones.
- El presupuesto referencial para el Plan de Operación y Mantenimiento anual sugerido para la PTAR realizado en base al análisis de precios unitarios, es de \$5898.77 (cinco mil ochocientos noventa y ocho con setenta y siete centavos) mientras que, para la cubierta metálica del lecho de secado de lodos es de \$8769.73 (ocho mil setecientos sesenta y nueve con setenta y tres centavos), las actividades de limpieza, mantenimiento preventivo y señalética para cada componente del tren de tratamiento, que se detallan en el plan, servirán como una guía para que se mejore el funcionamiento actual de la instalación y que se procure alargar su tiempo de vida útil.

3.3. Recomendaciones

- Controlar la vegetación existente en la PTAR con más frecuencia puesto que, las condiciones climáticas del sector favorecen a un acelerado crecimiento de la maleza y césped presente en la instalación.
- Ejecutar el mantenimiento de los elementos metálicos (puerta de ingreso, rejilla de cribado y tapas de revisión) para evitar que se siga presentando el problema de corrosión en dichos elementos.
- Llevar a cabo el análisis de los parámetros físico – químicos del efluente y afluente de la PTAR, para verificar que la planta se encuentre operando en óptimas condiciones.
- Realizar la remoción de los lodos del lecho de secado una vez que el contenido de humedad se encuentre entre el 60 y 70% aproximadamente como lo establece la normativa OPS, para evitar el problema de crecimiento de vegetación sobre estos residuos.
- Se recomienda al GAD municipal de Píllaro, cumplir con el plan de operación y mantenimiento propuesto en el presente trabajo de investigación, para garantizar que la infraestructura cumpla con su período de diseño y depure el agua residual adecuadamente.
- Es necesario que la comunidad universitaria fomente trabajos de investigación enfocados a la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a que, esto permitirá proponer un rediseño en el caso de ser necesario o un plan de mejora en el caso de que se identifique que las instalaciones se encuentren en mal estado o no cumplan con la función con la que fueron diseñadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), “Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado.” UNESCO, París, 2017.
- [2] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), “Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás.” UNESCO, Francia, p. 215, 2019.
- [3] G. Hutton and M. Varughese, “The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene,” *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*, World Bank, Washington, DC, Jan-2016.
- [4] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), “Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado.” UNESCO, París, 2017.
- [5] L. Semerjian, A. Shanableh, M. H. Semreen, and M. Samarai, “Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates,” *Environ. Int.*, vol. 121, pp. 325–331, Dec. 2018.
- [6] Y. Sun *et al.*, “Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: implications for resources utilization and management,” *J. Clean. Prod.*, vol. 131, pp. 1–9, Sep. 2016.
- [7] S. Kumar Pitta, J. Ratnakanth Babu, K. Sundara Kumar, P. Sundara Kumar, and M. J. R. Babu, “Performance evaluation of waste water treatment plant,” *Artic. Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 7785–7796, 2010.
- [8] A. Katsoyiannis and C. Samara, “Ecotoxicological evaluation of the wastewater treatment process of the sewage treatment plant of Thessaloniki, Greece,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 141, no. 3, pp. 614–621, Mar. 2017.

- [9] C. A. Dieter *et al.*, “Estimated use of water in the United States in 2015,” Reston, VA, 2018.
- [10] S. A. Mason *et al.*, “Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent,” *Environ. Pollut.*, vol. 218, pp. 1045–1054, Nov. 2016.
- [11] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) and Organización Mundial de la Salud (OMS), “Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM.” Nueva York, 2015.
- [12] V. Lahera Ramón, “Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales,” *Red Rev. Científicas América Lat. el Caribe, España y Port.*, vol. 12, no. 2, pp. 58–69, 2010.
- [13] I. Altafin, “Innovaciones en el desarrollo e implementación de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica y El Caribe,” Washington, D.C., May 2020.
- [14] G. C. G. Herrera and S. I. L. Naranjo, “Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador,” *Cienc. Digit.*, vol. 3, no. 3.2.1, pp. 73–87, Jul. 2019.
- [15] E. C. Mora, D. R. Cambroner, J. Luis, and U. Herra, “Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario,” *Ingeniería*, vol. 28, no. 1, pp. 60–79, Dec. 2018.
- [16] T. Matsumoto and I. A. Sánchez, “Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil),” *Ingeniería*, vol. 21, no. 2, pp. 176–186, May 2016.
- [17] A. Molina, M. Pozo, and J. C. Serrano, “Agua, saneamiento e higiene,” Quito, 2018.
- [18] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales

2015 (Agua y Alcantarillado),” Quito, Oct. 2016.

- [19] M. B. Portero Pesantes and V. A. Amat Marchán, “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo.” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2017.
- [20] J. A. García Muñoz and J. Rojas Álvarez, “Evaluación y propuesta de mejora de la planta de tratamiento de agua residual doméstica de la Ciudadela Cosmos en la Urbanización Villa Club ubicada en el Cantón Daule.” Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil., Guayaquil, 2018.
- [21] T. P. Salazar Soto and A. S. Falconí López, “Evaluación ambiental de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la parroquia del Tena de la provincia del Napo a fin de proponer estrategias de reducción de los impactos negativos al ambiente,” Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, 2020.
- [22] D. J. Guevara Llerena, T. P. Ramos Ramos, and C. R. Valverde Lara, “Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Estatal Amazónica.” Universidad Estatal Amazónica, Puyo.
- [23] I. J. Chiriboga Sisalema, “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales ‘Ubillus’, en la parroquia Pintag e implementación del sistema de gestión integrado,” PUCE, Quito , 2016.
- [24] D. J. Once Sarmiento and J. F. Ruiz Herrera, “Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las Comunidades de Soldados y Churuguzo, Cantón Cuenca, Azuay,” Universidad de Cuenca, Cuenca , 2014.
- [25] L. R. Maldonado Narvaez and V. H. Izurieta Pazmiño, “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, cantón Patate, provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, Ambato , 2020.
- [26] F. A. Castro Solorzano and R. A. Criollo Espín, “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag, cantón Quero,

- provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, Ambato , 2021.
- [27] P. V. Toro Silva and J. J. Guevara Robalino, “Evaluación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.,” Universidad Técnica de Ambato , Ambato , 2022.
- [28] M. Vidal-Álvarez, “Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables,” *RINDERESU*, vol. 3, no. 1–2, pp. 41–58, May 2019.
- [29] A. Gonzáles Valencia, J. D. Ramírez Soto, and M. Valencia Tamayo, *Manual Piragüero 3 - Medición del caudal*, Primera. Medellín : Corantioquia, 2014.
- [30] Metcalf & Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales; tratamiento, vertido y reutilización*, Tercera. Madrid: IMPRESA, 1995.
- [31] Texto Unificado de Legislación Secundaria del Miniterio del Ambiente, *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Quito: Ministerio del Ambiente, 2015, p. 24.
- [32] GAD Parroquial de San Andrés, “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San Andrés,” Píllaro, 2014.
- [33] F. J. Fernando Johnny, “Estudio para alcantarillado, sanitario, sector Andahualo-San Isidro, parroquia San Andrés y planta de tratamiento,” *Estudio de Impacto Ambiental*. Gobierno Municipal de Píllaro, Ambato, 2013.
- [34] P. A. Mejía Miranda, “Estudio para alcantarillado sanitario, sector Andahualo - San Isidr, parroquia San Andrés y planta de tratamiento,” Píllaro, 2017.
- [35] S. D. Morales Medina, “Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Chiquicha centro perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua,” Fabián Rodrigo, Ambato , 2022.
- [36] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.,” Quito, 1998.
- [37] Insituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “Agua. Calidad del agua.

- Muestreo. Manejo y conservación de muestras.,” *NTE INEN 2169*, Quito, 2013.
- [38] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Pretratamiento y tratamiento primario.” in *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento*, México: Comisión Nacional del agua, 2015.
- [39] Organización Panamericana de la Salud (OPS), “Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores .” Lima, 2005.
- [40] F. Coronado del Aguila, *El Desarenador: Una Guía para su Diseño Hidráulico* . Lima, 2004.
- [41] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente ,” in *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento* , Mexico , 2015.
- [42] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: filtros anaeróbicos de flujo ascendente,” in *Manueal de agua potable, alcantarillado y saneamiento* , México , 2015.
- [43] Organización Panamericana de la Salud (OPS), “Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización.” Área de desarrollo sostenible y salud ambiental, Lima, 2005.
- [44] Organización Panamericana de la Salud (OPS), “Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización.” Lima, 2005.
- [45] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “Colores, señales y símbolos de seguridad NTE INEN 439:1984.” Quito, 1984.
- [46] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “Rótulos, placas rectangulares y cuadradas dimensiones,” *Norma Técnica Ecuatoriana*. Quito, 1985.

ANEXOS

**ANEXO 1: RESULTADOS DE
LABORATORIO**



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

Nº SE: 058-22

INFORME DE ANÁLISIS

NOMBRE: Klever Leonardo Barros Manotoa¹

INFORME N.º 058 - 22

EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA¹

N.º SE: 058 - 22

DIRECCIÓN: Huachi Totoras (Centro)¹

TELÉFONO: 0995187258¹

FECHA DE RECEPCIÓN: 25/10/2022

FECHA DE INFORME: 02/11/2022

NÚMERO DE MUESTRAS: 2, Agua residual, PTAR Andahuayo¹

TIPO DE MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN: MA - 113-22 Entrada¹
MA - 114-22 Salida¹

Agua residual
Agua residual

Condiciones Ambientales	T máx:	25 °C
	T mín:	10°C

El laboratorio se responsabiliza únicamente del análisis, no de la obtención las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 113-22

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	6,77	+/- 0,08	25/10/2022
* DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220 - D	259	N/A	25/10/2022
* DBO ₅	mg O ₂ /L	STANDARD METHODS 5210 - B	133	N/A	25/10/2022
* Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS 2540 - D	86	N/A	25/10/2022
* Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540 B	402	N/A	25/10/2022

MA – 114-22

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	6,73	+/- 0,08	25/10/2022

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).

- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.

1. Información proporcionada por el cliente. LSA no se responsabiliza de dicha información

-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

-LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

Nº SE: 058-22

* DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220 - D	84	N/A	25/10/2022
* DBO ₅	mg O ₂ /L	STANDARD METHODS 5210 - B	44	N/A	25/10/2022
* Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS 2540 - D	47	N/A	25/10/2022
* Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540 B	306	N/A	25/10/2022

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23º EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23º EDICIÓN.

REGLA DE DECISIÓN ACORDADA: No aplica

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.



Firmado electrónicamente por:
**JUAN CARLOS
LARA ROMERO**

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-
- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
 - 1. Información proporcionada por el cliente. LSA no se responsabiliza de dicha información
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
 - LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados

ANEXO 2: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa

PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua.

RUBRO: 1.00

DETALLE: Limpieza y mantenimiento

1
HOJA DE
9
Unidad: M2

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O. Cortadora de cesped manual (Motoguadaña)	1.00	0.07	0.07	0.004	0.07 0.00
SUBTOTAL M					0.07

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (EO. E2)	1.00	4.05	4.05	0.300	1.22
Operador responsable PTAR (EO,C2)	0.10	4.33	0.43	0.300	0.13
SUBTOTAL N					1.35

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Guantes de caucho	u	0.02	0.65	0.01
SUBTOTAL O				0.01

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P		1.43
INDIRECTOS %	15.00		0.21
UTILIDAD %	0.00		0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO			1.64
VALOR OFERTADO			1.64

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR:	Klever Leonardo Barros Manotoa	HOJA	2
PROYECTO:	Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua.	DE	9
RUBRO:	2.00	Unidad:	M2
DETALLE:	Pintura de caucho		

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O. Compresor/soplete	1.00	1.25	1.25	0.400	0.11 0.50
SUBTOTAL M					0.61

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Mestro mayor (EO. C1)	0.10	4.33	0.43	0.220	0.09
Pintor (EO, D2)	1.00	4.10	4.10	0.220	0.90
Peon (EO,E2)	1.00	4.05	4.05	0.220	0.89
SUBTOTAL N					1.88

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Yeso	kg.	0.10	0.63	0.06	
Látex Supremo int/ext	gal	0.06	16.00	0.96	
Lija No 80	u	0.15	0.39	0.06	
Lija No 100	u	0.15	0.34	0.05	
Cemento blanco Tolteca	kg.	0.10	0.46	0.05	
SUBTOTAL O					1.18

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					

	TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P		3.67
	INDIRECTOS %	15.00		0.55
	UTILIDAD %	0.00		0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			4.22
	VALOR OFERTADO			4.22

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa **3**
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **HOJA DE 9**
RUBRO: 3.00 **Unidad: M2**
DETALLE: Pintura anticorrosiva

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O.					0.09
Andamio	1.00	0.60	0.60	0.350	0.21
SUBTOTAL M					0.30

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Mestro mayor (EO. C1)	0.10	4.33	0.43	0.220	0.09
Pintor (EO, D2)	1.00	4.10	4.10	0.220	0.90
Peon (EO,E2)	1.00	4.05	4.05	0.220	0.89
SUBTOTAL N					1.88

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Pintura anticorrosiva	gal	0.05	17.15	0.86
Thinner comercial (diluyente tecni thiñer laca)	gal	0.08	13.95	1.12
Lija No 80	u	0.15	0.39	0.06
Lija No 100	u	0.15	0.34	0.05
SUBTOTAL O				2.09

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P		4.27
INDIRECTOS %	15.00		0.64
UTILIDAD %	0.00		0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO			4.91
VALOR OFERTADO			4.91

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa **HOJA 4**
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **DE 9**
RUBRO: 4.00 **Unidad: U**
DETALLE: Señalética de información

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O.					0.09
SUBTOTAL M					0.09

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Mestro mayor (EO. C1)	1.00	4.33	4.33	0.400	1.73
Peon (EO,E2)	0.10	4.05	0.41	0.400	0.16
SUBTOTAL N					1.89

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Letrero de información 0.30x0.70m inc. Accesorios y tornillería	u	1.00	15.00	15.00	
SUBTOTAL O					15.00

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P				16.98
INDIRECTOS %			15.00	2.55
UTILIDAD %			0.00	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				19.53
VALOR OFERTADO				19.53

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa 5
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **HOJA DE**
9
RUBRO: 4.00 **Unidad: U**
DETALLE: Monitoreo del análisis físico - químico del efluente

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O.					1.82
SUBTOTAL M					1.82

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Laboratorista (EO, C1)	1.00	4.55	4.55	8.00	36.40
SUBTOTAL N					36.40

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Análisis físico - químico de agua residual, incl. muestreo y transporte	u	1.00	102.00	102.00
SUBTOTAL O				102.00

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P		140.22
INDIRECTOS %		15.00	21.03
UTILIDAD %		0.00	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO			161.25
VALOR OFERTADO			161.25

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR:	Klever Leonardo Barros Manotoa	6
PROYECTO:	Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua.	HOJA DE
RUBRO:	6.00	9
DETALLE:	Cubierta galvalume 0.30mm	Unidad: M3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O. Taladro electrico	1.00	1.88	1.88	0.300	0.13 0.56
SUBTOTAL M					0.69

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (EO. E2)	1.00	4.05	4.05	0.300	1.22
Albañil (EO. D2)	1.00	4.10	4.10	0.300	1.23
Mestro mayor (EO. C1)	0.10	4.33	0.43	0.300	0.13
SUBTOTAL N					2.58

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Alutecho ancho util 1012mm e=0.30mm	m2	1.00	17.00	17.00	
Tornillos 1 a 2 pulg	u	2.69	0.04	0.11	
SUBTOTAL O				17.11	

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

	TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P	20.38
	INDIRECTOS %	3.06
	UTILIDAD %	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO	23.44
	VALOR OFERTADO	23.44

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa 7
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **HOJA DE**
9
RUBRO: 7.00 **Unidad: KG**
DETALLE: Hormigon ciclopeo 60% HS y 40% piedra f'c=210 kg/cm2

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O.					1.42
SUBTOTAL M					1.42

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (EO, E2)	6.00	4.05	24.30	1.000	24.30
Albañil (EO, D2)	1.00	4.10	4.10	1.000	4.10
SUBTOTAL N					28.40

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Agua	m3	0.13	0.72	0.10	
Arena	m3	0.42	12.50	5.26	
Ripio	m3	0.61	12.50	7.63	
Cemento portland 50Kg	u	4.62	7.50	34.65	
SUBTOTAL O					47.64

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P	77.46
INDIRECTOS %	15.00	11.62
UTILIDAD %	0.00	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		89.08
VALOR OFERTADO		89.08

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa **8**
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **HOJA DE**
9
RUBRO: 8.00 **Unidad: U**
DETALLE: Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O. Cortadora / Dobladora	1.00	2.13	2.13	0.055	0.02 0.12
SUBTOTAL M					0.14

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Ayudante Fierro E.O. D2	1.00	4.05	4.05	0.055	0.22
Fierro E.O. D2	1.00	4.10	4.10	0.055	0.23
Maestro mayor en ejecución de obras civiles (EO. C1)	0.10	4.33	0.43	0.055	0.02
SUBTOTAL N					0.47

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Alambre galvanizado N18	KG	0.04	2.36	0.09	
Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2	KG	1.05	1.18	1.24	
Disco de corte metal 350x2.8x25x4mm	U	0.00	7.50	0.01	
SUBTOTAL O					1.34

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P					

TOTAL COSTO DIRECTO M+N+O+P				1.95
INDIRECTOS %			15.00	0.29
UTILIDAD %			0.00	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				2.24
VALOR OFERTADO				2.24

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ELABORADO POR: Klever Leonardo Barros Manotoa **9**
PROYECTO: Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Andahuayo San Isidro, perteneciente al cantón Pillaro, provincia de Tungurahua. **HOJA DE**
9
RUBRO: 9.00 **Unidad: U**
DETALLE: Acero estructural A36, Montaje manual

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta manual 5% M.O.					0.08
Soldadora	1.00	1.66	1.66	0.055	0.09
Compresor	0.10	0.79	0.08	0.055	0.00
Amoladora	2.00	3.75	7.50	0.055	0.41
Cizalla manual para lamina	0.10	1.47	0.15	0.055	0.01
Equipo Oxicorte	0.10	1.54	0.15	0.055	0.01
Andamios	1.00	0.45	0.45	0.055	0.02
SUBTOTAL M					0.62

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Ayudante de fierro (EO, D2)	5.00	4.05	20.25	0.055	1.11
Fierro (EO, D2)	2.00	4.10	8.20	0.055	0.45
Ingeniero civil (Estructural, hidraulico, vial) (EO, B1)	0.10	4.56	0.46	0.055	0.03
SUBTOTAL N					1.59

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
Thinner comercial	gal	0.01	16.52	0.17
Perfil estructural A36	kg	1.05	1.50	1.58
Soldadura (Electrodos E70)	kg	0.05	7.39	0.37
Anticorrosivo gris mate - galon	gal	0.01	16.45	0.16
Disco de corte de metal	u	0.05	7.50	0.38
SUBTOTAL O				2.66

TRANSPORTE

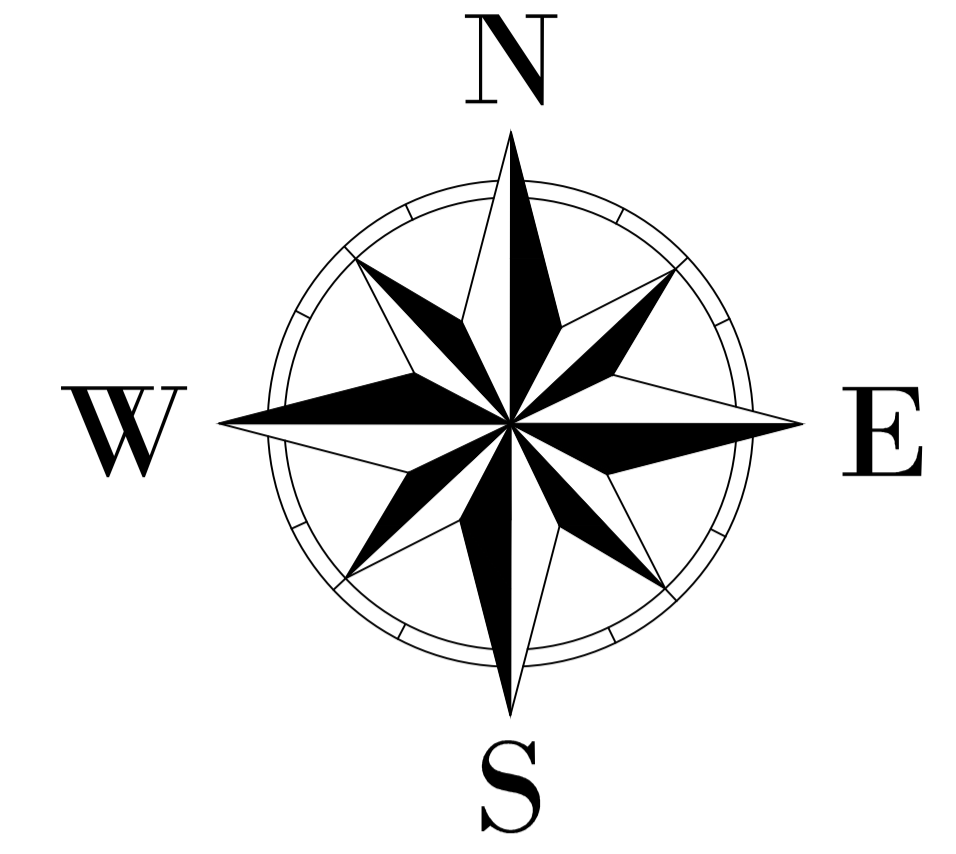
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO	M+N+O+P		4.87
INDIRECTOS %	15.00		0.73
UTILIDAD %	0.00		0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO			5.60
VALOR OFERTADO			5.60

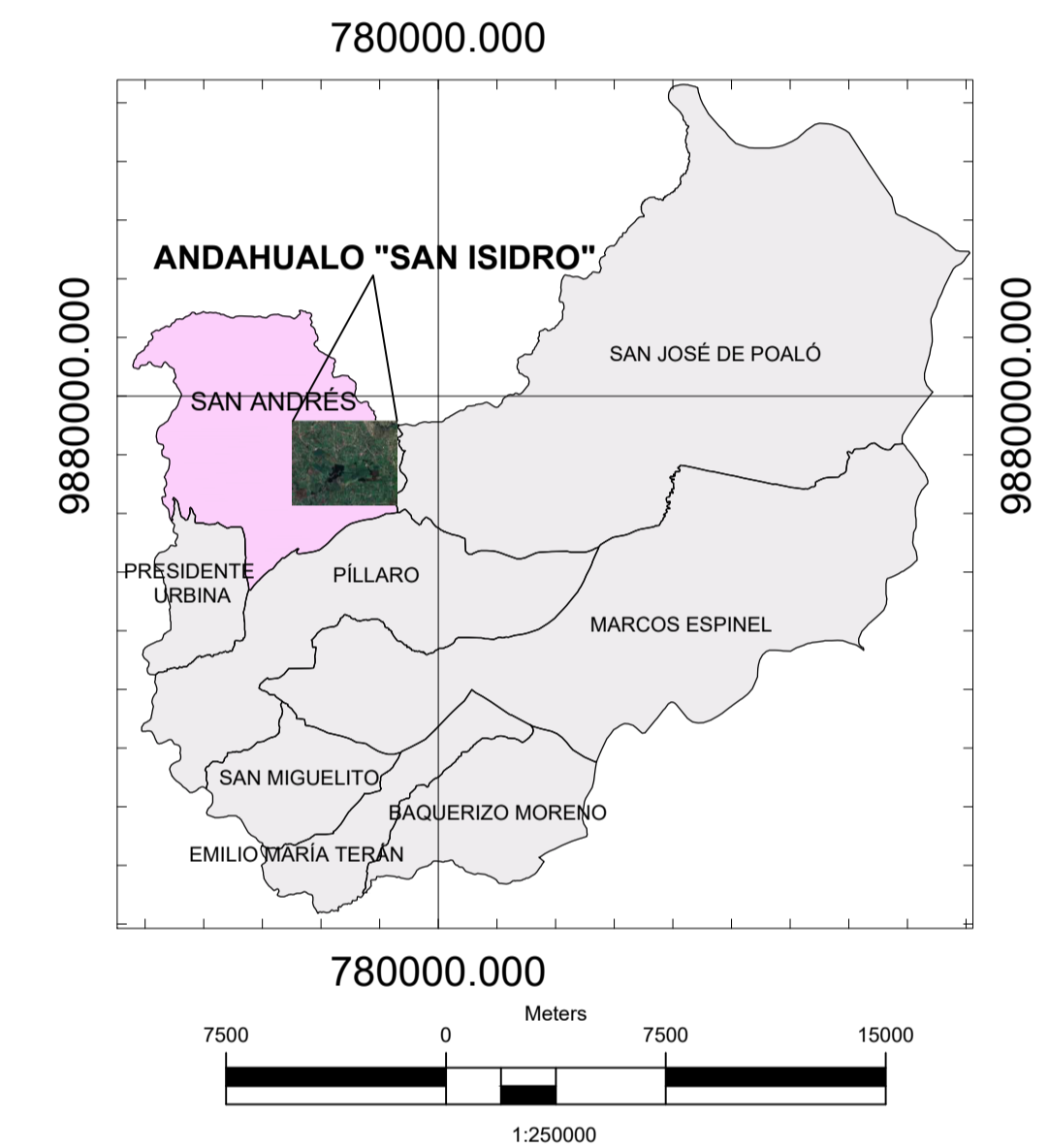
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

KLEVER LEONARDO BARROS MANOTOA
OFERENTE

ANEXO 3: PLANOS

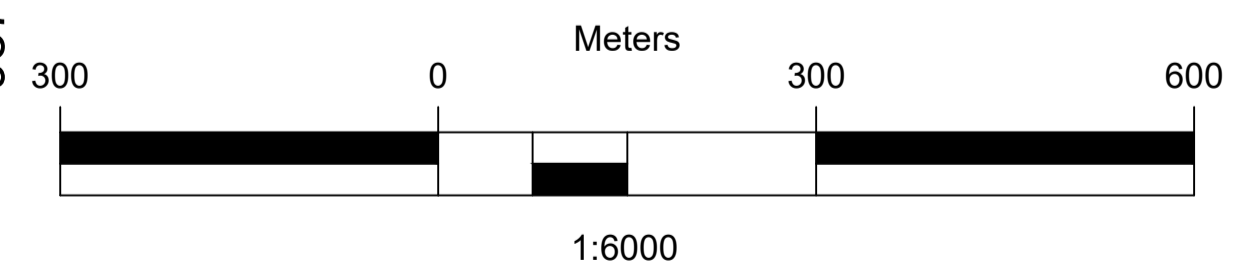


**UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO
RESPECTO AL CANTÓN PÍLLARO**



COORDENADAS REFERENCIALES

REFERENCIA	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ALTITUD (m)
P1	775645.14	9876603.05	3052
P2	775632.00	9876595.07	3052
P3	775637.73	9876558.91	3050
P4	775650.00	9876562.62	3050



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:
 "EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

CONTIENE:
 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "ANDAHUALO"

LÁMINA:
 1 de 6

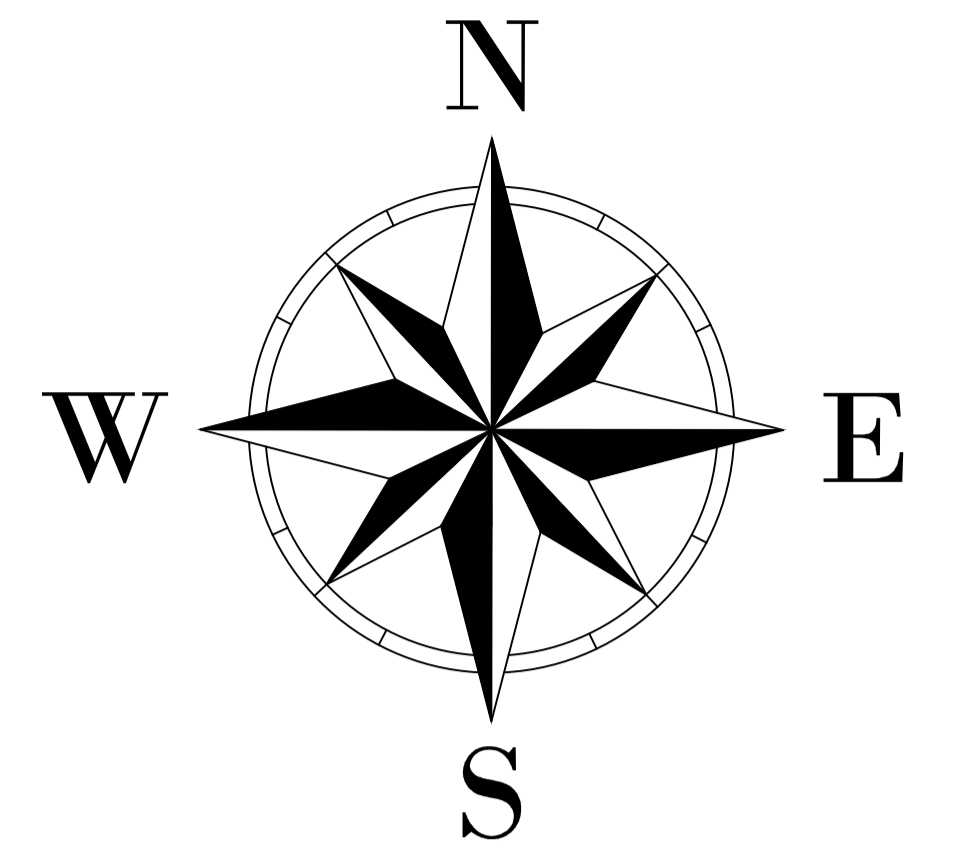
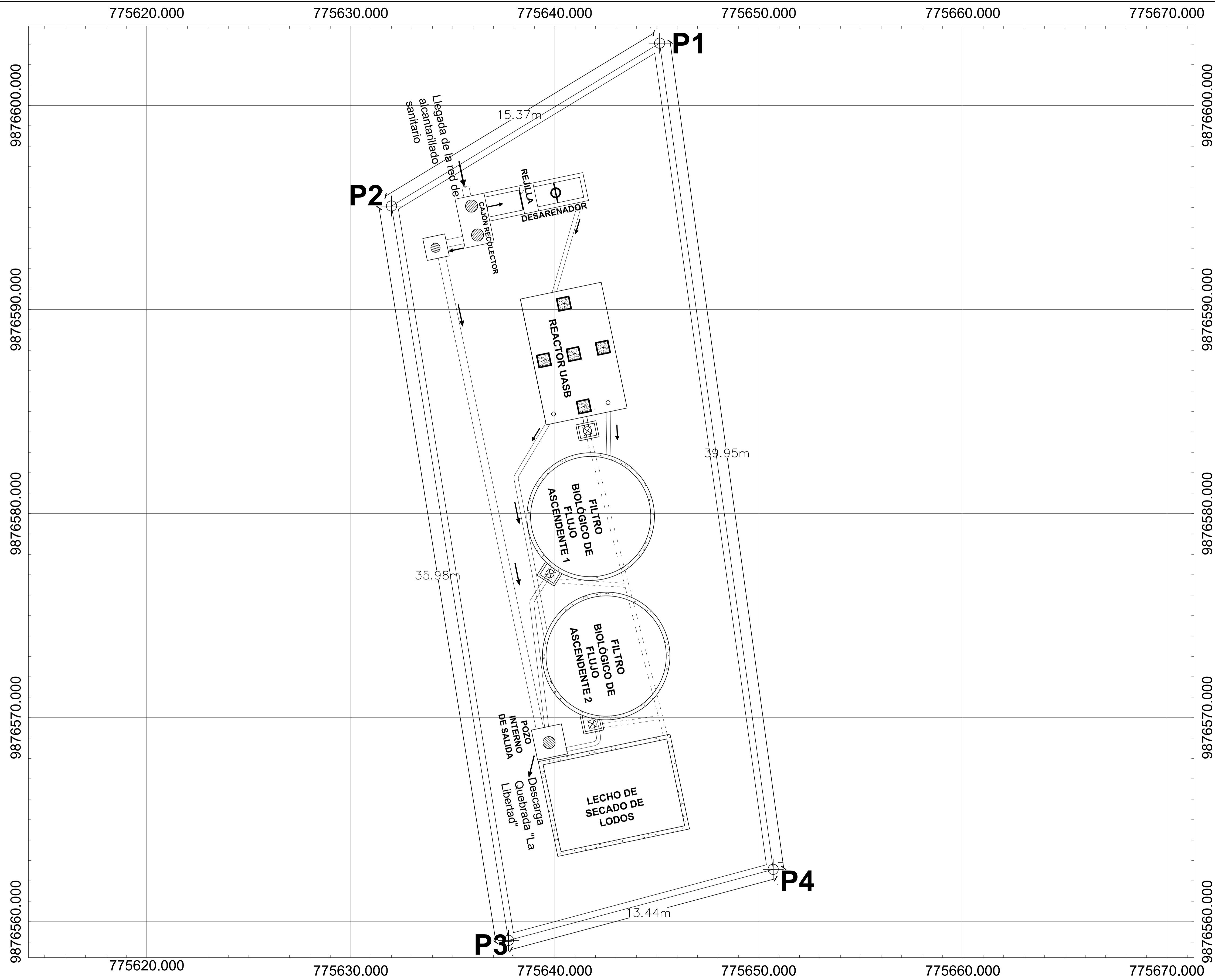
Elaborado por:
 Klever Leonardo Barros Manotoa

FECHA: MARZO 2023

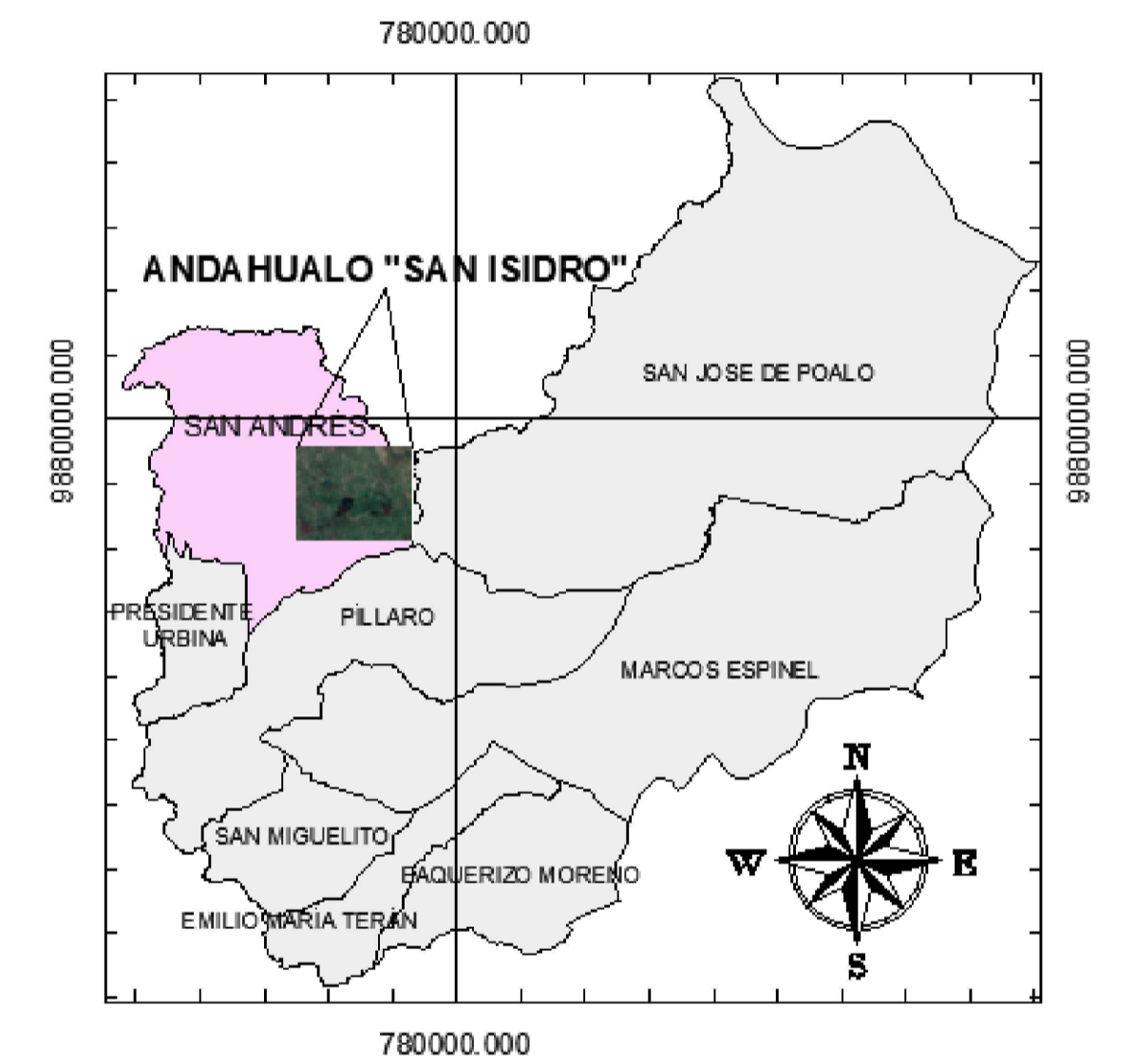
ESCALA: INDICADAS

Revisado por:

Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos

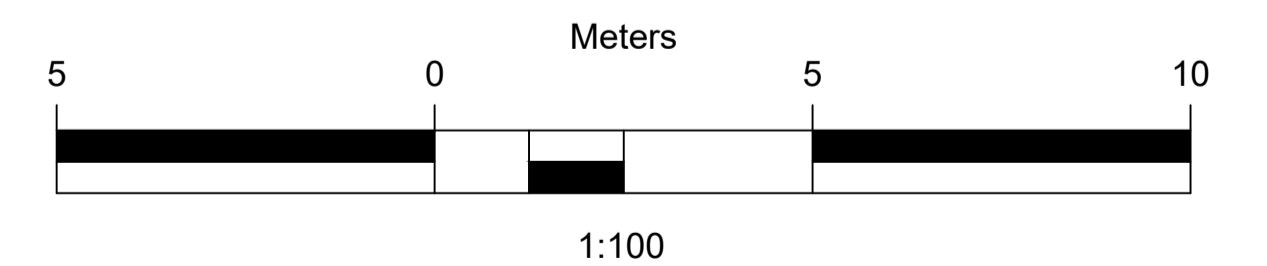


UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO RESPECTO AL CANTÓN PÍLLARO



COORDENADAS REFERENCIALES

REFERENCIA	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ALTITUD (m)
P1	775645.14	9876603.05	3052
P2	775632.00	9876595.07	3052
P3	775637.73	9876558.91	3050
P4	775650.00	9876562.62	3050



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:
 "EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

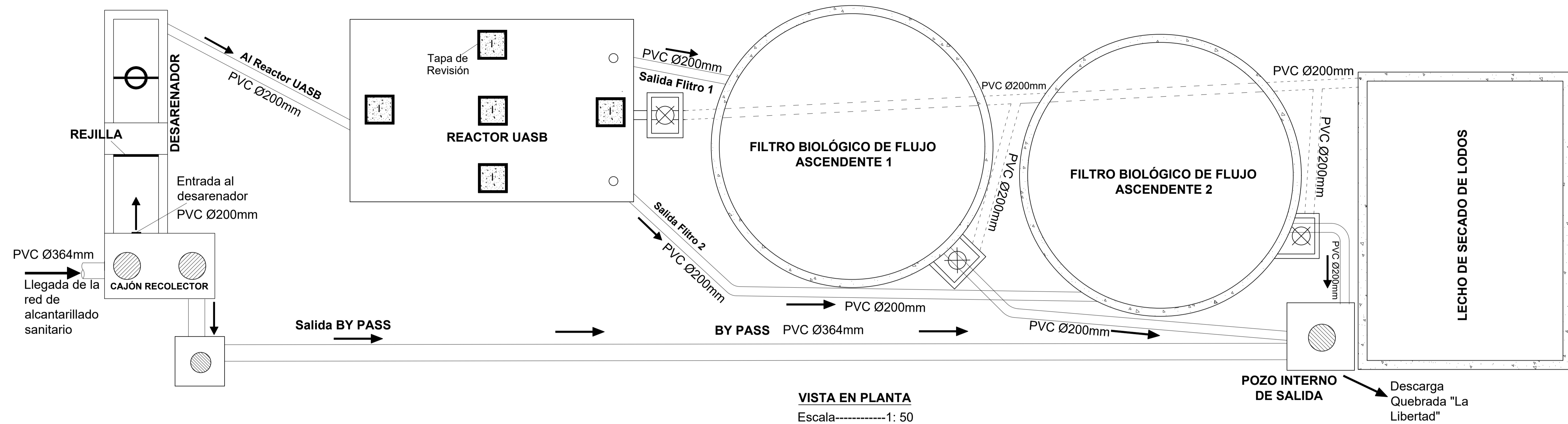
CONTIENE:
 IMPLANTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "ANDAHUALO"
LÁMINA:
 2 de 6

Elaborado por:
 Klever Leonardo Barros Manotoa
Revisado por:
 Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos

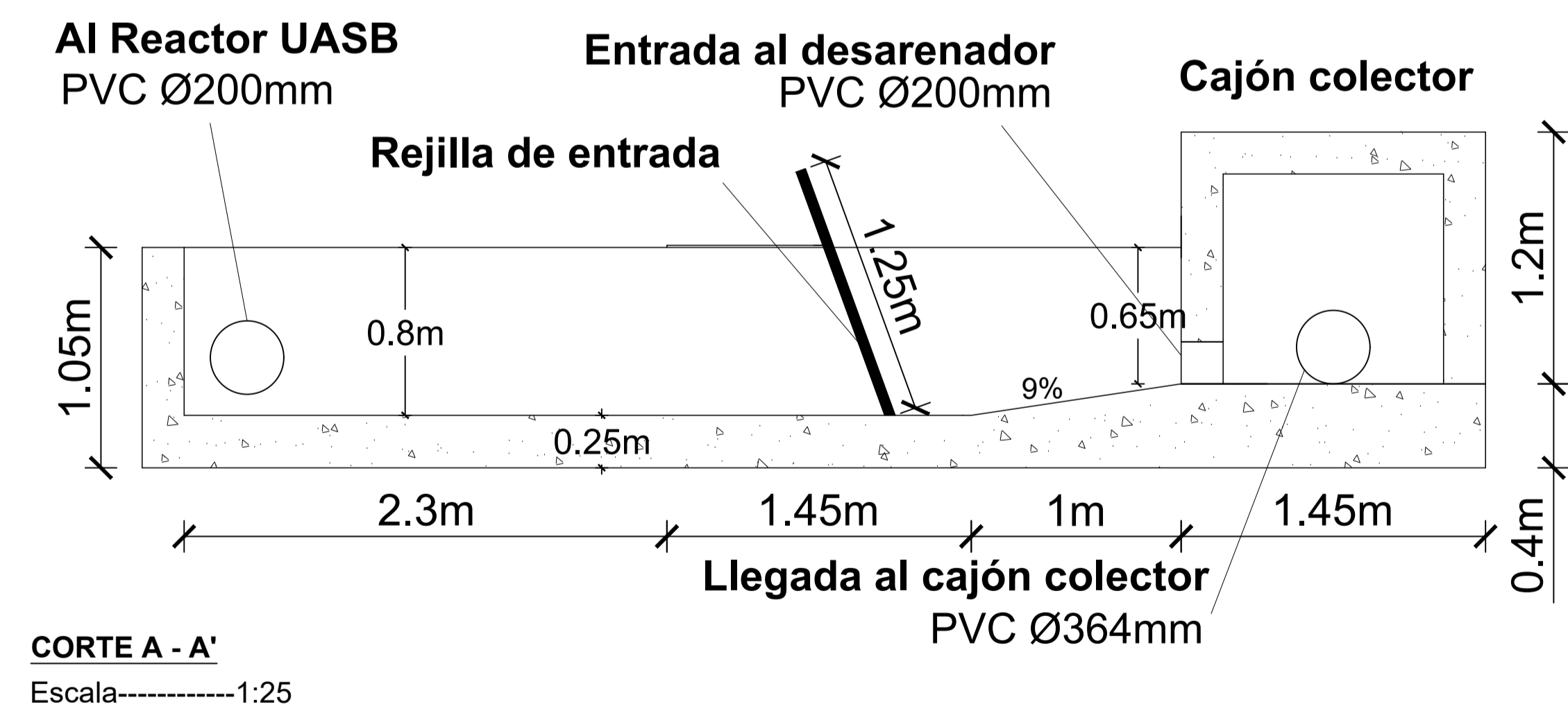
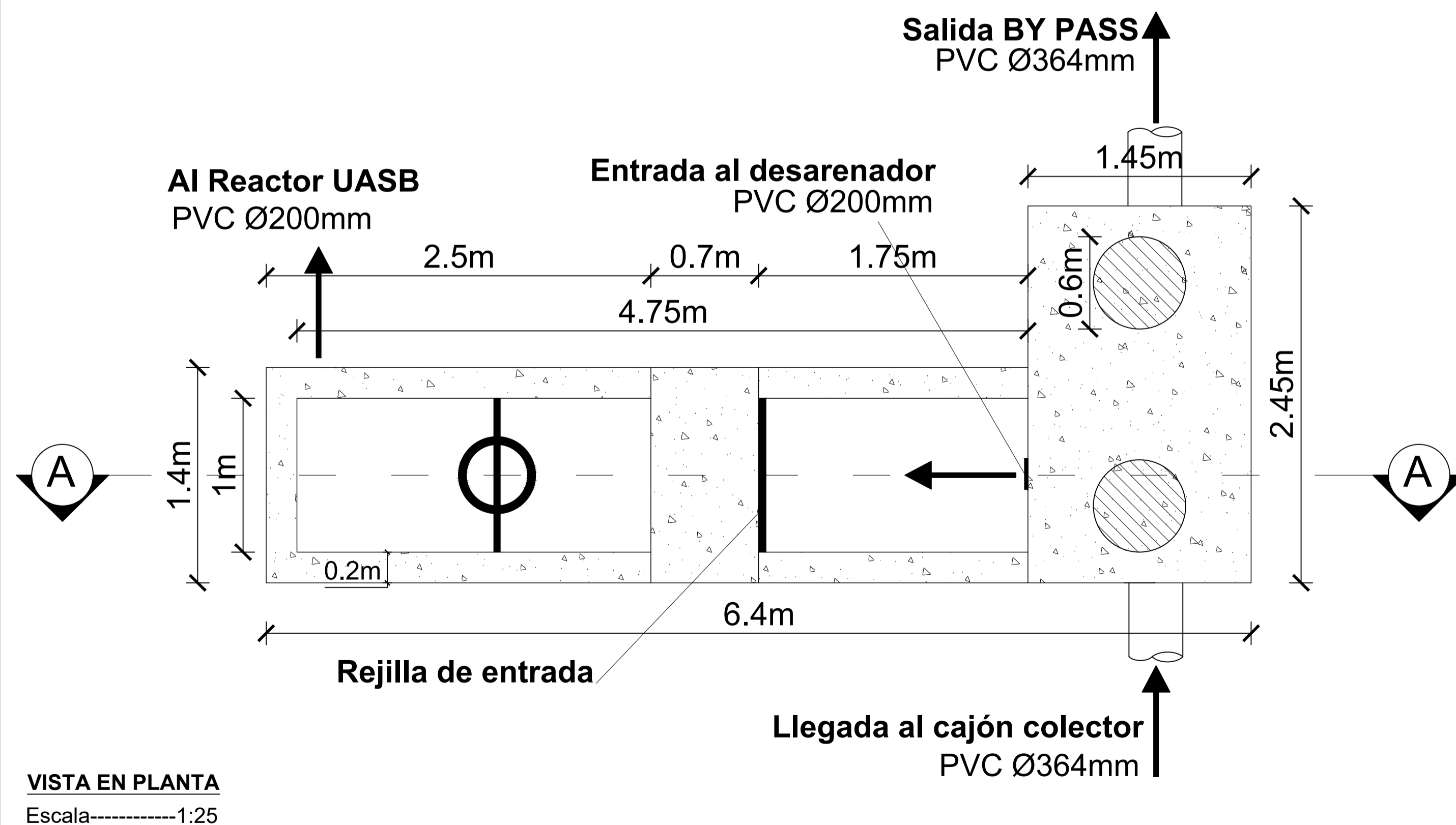
FECHA: MARZO 2023

ESCALA: INDICADAS

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANDAHUALO



CAJÓN RECOLECTOR Y DESARENADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



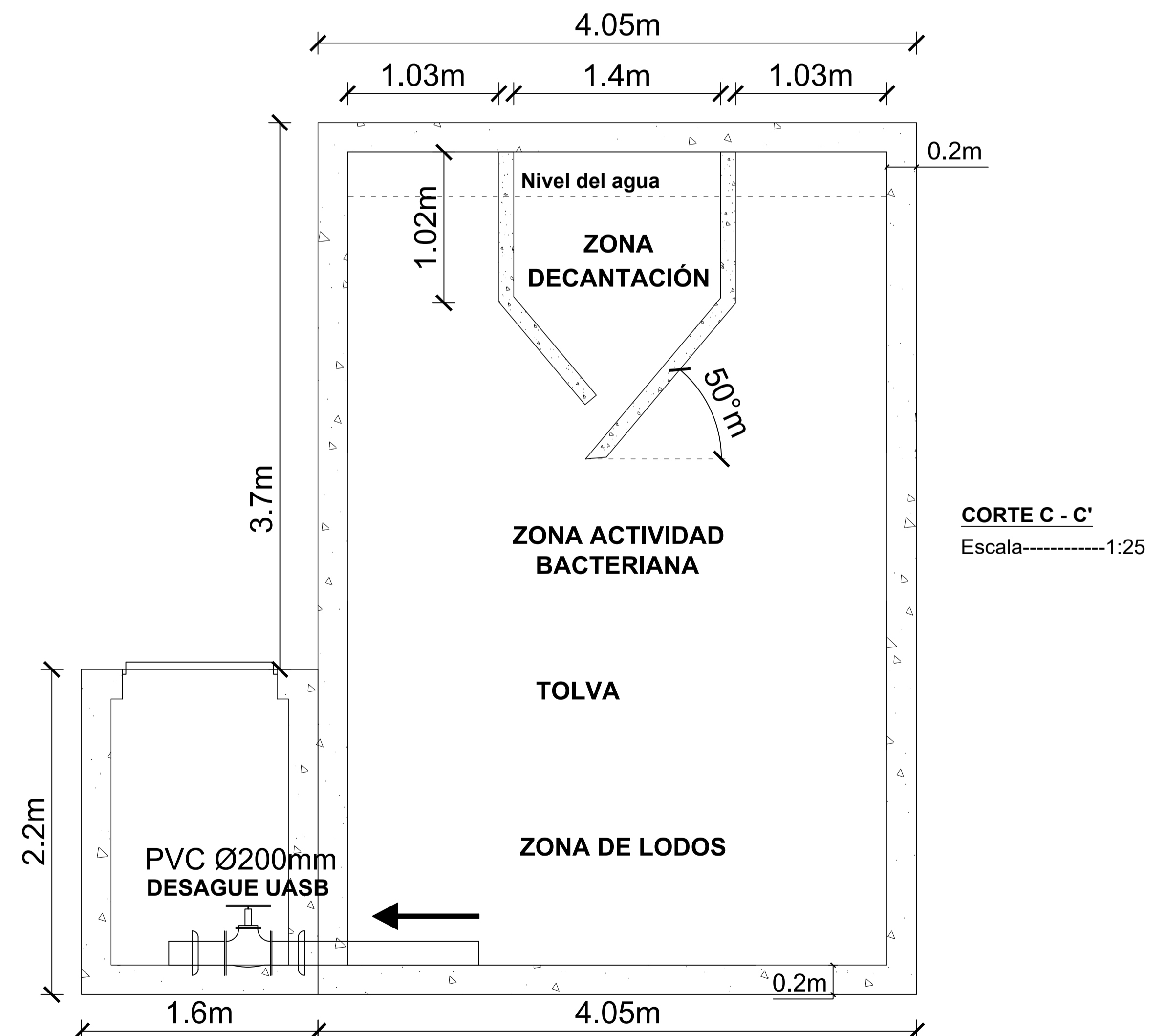
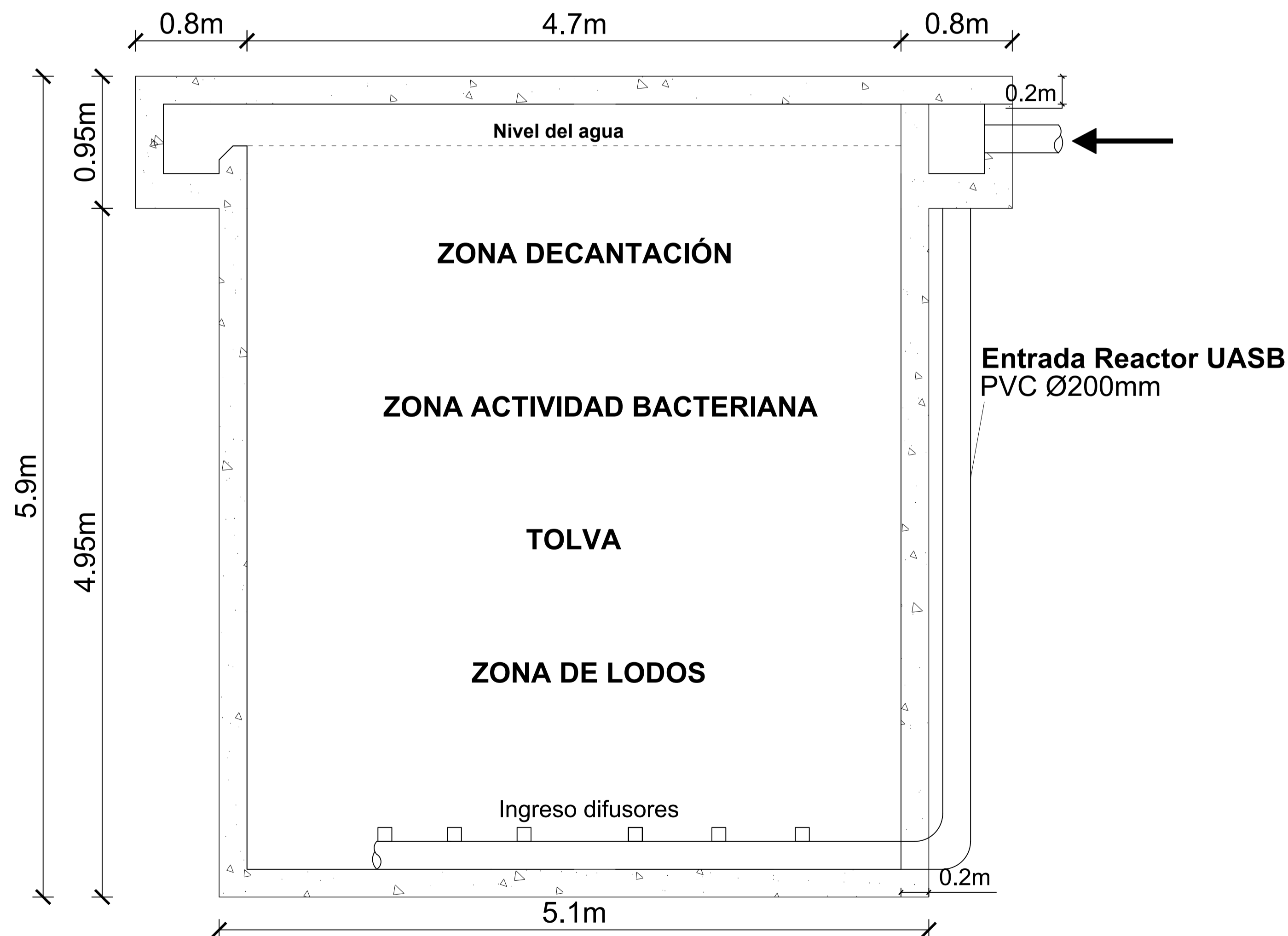
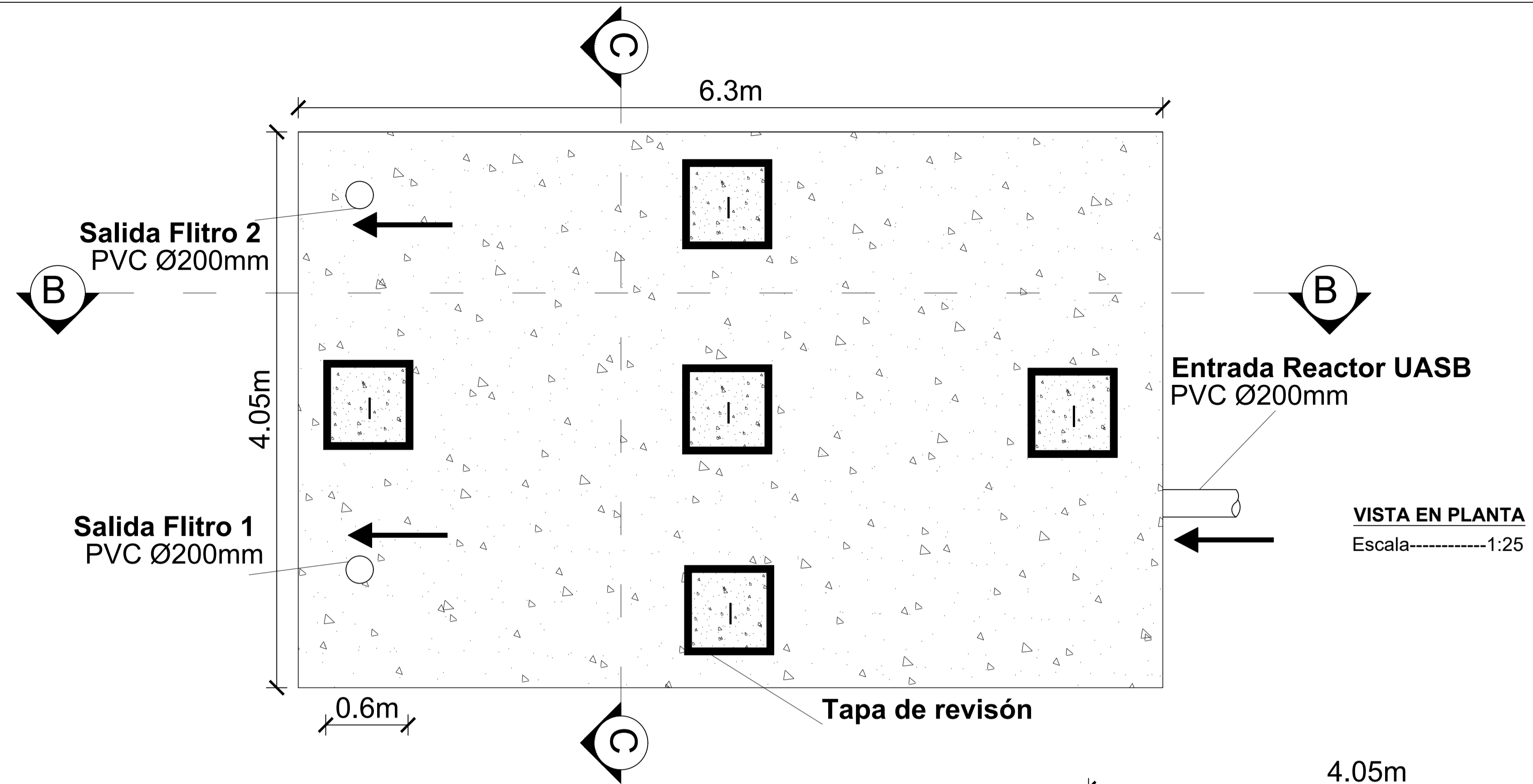
PROYECTO:
"EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

CONTIENE: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ANDAHUALO
LÁMINA: 3 de 6
Elaborado por: Klever Leonardo Barros Manotoa

FECHA: MARZO 2023
ESCALA: INDICADAS
Revisado por: Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos

REACTOR UASB



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:
"EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

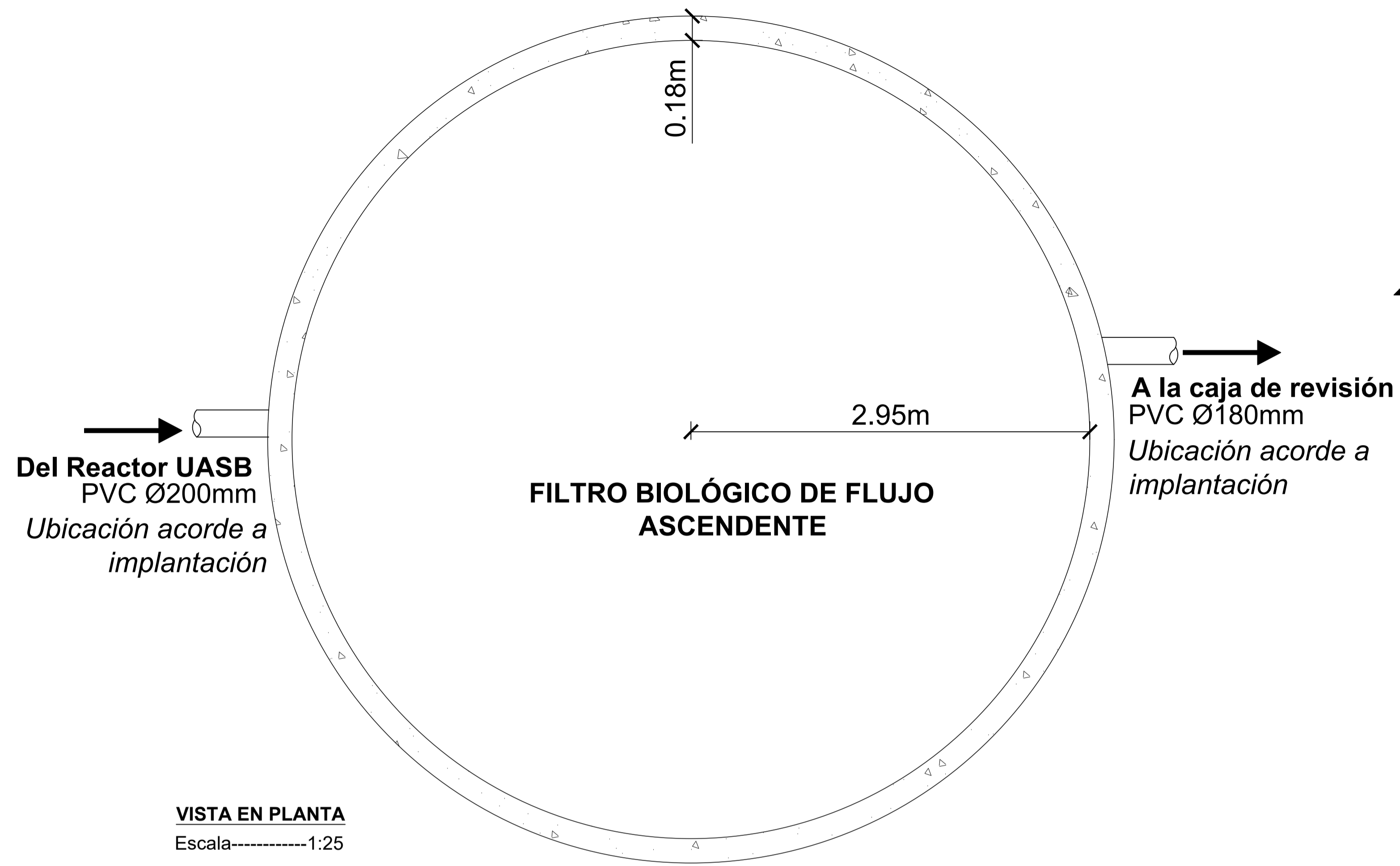
CONTIENE: COMPONENTES - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ANDAHUALO
FECHA: MARZO 2023
ESCALA: 1:25

LÁMINA:
4 de 6

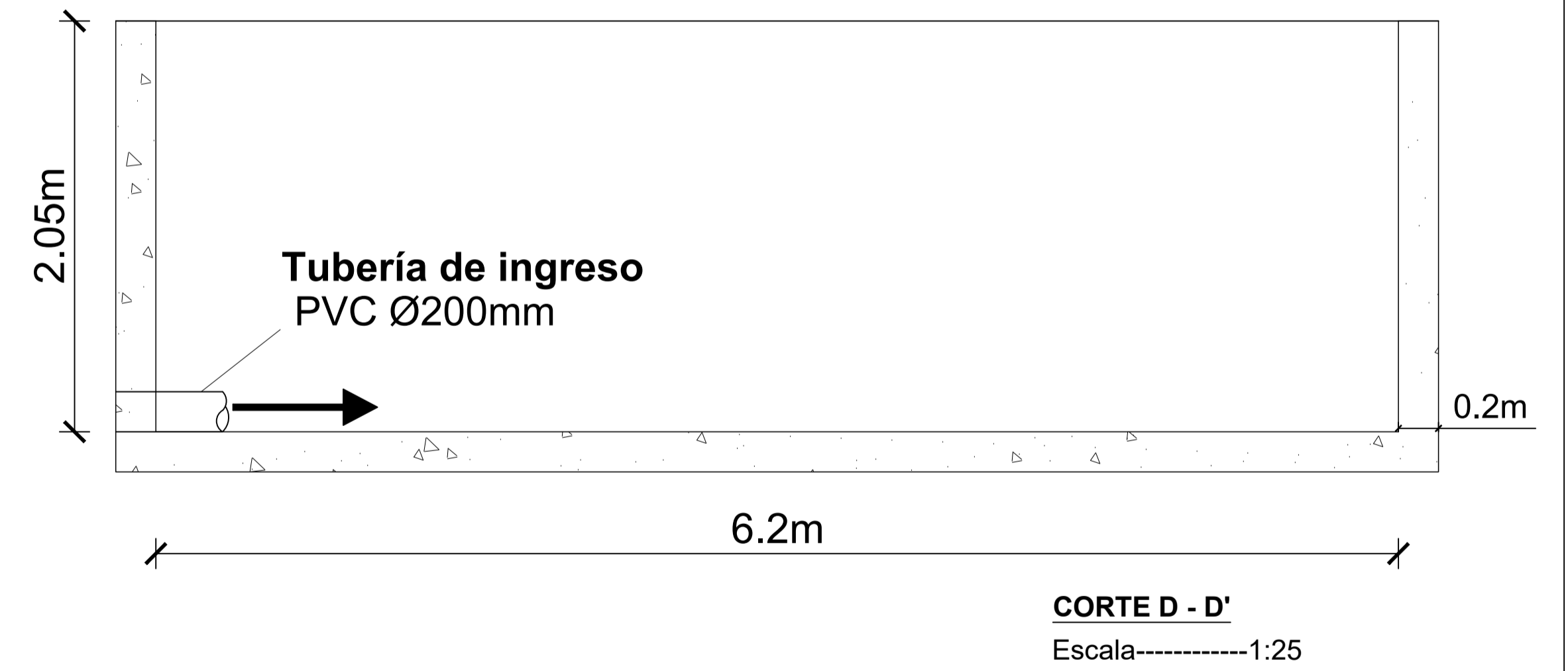
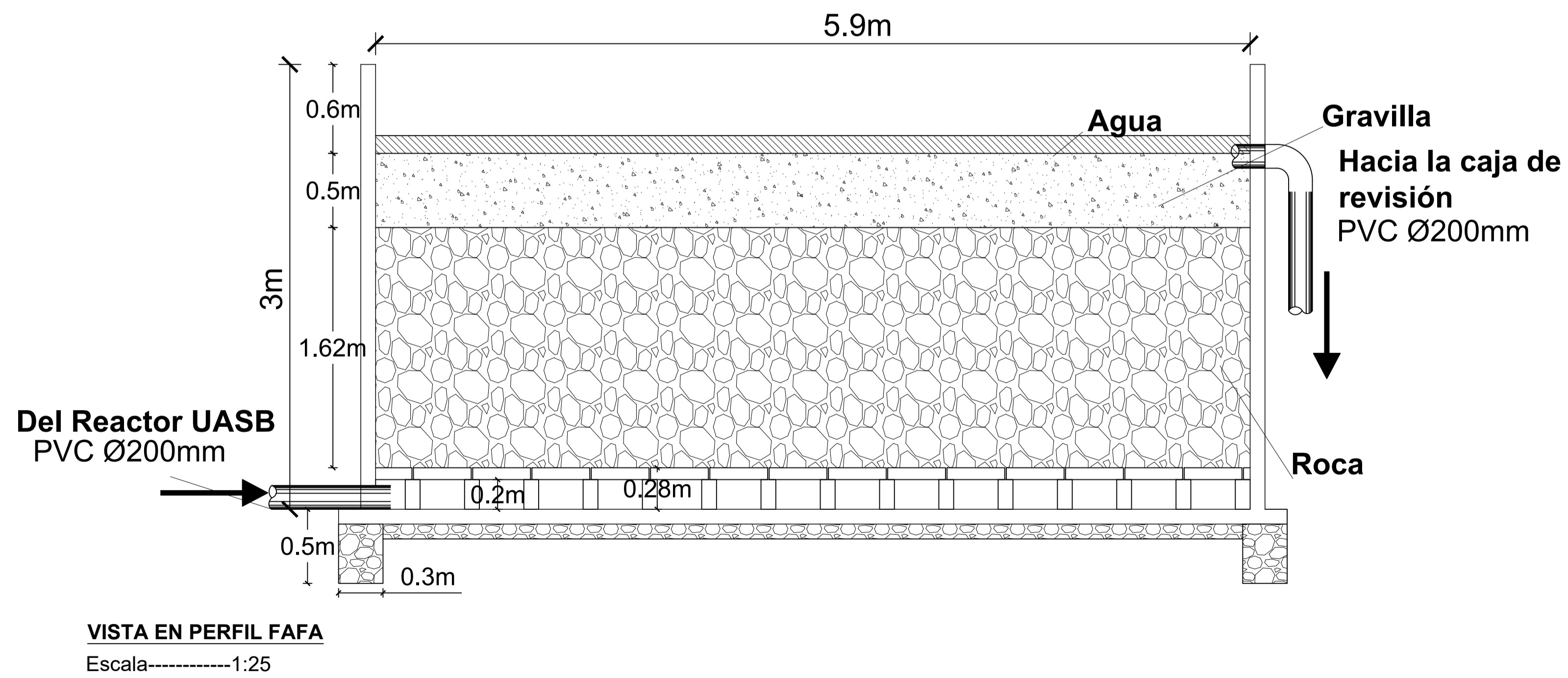
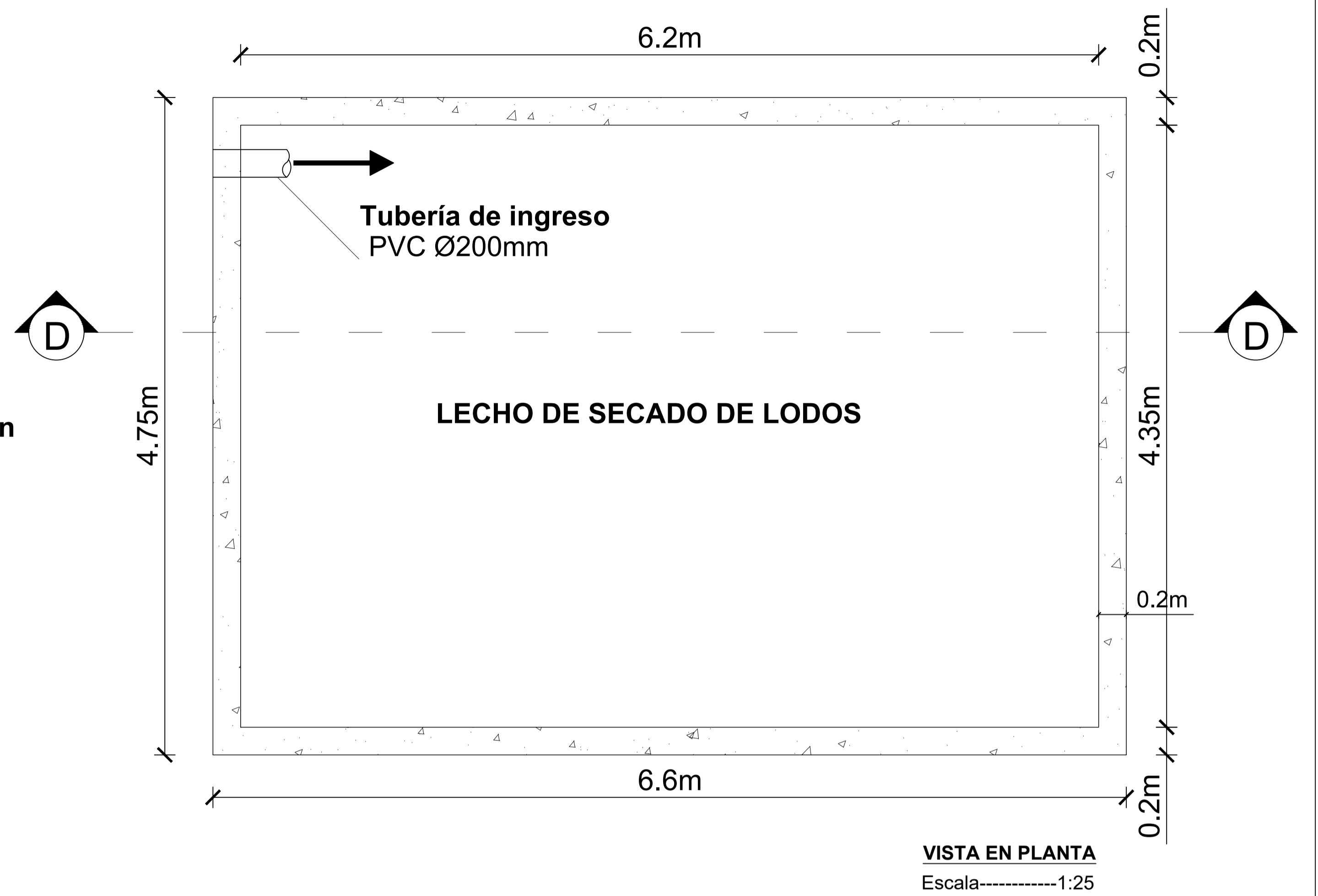
Elaborado por:
Kleiver Leonardo Barros Manotoa

Revisado por:
Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE



LECHO DE SECADO DE LODOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:
"EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

CONTIENE:
COMPONENTES - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ANDAHUALO

LÁMINA:
5 de 6

Elaborado por:
Klever Leonardo Barros Manotoa

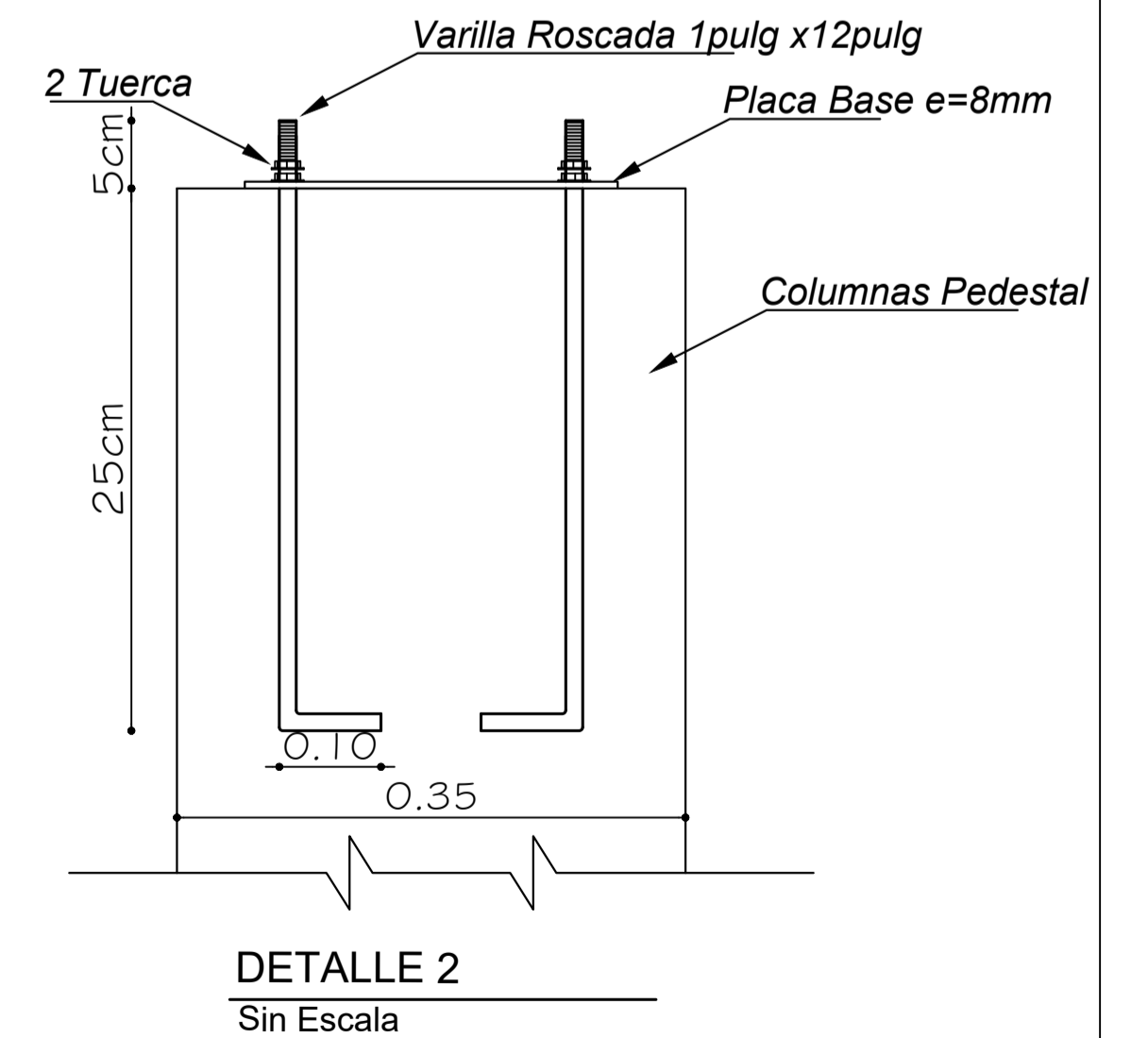
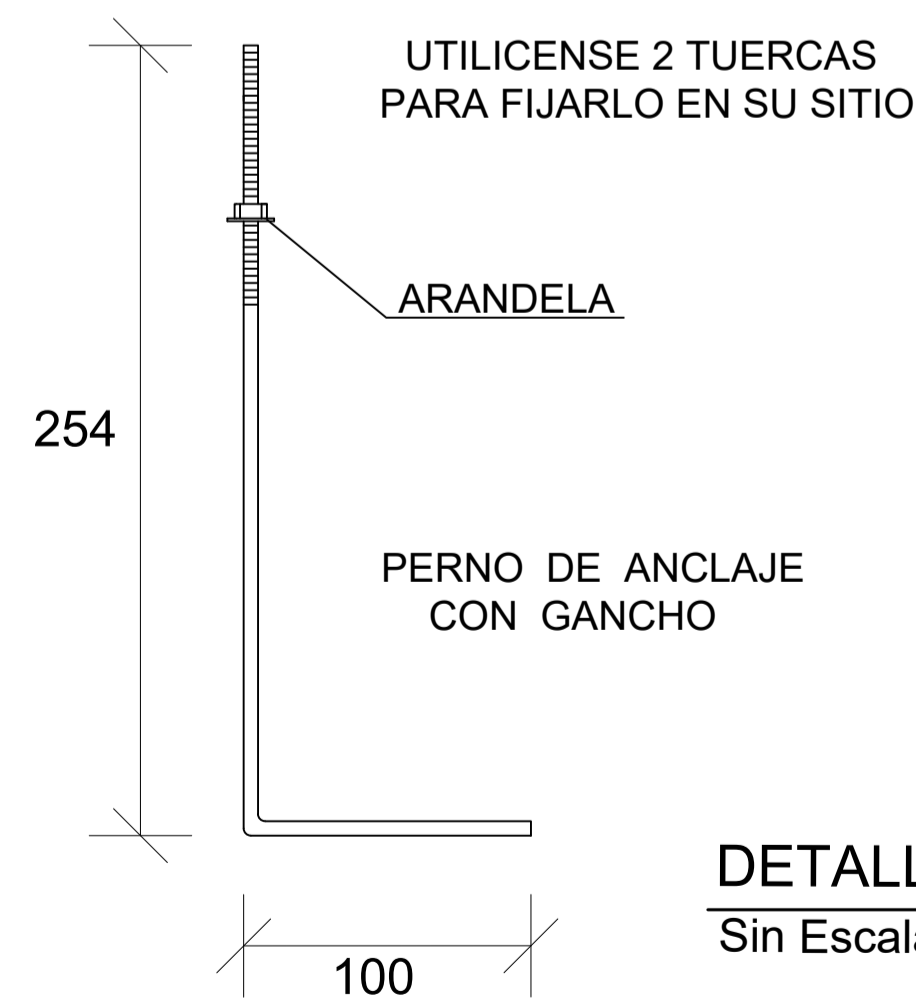
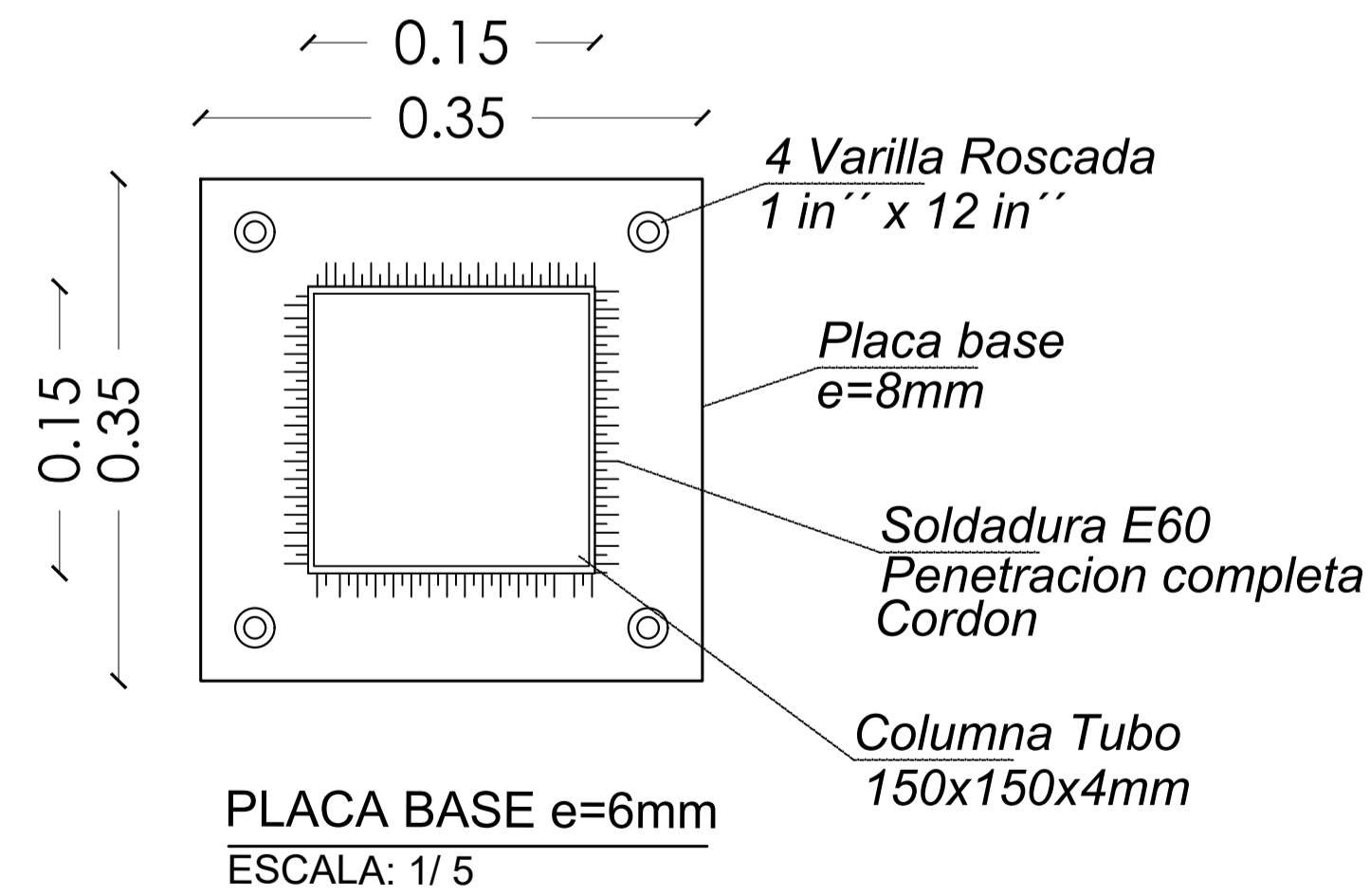
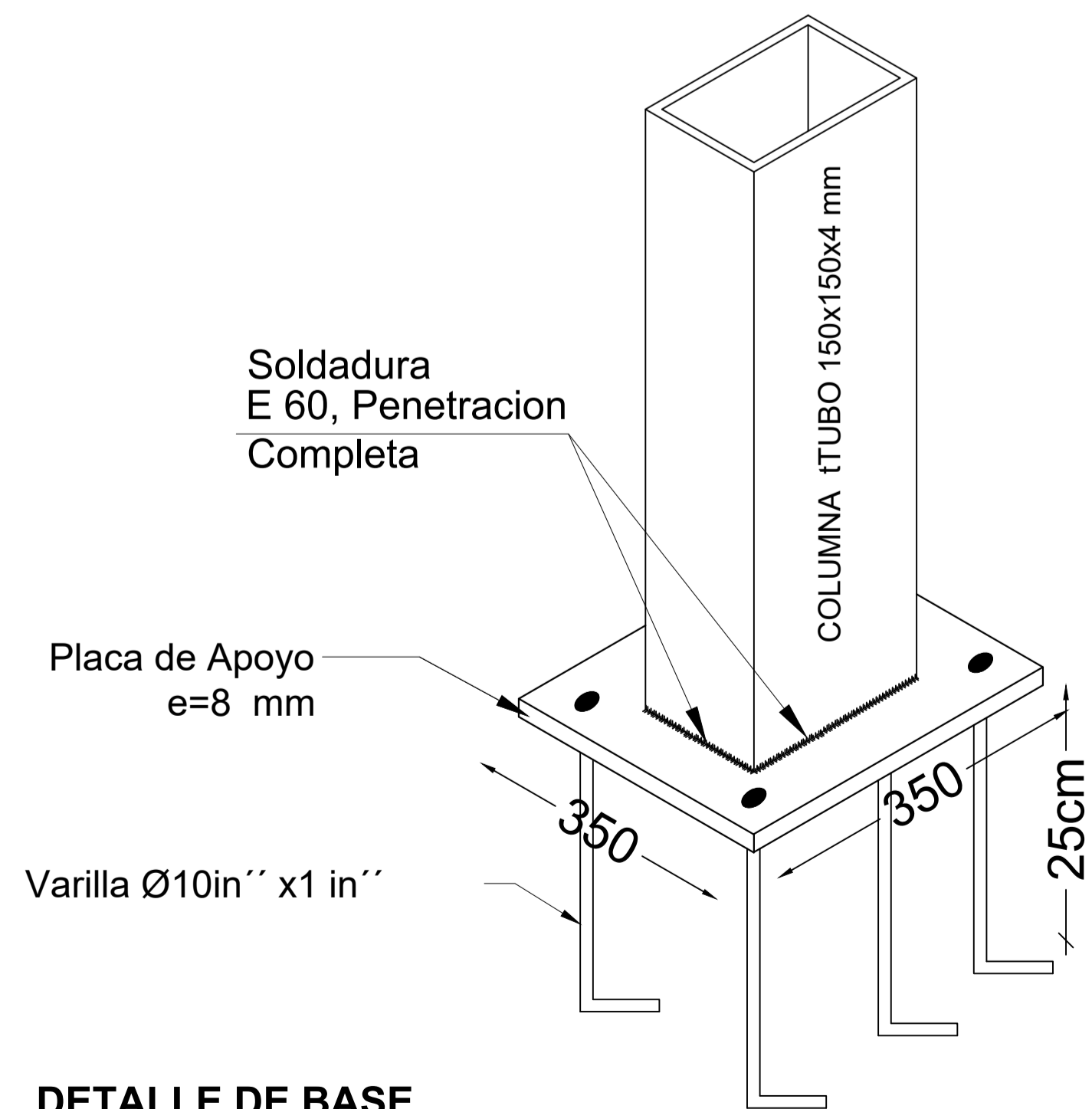
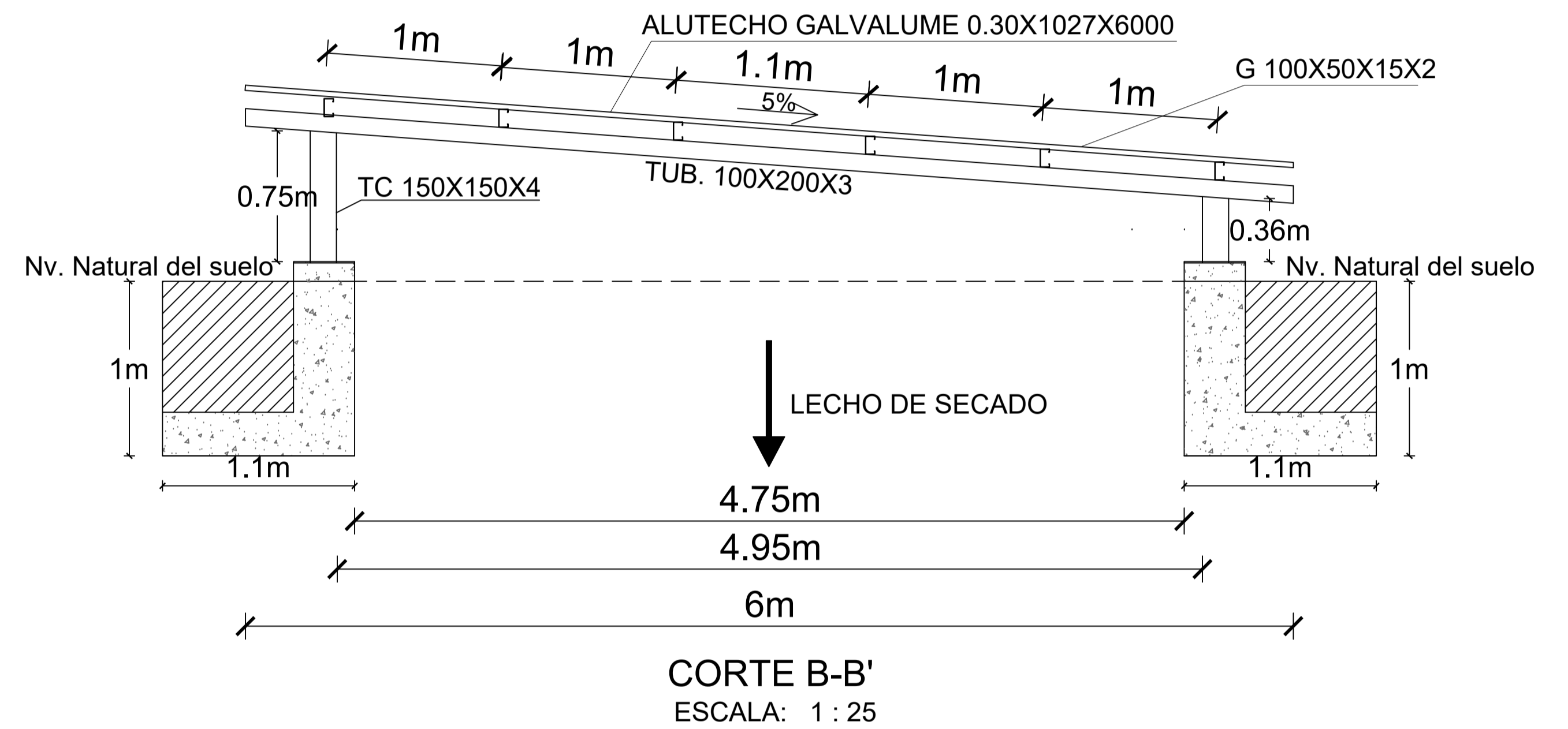
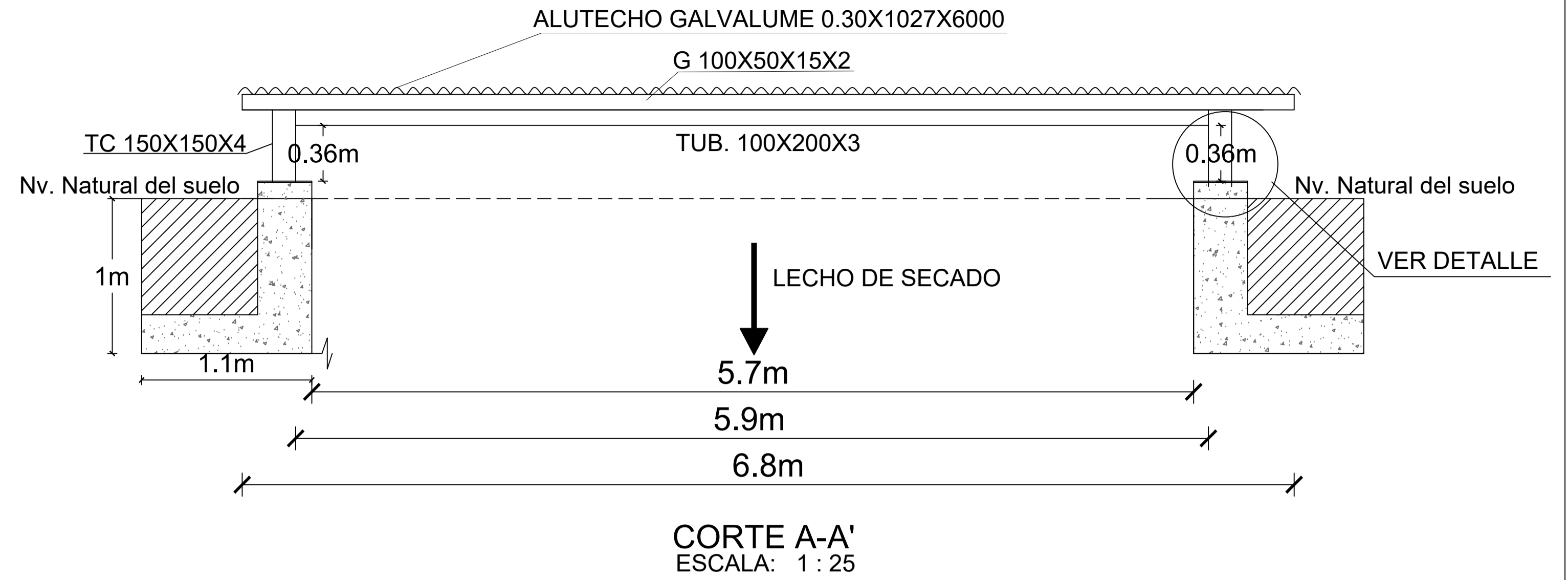
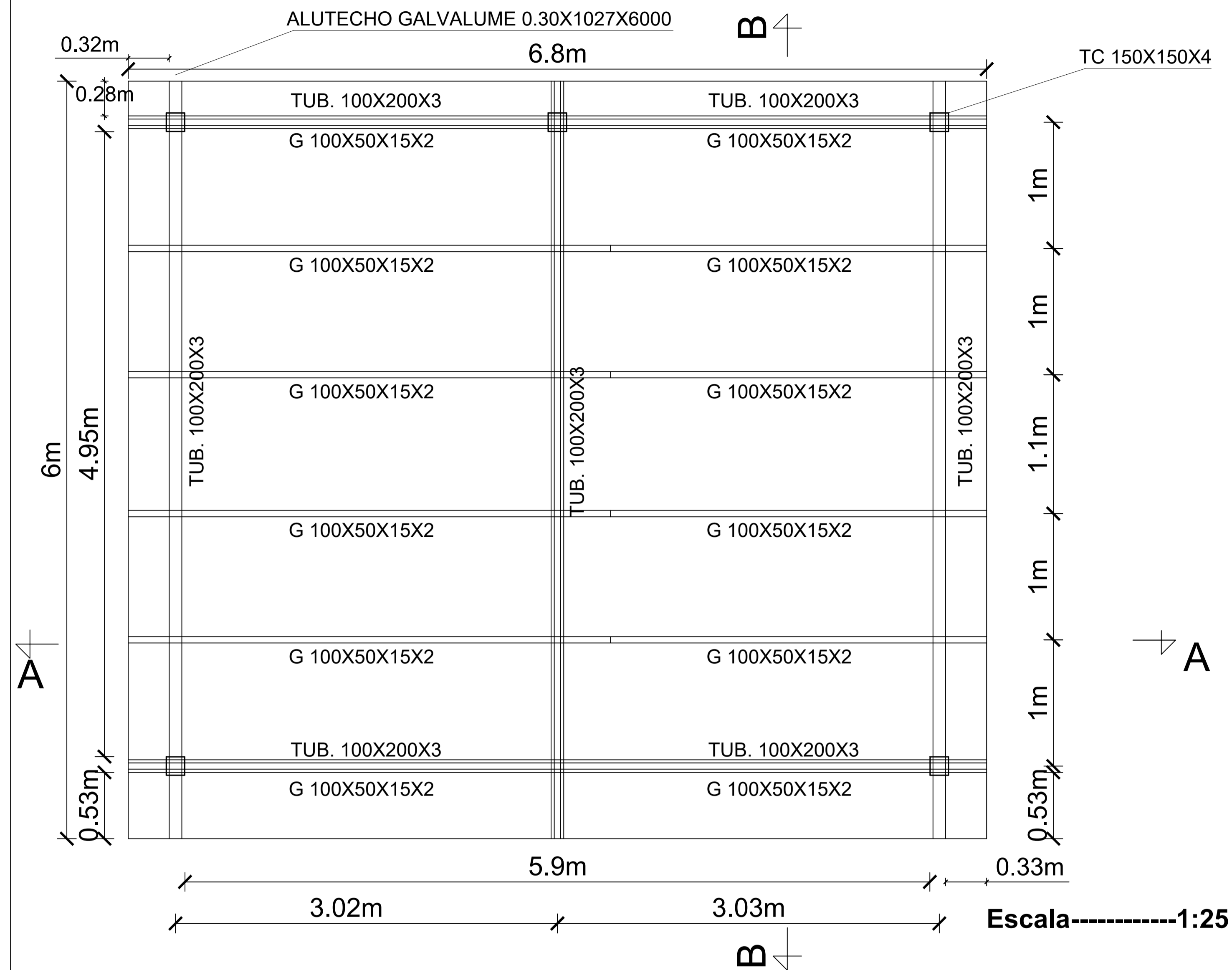
FECHA: MARZO 2023

ESCALA: 1:25

Revisado por:

Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos

IMPLEMENTACIÓN CUBIERTA DE LECHO DE SECADO DE LODOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:
"EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE ANDAHUALO PERTENECIENTE AL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

PROVINCIA: TUNGURAHUA
CANTÓN: PÍLLARO
PARROQUIA: SAN ANDRÉS
SECTOR: ANDAHUALO

CONTIENE:
PROPUESTA CUBIERTA METÁLICA PARA EL LECHO DE SECADO DE LODOS
LÁMINA:
6 de 6

Elaborado por:
Kleiver Leonardo Barros Manotoa

FECHA: MARZO 2023
ESCALA: INDICADAS
Revisado por:
Ing. MSc. Rodrigo Fabián Morales Fiallos