

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“EVALUACION Y DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA FRANCA NIQUINOHOMO, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE MASAYA, 2022”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Angel Gabriel
Cano Sánchez
Carnet: 2016-1008U

Br. Richard Alberto
Soza Ríos
Carnet: 2016-0551U

Tutor:

MSc. Ing. José Ángel
Baltodano Maldonado

13 de enero de 2026
Managua Nicaragua

Dedicatoria

A mi madre, Aracely Ríos, mi más profundo agradecimiento por su constante compañía y apoyo incondicional. Con gratitud por todo el cariño y la ayuda que me ha brindado, y me esforzaré por corresponder a su amor y dedicación. Gracias por todos los valiosos valores que me has enseñado.

-Br. Richard Alberto Soza Ríos

A mi madre, Mayra Sánchez, y a mi padre, Gerardo López. A ustedes les debo más de lo que puedo expresar con palabras. Mamá, tu compañía constante y tu apoyo incondicional han sido mi roca en este viaje académico. Cada paso lo he dado con la certeza de contar con tu amor y guía. Papá, tu fortaleza y ejemplo han sido faros en mi camino, mostrándome el valor de la perseverancia y la dedicación. A ambos, les agradezco desde lo más profundo de mi corazón por estar siempre a mi lado. Este logro es también de ustedes.

-Br. Ángel Gabriel Cano Sánchez

Agradecimiento

Un personal agradecimiento a cada uno de los profesores, que con su dedicación nos ayudaron al aprendizaje de la ingeniería civil, en especial al MSc. Ing. José Angel Baltodano Maldonado, por sus enseñanzas como maestro, y por su paciencia y disponibilidad como tutor.

A la administración de ZOFRANIN por la información facilitada y el espacio prestado para el estudio de la Planta de tratamiento, siendo trascendente para poder ejecutar esta tesis, Gracias.

-Br. Richard Alberto Soza Ríos

-Br. Ángel Gabriel Cano Sánchez

Resumen ejecutivo

El presente trabajo de tesis se centra en la evaluación y diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo. Se plantean objetivos específicos que incluyen revisar el diseño hidráulico, comparar los planos con lo ejecutado en obra, analizar registros de caudal, determinar el funcionamiento operacional de la planta, contrastar análisis de calidad del agua tratada y realizar una inspección del estado de la infraestructura.

Se encontraron deficiencias en el diseño hidráulico, incluyendo discrepancias en la geometría del tanque Imhoff y problemas de capacidad para el tratamiento de aguas residuales futuras. También se identificaron fallos en la construcción, como la falta de correspondencia entre los planos y la obra ejecutada.

El análisis de los caudales mostró discrepancias con las recomendaciones normativas, y se observó que la planta no logra reducir la demanda biológica de oxígeno a niveles requeridos. Además, se encontraron deficiencias en el tratamiento de contaminantes según las normativas nacionales.

La inspección de la infraestructura reveló problemas de mantenimiento y funcionamiento, lo que sugiere la necesidad de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo.

Se formulan recomendaciones específicas, como la ampliación del tanque Imhoff, mejoras en el humedal de flujo subsuperficial y una revisión de la infiltración de los pozos. También se sugiere mejorar las mediciones de caudal y crear un plan de mantenimiento.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL ESTUDIO.....	
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5. Descripción del área de estudio	5
1.5.1. <i>Macrolocalización</i>	5
1.5.2. <i>Microlocalización</i>	6
1.5.3. <i>Actividades de la Zona Franca</i>	8
1.5.4. <i>Descripción de las unidades existentes en la planta de tratamiento</i>	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Generalidades	10
2.2. Aguas residuales.....	10
2.3. Características de las aguas residuales.....	10
2.3.1. <i>Características físicas</i>	10
2.3.2. <i>Características químicas</i>	13
2.3.3. <i>Características biológicas</i>	14
2.4. Etapas de la PTAR de Zona franca Niquinohomo.....	15
2.4.1. <i>Pretratamiento</i>	15
2.5. Tratamiento primario	15
2.5.1. <i>Tanque Imhoff</i>	16
2.5.2. <i>Generalidades</i>	16
2.5.3. <i>Partes de tanque Imhoff</i>	16

2.5.4. Operación y mantenimiento.....	17
2.5.5. Ventajas y desventajas.....	18
2.6. Tratamiento secundario.....	18
2.6.1. Humedales artificiales.....	18
2.6.2. Generalidades	18
2.6.3. Clasificación de los humedales según el tipo de macrófitos.....	19
2.7. Humedales de flujo subsuperficial.....	19
2.7.1. Partes de los humedales subsuperficiales.....	20
2.7.2. Operación y mantenimiento.....	22
2.7.3. Ventajas y desventajas.....	23
2.8. Pozos de infiltración	23
2.8.1. Generalidades	23
2.8.2. Partes del pozo de infiltración.....	23
CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo de investigación.....	25
3.2. Alcance o nivel	25
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.4. Análisis y procesamiento de datos	25
3.4.1. Fase 1. Caracterización de las aguas residuales	25
3.4.2. Fase 2. Determinación de caudales	26
3.4.3. Fase 3. Comparación de planos constructivo y lo construido.....	30
3.4.4. Fase 4. Revisión de canal de entrada	30
3.4.5. Fase 5. Revisión de canaleta Parshall.....	35
3.4.6. Fase 6. Revisión de tanque Imhoff.....	35
3.4.7. Fase 7. Revisión de lecho de secado.....	40
3.4.8. Fase 8. Revisión del humedal de flujo subsuperficial	42

3.4.9. Fase 9. Revisión de pozos de infiltración	47
3.4.10. Fase 10. Revisión de estado actual de la PTAR	49
3.4.11. Fase 11. Desempeño del tratamiento de las aguas residuales.....	51
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	
4.1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la zona franca Niquinohomo	53
4.1.1. Caracterización de las aguas residuales	53
4.1.2. Evaluación del caudal de entrada al sistema de tratamiento.....	54
4.1.3. Comparación de planos constructivos y lo construido.....	59
4.1.4. Evaluación del diseño hidráulico	63
4.2. Situación actual del sistema	74
4.2.1. Estado actual de la estructura	74
4.2.2. Desempeño en el tratamiento de las aguas residuales.....	80
4.2.3. Características de las aguas tratadas.....	84
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	85
5.2. Recomendaciones.....	86
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
PLANOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los gases de las aguas residuales.....	12
Tabla 2. Unidades de descarga de uso público	26
Tabla 3. Unidades de descarga de uso privado.....	27
Tabla 4. Gasto probable máximo según método de Hunter modificado	28
Tabla 5. Coeficiente “n” de Manning	30
Tabla 6. Borde libre según caudal	31
Tabla 7. Factor de Kirschmer	33
Tabla 8. Dimensiones recomendadas para rejillas	33
Tabla 9. Caudales máximos y mínimos según ancho de garganta.....	35
Tabla 10. Relación de temperatura y factor de capacidad relativa	38
Tabla 11. Relación de temperatura y el tiempo de digestión en días	39
Tabla 12. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial.....	42
Tabla 13. Profundidad de diseño recomendado para humedales de flujo subsuperficial	43
Tabla 14. Distancias mínimas a las unidades de tratamiento	49
Tabla 15. Límite permisible de coliformes fecales	51
Tabla 16. Vertidos provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico	51
Tabla 17. Características de las aguas residuales	53
Tabla 18. Resumen de unidades de gasto de uso público	54
Tabla 19. Resumen de unidades de gasto de uso privado	57
Tabla 20. Dimensiones de canal de entrada.....	59
Tabla 21. Dimensiones de canal Parshall	60
Tabla 22. Dimensiones de tanque Imhoff.....	61
Tabla 23. Dimensiones de lecho de secado	62
Tabla 24. Dimensiones del humedal.....	63
Tabla 25. Dimensiones de la cámara de digestión	66
Tabla 26. Resumen de análisis de laboratorio 02/2022	81
Tabla 27. Resumen de análisis de laboratorio 07/2016.....	82
Tabla 28. Resumen de análisis de laboratorio 01/2021	83
Tabla 29. Caracterización de las aguas tratadas.....	84
Tabla 38. Dimensiones de canal Parshall.....	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ubicación de Masaya en Nicaragua	5
Gráfico 2. Ubicación de Niquinohomo en Masaya	6
Gráfico 3. Ubicación de planta de tratamiento en Niquinohomo	7
Gráfico 4. Microlocalización de la planta de tratamiento	7
Gráfico 5. Esquema del sistema de tratamiento.	9
Gráfico 6. Partes del tanque Imhoff	17
Gráfico 7. Caudales promedio por mes	58
Gráfico 8. Gráfico de la ecuación de Chezy-Manning para el canal.	64
Gráfico 9. Imagen satelital de pozos de infiltración	72
Gráfico 10. Pozos de infiltración	73
Gráfico 11 . Entrada a la Planta de tratamiento	74
Gráfico 12. Ubicación de tanque Imhoff y Humedal de flujo subsuperficial	75
Gráfico 13. Vista satelital PTAR	75
Gráfico 14 . Canal de entrada	76
Gráfico 15. Canal Parshall	77
Gráfico 16 . Tanque Imhoff	78
Gráfico 17 . Lechos de secado	78
Gráfico 18. Humedal de flujo subsuperficial	79
Gráfico 19. Pozos de infiltración	80
Gráfico 20. Caudal promedio diario de enero	89
Gráfico 21. Caudal promedio diario de febrero	89
Gráfico 22. Caudal promedio diario de marzo	90
Gráfico 23. Caudal promedio diario de abril	90
Gráfico 24. Caudal promedio diario de mayo	91
Gráfico 25. Caudal promedio diario de junio	91
Gráfico 26. Caudal promedio diario de julio	92
Gráfico 27. Caudal promedio diario de agosto	92
Gráfico 28. Caudal promedio diario de septiembre	93
Gráfico 29. Caudal promedio diario de octubre	93
Gráfico 30. Caudal promedio diario de noviembre	94
Gráfico 31. Caudal promedio diario de diciembre	94
Gráfico 32. Planta de tanque Imhoff	95
Gráfico 33. Dimensiones de canaleta Parshall	104

ÍNDICE DE RESULTADOS LABORATORIO

Informe de laboratorio 1 análisis fisicoquímico en afluente (02/2022)	96
Informe de laboratorio 2 de análisis fisicoquímico en efluente (02/2022)	97
Informe de laboratorio 3 de análisis bacteriológico en afluente (07/2016).....	98
Informe de laboratorio 4 de análisis bacteriológico en efluente (07/2016).....	99
Informe de laboratorio 5 de análisis fisicoquímico en afluente (07/2016)	100
Informe de laboratorio 6 de análisis fisicoquímico en efluente (07/2016)	101
Informe de laboratorio 7 de análisis fisicoquímico en Afluente (01/2021).....	102
Informe de laboratorio 8 de análisis fisicoquímico en efluente (01/2021)	103

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL ESTUDIO

"El agua y el aire, los dos fluidos esenciales de los que depende toda la vida, se han convertido en botes de basura globales."

Jacques Yves Cousteau:•

1.1. Introducción

La importancia del tratamiento adecuado de las aguas residuales es fundamental para preservar la calidad del agua y garantizar la salud de las personas y el medio ambiente.

A lo largo de la historia, la humanidad ha dependido del agua como recurso vital, estableciendo comunidades cerca de fuentes abundantes. Sin embargo, a medida que las sociedades crecen y se desarrollan, se generan aguas residuales que deben ser tratadas de manera apropiada antes de ser devueltas a la naturaleza.

En Nicaragua, al igual que en otros países, se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales para abordar este desafío. Sin embargo, es crucial no solo construir estas infraestructuras, sino también asegurar su correcto funcionamiento a través de programas de seguimiento, limpieza y mantenimiento adecuados. En este sentido, se plantea la interrogante sobre si existe un programa de seguimiento para todas las plantas de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua, tanto públicas como privadas.

En este contexto, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal evaluar y diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo, la cual fue construida en 2008 con una capacidad para tratar las excretas de 7000 personas. Para alcanzar este objetivo, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de los cálculos hidráulicos necesarios para el diseño de la planta, se realizará una comparación entre lo diseñado y lo ejecutado, se inspeccionará el estado de la infraestructura y se analizarán los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos de estudios de laboratorio.

Además, se verificará el cumplimiento de la el decreto 21-2017 para regular los sistemas de tratamiento de aguas residuales y se determinará la eficiencia actual de la planta en la eliminación de contaminantes, así como los periodos de retención y las cargas orgánicas recibidas. Para llevar a cabo este estudio, se utilizarán datos obtenidos de diferentes investigaciones realizadas entre los años 2015 y 2022, incluyendo muestreos de distintas etapas del tratamiento y análisis de laboratorio realizados por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) y el Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI).

Con este trabajo de tesis, se busca contribuir al conocimiento y la mejora de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua, brindando recomendaciones y pautas para optimizar el desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo y, en última instancia, promover la protección de los recursos hídricos y el bienestar de la comunidad.

1.2. Antecedentes

En Nicaragua, se generan aproximadamente 123.3 millones de m³ de aguas residuales anualmente, de las cuales solo 72.03 millones de m³ reciben tratamiento antes de ser vertidas en los cuerpos receptores. Estas aguas se tratan en 41 plantas de tratamiento de aguas residuales administradas por ENACAL. Sin embargo, el 70% de estas plantas se encuentra en estado regular, y el 71% cumple con más del 50% de las normas de vertido. Esto se debe a la operación y mantenimiento deficientes tanto en sistemas públicos como privados, lo que dificulta el cumplimiento de los parámetros de coliformes fecales permitidos por las normas existentes (Merlos, 2013).

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo se construyó en 2012 y comenzó a operar en agosto del mismo año como parte del compromiso social del parque industrial en la preservación del medio ambiente (Zona Franca Niquinohomo, 2018). El sistema de tratamiento maneja las aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo a través de procesos físicos, biológicos y químicos para eliminar la carga contaminante.

La PTAR consta de un tratamiento preliminar que incluye una canaleta de entrada y una rejilla para retener material grueso. El tratamiento primario se realiza mediante un tanque Imhoff, eliminando entre el 40% y el 60% de los sólidos suspendidos. Como tratamiento secundario, hay cuatro humedales de flujo subsuperficial que eliminan la materia orgánica y remueven patógenos.

Es crucial evaluar el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo, su eficiencia en la remoción de contaminantes, periodos de retención, cargas orgánicas recibidas y su cumplimiento con la norma técnica nicaragüense para regular sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reúso. Por lo tanto, este trabajo monográfico busca revisar los cálculos hidráulicos necesarios para el diseño, comparar lo diseñado con lo ejecutado, inspeccionar la infraestructura,

analizar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos de estudios de laboratorios y determinar la conformidad con decreto 21-2017.

1.3. Justificación

En la actualidad, uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad es la contaminación ambiental inherente a la sociedad industrializada moderna. La necesidad de explotar los recursos naturales disponibles está directamente relacionada con la contaminación de los mismos, lo que se traduce en una insuficiencia de ambientes que cumplen condiciones óptimas para el desarrollo humano sin perjudicar el medio ambiente. Por ello, es forzoso que las causas de contaminación estén bajo estricto escrutinio, tanto por parte de las empresas que las generan como por los entes reguladores encargados de supervisar el nivel de contaminación que la actividad humana produce en los lugares donde están ubicadas, ya que pueden implicar riesgos para la población.

En este contexto global, el presente estudio se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6: "Agua Limpia y Saneamiento", una meta fundamental de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Específicamente, busca contribuir al cumplimiento de la meta 6.3, que insta a mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, a la vez que se aumenta considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos del agua. La evaluación y optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca de Niquinohomo es una acción concreta para garantizar la gestión sostenible de este recurso vital, protegiendo tanto el ecosistema local como la salud de la comunidad.

En Nicaragua existen 52 parques industriales y 226 empresas usuarias en más de 2 millones de metros cuadrados, que generan 116,500 empleos directos y 350,000 empleos indirectos en el sector de las maquilas o empresas textiles, específicamente en el año 2021 (Francas, s.f.), en este contexto resulta fundamental garantizar que las condiciones de salubridad en la empresa sean un tema de atención prioritaria. Una de las condiciones esenciales es la correcta gestión de los desechos, los cuales deben ser tratados adecuadamente para evitar la contaminación del entorno.

La Zona Franca de Niquinohomo, situada en una zona urbana habitada por 16,470 personas, posee una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) diseñada para

procesar las aguas residuales generadas por sus empleados. Con alrededor de 4,500 trabajadores, tanto ellos como los residentes locales se ven afectados por las condiciones sanitarias de la zona. Por ende, la planta de tratamiento debe mitigar el impacto de los desechos producidos por los colaboradores. Por consiguiente, es fundamental evaluar y mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca de Niquinohomo para asegurar su correcto funcionamiento, en beneficio tanto de la empresa como de la comunidad en general.

La evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales servirá para verificar el cumplimiento de las normas que protegen el medio ambiente en Nicaragua y para garantizar condiciones de salubridad óptimas en la Zona Franca. Asimismo, permitirá verificar la disminución de las cargas de contaminantes que pueden ser vertidos en el cuerpo receptor. Esta investigación proporcionará un antecedente para conocer las debilidades de sistemas similares en condiciones análogos, lo que contribuirá a mejorar el tratamiento de las aguas en este tipo de poblaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar un diagnóstico del diseño hidráulico, construcción y desempeño de planta de tratamiento de aguas residuales de la zona franca industrial Niquinohomo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar diseño hidráulico a fin de que cumpla con lo estipulado en las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de ANA.
- Comparar los planos constructivos con lo ejecutado en obra.
- Comparar el registro diario, mensual y anual, durante el periodo de reporte, de la medición del caudal de entrada al sistema de tratamiento. Enero - diciembre 2020 con el caudal de diseño
- Determinar el funcionamiento operacional de la planta mediante el periodo de retención, cargas aplicadas y eficiencia según las disposiciones de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de INAA.

- Contrastar los análisis del comportamiento de la calidad del agua tratada, fisicoquímica, y microbiológica, en base a las campañas de monitoreo realizadas en el afluente y efluente con los criterios del Decreto ejecutivo N°. 21-2017
- Inspeccionar el estado actual de la infraestructura.

1.5. Descripción del área de estudio

La planta de tratamiento se encuentra en el municipio de Niquinohomo, dentro del parque industrial ZOFRANIN, el parque cuenta con un área de techo industrial de 55079.1 m², y cuenta con mano de obra proveniente principalmente de los departamentos de Masaya, Carazo y Granada (ZOFRANIN, 2023)

1.5.1. Macrolocalización

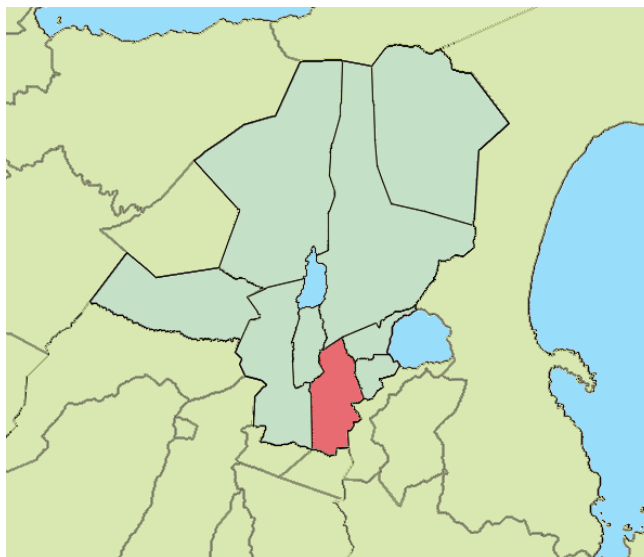
La planta de tratamiento de aguas residuales se ubica en municipio de Niquinohomo, departamento de Masaya, en la República de Nicaragua.

Gráfico 1. Ubicación de Masaya en Nicaragua



Fuente: Adaptado de Humanitarian Data Exchange

Gráfico 2. Ubicación de Niquinohomo en Masaya



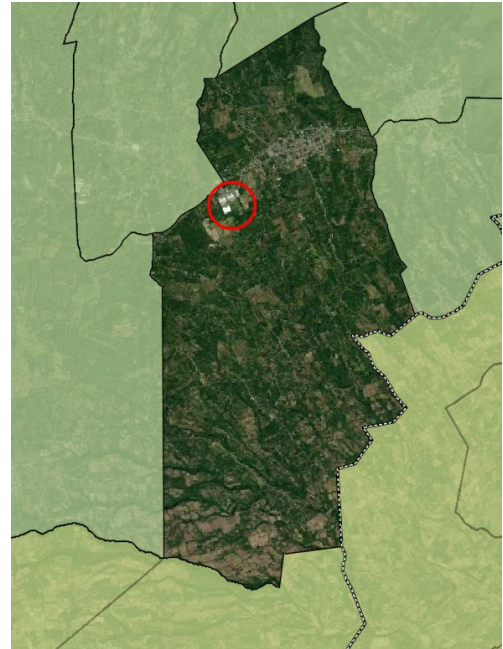
Fuente: Adaptado de Humanitarian Data Exchange

1.5.2. Microlocalización

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra dentro de las instalaciones de ZOFRANIN, en el municipio de Niquinohomo, se puede acceder a esta a través de la carretera NN-201, propiamente en el Km. 52, carretera Catarina a Masatepe.

El parque industrial Zona Franca Industrial Niquinohomo S.A. se ubica al suroeste del Campo Santo La Esperanza de Niquinohomo y al sur de la lotificación Bosques del Carmen

Gráfico 3. Ubicación de planta de tratamiento en Niquinohomo



Fuente: Adaptado de Humanitarian Data Exchange

Gráfico 4. Microlocalización de la planta de tratamiento



Fuente: Google Earth

1.5.3. Actividades de la Zona Franca

En el parque industrial ZOFRANIN se encuentran operando las empresas de origen coreano HANSAE INTERNATIONAL, S.A. que utiliza 4 edificios industriales, además de edificios secundarios y la Empresa SHARON DE NICARAGUA, S.A. (ZOFRANIN, 2023).

La empresa HANSAE INTERNATIONAL, S.A., de origen coreano, se dedica a la confección de prendas de vestir (Comisión Nacional de Zonas Francas, 2020), mientras que SHARON NICARAGUA, S: A. se dedica a la realización de trabajos de impresión serigráfica, grabado, bordado y acabados en general, requeridas en la industria textil y de vestuario. (Comisión Nacional de Zonas Francas, 2020)

1.5.4. Descripción de las unidades existentes en la planta de tratamiento

La planta cuenta con las siguientes unidades para el tratamiento de las aguas residuales:

Rejilla manual: es el dispositivo de pretratamiento, se encarga de retener los sólidos de mayor tamaño. Consiste en barras delgadas (3/8") paralelas que capturan desechos grandes, los cuales se remueven manualmente para proteger los equipos posteriores.

Canaleta Parshall: es el dispositivo para la medición del caudal de entrada al sistema de tratamiento, su diseño en "V" permite medir el caudal a través de la diferencia de nivel del agua en el canal.

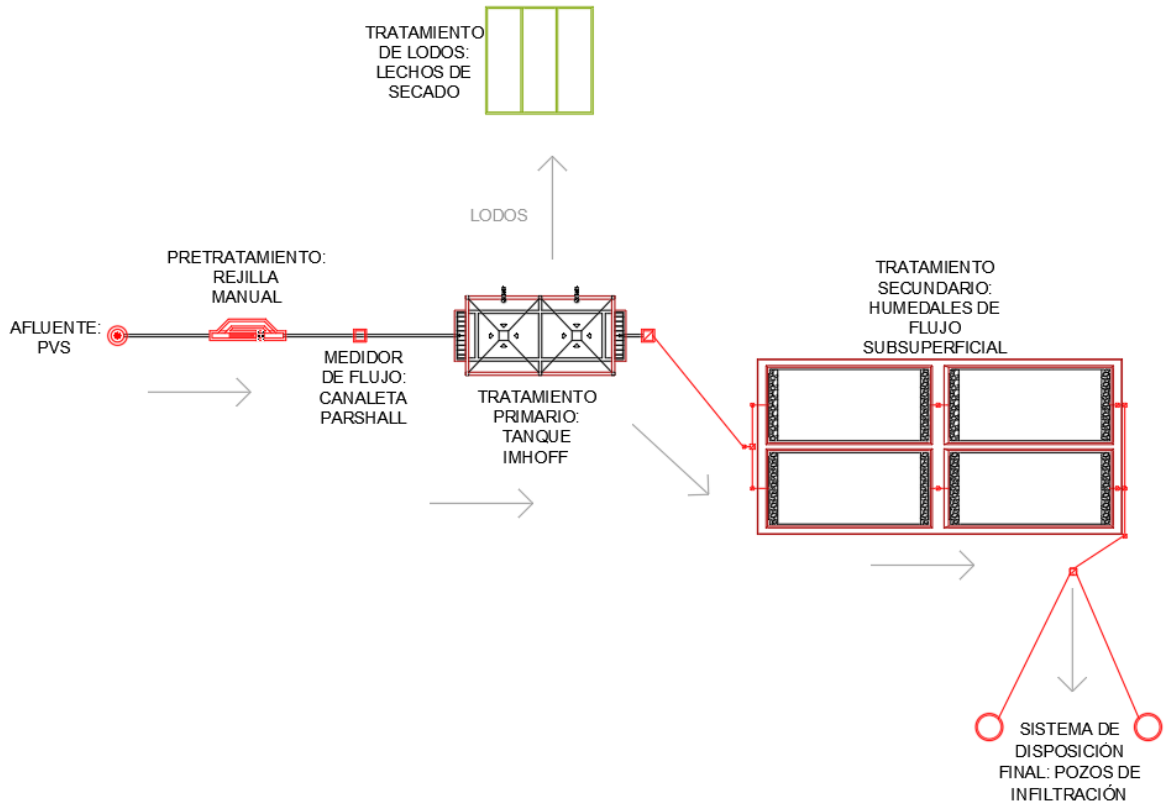
Tanque Imhoff: es el dispositivo de tratamiento primario, en él los sólidos se asientan en el fondo, donde se descomponen anaeróbicamente, reduciendo su volumen y estabilizando los residuos antes del tratamiento secundario.

Lechos de secado: es el dispositivo de tratamiento de los lodos provenientes del tanque Imhoff, en él los lodos se extienden en capas delgadas sobre un medio poroso, en donde la evaporación y la deshidratación natural reducen su volumen, facilitando su manejo y disposición final.

Humedal de flujo subsuperficial: es el sistema de tratamiento secundario de aguas residuales. En él, el agua pasa a través de un medio poroso plantado con vegetación, donde se eliminan contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos antes de la disposición final.

Pozos de infiltración: es el sistema de disposición final en el tratamiento. Consiste en perforaciones profundas que permiten que el agua tratada se infiltre en el suelo, donde se purifica naturalmente y recarga los acuíferos subterráneos.

Gráfico 5. Esquema del sistema de tratamiento.



Fuente: Propia

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

"No hay vida sin agua. Proteger nuestras aguas es proteger la vida."

David Suzuki

2.1. Generalidades

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos aguas residuales es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada.

Si se permite la acumulación y estancamiento de agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho cabe añadir la frecuente presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. También suele contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas. Es por todo ello que la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no solo deseable sino también necesaria en toda sociedad industrializada. (Metcalf & Eddy, inc., 1995)

2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales se definen como, todas aquellas aguas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presenten características físicas químicas o biológicas que causen daño a la calidad del agua, suelo, biota, y a la salud humana. (Enacal, norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso, 2006)

2.3. Características de las aguas residuales

2.3.1. Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. (Metcalf & Eddy, inc., 1995)

Sólidos totales

Análíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C.

Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. (Metcalf & Eddy, inc., 1995)

Sólidos suspendidos

son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de proceso de filtración o de sedimentación. Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, de los cuales un 70% son orgánicos y un 30% inorgánicos. (Ramalho, 2007)

Sólidos coloidales

Consisten en limo fino, bacterias partículas causantes de color, virus etc. los cuales no sedimentan si no después de periodos altamente razonables y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. (Ramalho, 2007)

Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas, inorgánicas y iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. (Metcalf & Eddy, inc., 1995)

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que el agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son

menores que ella durante los meses más calurosos del verano. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

Color

Agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más a las anaerobias, el color del agua de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

Olor

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

Tabla 1. Composición de los gases de las aguas residuales

Compuestos olorosos	Formula química	Calidad de olor
Aminas	CH_3NH_3 , $(\text{CH}_3)_3\text{H}$	Similar a pescado
Amoníaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$, $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	Huevos podridos
Compuestos olorosos	Formula química	Calidad de olor
Mercaptanos	CH_3CSH , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$, $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Coles descompuestas
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

Adaptado de: (Metcal & Eddy, inc., 1995, pág. 65)

2.3.2. Características químicas

Materia orgánica

La materia orgánica representa cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos sedimentables, estos sólidos provienen del reino animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos normalmente están formados por: combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno. Otro compuesto orgánico presente en las aguas residuales con una considerable presencia es la urea, principal constituyente de la orina, pero debido a su alta velocidad de descomposición raramente está presente en aguas residuales de alta data. (Metcalf & Eddy, inc., 1995)

DBO (demanda Bioquímica de Oxígeno)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. (Ramalho, 2007)

Este parámetro es aplicable a agua residuales, así como aguas superficiales es comúnmente usado el DBO a los 5 días a 20°C esto debido a factor tiempo ya que el tiempo completo para determinar el -DBO es en realidad de 20 días.

DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. (Ramalho, 2007)

Este valor es directamente proporcional al contenido de materia orgánica presente en aguas residuales municipales, así como industriales que contengan agentes tóxicos para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales se puede realizar una correlación entre DQO y DBO relatando muy útil considerando que el DQO tarda 3 horas en obtenerse en diferencia del DBO de 5 días.

pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. (Significados, 2017)

La concentración de iones de hidrogeno es un parámetro de calidad muy importante para el tratamiento de las aguas residuales puesto que está estrechamente relacionado con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

2.3.3. Características biológicas

Bacterias

La bacteria es un microorganismo unicelular y procarionte, lo que significa que no posee núcleo. Las bacterias, junto con los protozoos, los hongos y las algas, pertenecen a la categoría de los microorganismos, que son formas de vida microscópica. (Significados, 2016)

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

Virus

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA)- con una capa de recubrimiento proteínico.

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10.000 y 100.000 dosis de virus hepático. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. (Metcal & Eddy, inc., 1995)

2.4. Etapas de la PTAR de Zona franca Niquinohomo

2.4.1. Pretratamiento

Es el destinado a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente, sin perjudicar los equipos mecánicos y sin obstruir tuberías y causar depósitos permanentes en tanques. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento tales como grandes variaciones de caudal y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas y otros. (La Gaceta, 2006)

El pretratamiento tiene como principal misión dos cosas:

- Remover los sólidos gruesos que están suspendidos, consisten principalmente en papal, plásticos trapos y tela.
- Remover solidos inorgánicos pesados por lo general solidos arenoso que entran al alcantarillado con gravedad especifica que ronda los 2.5.

Rejillas

Es un dispositivo formado por barras de un mismo espesor a una misma distancia de separación se utilizan como elemento de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen bombas y otros equipos mecánicos. (Ramalho, 2007)

Medidor de flujo

El medidor Parshall está incluido entre los medidores de flujo crítico, es de fácil construcción, presenta la ventaja de depender de sus propias características hidráulicas, una sola determinación de carga es suficiente, la pérdida de carga es baja, posee sistema de auto limpieza que hace que no haya obstáculos capaces de provocar formación de depósitos, por lo tanto, es el más recomendable para medir caudales de aguas residuales sin tratar. Se deberá colocar a continuación del desarenador. (Salguero, 2011)

2.5. Tratamiento primario

Tratamiento de aguas residuales mediante un proceso fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO₅ de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos en un 50%. (La Gaceta, 2006)

2.5.1. Tanque Imhoff

2.5.2. Generalidades

El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas, diseñada para separar sólidos de líquidos, y para la digestión del lodo asentado. Consiste en un compartimiento en forma de "V" sobre una cámara de digestión de lodo estrecha con respiraderos para gas. (NORMA OS.090, 2022)

El tanque Imhoff es un sedimentador robusto y eficaz que reduce los sólidos suspendidos de 50 a 70% y la demanda química de oxígeno (DQO) de 25 a 50%, y conduce a una adecuada estabilización del lodo (dependiendo del diseño y las condiciones) El compartimiento de sedimentación tiene forma circular o rectangular, con paredes en forma de V y una ranura en el fondo que permite que los sólidos se asienten en el compartimiento de digestión, evitando que el gas fétido suba y perturbe el proceso de sedimentación. El gas producido en la cámara de digestión sube hacia los respiraderos en el borde del reactor y transporta las partículas de lodo a la superficie del agua, creando una capa de espuma. El lodo se acumula en el compartimiento de digestión de lodo, donde es compactado y parcialmente estabilizado mediante digestión anaerobia. (Tilley E., 2018)

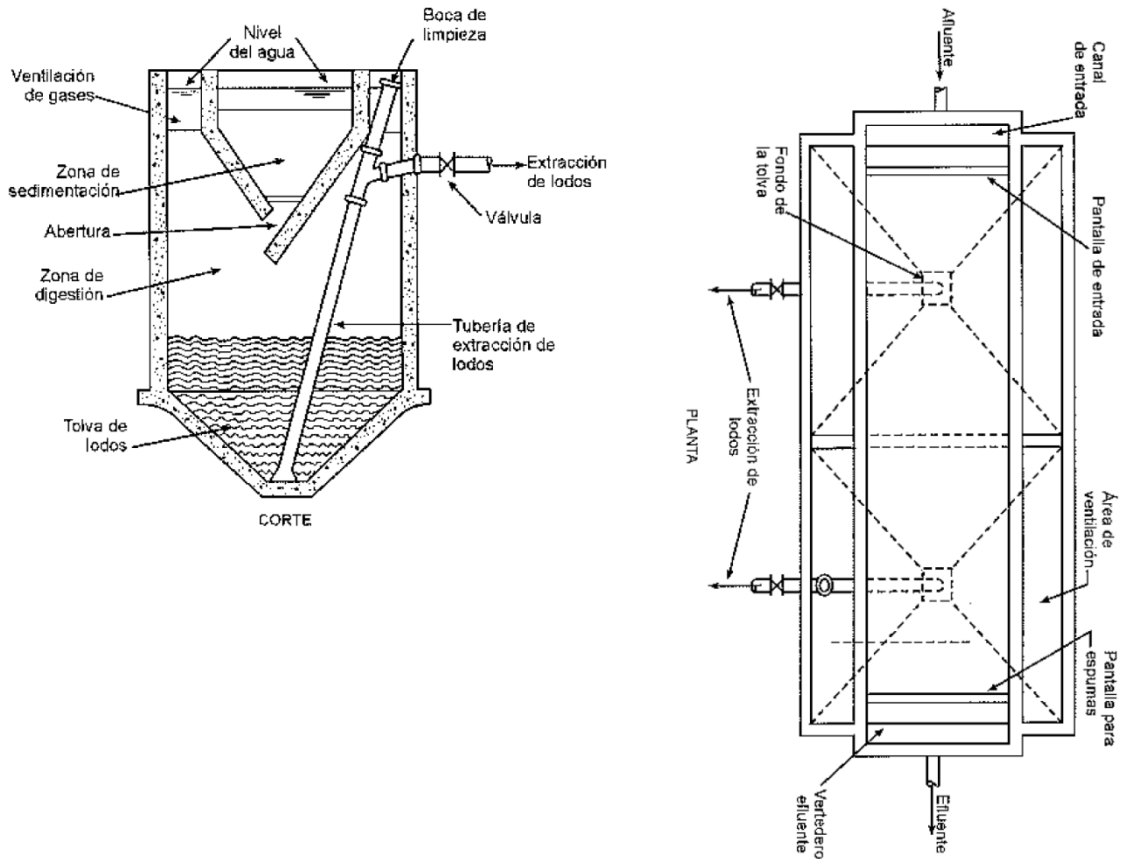
2.5.3. Partes de tanque Imhoff

Cámara de digestión: El agua servida está constituida por parte líquida y sólida, esta llegará a la cámara superior para su sedimentación, es decir, se efectuará la separación de los líquidos de los sólidos.

Cámara de digestión: En la cámara inferior se produce la digestión de los sólidos, en donde las bacterias descomponen la materia orgánica y la convierte en lodo. El lodo acumulado se extraerá a través de un tubo, llamada también tubo de purga.

Cámara de ventilación: El gas producido en la cámara de digestión se eleva en las rejillas de ventilación de gas en el borde del reactor. Se transporta partículas de lodo a la superficie del agua, creando una capa de escoria.

Gráfico 6. Partes del tanque Imhoff



Fuente: (Rojas, 2000)

2.5.4. Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento son de bajo costo si el personal a cargo está capacitado. Las rutas del flujo deben mantenerse abiertas y limpiarse cada semana, mientras que la espuma en el compartimiento de asentamiento y los respiraderos de gas deben limpiarse diariamente, si fuera necesario. El lodo estabilizado en el fondo del compartimiento de digestión debe eliminarse según el diseño. Siempre debe haber un espacio mínimo de 50 cm entre la manta de lodo y la ranura de la cámara de sedimentación. (Tilley E., 2018)

2.5.5. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
La separación sólido-líquido y la estabilización de lodos se combinan en una sola unidad.	Infraestructura muy alta (o profunda); la profundidad puede ser un problema si la capa freática es alta.
Resistente ante cargas de choque orgánicas.	Requiere experiencia en diseño y construcción.
Requiere un terreno pequeño.	Baja reducción de patógenos.
El efluente no es séptico (poco mal olor).	El efluente, el lodo y la espuma requieren tratamiento adicional.
Bajos costos de operación.	

2.6. Tratamiento secundario

Proceso que elimina de las aguas la materia orgánica biodegradable y que no ha sido retirada por el tratamiento primario. Consiste en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica, tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente. (La Gaceta, 2006)

2.6.1. Humedales artificiales

2.6.2. Generalidades

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitos enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de los macrófitos hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones

químicas y volatilización. Reemplazan así el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales.

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos.

2.6.3. Clasificación de los humedales según el tipo de macrófitos

Sistemas de tratamiento basados en macrófitos de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua son las especies más utilizadas para este sistema.

Sistemas de tratamiento basados en macrófitos sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitos y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

Sistemas de tratamiento basados en macrófitos enraizadas emergentes: en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.

Los humedales basados en macrófitos enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de los macrófitos y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal. (Oscar Delgadillo, 2010)

2.7. Humedales de flujo subsuperficial

El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitos acuáticas, en la mayoría de los casos con la

caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm.

La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm.

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento. (Oscar Delgadillo, 2010)

2.7.1. Partes de los humedales subsuperficiales

Sustrato: En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico.

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar.

Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica.

De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas) (Oscar Delgadillo, 2010).

Vegetación: El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

Microorganismo: Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los

microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera

2.7.2. Operación y mantenimiento

Requiere un mínimo de mantenimiento empezando por la recolección periódica de los restos vegetales como varas y hojas muertas, operación que debe practicarse cada quince días en el verano y una vez al mes en el invierno. De no hacerse lo anterior los sólidos en pudrición podrían contribuir al azolvamiento de este. Con lo que respecta a la densidad de las plantas esta será según la especie. La sobrepoblación de plantas puede llevar a que las raíces aprieten el medio y tapen los poros de las piedras.

Por lo que concierne a las tuberías de desfogue para evitar inundaciones deben limpiarse en verano cada semana y en invierno cada quince días de hojas y varas, para evitar que el humedal pudiera inundarse y derramarse. (Perez, 2017)

Comprobar periódicamente la cantidad de sólidos que son transferidos a los humedales.

- Controlar regularmente el color y olor del efluente del humedal para determinar la calidad y su funcionamiento.
- Comprobar las Unidades de pretratamiento, la entrada y salida en el sistema como pueden ser las obstrucciones y el nivel de agua.
- Comprobar periódicamente las cargas contaminantes, la concentración de contaminación en el afluente.
- Revisar la vegetación de los humedales para ver que no haya enfermedades, insectos, etc., y dar el tratamiento adecuado según sea necesario.

- Se debe hacer una observación exhaustiva a las malezas o plantas depredadoras hasta que la vegetación de los humedales esté plenamente establecida.
- Tener un control del crecimiento de las plantas en el humedal.

2.7.3. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Puede operar con grandes cargas orgánicas.	Mayor costo de realización.
No produce malos olores.	No tiene mucho valor como ecosistema para la vida, el agua es de difícilmente accesible a la fauna.
No produce insectos.	Requiere mayor área n comparación a los humedales subsuperficial verticales
Requiere superficies de menor tamaño en comparación con los humedales superficiales.	

2.8. Pozos de infiltración

2.8.1. Generalidades

Un pozo de infiltración, también conocido como sumidero o pozo de filtrado, es una cámara cubierta y con paredes porosas que permite que el agua penetre lentamente en el suelo (Tilley E., 2018).

2.8.2. Partes del pozo de infiltración

Losa de techo y tapa de inspección

La losa de techo del pozo de infiltración tendrá una tapa de inspección de 60 cm de diámetro o de 60 x 60 cm por cada lado.

Paredes de pozo

Formada por muros de mamposterías compuesta de ladrillos o bloques de piedra o de concreto sobre puestos y con juntas laterales libres espaciadas no más de 1 cm. El espacio entre el muro y el terreno natural no será menor a 10 cm y se rellenará con grava de 2.5 cm a 5 cm de diámetro.

Filtro de grava

El fondo del pozo deberá ser cubierto por una capa de 15 cm de espesor de grava gruesa de las mismas características que la empleada para rellenar el espacio entre el muro y el terreno natural

Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.	Bajos costos de capital y operación
Técnica sencilla de aplicar para cualquier usuario.	Requiere tratamiento primario para evitar obstrucciones.
Requiere terreno pequeño.	Puede perjudicar las propiedades del suelo y de los acuíferos

CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO

"La tierra, el aire, el agua y el suelo no nos pertenecen. Debemos manejarlos con amor y respeto. El tratamiento de aguas residuales es un acto de amor hacia nuestra tierra y hacia las generaciones futuras."

Mahatma Gandhi:

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada. Se llevó a cabo un estudio detallado y práctico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca Niquinohomo. Este enfoque aplicado implicó la recolección de datos reales y la aplicación de métodos y técnicas específicas para evaluar y diagnosticar el sistema existente.

3.2. Alcance o nivel

No experimental: Las variables no se manipularon, sino que se realizó un análisis detallado y observacional del sistema de tratamiento de aguas residuales la cual permitió obtener una visión detallada de la situación actual del sistema.

Mixto: En este estudio se utilizaron tanto datos cuantitativos como cualitativos para obtener una comprensión completa de las características del sistema.

Descriptiva: La investigación se enmarcó en este tipo porque describió de manera detallada los componentes de la PTAR, los procesos que ocurre dentro de ella y la condición actual de la eficiencia de dichos procesos

Transversal: ya que se recopiló la información y se analizó las variables en un solo punto del tiempo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Reconocimiento In Situ de las condiciones y dimensiones de la planta.

Obtención de información relevante por parte de la administración de ZOFRANIN (Diseño original, Informes de análisis Físicoquímicos, y Estadísticas de Colaboradores).

3.4. Análisis y procesamiento de datos

3.4.1. Fase 1. Caracterización de las aguas residuales

En la caracterización de las aguas residuales en el afluente destinadas a tratamiento, se consideró el resultado menos favorable de cada parámetro de los análisis de laboratorio realizados por gestión de ZOFRANIN. Para asegurar una evaluación completa que abarcará los escenarios más adversos, garantizando la revisión de la eficiencia del tratamiento incluso en condiciones desfavorables.

3.4.2. Fase 2. Determinación de caudales

Para la revisión del diseño de la PTAR, se determinó el caudal de diseño, que define la cantidad de aguas residuales a tratar por unidad de tiempo para cada una de las unidades de tratamiento, para lo cual se usó el método de Hunter modificado, siguiendo las directrices de la Norma Técnica I.S. 10 de Perú.

Unidades de descarga para uso público

Como primer paso para el cálculo del caudal máximo probable se determinó cuantas unidades de gasto para uso público existen en los edificios del parque industrial, teniendo en cuenta la tipología de los aparatos sanitarios y las cantidades existentes de estos, asignándole a cada tipo la unidad de descarga correspondiente, tomando como referencia la siguiente tabla:

Tabla 2. Unidades de descarga de uso público

Aparato sanitario	Unidades de gasto
Inodoro, con tanque -reducida	2.5
Inodoro, con tanque	5
Inodoro, con válvula semiautomática y automática	8
Inodoro, con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	4
Lavatorio corriente	1.5
Lavatorio múltiple por salida	1.5
Lavadero de hotel restaurante	3
Lavadero	2
Ducha	3
Tina	3

Aparato sanitario	Unidades de gasto
Urinario con tanque	3
Urinario con válvula semiautomática y automática	5
Urinario con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5
Urinario múltiple por metro	3
Bebedero simple	1
Bebedero múltiple por salida	1

Adaptado de: Normativa S 010

Unidades de descarga para uso privado

A continuación, se determinó cuantas unidades de gasto para uso privado existen en ZOFRANIN, teniendo en cuenta la tipología de los aparatos sanitarios y las cantidades existentes de estos, asignándole a cada tipo la unidad de descarga correspondiente, tomando como referencia la siguiente tabla:

Tabla 3. Unidades de descarga de uso privado

Aparato sanitario	Unidades de gasto
Inodoro, con tanque -reducida	1.5
Inodoro, con tanque	3
Inodoro, con válvula semiautomática y automática	6
Inodoro, con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	3
Bidé	0.75
Lavatorio	0.75

Aparato sanitario	Unidades de gasto
Lavadero	2
Ducha	1.5
Tina	1.5
Urinario con tanque	3
Urinario con válvula semiautomática y automática	5
Urinario con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5
Urinario múltiple por metro	3

Adaptado de: Normativa S 010

Relación entre unidades de descarga y caudal.

Se determinó la suma global de las unidades de descarga de todos los aparatos sanitarios, y de la siguiente tabla se seleccionó el caudal correspondiente al sistema de administración de agua, e interpolando.

Tabla 4. Gasto probable máximo según método de Hunter modificado

Número de unidades	Con tanque	Con válvula
500	4.71	5.31
550	5.02	5.57
600	5.34	5.83
650	5.85	6.09
700	5.95	6.35

Número de unidades	Con tanque	Con válvula
Número de unidades	Con tanque	Con válvula
750	6.20	6.61
800	6.60	6.84
850	6.91	7.11

Número de unidades	Con tanque	Con válvula
900	7.22	7.36
950	7.53	7.61
1000	7.84	7.85
1100	8.27	8.27
1200	8.70	8.70
1300	9.15	9.15
1400	9.56	9.56
1500	9.90	9.90
1600	10.42	10.42
1700	10.85	10.85
1800	11.25	11.25
1900	11.71	11.71
2000	12.14	12.14
2100	12.57	12.57
2200	13.00	13.00
2300	13.42	13.42

Número de unidades	Con tanque	Con válvula
2400	13.86	13.86
2500	14.29	14.29
2600	14.71	14.71
2700	15.12	15.12
2800	15.53	15.53
2900	15.97	15.97
3000	16.20	16.20
3100	16.51	16.51
3200	17.23	17.23
3300	17.85	17.85
3400	18.07	18.07
3500	18.40	18.40
3600	18.91	18.91
3700	19.23	19.23
3800	19.75	19.75
3900	20.17	20.17

Adaptado de: Normativa S 010

Comparación del registro anual del caudal y el caudal de diseño

Dentro de los caudales mensuales promedio, se tomó el mayor proyectándolo a la población futura, luego se comparó con el caudal medio, el cual debe de ser mayor a este.

3.4.3. Fase 3. Comparación de planos constructivo y lo construido

Con los datos recopilados en la visita a las instalaciones se verificó la coherencia entre el diseño planificado y la ejecución práctica en términos de dimensiones y ubicaciones.

Durante esta visita, se utilizó una cinta métrica de 30 metros y se utilizaron los planos originales como referencia. Además, se recopiló evidencia fotográfica detallada y se tomaron notas exhaustivas de todas las irregularidades encontradas durante la inspección.

Posteriormente se compararon las mediciones en campo con las dimensiones en plano

3.4.4. Fase 4. Revisión de canal de entrada

Coefficiente de Manning

El coeficiente de Manning se utilizó en el cálculo de caudales el efecto de la reducción de energía producía por la fricción, este varía dependiendo de la rugosidad de los distintos tipos de materiales que puede recubrir los canales, SE tiene que:

Tabla 5. Coeficiente “n” de Manning

Superficie	Coefficiente “n”, para condiciones medianas
Tubería de hierro remachado em espiral	0.017
Tubos comunes de barro para drenaje	0.014
Tabiques con mortero de cemento	0.015
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.013
Tuberías de concreto	0.015
Canales revestidos con concreto	0.016

Adaptado de: (Béjar, 2007)

Fórmula de Chezy-Manning

La ecuación de Chezy-Manning expresa que la velocidad es igual al inverso del coeficiente de, por el radio hidráulico elevado a 2/3 por la pendiente elevada a 1/2, evaluando en la misma fórmula la ecuación de continuidad, se resolvió para el caudal de diseño, para obtener la altura de diseño, y para el caudal máximo para la altura máxima, para un canal rectangular se tiene:

Ecuación 1

$$Q = \frac{1}{n} * H * b * \left[\frac{H * b}{2H + b} \right]^{\frac{2}{3}} * \sqrt{s}$$

Donde:

Q : caudal.

n : coeficiente de rugosidad.

s : pendiente del fondo del canal.

H : Altura de canal

b : ancho de canal

Borde libre

En relación con el caudal, se consideró el borde libre, de la siguiente manera:

Tabla 6. Borde libre según caudal

Caudal Q (m ³ /s)	Borde libre (m)
Menor a 0.5	0.30
Mayor a 0.5	0.40

Adaptado de: (Béjar, 2007)

Altura máxima y mínima

Resolviendo la ecuación de Chezy-Manning, con el Caudal Máximo Horario y el Caudal de diseño, hallamos la altura de diseño y la altura media, respectivamente, las cuales deben de ser menor a la altura del canal, menos el borde libre.

Velocidad de aproximación

La velocidad de aproximación debe de estar entre 0.40 a 0.75 m/s, se calculó usando la ecuación de continuidad, esto es:

Ecuación 2

$$v_a = \frac{Q_d}{H_d * b}$$

Donde:

H_d : altura de diseño.

Q_d : caudal de diseño

b : ancho de canal

v_a : velocidad de aproximación.

Energía de velocidad

Es la energía de velocidad de flujo y se calculó como la velocidad de aproximación al cuadrado, entre dos veces la aceleración por la gravedad, esto es.

Ecuación 3

$$h_v = \frac{v_a^2}{2g}$$

Donde:

v_a : velocidad de aproximación

g : aceleración producto de la gravedad de la tierra

h_v : energía de velocidad de flujo de aproximación

Factor de Kirschmer

El factor de Kirschmer, o factor de forma de las barras, expresa el efecto de la forma de las barras en la pérdida de energía cinética de la siguiente manera

Tabla 7. Factor de Kirschmer

Tipo de barras	Coficiente "n"
Rectangular con aristas vivas	2.42
Rectangular con la cara aguar arriba semicircular	1.83
Rectangular con las caras aguas arriba y abajo semicircular	1.67
Circular	1.79

Adaptado de: (ANA, 2004)

Dimensiones y disposición de rejillas

Las barras deben de tener las siguientes dimensiones:

Tabla 8. Dimensiones recomendadas para rejillas

Parámetro	Limpieza Manual	Limpieza mecánica
Ancho de la sección de la barra (mm)	5-15	5-15
Profundidad de la barra (mm)	25-37.5	25-37.5
Separación entre barras (mm)	25-50	15-75
Ángulo con la vertical (°)	30°-45	0°-30°

Adaptado de: (ANA, 2004)

Pérdidas de energía en rejillas limpias

La pérdida de energía producidas por las rejillas se calculó usando la ecuación de Kirschmer y debe de ser menor a 0.15 m:

Ecuación 4

$$h = \beta \left(\frac{w_b}{b_s} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \text{sen}(\theta)$$

Donde:

β : Factor de forma de las barras.

w_b : Ancho máximo de la sección transversal de la barra, en metros

b_s : Separación mínima entre barras en metros

θ : Ángulo de la rejilla con la horizontal

h_v : es la energía cinética de aproximación por unidad de masa en metros y se calcula de la siguiente manera:

Velocidad a través de rejilla limpia

La velocidad a través de la reja se calculó usando la ecuación de continuidad teniendo en cuenta la reducción del área por las rejillas, esto es:

Ecuación 5

$$v_p = \frac{Q_d}{H_d * (b - n_b w)}$$

Donde:

n_b : numero de barras.

w_b : Ancho de la sección transversal de la barra.

b : Separación mínima entre barras en metros

v_p : velocidad de aproximación.

H_d : tirante de diseño.

Velocidad a través de rejilla obstruida

Se supuso una obstrucción del 50% del área de las rejillas, estimando que la velocidad se multiplicará por dos (Tchobanoglous & Crites, 2000, pág. 250).

Pérdida de energía en rejillas obstruidas

Se calculó las pérdidas de energía en el caso de obstrucciones, en función de las velocidades de paso y de aproximación (Tchobanoglous & Crites, 2000, pág. 250), de la siguiente manera:

Ecuación 6

$$h_L = \frac{1}{6} * \left(\frac{v_o^2 - v_p^2}{2g} \right)$$

Donde:

g : aceleración producida por la gravedad de la tierra.

v_a : velocidad de aproximación.

v_o : velocidad de rejilla obstruida.

3.4.5. Fase 5. Revisión de canaleta Parshall

Caudales máximos y mínimos

El caudal de diseño y el mínimo determinaron la elección del canal Parshall, las dimensiones del canal se encuentran en Tabla 37. Dimensiones de canal Parshall y Gráfico 28. Dimensiones de canaleta Parshall

Tabla 9. Caudales máximos y mínimos según ancho de garganta

W(mm)	Caudal mínimo (l/s)	Caudal máximo (l/s)
25.40	0.08	5.28
50.80	0.28	27.78
76.20	0.83	76.39
152.40	1.67	166.67
228.60	2.50	333.33
304.80	3.33	555.56
457.20	4.81	695.00

Adaptado de: (Lana Sarrate, 2019)

3.4.6. Fase 6. Revisión de tanque Imhoff

Se siguieron las recomendaciones de las “Guías técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales”, y la Norma OS.090, el cual es base de la “Guía para el diseño de tanque sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización” de la OPS.

Carga Superficial

La carga superficial es la relación entre el caudal de entrada y la superficie de la cámara de sedimentación, la cual debe de estar entre 1 y 1.7 m³/ m².h, esto es:

Ecuación 7

$$1 \frac{m^3}{m^2h} \leq \frac{Q_m}{A_s} \leq 1.7 \frac{m^3}{m^2h}$$

Donde:

Q_m : Caudal medio

A_s : Área del sedimentador

Tiempo de retención de las aguas residuales

El tiempo de retención de las aguas residuales en el tanque Imhoff se calculó como el cociente de la división del volumen de la cámara de digestión y el caudal de diseño, y debe de ser entre 2 y 4 horas

Ecuación 8

$$2 h \leq Tr = \frac{V_s}{Q_m} \leq 4 h$$

Donde:

Tr : Tiempo de retención de las aguas residuales en el tanque Imhoff

Relación Longitud-Ancho de cámara de sedimentación

La relación entre la longitud y el ancho de la cámara de sedimentación debe de estar en el intervalo de 2:1 y 5:1

Ecuación 9

$$2 \leq \frac{L_{cs}}{A_{cs}} \leq 5$$

Donde:

L_{cs} : Longitud de la cámara de sedimentación

A_{cs} : Ancho de la cámara de sedimentación

Pendiente de fondo de cámara de sedimentación

La relación entre la proyección vertical y la proyección horizontal a la largo de la cámara de sedimentación debe de estar en el intervalo de 5:4 y 7:4

Ecuación 10

$$\frac{5}{4} \leq \frac{V}{H} \leq \frac{7}{4}$$

Donde:

V: Proyección vertical del fondo

H: Proyección horizontal del fondo

Abertura de comunicación entre cámaras

La abertura que conecta la cámara de sedimentación y la cámara de digestión debe de ser entre 15 y 30 cm.

Proyección horizontal del saliente

La proyección horizontal del saliente en la abertura que conecta la cámara de sedimentación y la cámara de digestión debe de ser entre 15 y 30 cm.

Velocidad horizontal del flujo

La velocidad horizontal del flujo en el sedimentador se calculó como la división del caudal de diseño y el área transversal de la cámara de sedimentación, y debe de ser menor a 30 cm/min

Longitud del deflector de espuma por debajo de la superficie

El deflector de espuma debe de extenderse por debajo de la superficie entre 25 y 40 cm

Borde libre

El borde libre del tanque Imhoff debe de ser entre 45 y 60 cm

Superficie de la zona de ventilación de gases

La superficie de la zona de ventilación de gases debe de ser entre el 15 y 30 por ciento de la superficie total del tanque Imhoff

Ancho de la zona de ventilación de gases

El ancho de la abertura de la zona de ventilación de gases debe de ser entre el 45 y 75 cm.

Volumen de la cámara de digestión

La cámara de digestión debe de tener un volumen de 0.05 a 0.10 m³ por habitante, esto es:

Ecuación 11

$$0.05 \frac{m^3}{hab} \leq \frac{V_{cd}}{hab} \leq 0.10 m^3/hab$$

Donde:

V_{cd} : Ancho de abertura de la zona de ventilación de gases.

hab : población de diseño

Volumen de la cámara de digestión según temperatura

Para la cámara de digestión se tuvo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 10. Relación de temperatura y factor de capacidad relativa

Temperatura (C°)	Factor de capacidad relativa fcr
5°	2.0
10°	1.4
15°	1.0
20°	0.7
>25°	0.5

Adaptado de: (OPS/CEPIS/UNATSABAR, 2005)

Y el volumen de la cámara de digestión de gases se debe de considerar de al menos 0.07 litros por habitantes multiplicada por el factor de capacidad relativa, esto es:

Ecuación 12

$$V_d \geq 0.07 \frac{m^3}{hab} * hab * fcr$$

Donde:

fcr: factor de capacidad relativa

hab: población de diseño

Diámetro de tubo de extracción de lodos

El diámetro de la tubería para la extracción de lodos debe de ser de entre 20 y 30 cm:

Distancia libre hasta el nivel de lodos

La distancia libre hasta el nivel de los lodos debe de encontrarse en el intervalo 30 y 90 cm.

Tiempo requerido para digestión de lodos

Para el tiempo requerido para la digestión de lodos, se tuvo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 11. Relación de temperatura y el tiempo de digestión en días

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

Adaptado de: (OPS/CEPIS/UNATSABAR, 2005)

Profundidad total del tanque

La profundidad total del tanque Imhoff debe de ser de entre 7.25 y 9.5 metros.

Forma de la cámara de digestión de lodos

El fondo de la cámara de digestión de lodos debe de tener forma de un tronco de pirámide truncada, cuyas paredes tendrán una inclinación entre 15° y 30° con respecto a la horizontal, esto es:

Reducción de DBO

El tanque Imhoff en condiciones normales logra una reducción del DBO entre un 25 a 35%, de lo cual se tuvo en cuenta un 25% de reducción para su revisión.

3.4.7. Fase 7. Revisión de lecho de secado

Se siguieron las recomendaciones de las “Guías técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales”, y la “Guía para el diseño de tanque sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización” de la OPS.

Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

La cantidad de sólidos que entran al sedimentador se calcularon como el producto del Caudal de diseño de aguas residuales, multiplicada por la masa de sólidos en suspensión en el agua residual cruda por unidad de volumen, esto es:

Ecuación 13

$$C = Q * SS$$

Donde:

Q : Caudal de diseño

SS : Masa de sólidos en suspensión por unidad de volumen

Masa de sólidos que conforman los lodos

La cantidad de sólidos que conforman los lodos digeridos se aproxima como un 32.5 % de la carga de sólidos que ingresa al sedimentador, esto es:

Ecuación 14

$$Msd = 0.325 * C$$

Donde:

Msd : Masa de sólidos que conforman los lodos

Volumen de lodos digeridos

El volumen de lodos que el tanque Imhoff digiere se calculó como la razón de la masa de sólidos que conforman los lodos y el producto de la densidad específica de los lodos, el cual se toma igual a 1.04 Kg/l, y el porcentaje de sólidos contenidos en el lodo, el cual varía entre 8 y 12 por ciento, esto es:

Ecuación 15

$$V_{ld} = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \%sólidos}$$

Donde:

V_{ld} : Volumen de lodos digeridos.

M_{sd} : Masa de sólidos que conforman los lodos

ρ_{lodo} : Densidad de los lodos, igual a 1.04 Kg/l

%sólidos: porcentaje de sólidos contenidos en el lodo, el cual esa entre 8 y 12 por ciento.

Volumen de lodos a extraerse del tanque

El volumen de lodos a extraerse del tanque es el producto del volumen de sólidos digeridos y el tiempo de digestión en días (Tabla 11. Relación de temperatura y el tiempo de digestión en días), esto es:

Ecuación 16

$$V_{el} = V_{ld} * T_d$$

Donde:

V_{ld} : Volumen de lodos digeridos.

T_d : Tiempo requerido para la digestión de lodos.

V_{el} : Volumen de lodos a extraerse del tanque.

Área del lecho de secado

El área de lecho de secado es la relación entre el volumen de lodos y la altura de aplicación de lodos, el cual se recomienda entre 0.20 y 0.40 metros, esto es:

Ecuación 17

$$A_{ls} = V_{el} / H_a$$

Donde:

A_{ls} : área de lecho de secado.

V_{el} : Volumen de lodos a extraerse del tanque.

H_a : Espesor de aplicación de lodos.

Ancho de lecho de secado

El ancho del lecho de secado normalmente es de entre 3 y 6 metros, llegando hasta a 10 metros en instalaciones grandes.

Medio filtrante

El medio filtrante de arena debe de tener un tamaño efectivo de entre 0.30 y 1.3 milímetros. con un coeficiente de uniformidad menor a 2 y mayor a 5, y un espesor mayor o igual a 0.30 m.

Cama de grava

La cama de grava debe de tener un tamaño efectivo de entre 1.6 y 51 milímetros, y un espesor mayor o igual a 0.20 m. (Reed, Middlebrooks, & Crites, 1988)

3.4.8. Fase 8. Revisión del humedal de flujo subsuperficial

Se seguirán las recomendaciones de las “Guías técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales”, y los estudios sobre Humedales de flujo subsuperficial del texto “Natural systems for waste management & treatment” (Reed, Middlebrooks, & Crites, 1988)

Porosidad y conductividad hidráulica

La porosidad y la conductividad hidráulica son dependientes del tamaño de las partículas que conforman el medio por el que fluyen las aguas, y teniendo típicamente esta relación:

Tabla 12. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial

Medio	Tamaño efectivo en mm	Porosidad	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena media	1	0.30	500
Arena gruesa	2	0.32	1000
Arena y grava	8	0.35	5000
Grava media	32	0.40	10000
Grava gruesa	128	0.45	100000

Adaptado de: (ANA, 2004)

Para valores de diseño, se recomienda usar solo un 10% del valor de la conductividad hidráulica.

Gradiente hidráulico

Para el caso en que la velocidad media de la sección del humedal no exceda los 8.6 m/día el gradiente hidráulico de diseño se aproxima como:

Ecuación 18

$$i = \frac{8.6}{k_s}$$

Donde:

k_s : Coeficiente de conductividad hidráulica.

i : gradiente hidráulico

Profundidad de diseño

La profundidad de diseño recomendado varia en dependencia de la especie de la planta usada en el humedal, de la siguiente manera

Tabla 13. Profundidad de diseño recomendado para humedales de flujo subsuperficial

Especie de planta	Profundidad de diseño (cm)
Juncos	110
Cañas	76
Totora	55

Adaptado de: (Reed, Middlebrooks, & Crites, 1988, pág. 188)

Sección transversal

Para el cálculo del área de la sección transversal del humedal se usó la ley de Darcy, la cual indica que el caudal es igual al producto de la sección transversal, el gradiente y la conductividad hidráulica, por lo que despejando se tiene que esto es:

Ecuación 19

$$A_t = \frac{Q}{i * k_s}$$

Donde:

k_s : Coeficiente de conductividad hidráulica.

i : gradiente hidráulico

Constante de remoción de DBO en estado óptimo

Para el modelo de básico de flujo de pistón, se usó la constante de remoción de DBO, el cual para el caso donde el medio donde las raíces se han desarrollado de manera óptima es:

Ecuación 20

$$K_o = 1.839 d^{-1}, \text{ para aguas residuales municipales.}$$
$$K_o = 0.198 d^{-1}, \text{ para aguas residuales industriales con DQO alta.}$$

Donde:

K_o : Constante de remoción de DBO en estado óptimo.

Constante de remoción de DBO a 20°

La constante de remoción de DBO en estado óptimo se corrigió en relación con la porosidad del medio, obteniéndose así la constante de remoción de DBO para 20°, de la siguiente manera

Ecuación 21

$$K_{20} = K_o * 37.31 * p^{4.172}$$

Donde:

K_o : Constante de remoción de DBO en estado óptimo.

K_{20} : Constante de remoción de DBO a 20°.

p : Porosidad total del medio.

Constante de remoción de DBO corregida

La constante de remoción de DBO a 20° se corrigió en relación con la temperatura de diseño del medio, obteniéndose así la constante de remoción de DBO de diseño corregida por temperatura de la siguiente manera

Ecuación 22

$$K_T = K_{20} * (1.1)^{T-20}$$

Donde:

K_{20} : Constante de remoción de DBO a 20°.

K_T : Constante de remoción de DBO corregida.

Modelo básico de primer orden de flujo de pistón y periodo de retención

El modelo básico de flujo de pistón de primer orden describe la remoción de DBO en humedales sumergidos, en el cual DBO futuro es igual al producto del DBO inicial multiplicada por la base natural elevada a menos la constante de remoción de DBO corregida por el tiempo, es decir:

Ecuación 23

$$C_o = C_e * e^{-K_T t}$$

Despejando el tiempo de retención t:

Ecuación 24

$$t = \frac{\ln (DBO_{E_Imhoff}) - \ln (DBO_{E_humedal})}{K_T}$$

Donde:

t: Período de retención en días

K_T : Constante de remoción de DBO corregida.

$C_o = DBO_{E_Imhoff}$: Demanda biológica de oxígeno al entrar al humedal

$C_e = DBO_{E_humedal}$: Demanda biológica de oxígeno al salir del humedal

Área superficial requerida

El área superficial requerida depende del tiempo necesario para que un volumen de agua pase por los espacios vacíos de la sección del humedal, por lo que se tuvo.

Ecuación 25

$$A_s = \frac{t * Q}{p * h_m}$$

Donde:

A_s : área superficial del humedal

p : Porosidad del medio

h_m : Profundidad de diseño

Q : Caudal de diseño

t : Período de retención en días

Carga orgánica

La carga orgánica se define como la cantidad de kg de DBO por cada hectárea día del humedal, y debe de ser menor a 112, esto es:

Ecuación 26

$$\frac{DBO * Q}{A_s} < 112 \frac{kg DBO}{ha * día}$$

Donde:

A_s : área superficial del humedal

p : Porosidad del medio

h_m : Profundidad de diseño

Q : Caudal de diseño

t : Período de retención en días

Carga hidráulica

La carga hidráulica se define como la razón del caudal y el área superficial, y debe de estar entre 470 y 1870 m³/(hab-día) esto es:

Ecuación 27

$$470 \text{ m}^3/(\text{día} * \text{ha}) < \frac{Q}{A_s} < 1870 \text{ m}^3/(\text{día} * \text{ha})$$

Donde:

A_s :área superficial del humedal

Q :Caudal de diseño

3.4.9. Fase 9. Revisión de pozos de infiltración

Se seguirán las recomendaciones de las “Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y Pozas de infiltración” del CEPIS.

Distancia mínima a estructuras o arboles

La distancia mínima de cualquier punto del pozo de infiltración a viviendas, tuberías de agua, pozos de abastecimiento y cursos de agua superficiales (ríos, arroyos, etc.) debe ser de 6, 15, 30 y 15 metros, respectivamente. Además, se establece que la distancia mínima entre el pozo de infiltración y cualquier árbol debe ser mayor a 5,0 metros.

Área necesaria de infiltración

Se calcula como la división del caudal diario entre la tasa de infiltración, esto es:

Ecuación 28

$$A_{un} = \frac{Q_d}{k_p}$$

Donde:

k_p :Coeficiente de infiltración del pozo de infiltración.

Q_d :Caudal de diseño.

A_{un} :área necesaria del pozo de infiltración.

Área efectiva de infiltración

Se calcula como el área lateral del cilindro, sin incluir la base del cilindro, y debe de ser mayor al área necesaria de infiltración, esto es:

Ecuación 29

$$h_e * D_p * \pi \geq A_{un}$$

Donde:

h_e : altura del pozo de infiltración.

D_p : diámetro del pozo de infiltración.

A_{un} : área necesaria del pozo de infiltración.

Profundidad máxima de pozo de infiltración

La profundidad máxima del pozo de infiltración está limitada por la estabilidad de la estructura, y a la distancia mínima que debe de tener el fondo con el nivel freático el cual no será menor a 2 metros.

Distancia mínima entre pozos

La distancia entre centro y centro de dos pozos de infiltración debe de ser de al menos tres veces el diámetro del pozo de mayor diámetro, pero nunca menor a 6 metros entre las tangentes de las circunferencias.

Estructura de las paredes del pozo

Las paredes verticales de los pozos de infiltración se deben de construir mediante muros de mampostería compuestos por ladrillos, bloques de piedra o concreto, dispuestos de forma superpuesta y con juntas laterales espaciadas no más de 1,0 cm. Se debe de garantizar que el espacio entre el muro y el terreno natural sea de al menos 10 cm, rellenándolo con grava de diámetro comprendido entre 2,5 y 5,0 cm.

Fondo del pozo

Este debe de tener una capa de grava gruesa con las mismas características del que se usó para rellenar el espacio entre el muro y el terreno natural, y tener un espesor mínimo de 15 cm.

3.4.10. Fase 10. Revisión de estado actual de la PTAR

En la revisión de la situación actual de la estructura se valoró la ubicación de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, siguiendo las recomendaciones de leyes pertinentes (La Gaceta, 2006)

Ubicación de los componentes del sistema

La instalación o construcción de los Sistemas de Tratamiento de aguas residuales debe de ubicarse a sotavento de cualquier área donde permanezcan personas por más de 8 horas al día, de manera que el flujo de aire no se dirija desde la PTAR hasta las áreas descritas.

Cada unidad de tratamiento debe de cumplir con las distancias estipuladas en NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO:

Tabla 14. Distancias mínimas a las unidades de tratamiento

Unidades de tratamientos	Pozos individuales de agua para consumo doméstico	Lindero de propiedad	Viviendas o zonas pobladas	Nivel freático
Tanque séptico	Mayor de 20 metros	Mayor de 5 metros	Mayor de 5 metros	Mayor de 5 metros
Tanque Imhoff	Mayor de 15 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 100 metros	Mayor de 100 metros
Laguna de Estabilización	Mayor de 200 metros	Mayor de 20 metros	Mayor de 300 metros	Mayor de 300 metros
Facultativas y Aerobias	Mayor de 200 metros	Mayor de 20 metros	Mayor de 1000 metros	Mayor de 1000 metros

Unidades de tratamientos	Pozos individuales de agua para consumo doméstico	Lindero de propiedad	Viviendas o zonas pobladas	Nivel freático
Lagunas y Anaerobias	Mayor de 100 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 50 metros	Mayor de 50 metros
Lodos activados	Mayor de 100 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 50 metros	Mayor de 50 metros
Reactor UASB	Mayor de 100 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 100 metros	Mayor de 100 metros
Filtro Anaerobio	Mayor de 100 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 10 metros
Zanjas de Oxidación	100 metros	Mayor de 5 metros	Mayor de 50 metros	Mayor de 50 metros
Biofiltros	200 metros	Mayor de 20 metros	100 metros	100 metros
Humedales	Mayor de 200 metros	Mayor de 20 metros	200 metros	200 metros
(Laguna con macrófitos)	Mayor de 200 metros	Mayor de 3 metros		
Laguna aerobia (Maduración)				
Infiltración al suelo en general				

Fuente: (La Gaceta, 2017)

Daños en las unidades de tratamiento

Se efectuó una minuciosa inspección visual de los diversos componentes que conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), con el objetivo de identificar posibles fisuras, daños o cualquier otro indicio que pueda señalar un estado deteriorado de la infraestructura

3.4.11. Fase 11. Desempeño del tratamiento de las aguas residuales

Valores permisibles para el vertido de las aguas tratadas

Se debe de cumplir lo estipulado en el DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017 (La Gaceta, 2017), los cuales son

Tabla 15. Límite permisible de coliformes fecales

Periodo de tiempo	2017-2022	2023-2026	2027-2029
Coliformes fecales	1×10^5	1×10^4	1×10^3

Adaptado de: (La Gaceta, 2017)

Tabla 16. Vertidos provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico

Parámetro	Rangos y valores máximos permisibles
pH	6
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	80
Sólidos sedimentables (ml/l)	1
Materia flotante	Ausente

Parámetro	Rangos y valores máximos permisibles
DBO5 (mg/l)	110
DQO (mg/l)	220
Nitrógeno total (mg/l)	30
Fósforo total(mg/l)	10
Aceites y grasa totales(mg/l)	15

Adaptado de: (La Gaceta, 2017)

Eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales

Se evaluó la eficiencia de la PTAR para los parámetros fisicoquímicos según el Decreto Ejecutivo N° 21-2017 (REGLAMENTO EN EL QUE SE ESTABLECEN LAS DISPOSICIONES PARA EL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES. DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017), usando la fórmula:

Ecuación 30

$$\eta_p = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100\%$$

Donde:

η_p : eficiencia en la disminución del parámetro.

P_i : valor inicial del parámetro.

P_f : valor final del parámetro.

Caracterización de las aguas residuales en el efluente

Tal como en la caracterización de las aguas residuales tratadas en el afluente, se consideró el resultado menos favorable de los análisis de laboratorio, evaluando de esta manera la eficiencia del tratamiento, según el DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la zona franca Niquinohomo

4.1.1. Caracterización de las aguas residuales

El origen de las aguas residuales tratadas por el sistema de tratamiento en cuestión se compone de las excretas generadas por las personas que trabajan en ZOFRANIN.

Diversos laboratorios han realizado análisis de laboratorios en el afluente y efluente (Informe de laboratorio 1 análisis fisicoquímico en afluente (02/2022) Informe de laboratorio 2 de análisis fisicoquímico en efluente (02/2022) Informe de laboratorio 3 de análisis bacteriológico en afluente (07/2016) Informe de laboratorio 4 de análisis bacteriológico en efluente (07/2016) Informe de laboratorio 5 de análisis fisicoquímico en afluente (07/2016) Informe de laboratorio 6 de análisis fisicoquímico en efluente (07/2016) Informe de laboratorio 7 de análisis fisicoquímico en Afluente (01/2021) Informe de laboratorio 8 de análisis fisicoquímico en efluente (01/2021)), los resultados obtenidos se tomaron en cuenta para la caracterización del agua en el afluente, tomando los valores menos favorables:

Tabla 17. Características de las aguas residuales

Parámetro	Valor menos favorable
Coliformes fecales (NMP/100ml)	3.5x10 ⁵
pH	8.5
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	137
Sólidos sedimentables (ml/l)	3.5
Materia flotante	Ausente
DBO ₅ (mg/l)	365.49
DQO (mg/l)	584.78
Nitrógeno total (mg/l)	169.46
Fósforo total(mg/l)	5
Aceites y grasa totales(mg/l)	25

Fuente: Propia

4.1.2. Evaluación del caudal de entrada al sistema de tratamiento

Se determinaron las unidades de gasto para uso público, existente en los edificios del parque industrial:

Tabla 18. Resumen de unidades de gasto de uso público

Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
Edificio 1, Administrativo	Inodoro, con tanque	5	4	20
Edificio 1, Administrativo	Lavatorio corriente	1.5	5	7.5
Edificio 1, Administrativo	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	1	2.5
Edificio 2, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	5	72	360
Edificio 2, Edificio industrial	Lavatorio múltiple (por salida)	1.5	16	24
Edificio 2, Edificio industrial	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	6	15
Edificio 2, Edificio industrial	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Edificio 3, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	5	72	360
Edificio 3, Edificio industrial	Lavatorio múltiple (por salida)	1.5	16	24

Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
Edificio 3, Edificio industrial	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	6	15
Edificio 3, Edificio industrial	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Edificio 4, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	5	72	360
Edificio 4, Edificio industrial	Lavatorio múltiple (por salida)	1.5	16	24
Edificio 4, Edificio industrial	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	6	15
Edificio 4, Edificio industrial	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Edificio 5, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	5	72	360
Edificio 5, Edificio industrial	Lavatorio múltiple (por salida)	1.5	16	24
Edificio 5, Edificio industrial	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	8	20

Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
Edificio 5, Edificio industrial	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Edificio 6, Edificio industrial	Lavadero de hotel restaurante	3	4	12
Edificio 6, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	5	9	45
Edificio 6, Edificio industrial	Lavatorio corriente	1.5	12	18
Edificio 6, Edificio industrial	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	1	2.5
Edificio 7, Comedor 1	Lavadero de hotel restaurante	3	6	18
Edificio 7, Comedor 1	Inodoro, con tanque	5	5	25
Edificio 7, Comedor 1	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	3	7.5
Edificio 7, Comedor 1	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Edificio 8, Comedor 2	Lavatorio corriente	1.5	6	9
Edificio 8, Comedor 2	Inodoro, con tanque	5	5	25

Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
Edificio 8, Comedor 2	Urinario con válvula semiautomática o automática de descarga reducida	2.5	3	7.5
Edificio 8, Comedor 2	Lavatorio corriente	1.5	4	6
Total				1836.5

Fuente: Propia

Así como las unidades de gasto para uso privado, existente en los edificios del parque industrial:

Tabla 19. Resumen de unidades de gasto de uso privado

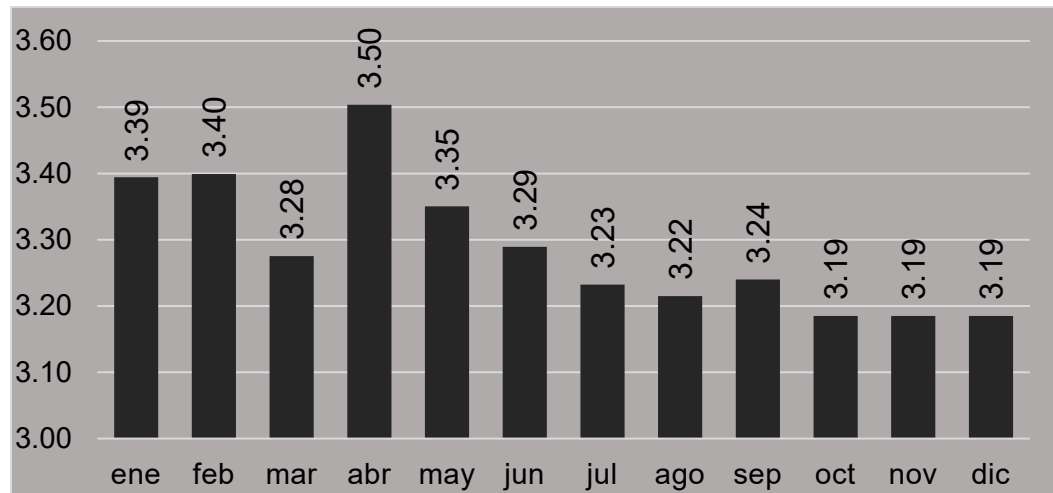
Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
Edificio 1, Administrativo	Inodoro, con tanque	3	3	9
Edificio 1, Administrativo	Lavatorio	0.75	3	2.25
Edificio 1, Administrativo	Urinario con válvula semiautomática y automática	5	3	15
Edificio 6, Edificio industrial	Inodoro, con tanque	3	13	39
Edificio 6, Edificio industrial	Ducha	1.5	13	19.5
Edificio 6, Edificio industrial	Lavatorio	0.75	13	9.75

Ubicación	Descripción	Unidades de gasto unitario	Cantidad	Total
				94.5

Fuente: Propia

En total se contabilizaron 1931 unidades de gasto, de la Tabla 4, para un sistema con tanques se tiene que para 2000 unidades de gasto un caudal de 12.14 l/s, y para 1900 unidades de gasto, 11.71 l/s, por lo que, interpolando, se halló que el caudal de diseño es igual a **11.84 l/s**

Gráfico 7. Caudales promedio por mes



Fuente: Propia

Los datos obtenidos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre no fueron debidamente medidos (Gráfico 24, Gráfico 25 y Gráfico 26) esto es justificable al notar que continúan un patrón que no está acorde con el comportamiento del caudal:

A partir de la comparación del mayor caudal mensual anual medido y con el dato de trabajadores actuales de 4,500 personas empleadas (ZOFRANIN, 2023) se realizó una proyección del caudal a la población esperada la cual es 7000 colaboradores de ZONFRANIN, es decir:

$$Q_e = \frac{3.5lps * 7000personas}{4500 personas}$$

$$Q_e = 5.44 \text{ lps} < Q_d$$

Siendo esta menor al caudal de diseño de 11.84 l/s.

4.1.3. Comparación de planos constructivos y lo construido

La planta de tratamiento consiste en canal de entrada, canal Parshall de entrada, tanque Imhoff, lechos de secado, 4 biofiltros, canal Parshall de salida y 2 pozos de infiltración, a continuación, se presentan una comparación entre las dimensiones de sitio versus lo plasmado en planos

Canal de entrada

Tabla 20. Dimensiones de canal de entrada

Parámetro	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
Superficie	Canal revestido de cemento	Superficie aplanada con mortero de cemento
Pendiente del fondo (%)	0.5%	0.83%
Altura del canal (m)	2.5	1.66
Ancho del canal (m)	0.28	0.30
Longitud del canal (m)	4.7	4.8
Diámetro de rejillas (mm)	9.5	12.7
Separación entre barras (cm)	2	3.75
Ángulo con la vertical (°)	40°	45°

Fuente: Propia

Canal Parshall de entrada

Tabla 21. Dimensiones de canal Parshall

Parámetro	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
W: Ancho de garganta	76.2	76.2
a: Ubicación del punto de medición del tirante H_a (mm)	311	311
C: Ancho del extremo aguas abajo del canal (mm)	178	178
D: Ancho del extremo aguas arriba del canal (mm)	259	259
T: Longitud de la garganta (mm)	152	152
G: Longitud de la sección divergente (mm)	305	305
X: Distancia horizontal desde el punto bajo en la garganta al punto de medida H_b (mm)	25	25

Fuente: Propia

Tanque Imhoff

Tabla 22. Dimensiones de tanque Imhoff

Dimensión	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
Numero de tanques	2	2
Largo del Tanque	4.40	4.40
Ancho del Tanque	4.20	4.20
Largo de cámara de natas	4.40	4.40
Ancho de cámara de natas	0.70	0.70
Largo de cámara de sedimentación	3.80	3.80
Ancho de cámara de sedimentación	2.80	2.80
Dimensión	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
Profundidad de cámara de sedimentación	4.20	4.20
Angulo de saliente respecto a paredes de cámara de sedimentación	No se pudo medir	135°
Proyección horizontal de saliente	N/I	0.00
Borde libre hasta nivel de lodos	No se pudo medir	0.90
Lado largo de pirámide rectangular truncada	No se pudo medir	4.6 m

Lado corto de pirámide rectangular truncada	No se pudo medir	4.4 m
Altura de pirámide rectangular truncada	No se pudo medir	1.1 m
Lado de base menor de pirámide rectangular truncada	No se pudo medir	0.6 m
Altura desde cámara de decantación hasta base de pirámide rectangular truncada	No se pudo medir	2.00 m

Fuente: Propia

Lechos de secado

Tabla 23. Dimensiones de lecho de secado

Dimensión	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
Numero de lechos	3	3
Largo de lechos de lechos de secado	13.10	13.10
Ancho de lechos de lechos de secado	4.23	4.23
Profundidad de lechos de secado	0.1	0.40

Fuente: Propia

Humedales

Tabla 24. Dimensiones del humedal

Nombre del elemento	Dimensión en sitio	Dimensión en plano
Numero de humedales	4	4
Ancho del humedal	18.10	18.0
Largo del humedal	40.0	40.0
Pendiente del fondo	No se pudo medir	0.5%
Pendiente del talud confinante	1:1	1:1
Impermeabilización de fondo capa de arcilla	0.3	0.30
Planta	Phragmites australis	Arundo Dunax
Espesor de capa de grava	N/I	0.25

Fuente: Propia

4.1.4. Evaluación del diseño hidráulico

Canal de entrada

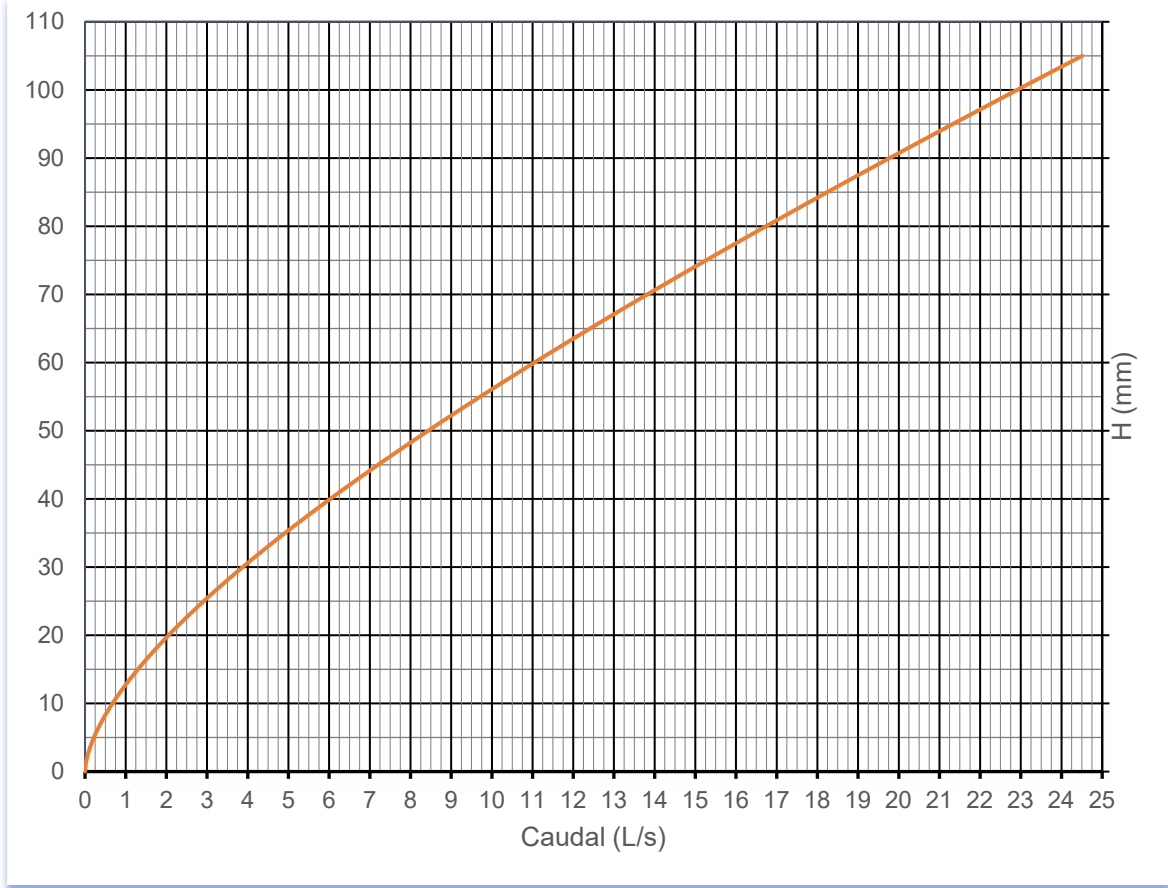
El coeficiente de Manning correspondiente a la superficie del canal, el cual esta revestida de mortero de cemento, es de 0.013 (Tabla 5. Coeficiente “n” de Manning).

Al evaluar las características del canal en la Ecuación 6, se tiene que:

$$Q = 1.523H * \left[\frac{0.28H}{2H + 0.28} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Donde Q el caudal está en m³/s y H, está en metros, graficando la ecuación anterior, para un Q en l/s y un tirante en mm, se tiene:

Gráfico 8. Gráfico de la ecuación de Chezy-Manning para el canal.



Fuente: Propia

Para temas de revisión de diseño se considerará un borde libre de 30 cm, teniendo en cuenta que tanto el caudal máximo como el de diseño son inferiores a 0.5 m³/s (Tabla 6. Borde libre según caudal).

Para el caso del caudal de diseño de 11.84 l/s, se tiene una altura de 63 mm, al sumarle un borde libre de 30 cm, tendremos una altura requerida de 0.363 inferior a la altura total del canal de 2.5 m.

Al calcular la velocidad de aproximación según la Ecuación 7, se tiene

$$v_a = \frac{0.01184 \text{ m}^3/\text{s}}{0.063 \text{ m} * 0.28 \text{ m}} = 0.671 \text{ m/s}$$

Estando esto dentro del intervalo sugerido con INAA de entre 0.40 y 0.75 m/s.

La energía cinética, se calcula a continuación:

$$h_v: \frac{(0.671 \text{ m/s})^2}{2\left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.0229 \text{ m}$$

Para el cálculo de las pérdidas usaremos un factor de Kirschmer de 1.79 (Tabla 7.

Factor de Kirschmer), para barras circulares, tener en cuenta que las rejillas actualmente están compuestas por barras de refuerzo corrugado, lo cual no es recomendable (Henry, y otros, 2011), tanto el ancho de la barra, la separación entre rejillas y el ángulo con la vertical cumplen con las recomendaciones del INAA, y son respectivamente de 9.53mm, 20mm y 40°.

Por lo que en el caso de las rejillas limpias (Ecuación 9) tendremos una pérdida de:

$$h_v = 1.79 * \left(\frac{0.0095 \text{ m}}{0.0200 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} * 0.0229 * \text{sen}(40^\circ) = 0.00977 \text{ m}$$

Siendo esta pérdida inferior a la pérdida admisible (0.15 m), calculando la velocidad a través de las rejillas se tiene:

$$v_p = \frac{0.01184 \text{ m}^3/\text{s}}{0.063 \text{ m} * (0.28 \text{ m} - 7 * 0.00953 \text{ m})} = 0.881 \text{ m/s}$$

Se supuso una obstrucción del 50% del área de las rejillas, estimando que la velocidad se multiplicará por dos, teniendo así una velocidad de 1.762 m/s (Tchobanoglous & Crites, 2000, pág. 250), por lo que la pérdida en el caso de obstrucción se calculó como:

$$h_L = \frac{1}{6} * \left[\frac{\left(1.762 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0.671 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2\left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}\right)} \right] = 0.0225 \text{ m}$$

En este caso las pérdidas no superarían la admisible.

Canaleta Parshall

Teniendo en cuenta que el caudal de diseño es 11.84 l/s, el ancho de garganta correspondiente sería de 50.80 mm, siendo esta de la misma dimensión que la existente (Tabla 9. Caudales máximos y mínimos según ancho de garganta).

Tanque Imhoff

Se revisó la carga superficial, según Ecuación 12, según las dimensiones existentes: teniendo en cuenta que el largo de cámara de decantación es de 3.8 m, con un ancho de cámara de decantación de 2.8 m y un caudal de diseño de 11.84 l/s o 42.62 m³/h.

$$\frac{Q_m}{A_s} = \frac{42.62 \text{ m}^3/h}{2 * 3.8\text{m} * 2.8\text{m}} = 2.00 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}}$$

Estando esto fuera del intervalo esperado de $1 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}}$ y $1.7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}}$

Se verificó el tiempo de retención, según Ecuación 13 se determinó el tiempo de retención como el cociente del volumen de la cámara de digestión entre el caudal medio, tomando en cuenta las siguientes dimensiones:

Tabla 25. Dimensiones de la cámara de digestión

Parte de cámara de digestión	Longitud
Lado largo de pirámide rectangular truncada	4.6 m
Lado corto de pirámide rectangular truncada	4.4 m
Altura de pirámide rectangular truncada	1.1 m
Lado de base menor de pirámide rectangular truncada	0.6 m
Altura desde cámara de decantación hasta base de pirámide rectangular truncada	2.00 m

Fuente: Propia

Para la revisión se asumió un valor de distancia libre hasta el nivel de lodos de 90 cm según ANA.

$$Tr = \frac{V_s}{Q_m} = \frac{98.06\text{m}^3}{42.62 \text{ m}^3/h} = 2.30h$$

Estando en el rango permisible de entre 2 y 4 horas.

La relación Longitud-Ancho de cámara de sedimentación, no cumple con los parámetros de técnicos, siendo esta inferior a 2. (Ecuación 14)

$$\frac{L_{cs}}{A_{cs}} = \frac{3.8 \text{ m}}{2.8 \text{ m}} = 1.36$$

Se revisó la pendiente de fondo de cámara de sedimentación, y está no cumplió con los parámetros recomendados por la norma (Ecuación 15)

$$\frac{V}{H} = \frac{1.6 m}{1.6 m} = 1$$

En lo que respecta a la abertura que conecta la cámara de digestión y la cámara de sedimentación, la abertura cumple con el ancho mínimo, sin existir la prolongación de esta, esto influye en el proceso de sedimentación al poder existir gases que suban de la cámara de digestión hacía la cámara de sedimentación.

En la revisión de la velocidad horizontal del flujo en el sedimentador, se demostró que esta es menor a la máxima permitida (30 cm/min):

$$\frac{Q_m}{ATS} = \frac{42.62 m^3/h}{9m^2} = 4.74 \frac{m}{h} = 7.89 cm/min$$

Para la revisión se asumió un borde libre de 45 cm, siendo este el mínimo permisible por el INAA a partir de este dato se determinó el nivel de diseño del tanque Imhoff.

El deflector de espumas se encuentra a una profundidad de 1.65 por debajo de la superficie, superando por mucho el máximo de 40 cm.

Se verificó la superficie de la zona de ventilación de gases,

$$\frac{0.7m * 4.4m * 4}{0.7m * 4.4m * 4 + 3.8 * 2.8 * 2 + 2.8 * 0.4 * 2} \times 100\% = 34.38\%$$

El área es superior a la cota máxima del 30% del área total.

Se verificó que el ancho de la zona de ventilación de gases es igual a 70 cm, estando esto dentro del rango recomendado.

Se revisó el volumen de la cámara de digestión basado en el número de habitantes, el cual resultó en un valor inferior al mínimo recomendado, por lo que la cámara de digestión del tanque Imhoff no posee la capacidad volumétrica recomendada para tratar el caudal producido por la población futura (7000 habitantes)

$$\frac{V_{cd}}{hab} = \frac{98.06 m^3}{7000hab} = 0.01 \frac{m^3}{hab} < 0.05 \frac{m^3}{hab}$$

También se verificó el volumen con respecto a la temperatura del tanque Imhoff, para temperaturas superiores a 25°, el factor de corrección es de 0.5, por lo que:

$$V_d \geq 0.07 \frac{m^3}{hab} * hab * fcr = 0.07 \frac{m^3}{hab} * 7000hab * 0.5 = 245m^3$$

Hallándose nuevamente que el volumen de la cámara de digestión es menor a la recomendada

El diámetro de tubo de extracción de lodos de 15 cm, también es insuficiente, siendo menor al mínimo recomendada de 20cm

Se determinó un tiempo de digestión para los lodos de 30 días, tiempo luego del cual deben de ser extraídos y puestos en el lecho de secado.

La profundidad del tanque es inferior a los parámetros normales del tanque Imhoff según INAA, siendo este de 7.10 m, y menor recomendado de 7.25 m, en el caso del ángulo del fondo, este es de 30° lo que cumplió con las recomendaciones de la norma.

Bajo un tratamiento normal, se espera que el tanque Imhoff reduzca en un 25% la demanda bioquímica de oxígeno, este criterio se usó como parámetro inicial para la revisión del diseño del humedal de flujo subsuperficial, siendo esto:

$$DBO_{E_Imhoff} = 75\%DBO_{A_Imhoff} = 0.75 * 365.49 \frac{mg}{l} = 274.12 \frac{mg}{l}$$

Lechos de secado

Siguiendo los criterios de la “Guías técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales”, y la “Guía para el diseño de tanque sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización” se halló que:

La carga de sólidos a tratar por unidad de tiempo que ingresa al sedimentador, teniendo en cuenta la caracterización de las aguas residuales a tratar se calculó de la siguiente manera (Ecuación 18):

$$C = Q * SS = 11.84 \frac{l}{s} * 137 \frac{mg}{l} = 1622.08 \frac{mg}{s} = 5.84 \frac{kg}{h}$$

Con lo que se determinó la masa de los sólidos a tratar, siguiendo la recomendación técnica de CEPIS ((2005), se tiene:

$$Msd = 0.325 * C = 0.325 * 1622.08 \frac{mg}{s} = 527.18 \frac{mg}{s} = 1.90 \frac{kg}{h}$$

Esto define el volumen de lodos digeridos, de la Ecuación 20, se consideró un porcentaje de sólidos contenidos en el lodo del 8%, por lo que el volumen de lodos producido por el tanque Imhoff al día se definió como:

$$V_{ld} = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \%sólidos} = \frac{1.90 \text{ kg/h}}{1.04 \text{ kg/l} * 0.08} = 22.81 \text{ l/h} = 0.55 \text{ m}^3/\text{d}$$

Este lodo es digerido en un lapso de 30 días (Tabla 11. Relación de temperatura y el tiempo de digestión en días de ser digerido en el tiempo de retorno estimado), por lo que el volumen de lodo a ser depositado en el lecho de secado por ciclo es de:

$$V_{el} = V_{ld} * Td = 0.43 \text{ m}^3/\text{d} * 30d = 16.5 \text{ m}^3$$

A partir de lo cual se determinó el área necesaria para el tratamiento de estos lodos, se consideró una altura de aplicación de lodos de 20 cm, por lo que se tiene:

$$A_{ls} = \frac{16.50 \text{ m}^3}{0.20 \text{ m}} = 82.50 \text{ m}^2$$

Esto es mayor al área real del lecho de secado de 166.24 m², esto indica que fue prevista con doble de capacidad para posteriores obras de mantenimiento. El ancho de los lechos de secado es de 4.23, lo cual es lo esperado en el rango normal de esta dimensión

El medio filtrante de arena tiene un tamaño efectivo de 0.55 milímetros. con un coeficiente de uniformidad de 3.89, y un espesor de 0.40 m, mientras que la cama de grava posee un tamaño efectivo de 9.38 milímetros, y un espesor mayor o igual a 0.30 m.

Humedal de flujo subsuperficial

Se revisó el diseño hidráulico de los humedales siguiendo la “Guías técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales”, y los estudios sobre Humedales de flujo subsuperficial del texto “Natural systems for waste management & treatment”

Las partículas con las que cuenta los humedales es una Arena con grava, por lo que se considerará una conductividad del 10 % del valor de la Tabla 12. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial, o sea, 500 m/d.

Para el cálculo del gradiente hidráulico primero se supuso una velocidad media en el humedal menor a 8.6 m/día, por lo que:

$$i = \frac{8.6}{k_s} = \frac{8.6}{500 \text{ m/d}} = 0.0172$$

De la visita realizada y las entrevistas al personal del sitio se encontró que la especie de la planta usada es una caña de la cual se nos comunicó que están plantada una profundidad de 76 cm, siendo esta dimensión inferior a la recomendada en biofiltros (Tilley E., 2018), lo cual puede llevar a un desarrollo insatisfactorio de las raíces de la planta.

La sección transversal necesaria, se calcula como (Ecuación 24):

$$A_t = \frac{Q}{i * k_s} = \frac{42.62 \text{ m}^3/\text{h} * 24\text{h/d}}{0.0172 * 500 \text{ m/d}} = 118.94 \text{ m}^2$$

El área requerida es mayor a la existente, la cual es 16.40 m², siendo necesario 5.6 veces más área de la que se posee

Se usará el valor de K_o 1.839 d⁻¹ teniendo en cuenta que el sistema de tratamiento ingresa aguas residuales municipales.

Para el cálculo de la constante de remoción en estado óptimo, se considerará la porosidad de la Tabla 12. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial, por lo que

$$K_{20} = K_o * 37.31 * p^{4.172} = 1.839 \text{ d}^{-1} * 37.31 * (0.35)^{4.172} = 0.86 \text{ d}^{-1}$$

La cual se corrigió para la temperatura, teniendo en cuenta que, en la región del pacífico, la temperatura media presenta valores de entre 26°C y 28°C (INETER, 2023), por lo que:

$$K_T = K_{20} * (1.1)^{T-20} = 0.86(1.1)^{27-20} = 1.68 \text{ d}^{-1}$$

Luego se siguió el modelo básico de primer orden de flujo de pistón, con el que se calculó el tiempo de retención, considerando que la demanda biológica de oxígeno máxima en el afluente es de 110 mg/l (La Gaceta, 2017)

$$t = \frac{\ln\left(274.12 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - \ln\left(110 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{1.68} = 0.54 \text{ d}$$

Después se calculó el área necesaria para el humedal (Ecuación 30), por lo que el área

$$A_s = \frac{t * Q}{p * h_m} = \frac{0.54 d * 799.92 m^3/d}{0.35 * 0.45m} = 2742.58 m^2 = 0.27ha$$

El área en planta del humedal es de 2880 m², área suficiente para la unidad de tratamiento. La carga orgánica a tratar es de:

$$\frac{274.12 \frac{mg}{l} * 9.257 \frac{l}{s} * 86400 s/1 \text{ día} * 1kg/1000000mg}{0.25ha} = 876.970 \frac{kg DBO}{ha * día}$$

Muy superior al valor máximo recomendado de 112 Kg de DBO por hectárea al día.

Se revisó la carga hidráulica determinándose que esta es:

$$\frac{799.92 m^3/d}{0.25 ha} = 3199.68 m^3/d * ha$$

Siendo superior al máximo recomendado de 1870 m³ al día por hectárea, en este caso el área debería de ser de al menos 0.44 ha para esta unidad de tratamiento.

Pozos de infiltración

En contraposición a lo recomendado (OPS/CEPIS/UNATSABAR, 2003), se constató la existencia de árboles a una distancia menor a 5 metros de la ubicación de los pozos de infiltración.

Durante el diseño de los pozos de infiltración se realizó el estudio de suelos, la tasa de infiltración en los dos sitios cercanos a la disposición final del tratamiento de agua, presentaron valores de 0.0165 litros/min/m², 0.0188 litros/min/m² y 0.0197 litros/min/m². El sondeo más aproximado al sitio donde se construyeron los pozos de infiltración tiene el valor de 0.0165 litros/s/m². (ZOFRANIN, 2012)

Gráfico 9. Imagen satelital de pozos de infiltración



Fuente: Google Earth

Calculando el área necesaria para infiltración (Ecuación 33):

$$A_{un} = \frac{9.257 \text{ l/s}}{0.0165 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{m}^2}} = 561.03 \text{ m}^2$$

Se cuentan con 2 pozos, con una profundidad de 12 metros, uno de los cuales posee un diámetro de 3.8 metros, y los dos restantes un diámetro de 8.5 metros, por lo que el área efectiva total es:

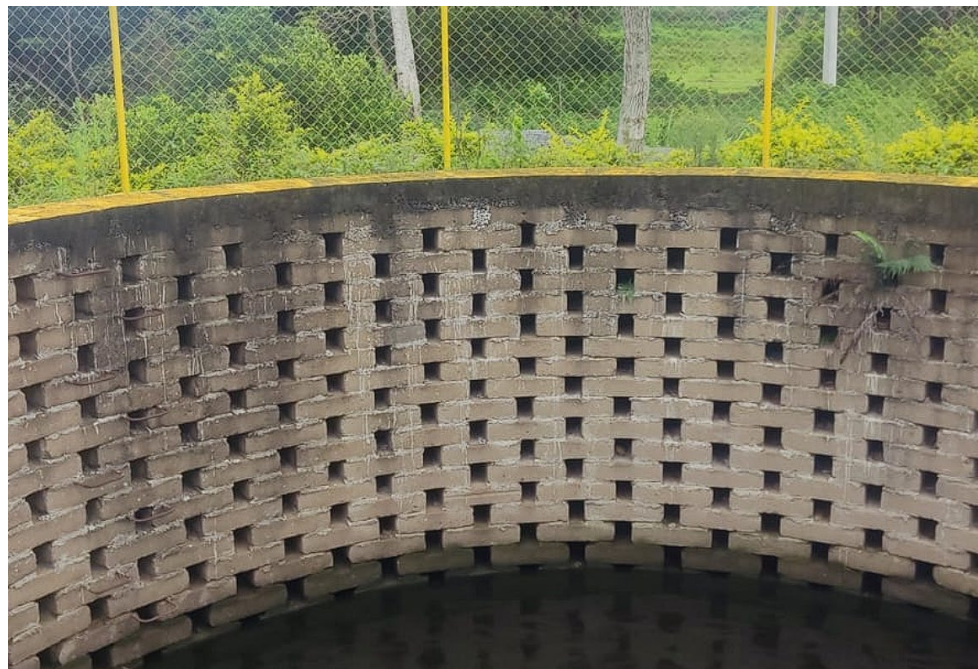
$$2 * 12\text{m} * 8.5\text{m} * \pi = 640.886 \text{ m}^2$$

De acuerdo con estudio Hidrogeológico realizado en el sector (ZOFRANIN, 2012), se tiene que el agua subterránea en esta Sector de Niquinohomo se encuentra a unos 260.0 m de profundidad, por lo que la profundidad de los pozos de infiltración no se ve limitado por esto.

La distancia entre los pozos existentes es de 17.5 metros, siendo esto inferior a 3 veces el diámetro de los pozos, lo cual es 25.5 m, lo cual influirá en la infiltración de las zocas cercanas.

La estructura de los pozos de infiltración no cumple la recomendación del espaciamiento de las juntas laterales, ya que el espaciamiento entre estas es de 15 cm lo cual supera el centímetro recomendado.

Gráfico 10. Pozos de infiltración



Fuente: Propia

El material de relleno usado para el espacio entre las paredes y el suelo, y el fondo del pozo, fue de 0.6 metros con piedra volcánica de 0.04m a 0.08 m de diámetro, para ayudar que no se colmate rápidamente, lo cual es diferente de los 15 cm recomendados de grava con diámetros entre 2.5 y 5 cm (OPS/CEPIS/UNATSABAR, 2003), pero se espera un mejor desempeño, teniendo en cuenta la mayor permeabilidad de la piedra volcánica en comparación de la grava.

4.2. Situación actual del sistema

4.2.1. Estado actual de la estructura

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se ubica estratégicamente, separada de la zona franca por un muro que no solo cumple la función de aislarla, sino que también contribuye a garantizar la eficiencia operativa. Se implementado para prevenir posibles interferencias externas. asegurando así la protección del entorno circundante. Cabe destacar que, junto con el muro de separación, se han implementado medidas adicionales de seguridad y control de acceso para garantizar un funcionamiento ininterrumpido y seguro de la PTAR.

Gráfico 11 . Entrada a la Planta de tratamiento



Fuente: Propia

El viento que sopla de Este a Oeste (INETER, 2023), no siendo esto un inconveniente en la afección de las actividades diarias en el sector, es crucial destacar que la proximidad de la PTAR a las operaciones en la zona franca se encuentra por debajo de las distancias recomendadas (La Gaceta, 2006). Este factor podría plantear desafíos potenciales en términos de salubridad, percepción ambiental, impacto visual y posibles inconvenientes logísticos.

Gráfico 12. Ubicación de tanque Imhoff y Humedal de flujo subsuperficial

UNIDADES DE TRATAMIENTOS	DISTANCIA A POZOS INDIVIDUALES DE AGUA PARA CONSUMO DOMESTICO	LINDERO DE PROPIEDAD	VIVIENDAS O ZONAS POBLADAS	NIVEL FREÁTICO
Tanque Imhoff	Mayor de 15 metros (CUMPLE)	Mayor de 10 metros (CUMPLE)	(NO CUMPLE)	CUMPLE
Humedales	CUMPLE	Mayor de 20 metros (CUMPLE)	200 metros (NO CUMPLE)	200 metros (CUMPLE)

Fuente: Propia

Gráfico 13. Vista satelital PTAR



Fuente: Google Earth

La canal de entrada se encuentra en la entrada del sistema de tratamiento primario de la PTAR, en la visita se observó una acumulación moderada de sedimentos y fibras adheridas a las barras, uno de los puntos a destacar es que el bypass del canal no posee rejillas, afectando esto el funcionamiento de la PTAR ante el uso del bypass.

Gráfico 14 . Canal de entrada



Fuente: Propia

El sistema de medición o Canal Parshall no presenta fisuras ni daños aparentes, la geometría de la garganta y la contracción se mantiene sin alteraciones significativas, sin embargo, es notorio la existencia de materia flotante que pueda inducir a que el flujo de agua no se distribuya de manera uniforme, provocando inexactitudes en las mediciones.

Gráfico 15. Canal Parshall



Fuente: Propia

El tanque Imhoff funciona con normalidad, las paredes internas del tanque están en buen estado, sin evidencia de fisuras o daños estructurales. Se observa una acumulación moderada de lodos sedimentados en la cámara de sedimentación, indicando un funcionamiento adecuado.

Es notoria la presencia de oxido en los muros de concreto del tanque Imhoff, en lo que son los separadores usados para las formaletas Symons, pudiendo estas en un futuro llegar a afectar la estructura, y demostrando que no existe una impermeabilización en la estructura, pudiendo tener fugas.

Gráfico 16 . Tanque Imhoff



Fuente: Propia

Las paredes de los lechos de secado se encuentran en buen estado, sin evidencias de fisuras o daños estructurales aparentes. No obstante, se identifica una problemática con los poros del medio filtrante los cuales están obstruidos con partículas de material fino.

Esta situación plantea inquietudes sobre la capacidad de escurrimiento del agua a través del filtro, lo que podría afectar negativamente la eficiencia del proceso.

Gráfico 17 . Lechos de secado



Fuente: Propia

En el contexto actual del humedal de flujo subsuperficial, se identifican inconvenientes asociados a la infiltración, dando lugar a la formación de espejos de agua. La composición granulométrica del material utilizado en el humedal presenta partículas de tamaño inferior al esperado, resultando en encharcamientos de las aguas residuales. Para abordar esta problemática, se ha implementado la instalación de un sistema de drenaje, una medida no convencional en el funcionamiento convencional de estos humedales, diseñados para que el agua fluya a través de los poros del material granular.

La situación de encharcamiento no solo afecta la eficiencia del humedal en el tratamiento de aguas residuales, sino que también contribuye a la proliferación de zancudos. es importante destacar que, en condiciones normales, estos humedales no suelen favorecer la presencia de zancudo. La presencia de agua estancada, en este caso, crea condiciones propicias para la reproducción de mosquitos, lo cual puede tener implicaciones adicionales para la salud y la ecología del entorno.

Gráfico 18. Humedal de flujo subsuperficial



Fuente: Propia

En este momento, la zona que rodea los pozos de infiltración cuenta con una malla de seguridad instalada para asegurar su protección. Los análisis realizados en el espejo de agua han revelado la ausencia de cualquier tipo de materia flotante. No obstante, es

relevante señalar que los pozos carecen de una protección contra el exterior, lo que podría propiciar la proliferación de insectos en esa área. Durante la inspección llevada a cabo, no se han observado daños de consideración en la estructura de los pozos.

Gráfico 19. Pozos de infiltración



Fuente: Propia

4.2.2. Desempeño en el tratamiento de las aguas residuales

La información correspondiente a los análisis de laboratorio de las aguas residuales en el Afluente y Efluente, corresponden a febrero del 2022, julio 2016, y enero 2021, al comparar con los valores permisibles del DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 26. Resumen de análisis de laboratorio 02/2022

Laboratorio: Laboratorios químicos, S.A.					
Fecha:02/2022					
Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia	Valores máximos permisibles	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	-	-	-	1.00x10 ⁰⁵	-
pH	8	7.9	1.3%	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	76	1	98.7%	80	Cumple
Sólidos sedimentables (ml/l)	0.1	1	-900.0%	1	Cumple
Materia flotante	Ausente	Ausente	0.0%	Ausente	Cumple
DBO ₅ (mg/l)	269.61	110.3	59.1%	110	No Cumple
DQO (mg/l)	431.38	176.47	59.1%	220	Cumple
Nitrógeno total (mg/l)	56.14	84.21	-50.0%	30	No Cumple
Fósforo total(mg/l)	-	-		10	-
Aceites y grasa totales(mg/l)	25	4	84.0%	15	Cumple

Fuente: Propia

Tabla 27. Resumen de análisis de laboratorio 07/2016

Laboratorio: UNI-PIENSA					
Fecha:07/2016					
Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia	Valores máximos permisibles	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	3.50E+07	2.40E+05	99.3%	1.00E+05	No Cumple
pH	7.57	6.53	13.7%	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	65	13	80.0%	80	Cumple
Sólidos sedimentables (ml/l)	3.5	0.5	85.7%	1	Cumple
Materia flotante	-	-	-	Ausente	-
DBO ₅ (mg/l)	198	31.8	83.9%	110	Cumple
DQO (mg/l)	225.87	39.34	82.6%	220	Cumple
Nitrógeno total (mg/l)	-	-	-	30	-
Fósforo total(mg/l)	-	-		10	-
Aceites y grasa totales(mg/l)	2.4	0.8	66.7%	15	Cumple

Fuente: Propia

Tabla 28. Resumen de análisis de laboratorio 01/2021

Laboratorio: Laboratorios químicos, S.A.					
Fecha:01/2021					
Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia	Valores máximos permisibles	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	-	-	-	1.00E+05	-
pH	8.5	7.4	12.9%	6-9	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	137	11	92.0%	80	Cumple
Sólidos sedimentables (ml/l)	1.5	0.1	93.3%	1	Cumple
Materia flotante	Ausente	Ausente	0.0%	Ausente	Cumple
DBO ₅ (mg/l)	365.49	47.16	87.1%	110	Cumple
DQO (mg/l)	584.78	75.46	87.1%	220	Cumple
Nitrógeno total (mg/l)	169.46	52.59	69.0%	30	No Cumple
Fósforo total(mg/l)	5	3.6	28.0%	10	Cumple
Aceites y grasa totales(mg/l)	3.6	1.4	61.1%	15	Cumple

Fuente: Propia

4.2.3. Características de las aguas tratadas

Las características más representativas de las aguas tratadas por el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Zona Franca de Niquinohomo tomando en cuenta los valores menos favorables son las siguientes:

Tabla 29. Caracterización de las aguas tratadas

Parámetro	Valor menos favorable
Coliformes fecales (NMP/100ml)	2.4x10 ⁵
pH	7.9
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	13
Sólidos sedimentables (ml/l)	1
Materia flotante	Ausente
DBO ₅ (mg/l)	110.3
DQO (mg/l)	176.47
Nitrógeno total (mg/l)	84.21
Fósforo total(mg/l)	3.6
Aceites y grasa totales(mg/l)	4

Fuente: Propia

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Tras revisar el diseño hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales, se encontró que ciertos aspectos no cumplían completamente con las guías técnicas establecidas por INAA. Específicamente, se identificaron discrepancias entre la geometría del tanque Imhoff y las recomendaciones de las normas, además de la capacidad para el tratamiento de las aguas residuales producida por la población futura; Estas deficiencias tiene un impacto negativo en el desempeño operacional de la planta y su capacidad para tratar eficientemente las aguas residuales.

También se encontró que, durante la revisión del humedal del flujo subsuperficial, que la geometría de esta es insuficiente para el tratamiento de las aguas residuales, siendo el espesor del medio filtrante limitado para la planta del humedal, y el área total necesaria para el caudal y el número de habitantes, superior a la disponible.

Los pozos de infiltración cumplen con las dimensiones recomendadas, sin embargo, la distancia entre los pozos es inferior a la norma, pudiendo limitar el proceso de infiltración.

En la comparación de los planos y lo ejecutado en obra es necesario destacar que las rejillas del canal de entrada no se construyeron según las dimensiones del plano. En el caso de los pozos de infiltración es menester subrayar que solo existen 2 de los 3 pozos de infiltración proyectados, pudiendo no ser necesario un tercero debido a que área de infiltración existente es suficiente.

En el reporte de los caudales promedio del periodo enero-diciembre 2020, se observó que el caudal de entrada del sistema de tratamiento proyectada a la población futura no supera al caudal de diseño esperado según las recomendaciones de la norma.

Los periodos de retención de las unidades de tratamiento cumplen con los valores recomendados, no siendo esto un inconveniente para la eficiencia del sistema, aunque es necesario notar que el sistema no disminuye la demanda biológica de oxígeno a los niveles requerido por la ley, esto tiene relación con el área recomendada de humedal de flujo subsuperficial por habitante-día.

En el caso de las coliformes fecales el tratamiento de estas tuvo una eficiencia del 99.3% aunque no lo suficiente para cumplir con el requerimiento mínimo.

Tomando en cuenta los requerimientos del DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017, se demostró que el sistema ha tenido deficiencias en el tratamiento de la demanda biológica de oxígeno, el nitrógeno total y los coliformes fecales.

La inspección del estado actual de la infraestructura reveló problemas de mantenimiento, funcionamiento y de ubicación incluyendo colmatación en las estructuras con medios filtrantes. Estos hallazgos sugieren la necesidad de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la integridad y durabilidad de la planta a largo plazo, además de una corrección del diseño del humedal de flujo subsuperficial y el tanque Imhoff.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la construcción de la proyección de la abertura que comunica la cámara de digestión con la cámara de sedimentación, esta debe de ser entre 15 y 30 cm, esto con la finalidad de que los gases no suban desde la zona de digestión a interrumpir el proceso de sedimentación.

Es necesario considerar a futuro una ampliación del tanque Imhoff, tomando en cuenta la demanda de la población futura.

Para mejorar el tratamiento con el humedal de flujo subsuperficial se recomienda, aumentar el espesor del medio filtrante hasta 0.76 m, o en su defecto cambiar a una especie de planta que requiera una profundidad menor, adaptándose a ella. Además de esto, es necesario aumentar el área superficial del humedal contemplando la DBO del agua luego de salir del tanque Imhoff

Se recomienda realizar una revisión en la infiltración de los pozos, para corroborar que la cercanía de estos no influya en el tiempo de infiltración del mismo.

Se recomienda mejorar las mediciones de la canaleta Parshall para obtener datos certeros que ayuden a mejorar la predicción de los caudales de la planta de tratamiento, así como un mejor control en la cantidad de aguas residuales que son liberadas al medio ambiente.

Se recomienda la creación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la integridad, durabilidad y funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

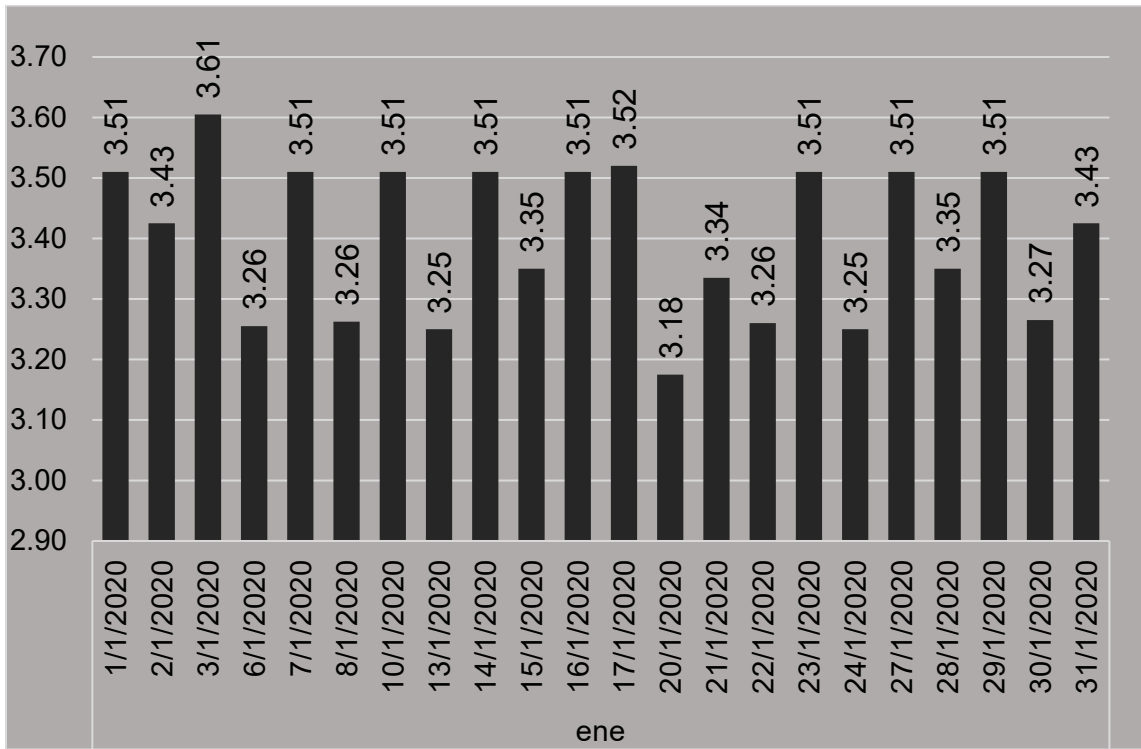
BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2021). *NTON 09 007-19*. Managua, Nicaragua: Autoridad Nacional del agua. Obtenido de www.inaa.gob.ni
- Béjar, M. V. (2007). *Hidráulica de canales abiertos*. Lima, Perú: Editorial Villón.
- CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://files.conagua.gob.mx>
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Sistemas de medición del agua: Producción, operación y consumo*. Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://files.conagua.gob.mx>
- Henry, B., Monge, J., Moscosa, J., Oatkley, S., Salguero, L., & Saravia, P. (2011). *Tratamiento de aguas residuales domésticas en Centroamérica*. USSAID-CCAD.
- INAA. (2004). *Guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Managua: Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillado.
- INAA. (2013). *Guía de criterios técnicos para el diseño de sistemas*. Managua. Obtenido de www.inaa.gob.ni
- INAA. (2019). *Normativa alcantarillado sanitario condominial- Guía de criterios técnicos para el diseño de sistemas*. Managua, Nicaragua: INAA. Obtenido de <http://www.inaa.gob.ni/file-download/download/public/430>
- INETER. (2023). *Boletín climático mensual-Diciembre*. Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://www.ineter.gob.ni/boletines/Boletin%20climatico/mensual/2023/BoletinClimatico122023.pdf>
- La Gaceta. (10 de Noviembre de 2006). NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO. *La Gaceta*. Obtenido de [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023)
- La Gaceta. (30 de 11 de 2017). REGLAMENTO EN EL QUE SE ESTABLECEN LAS DISPOSICIONES PARA EL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES. DECRETO EJECUTIVO N°. 21-2017. Managua, Nicaragua: La Gaceta. Obtenido de <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aeea87dac762406257265005d21f7/a35cf61591ad2d57062581f30056f9ec>
- Lana Sarrate. (2019). Hoja técnica-Canales Parshall. Barcelona, España. Obtenido de https://www.lanasarrate.es/wp-content/uploads/hoja_tecnica_canal_parshall.pdf
- Laquisa. (2021). *Informe de análisis*. Managua.
- LAQUISA. (2022). *Informe de análisis*. Managua.
- Metcal & Eddy, inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* (Vol. 1). Madrid: McGraw-Hill.

- NORMA OS.090. (6 de 4 de 2022). Lima, Arequipa, Peru. Obtenido de Gobierno Regional de Arequipa: <https://www.saludarequipa.gob.pe/>
- OPS/CEPIS/UNATSABAR. (2003). Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración. Lima, Perú.
- OPS/CEPIS/UNATSABAR. (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima, Peru.
- Oscar Delgadillo, A. N. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia.
- Perez, Z. B. (2017). *Propuesta de una planta de tratamiento secundario de las aguas residuales de la tectilera desembarco del granma*. Santa Clara.
- Ramalho, R. S. (2007). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec: REVERTÈ.
- Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., & Crites, R. W. (1988). *Natural systems for waste management & treatment*. New York: McGraw-Hill Book Company. Obtenido de <https://archive.org/details/naturalsystemsfo0000reed/mode/2up>
- Rojas, J. R. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salguero, S. O. (05 de Junio de 2011). *Tratamiento de aguas residuales domesticas en centroamerica*. Obtenido de Sistema de integración centroamericana: www.sica.int
- Tchobanoglous, G., & Crites, R. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: Mc-Graw Hill.
- Tilley E., U. L. (2018). *Compendio de sistemas y tecnología de saneamiento*. Letra impresa GH, SA de CV.
- Tirado, V. (2013). *Determinación del coeficiente de flujo máximo para el diseño de sistemas de alcantarillados sanitarios, evaluado en Managua, Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Unan. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2013000200006#ec2
- UNI-PIENSA. (2016). *Reporte de resultados*. Managua.
- ZOFRANIN. (2012). *Manual de operación y mantenimiento-Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas*. Masaya: ZOFRANIN.
- ZOFRANIN. (2021). *INFORME DE CUMPLIMIENTO ANUAL*. Masaya.
- ZOFRANIN. (2023). *ZONA FRANCA NIQUINOHOMO*. Obtenido de <https://www.parquesindustrialeszf.org/zona-franca-niquinohomo/>

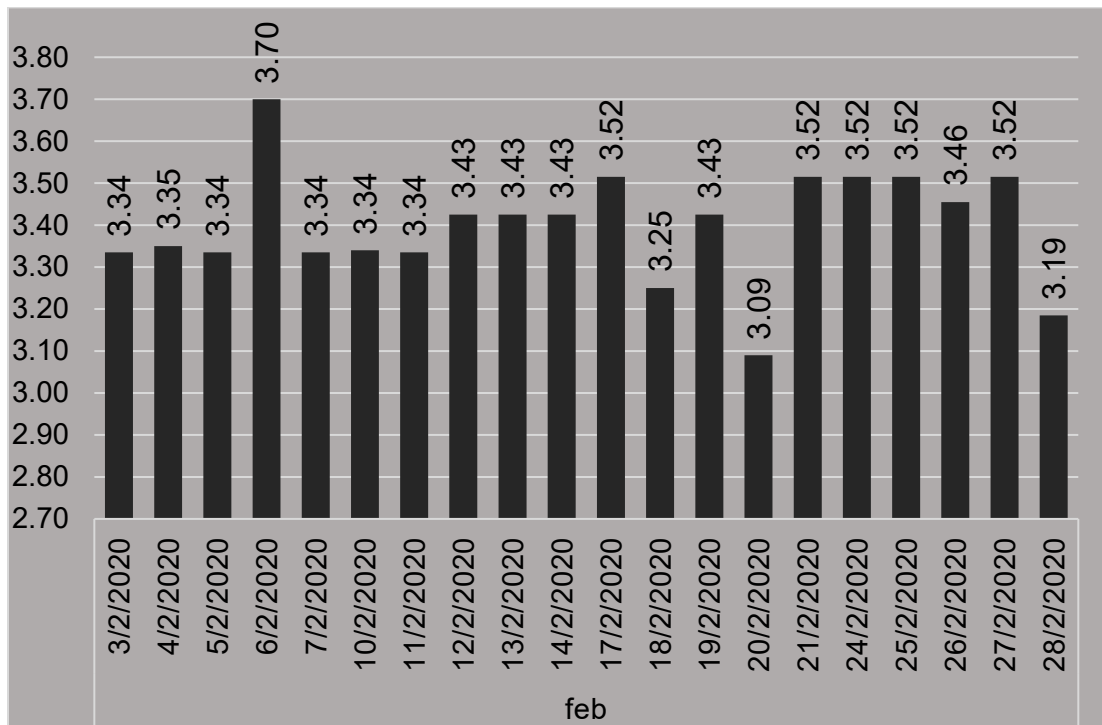
ANEXOS

Gráfico 20. Caudal promedio diario de enero



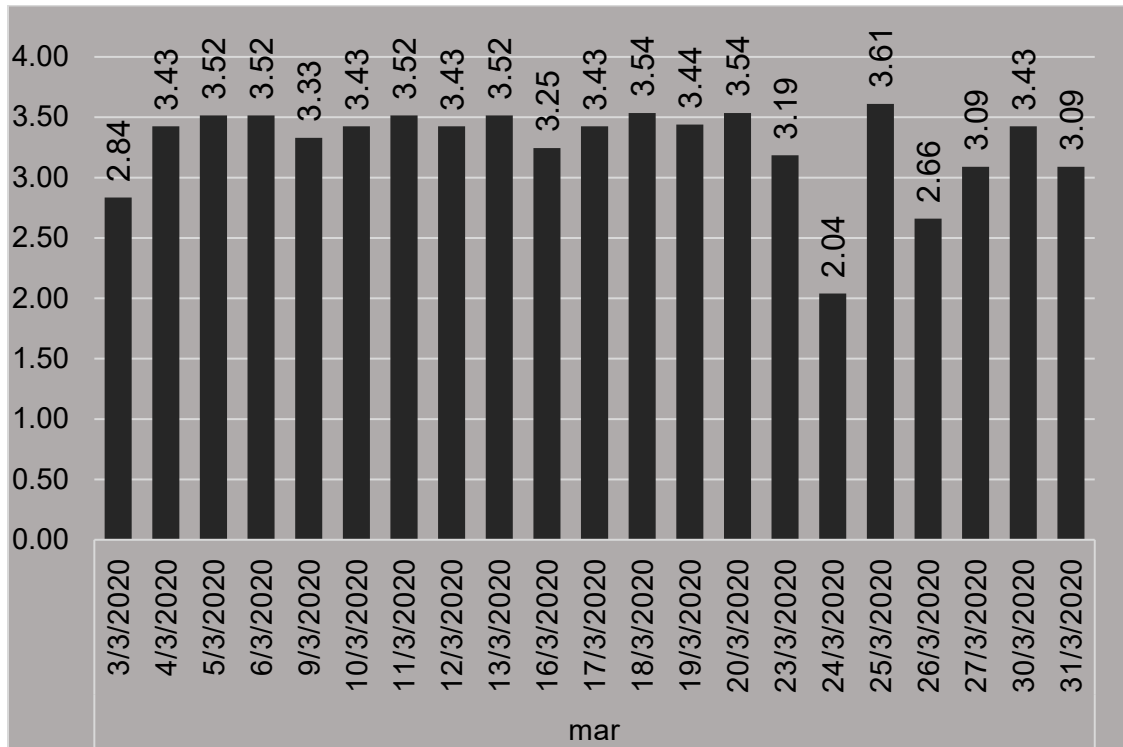
Adaptado de: (ZOFANIN, 2021)

Gráfico 21. Caudal promedio diario de febrero



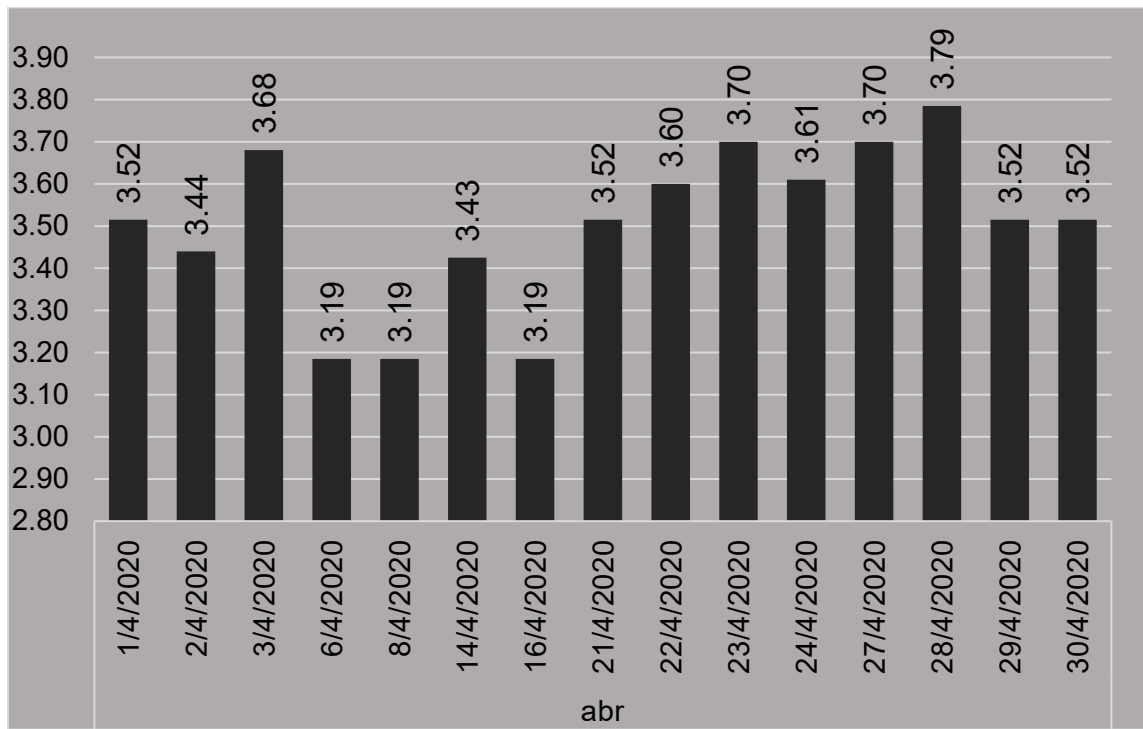
Adaptado de: (ZOFANIN, 2021)

Gráfico 22. Caudal promedio diario de marzo



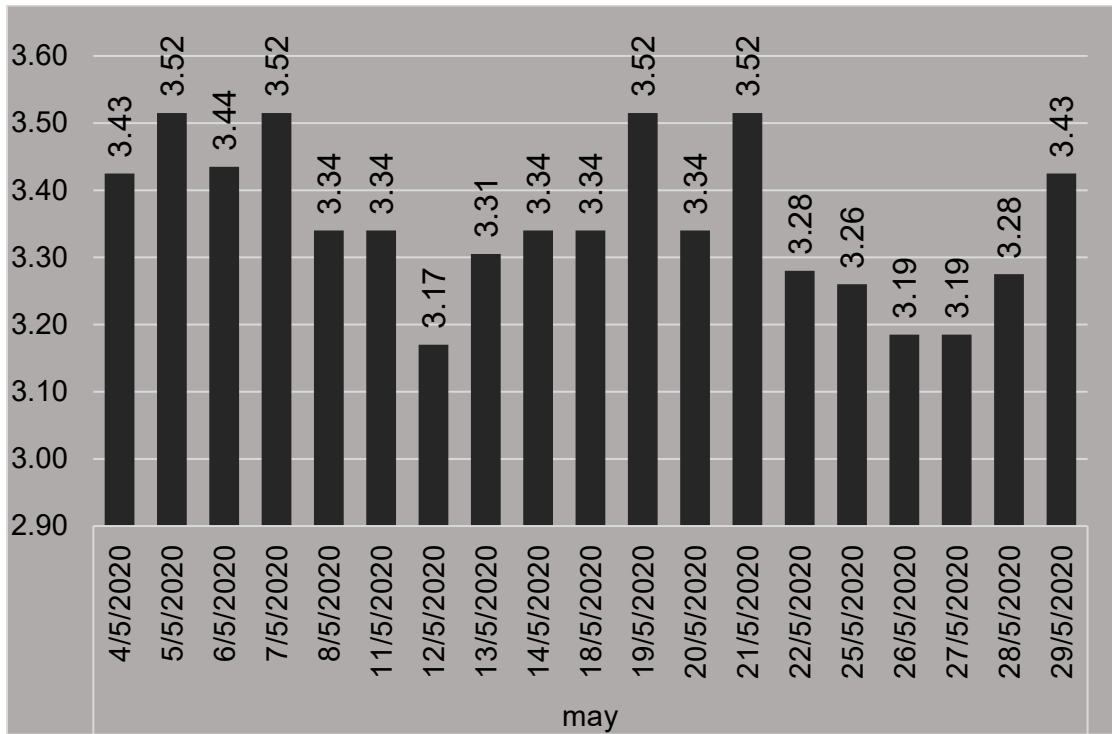
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 23. Caudal promedio diario de abril



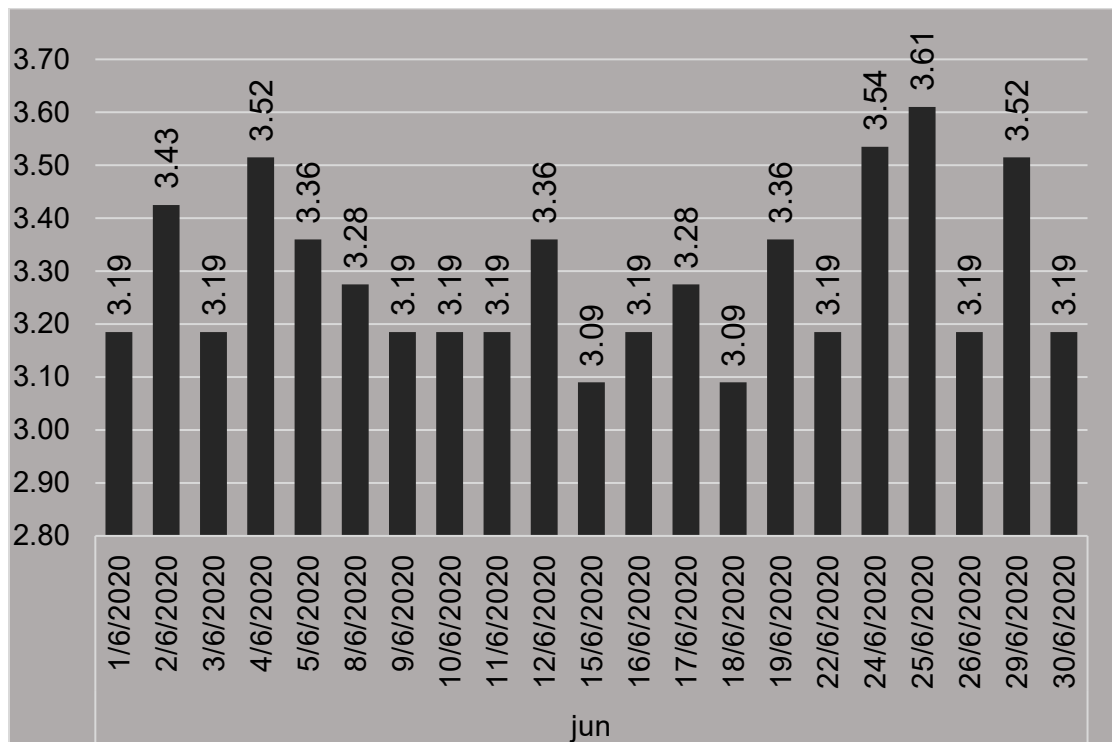
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 24. Caudal promedio diario de mayo



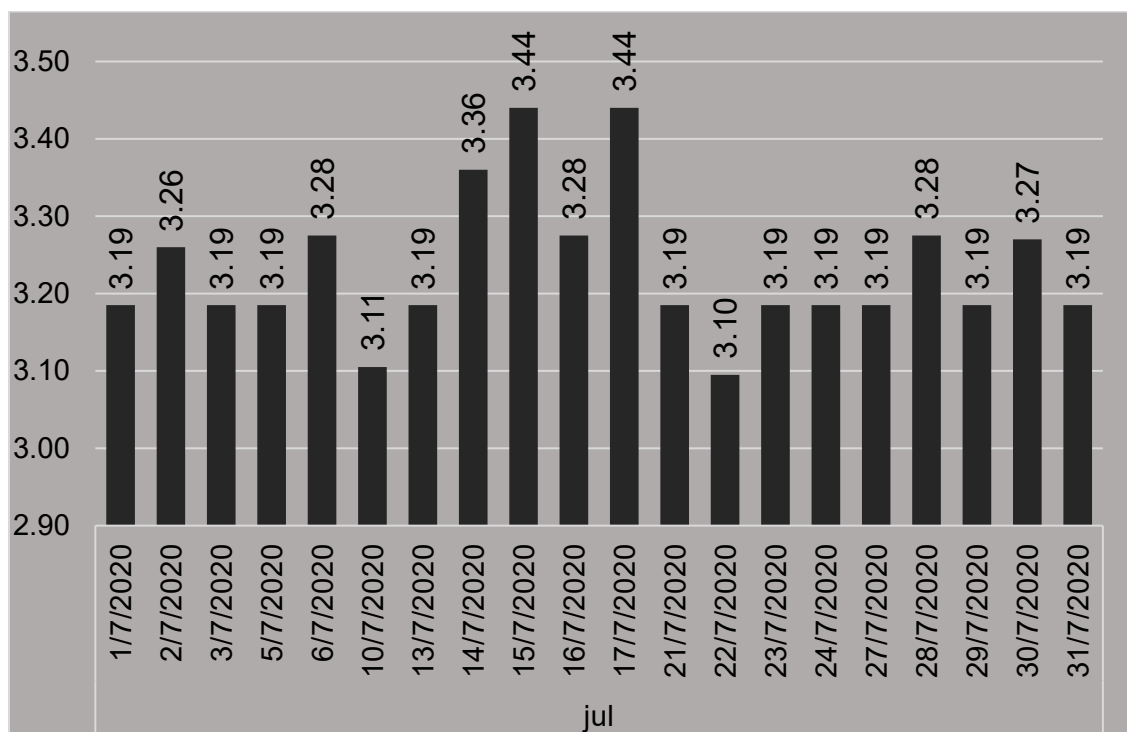
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 25. Caudal promedio diario de junio



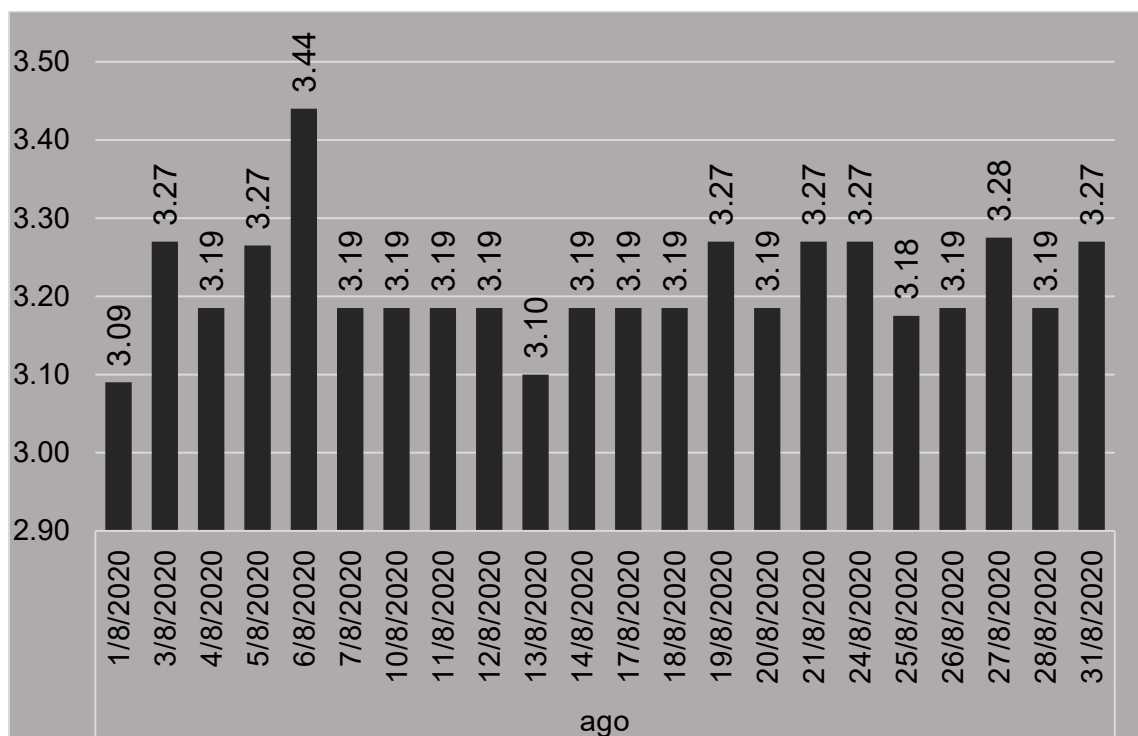
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 26. Caudal promedio diario de julio



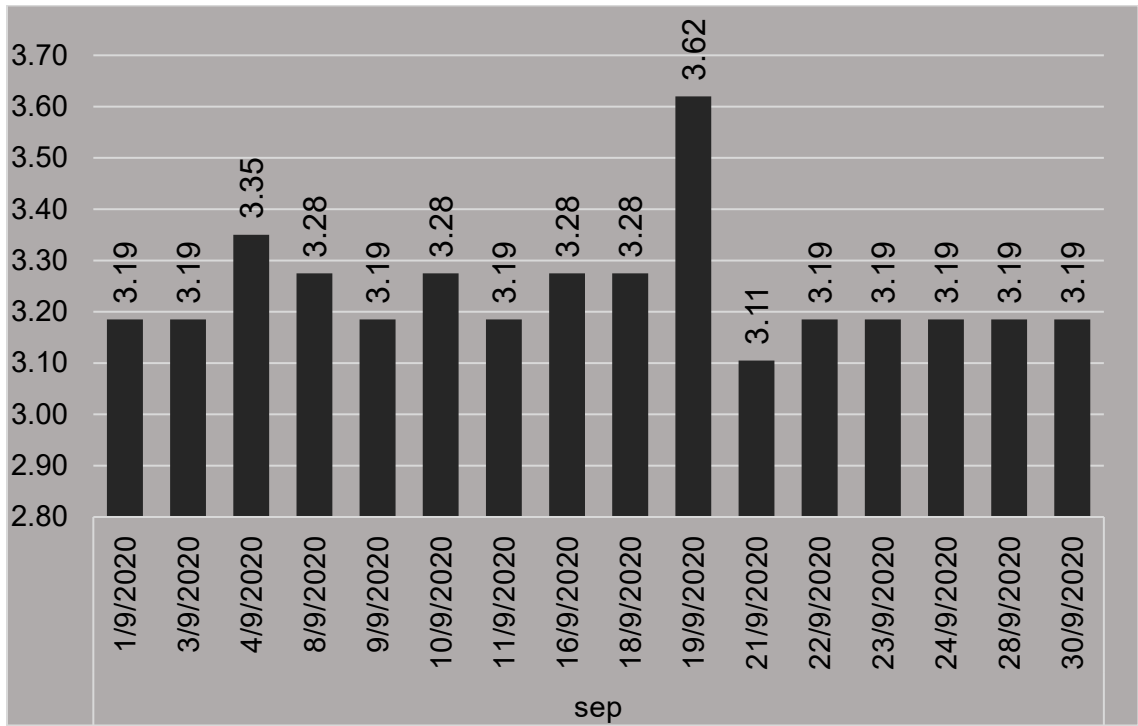
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 27. Caudal promedio diario de agosto



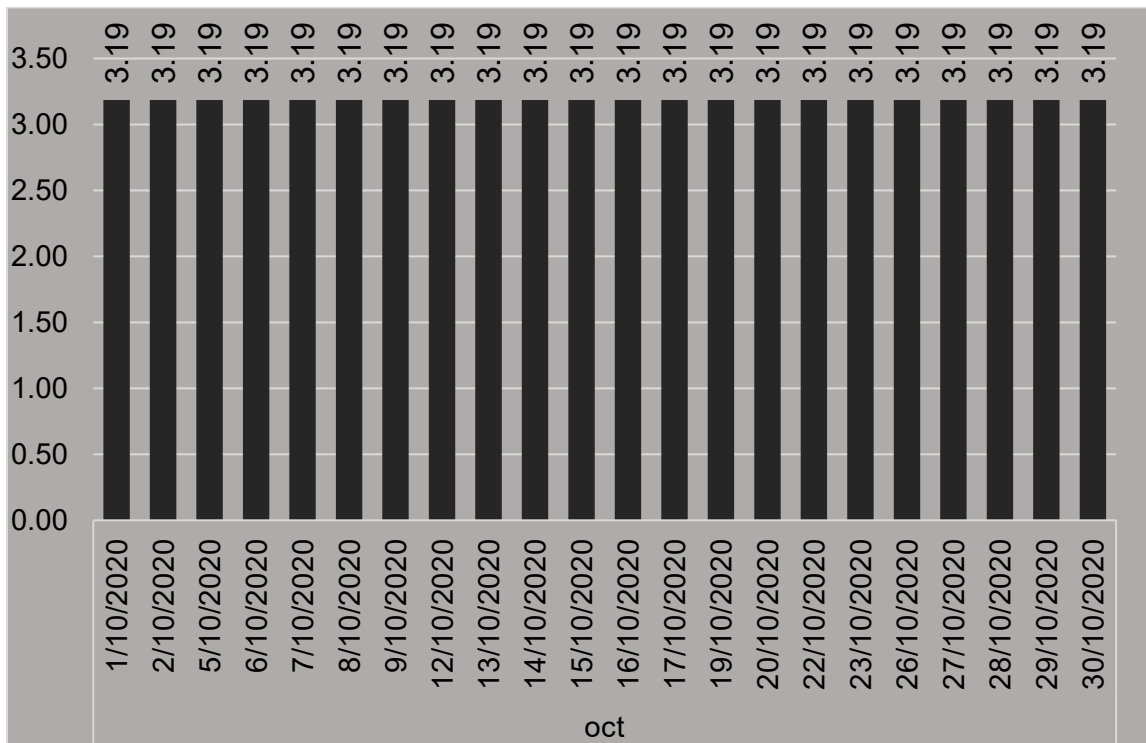
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 28. Caudal promedio diario de septiembre



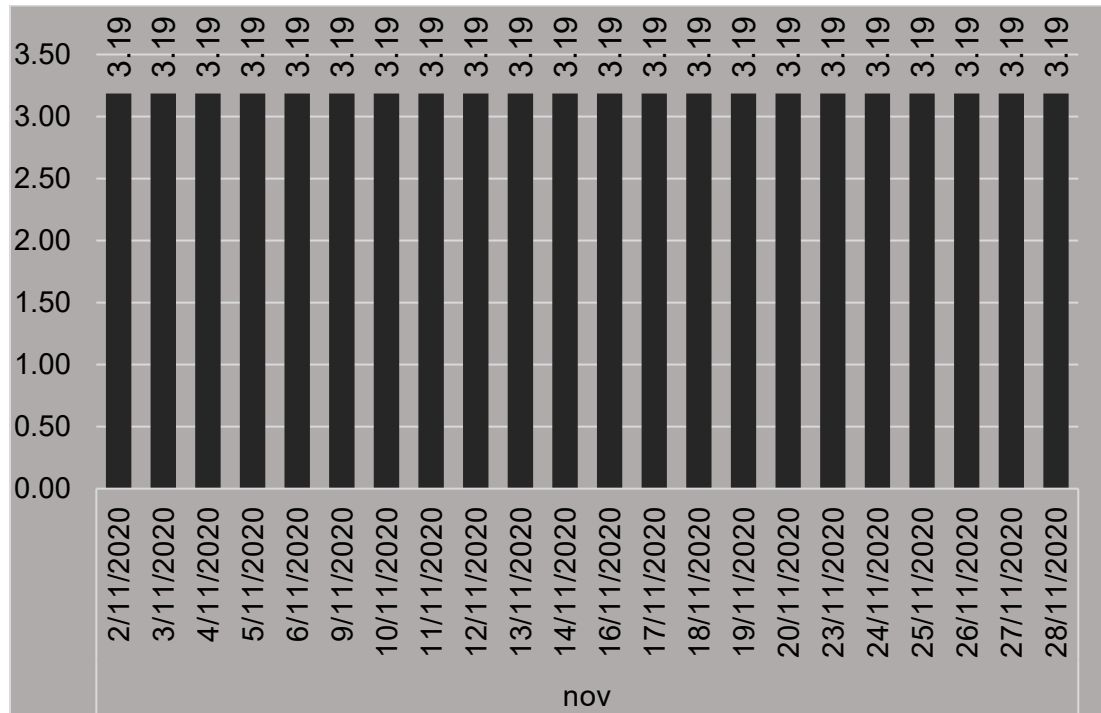
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 29. Caudal promedio diario de octubre



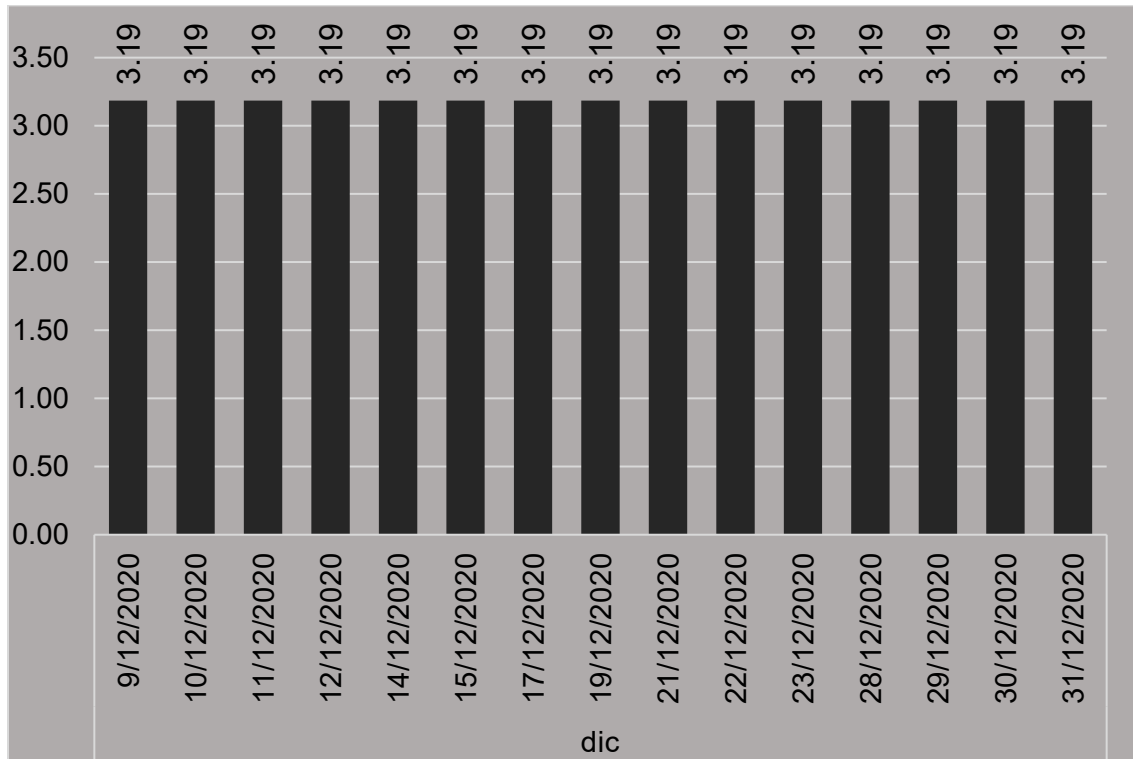
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 30. Caudal promedio diario de noviembre



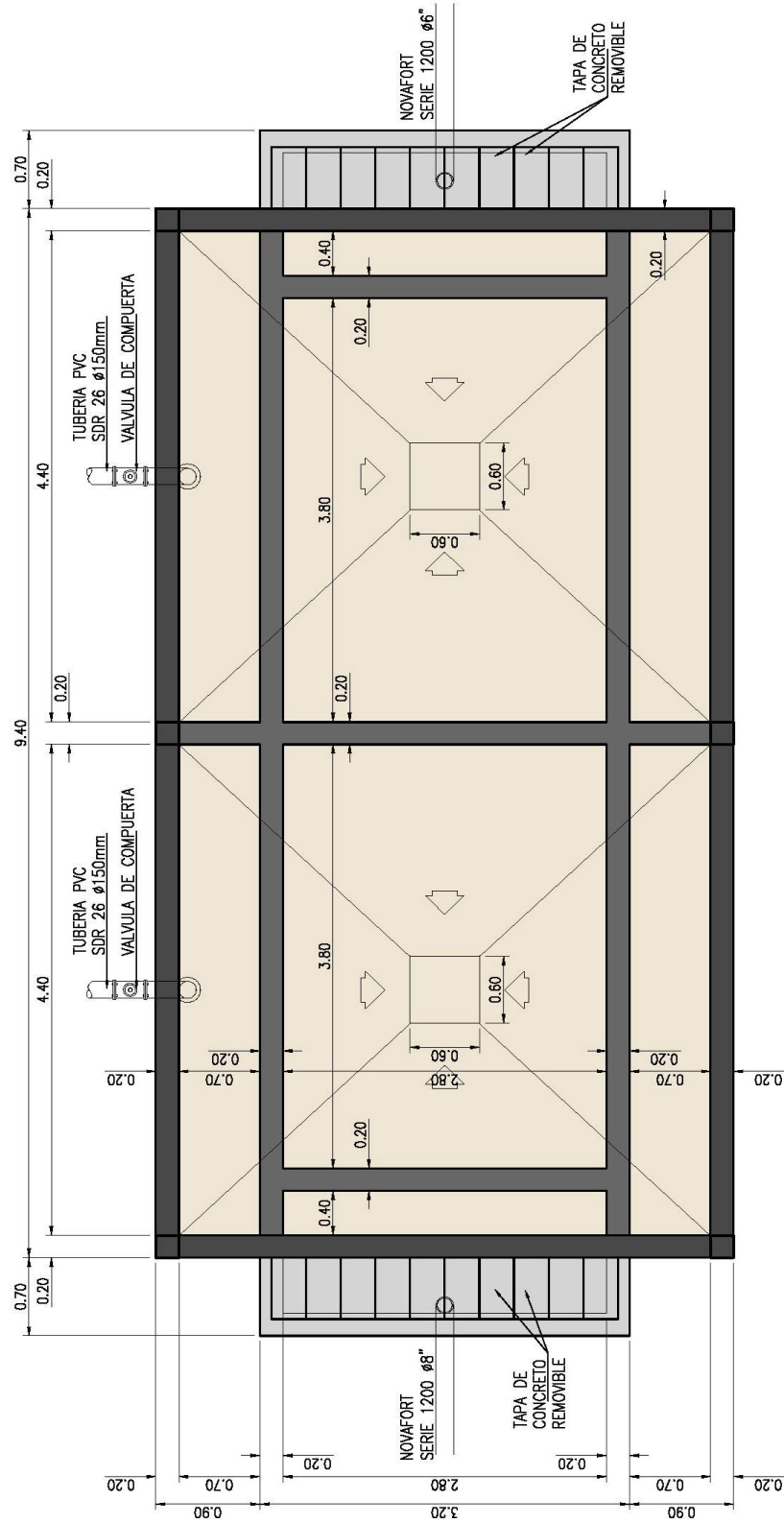
Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 31. Caudal promedio diario de diciembre



Adaptado de: (ZOFRANIN, 2021)

Gráfico 32. Planta de tanque Imhoff



PLANTA DE TANQUE IMHOFF

Fuente: ZOFRANIN (2012)

Informe de laboratorio 1 análisis fisicoquímico en afluente (02/2022)



LABORATORIOS QUÍMICOS, S.A LAQUISA

LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: Zona Franca Industrial Niquinohomo, S.A
Dirección: Km 53 Carretera Niquinohomo - Masatepe 100 mts al Sur. Niquinohomo Masaya.
Nombre de muestra: Afluente Salida, Coordenadas X: 597470, Y: 1315084
Descripción muestra: Agua
Fecha ingreso: 2022/02/17
Ref. laboratorio: AG-0215-22
Número de muestreo: AG-025-22

Lugar de muestreo: Planta
Municipio/Depto.: Niquinohomo / Masaya
Fecha muestreo: 2022/02/16
Fecha de realización de ensayo: 2022/02/18-2022/03/03
Fecha de emisión: 2022/03/03
Muestreado por: LAQUISA
Procedimiento de muestreo: LAQUISA-PT-08

Análisis	Método	Unidad	Resultado
pH	SMEWW 4500 H B	-	8,0
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D	mg/l	76,0
Sólidos Sedimentables	SMEWW 2540 F	ml/l	ND (<0,1)
Materia Flotante	SMEWW 2530 B	mg/l	Ausencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW 5210 B	mg/l	269,61
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5220 B	mg/l	431,38
Nitrógeno Total	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/l	56,14
Aceites y Grasas Totales	SMEWW 5520 D	mg/l	25,0

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recolectada y el cliente de la información proporcionada. Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.

ND: No Detectado.

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

Informe de laboratorio 2 de análisis fisicoquímico en efluente (02/2022)



LABORATORIOS QUÍMICOS, S.A LAQUISA

LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: Zona Franca Industrial Niquinohomo, S.A
Dirección: Km 53 Carretera Niquinohomo - Masatepe 100 mts al Sur. Niquinohomo Masaya.
Nombre de muestra: Efluente Salida, Coordenadas X: 597457, Y: 1314968
Descripción muestra: Agua
Fecha ingreso: 2022/02/17
Ref. laboratorio: AG-0216-22
Número de muestreo: AG-025-22

Lugar de muestreo: Planta
Municipio/Depto.: Niquinohomo / Masaya
Fecha muestreo: 2022/02/16
Fecha de realización de ensayo: 2022/02/18-2022/03/03
Fecha de emisión: 2022/03/03
Muestreado por: LAQUISA
Procedimiento de muestreo: LAQUISA-PT-08

Análisis	Método	Unidad	Resultado
pH	SMEWW 4500 H B	-	7.9
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D	mg/l	ND (<1)
Sólidos Sedimentables	SMEWW 2540 F	ml/l	1.0
Materia Flotante	SMEWW 2530 B	mg/l	Ausencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW 5210 B	mg/l	110.30
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5220 B	mg/l	176.47
Nitrógeno Total	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/l	84.21
Aceites y Grasas Totales	SMEWW 5520 D	mg/l	4.0

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recolectada y el cliente de la información proporcionada. Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.

ND: No Detectado.

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

Este Informe electrónico es emitido al cliente con carácter informativo, el Informe oficial es impreso en hoja de papel tamaño carta, membretado, sellado y con firma manuscrita. El cliente es responsable de garantizar la no alteración del mismo.

● Km 83 Carretera Managua-León

● repcionlaquisa@gmail.com / resultadoslaquisa@gmail.com

● 2310 - 2583 / 8854 - 2550

Fuente: (LAQUISA, 2022)

Informe de laboratorio 3 de análisis bacteriológico en afluente (07/2016)



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1607-0107-1

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO
Zona Franca Industrial Niquinohomo		Km 53, Catarina a Masatepe		82673757
ATENCIÓN:		CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Cristhiam R. Aich Canelo		Coordinadora de Mantenimiento	operacioneszofranin@gmail.com	76790406
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	21/07/2016	2486
08/07/2016	08/07/2016	12/07/2016		
Fecha y Hora de Muestreo		07/07/2016 12hrs		
Supervisor y muestreo de campo		Cristhiam R. Aich Canelo		
Muestreado por		Lenis Tijerino		
Fuente		Afluente PTAR		
Tipo de muestra		Agua Residual		
Coordenadas		NR		
Observaciones de Ubicación		NR		
Codificación PIENSA		LA-1607-0535		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	
			PUNTO DE MUESTREO 1	
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	3.5*10 ⁷	
			1*10 ³	

Rango o valor máximo permisible *
 NTON 05
 027-05 *

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta
 Método Internacional Empleado: **SM** : Standard Methods, 21st. 2005

* Norma Técnica Nicaraguense, Criterios según el tipo de categoría de riegos

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente

(Firma manuscrita)
 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio se reserva los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios 8847-6823 y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

0004135

Fuente: (UNI-PIENSA, 2016)

Informe de laboratorio 4 de análisis bacteriológico en efluente (07/2016)



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1607-0107-2

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO
Zona Franca Industrial Niquinohomo		Km 53, Catarina a Masatepe		82673757
ATENCIÓN:		CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Cristhiam R. Aich Canelo		Coordinadora de Mantenimiento	operacioneszofranin@gmail.com	76790406
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	21/07/2016	2486
08/07/2016	08/07/2016	12/07/2016		Dos(2)
Fecha y Hora de Muestreo			07/07/2016 12hrs	
Supervisor y muestreo de campo			Cristhiam R. Aich Canelo	
Muestreado por			Lenis Tijerino	
Fuente			Efluente Humedal	
Tipo de muestra			Agua Residual	
Coordenadas			NR	
Observaciones de Ubicación			NR	
Codificación PIENSA			LA-1607-0536	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	
			PUNTO DE MUESTREO 2	
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	2.4*10 ⁶	
				Rango o valor máximo permisible * NTON 05 027-05 *
				1*10 ³

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta
 Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

* Norma Técnica Nicaraguense, Criterios según el tipo de categoría de riegos

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente

(Signature)
 LABORATORIOS AMBIENTALES
 COORDINACIÓN TÉCNICA
 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio se reserva los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios 5847-6823 y 529-314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

0004136

Fuente: (UNI-PIENSA, 2016)

Informe de laboratorio 5 de análisis fisicoquímico en afluente (07/2016)



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1608-058

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO	
ZONA FRANCA NIQUINOHOMO		Km 53 Catarina a Masatepe		NR	
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Célular	
Cristhiam R. Aich Canelo		Coord. Mantenimiento	operacioneszofranin@gmail.com	8267-3757	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
07/07/2016	08/07/2016	29/07/2016	02/08/2016	2486	Dos (2)
Fecha y Hora de Muestreo			07/07/2016; 8 horas		Rango o valor máximo permisible
Muestreado por			Ing. Lenys Tijerino		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Afluente PTAR		
Tipo de Muestra			Agua Residual Compuesta Afluente		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			N 11°53.830', W 086°06.376'		
Codificación PIENSA			LA-1607-0535		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *23
			PUNTO DE MUESTREO 1		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.24 - 7.89		6 - 9
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	225.87		220
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	198.00		110
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	65.00		100
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	1.0 - 3.5		1.0
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	16.50		20
5540-C	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	2.40		3

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Limite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Personal del Laboratorio PIENSA-UNI.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Agüero
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Fuente: (UNI-PIENSA, 2016)

Informe de laboratorio 6 de análisis fisicoquímico en efluente (07/2016)



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIO AMBIENTAL
CERTIFICADO DE ENSAYOS LA-AAR1608-058

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
ZONA FRANCA NIQUINOHOMO		Km 53 Catarina a Masatepe		NR
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Célular
Cristhiam R. Aich Canelo		Coord. Mantenimiento	operacioneszofranin@gmail.com	8267-3757
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
07/07/2016	08/07/2016	29/07/2016	02/08/2016	2486
Fecha y Hora de Muestreo			07/07/2016; 8 horas	
Muestreado por			Ing. Lenys Tijerino	
Supervisor de Muestreo en Campo			NR	
Fuente			Efluente (Humedales)	
Tipo de Muestra			Agua Residual Compuesta Efluente	
Observaciones de Ubicación			NR	
Coordenadas			NR	
Codificación PIENSA			LA-1607-0536	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	PUNTO DE MUESTREO 2
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	6.50 - 6.56	6 - 9
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	39.34	220
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	31.80	110
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	13.00	100
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	< 0.5	1.0
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	0.80	20
5540-C	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	<0.10	3

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Limite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Personal del Laboratorio PIENSA-UNI.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

(Firma manuscrita)
 COORDINACIÓN TÉCNICA
 P.D. Leandro Parame Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios 5847-6823 y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

0004131

Fuente: (UNI-PIENSA, 2016)

Informe de laboratorio 7 de análisis fisicoquímico en Afluente (01/2021)



**LABORATORIOS QUÍMICOS,
LAQUISA**



LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Ciente: Zona Franca Industrial Niquinohomo, S.A **Lugar de muestreo:** Planta Zona Franca Industrial Niquinohomo

Dirección: Km 53 Carretera Niquinohomo - Masatepe 100 mts al sur. Niquinohomo Masaya. **Municipio/Depto.:** Niquinohomo /Masaya

Nombre de muestra: Afluente Coordenadas X= 0597470 Y= 1315083 **Fecha muestreo:** 2021/01/21

Descripción muestra: Agua **Fecha de realización de ensayo:** 2021/01/22-2021/01/29

Fecha ingreso: 2021/01/21 **Fecha de emisión:** 2021/01/29

Ref. laboratorio: AG-0112-21 **Muestreado por:** LAQUISA

Número de muestreo: Ag-011-21-A **Procedimiento de muestreo:** LAQUISA-PT-08

Análisis	Método	Unidad	Resultado
pH de Campo	SMEWW 4500 H B	-	8,5
*pH de Laboratorio	SMEWW 4500 H B	-	8,8
Sólidos Suspendedos Totales	SMEWW 2540 D	mg/l	137,0
Sólidos Sedimentables	SMEWW 2540 F	ml/l	1,5
Materia Flotante	SMEWW 2530 B	Presencia - Ausencia	AUSENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW 5210 B	mg/l	365,49
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5220 B	mg/l	584,78
Nitrógeno Total	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/l	169,46
Fósforo Total	SMEWW 4500-P B	mg/l	5,00
Aceites y Grasas Totales	SMEWW 5520 D	mg/l	3,6

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recolectada y el cliente de la información proporcionada. Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

*Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-R1 son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.

Este informe electrónico es emitido al cliente con carácter informativo, el Informe oficial es impreso en hoja de papel tamaño carta, membretado, sellado y con firma manuscrita. El cliente es responsable de garantizar la no alteración del mismo.

Km 83 Carretera Managua-León
 recepcionlaquisa@gmail.com / resultadoslaquisa@gmail.com
 2310 - 2583 / 8854 - 2550

Fuente: (Laquisa, 2021)

Informe de laboratorio 8 de análisis fisicoquímico en efluente (01/2021)



LABORATORIOS QUÍMICOS, LAQUISA



LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: Zona Franca Industrial Niquinohomo, S.A **Lugar de muestreo:** Planta Zona Franca Industrial Niquinohomo

Dirección: Km 53 Carretera Niquinohomo - Masatepe 100 mts al sur. Niquinohomo Masaya. **Municipio/Depto.:** Niquinohomo /Masaya

Nombre de muestra: Efluente Coordenadas X= 0597460 Y= 1314965 **Fecha muestreo:** 2021/01/21

Descripción muestra: Agua **Fecha de realización de ensayo:** 2021/01/22-2021/01/29

Fecha ingreso: 2021/01/21 **Fecha de emisión:** 2021/01/29

Ref. laboratorio: AG-0113-21 **Muestreado por:** LAQUISA

Número de muestreo: Ag-011-21-A **Procedimiento de muestreo:** LAQUISA-PT-08

Análisis	Método	Unidad	Resultado
pH de Campo	SMEWW 4500 H B	-	7,2
*pH de Laboratorio	SMEWW 4500 H B	-	7,4
Sólidos Suspendedos Totales	SMEWW 2540 D	mg/l	11,0
Sólidos Sedimentables	SMEWW 2540 F	ml/l	0,1
Materia Flotante	SMEWW 2530 B	Presencia - Ausencia	AUSENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW 5210 B	mg/l	47,16
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5220 B	mg/l	75,46
Nitrógeno Total	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/l	52,59
Fósforo Total	SMEWW 4500-P B	mg/l	3,60
Aceites y Grasas Totales	SMEWW 5520 D	mg/l	1,4

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recolectada y el cliente de la información proporcionada. Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

*Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-R1 son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.

Este informe electrónico es emitido al cliente con carácter informativo, el Informe oficial es impreso en hoja de papel tamaño carta, membretado, sellado y con firma manuscrita. El cliente es responsable de garantizar la no alteración del mismo.

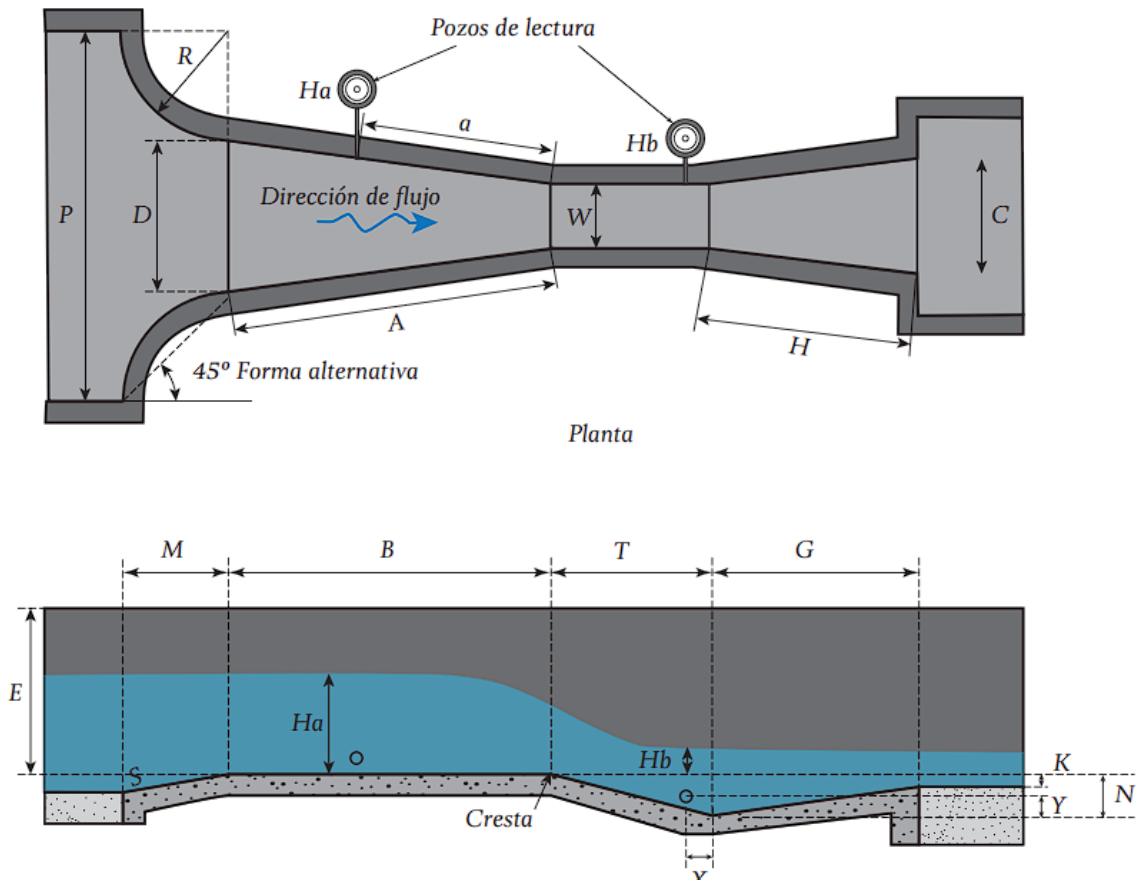
📍 Km 83 Carretera Managua-León

📧 recepcionlaquisa@gmail.com / resultadoslaquisa@gmail.com

☎ 2310 - 2583 / 8854 - 2550

Fuente: (Laquisa, 2021)

Gráfico 33. Dimensiones de canaleta Parshall



Fuente: (CONAGUA, 2015)

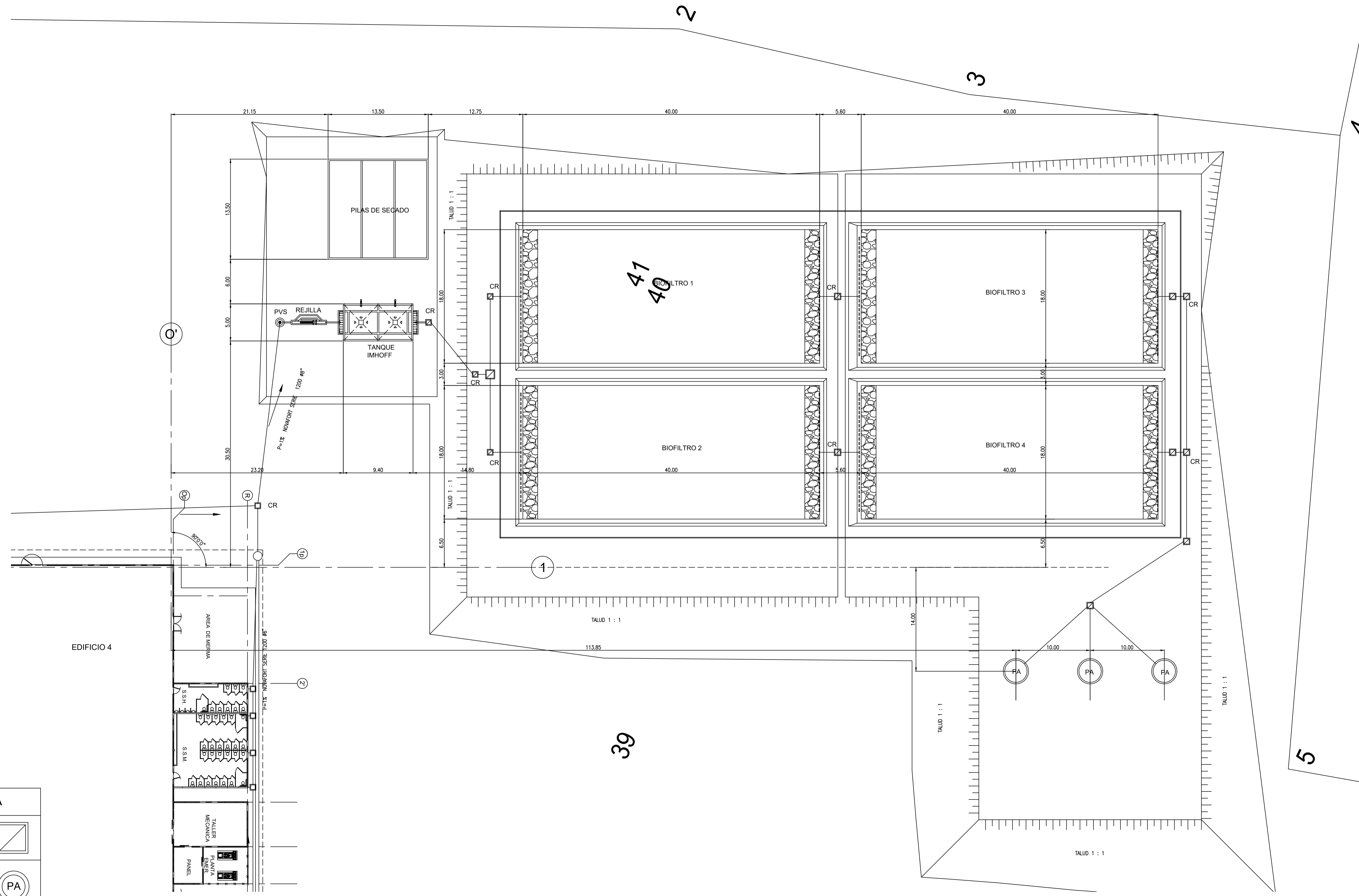
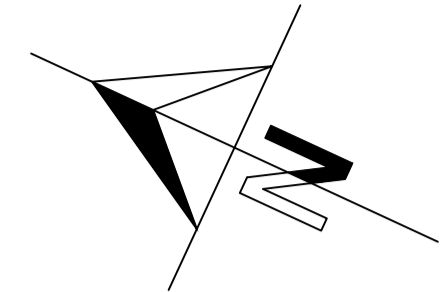
Tabla 30. Dimensiones de canal Parshall

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en milímetros															
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19		29			8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22		43			16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25		57			25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en metros															
0.3048	1.3720	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.061	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.4480	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.061	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.5240	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.061	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.6760	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.061	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.8290	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.061	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
1.5240	1.9810	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.061	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.1340	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.061	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.2860	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.061	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.4380	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.061	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152		0.343			0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152		0.343			0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.299		0.457			0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305		0.686			0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	1.668	2.134	1.829	3.962	0.305		0.686			0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305		0.686			0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305		0.686			0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305		0.686			0.305	0.229

Adaptado de: (CONAGUA, 2015)

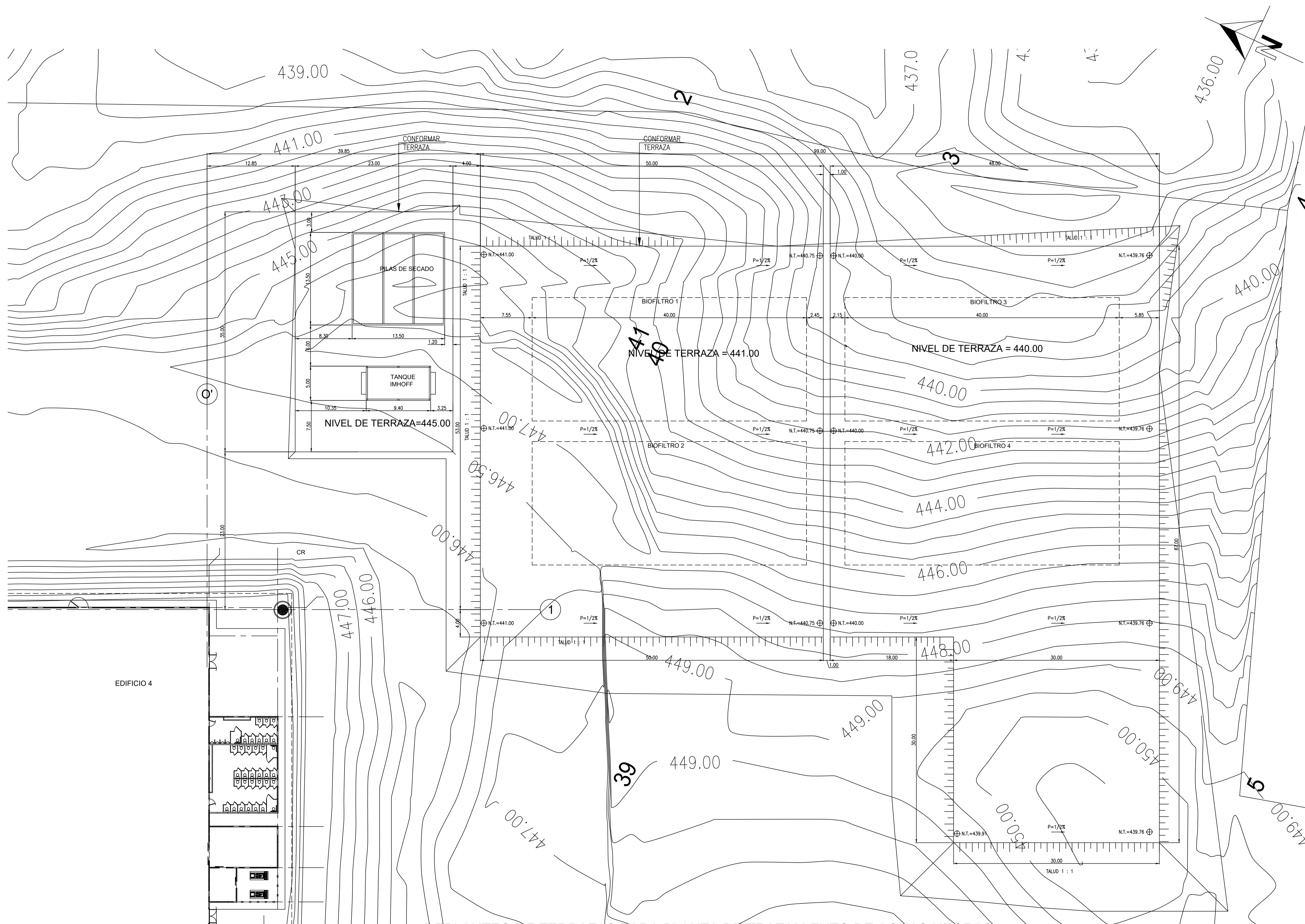
PLANOS



SIMBOLOGIA	
CAJA DE REGISTRO	CR
POZO DE ABSORCION	PA
POZO DE VISITA	PVS


REPLANTEO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
 ESCALA 1 : 250

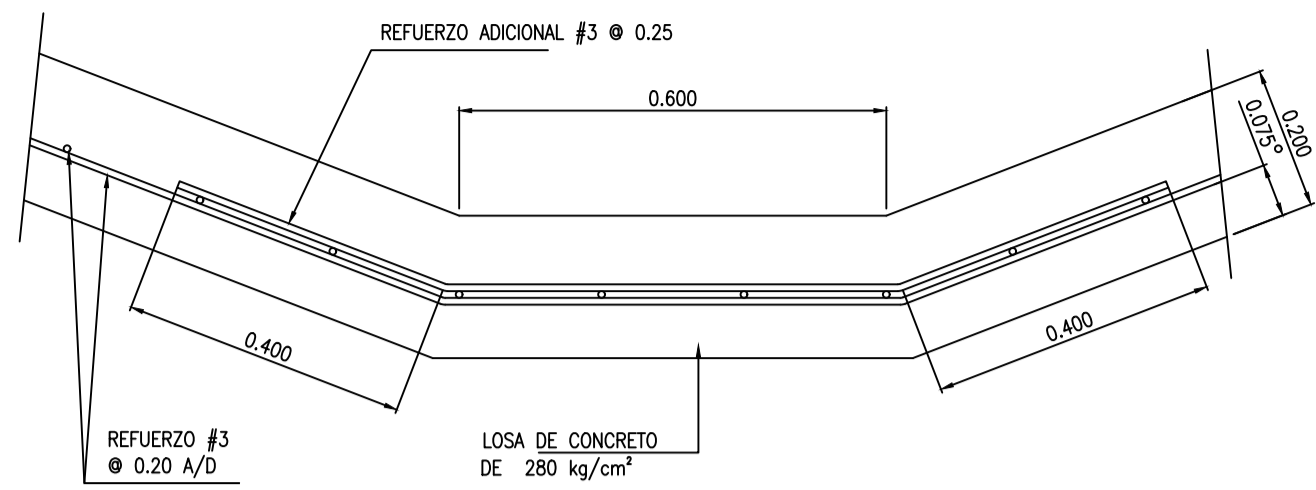
PROYECTO:	CONSTRUCCION DE PARQUE INDUSTRIAL "ZONA FRANCA NIQUINHOMO"
ELABORADO POR:	 CONSULTORES S.A. TEL: 208-31-00 CALLE 1000 NIQUINHOMO, NICARAGUA
DISEÑADORES:	ARQUITECTURA: YAOSKA MEZA ESTRUCTURA: FEDERICO TRAÑA FONSECA ELECTRICIDAD: JADER MARTINEZ HIDROSANITARIO: TATIANA PEREZ
DIBUJO:	COORDINADOR: WILLIAM A. MOLINA S. LUIS JAVIER MEZA
CONTENIDO:	REPLANTEO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
REFERENCIA:	CHS-FNL-0011
ESCALA:	1 : 250
LAMINA:	C-00 C-00
CONSECUTIVO:	00 DE 00
FECHA:	DICIEMBRE 2012



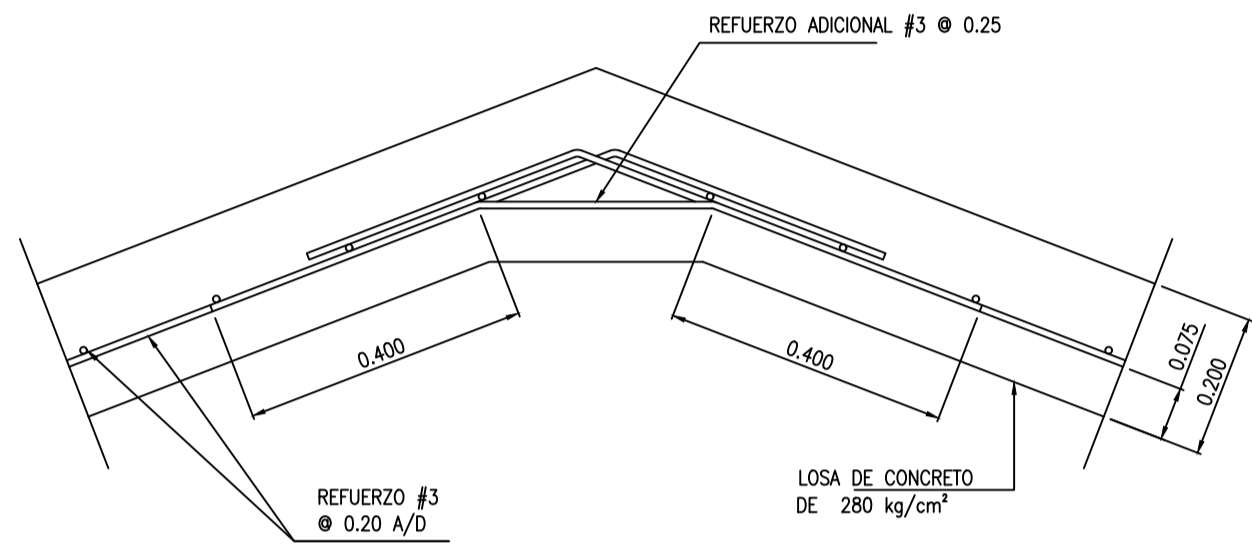
REPLANTEO DE TERRAZAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

ESCALA 1 : 250

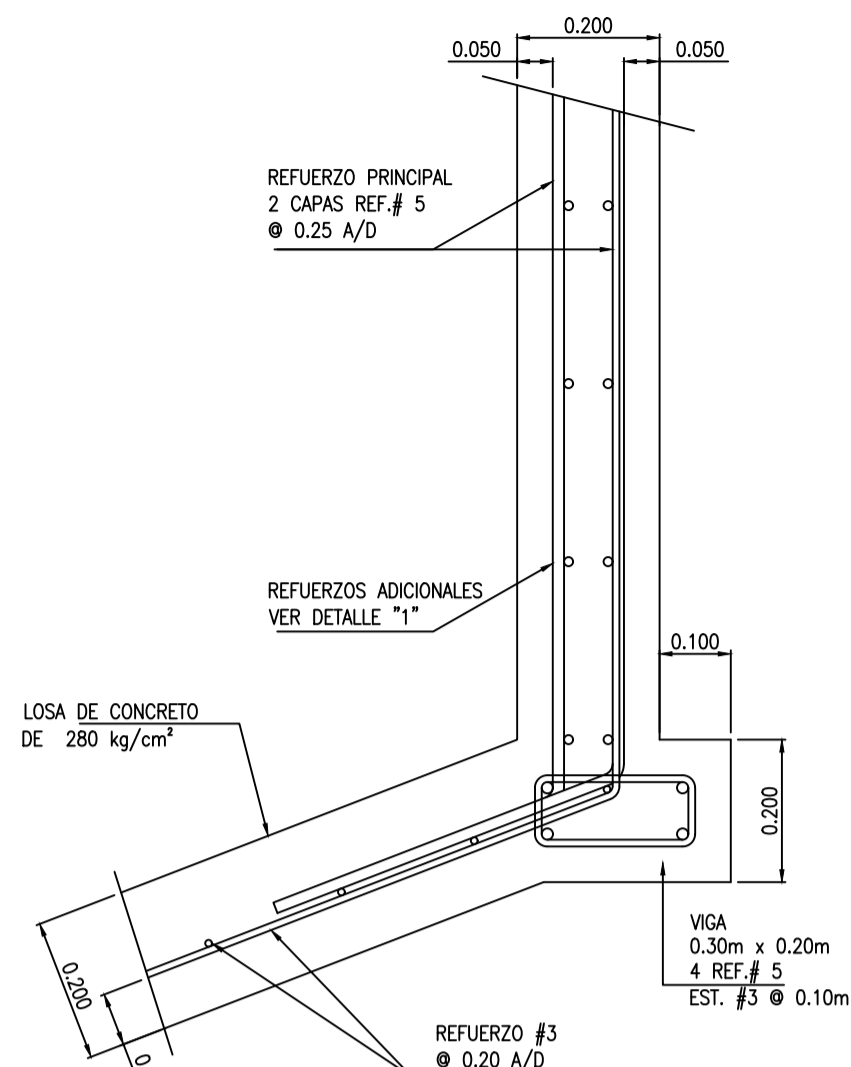
PROYECTO:	CONSTRUCCION DE PARQUE INDUSTRIAL "ZONA FRANCA NIQUINHOMO"
ELABORADO POR:	 CONSULTORES S.A. TEL: 208-31-00 WWW.NIQUINHOMO.COM
DISEÑADORES:	YAOSKA MEZA FEDERICO TRAÑA FONSECA JADER MARTINEZ TATIANA PEREZ
ARQUITECTURA:	YAOSKA MEZA
ESTRUCTURA:	FEDERICO TRAÑA FONSECA
ELECTRICIDAD:	JADER MARTINEZ
HIOSANITARIO:	TATIANA PEREZ
DIBUJO:	WILLIAM A. MOLINA S.
COORDINADOR:	LUIS JAVIER MEZA
ESPECIALIDAD:	CONJUNTOS
CONTENIDO:	REPLANTEO DE TERRAZAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
REFERENCIA:	CHS-FNL-0005
ESCALA:	1 : 250
LAMINA:	C-00 C-00
CONSECUTIVO:	00 DE 00
FECHA:	DICIEMBRE 2012



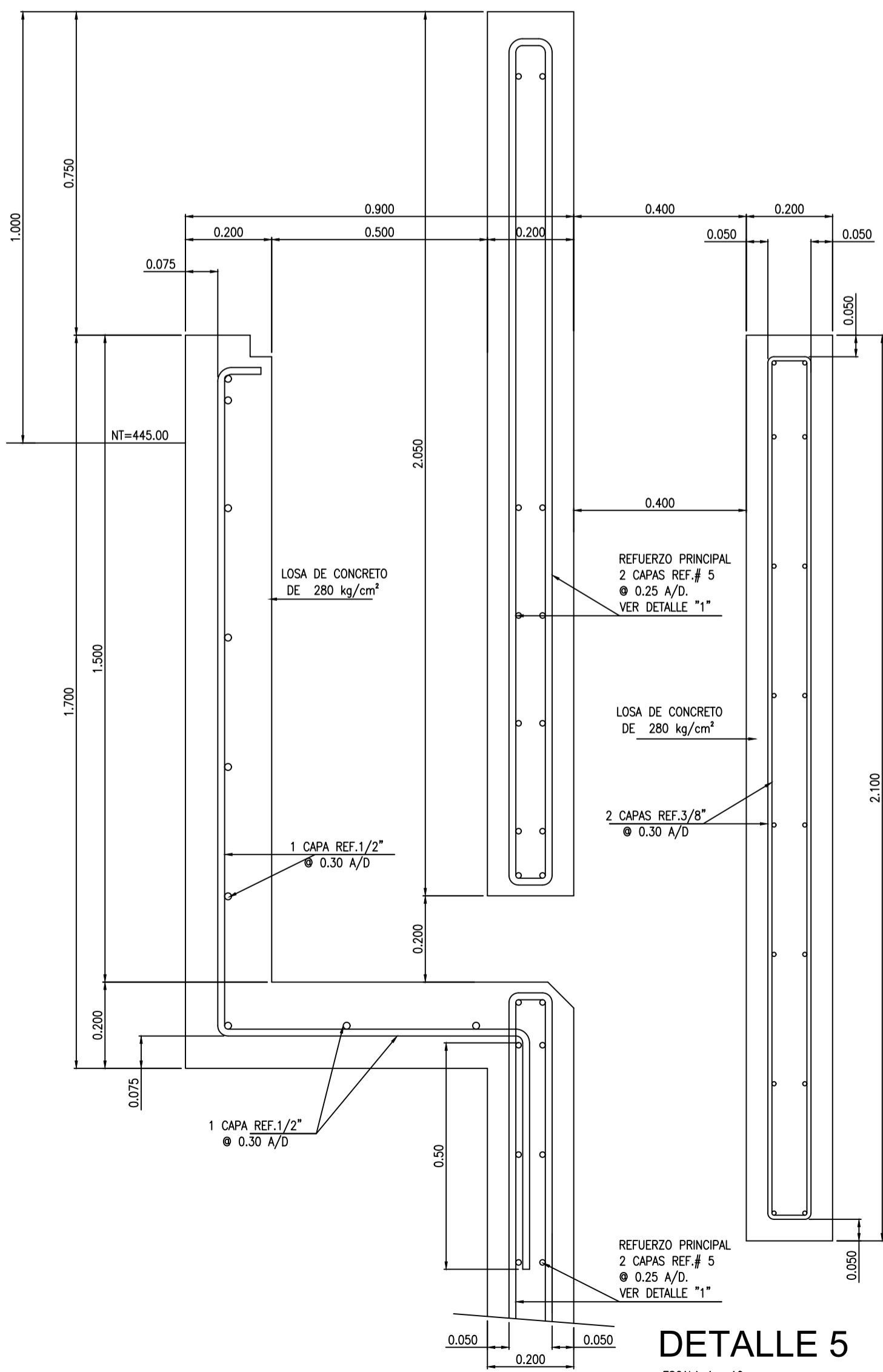
DETALLE 2
ESCALA 1 : 10



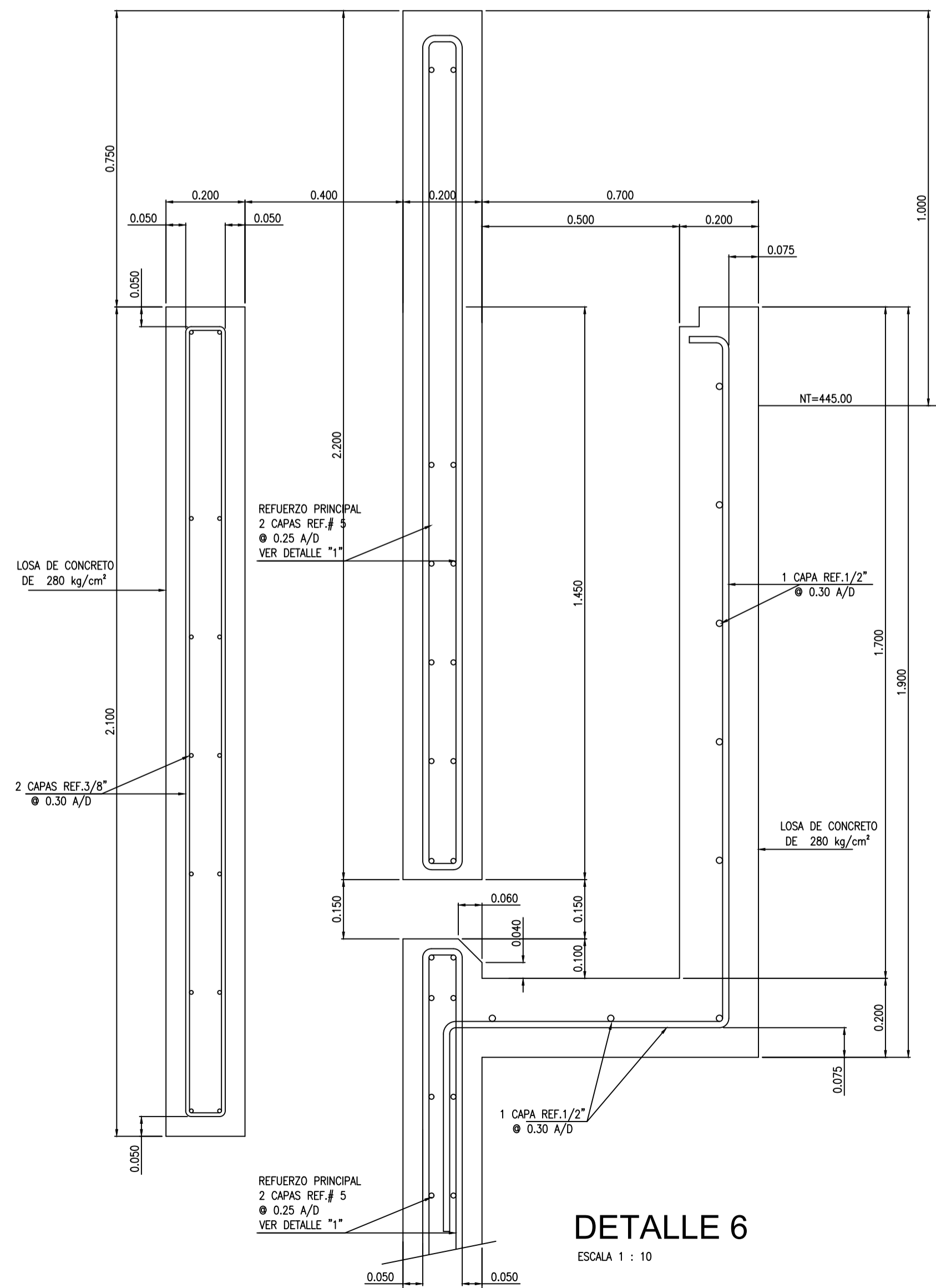
DETALLE 3
ESCALA 1 : 10



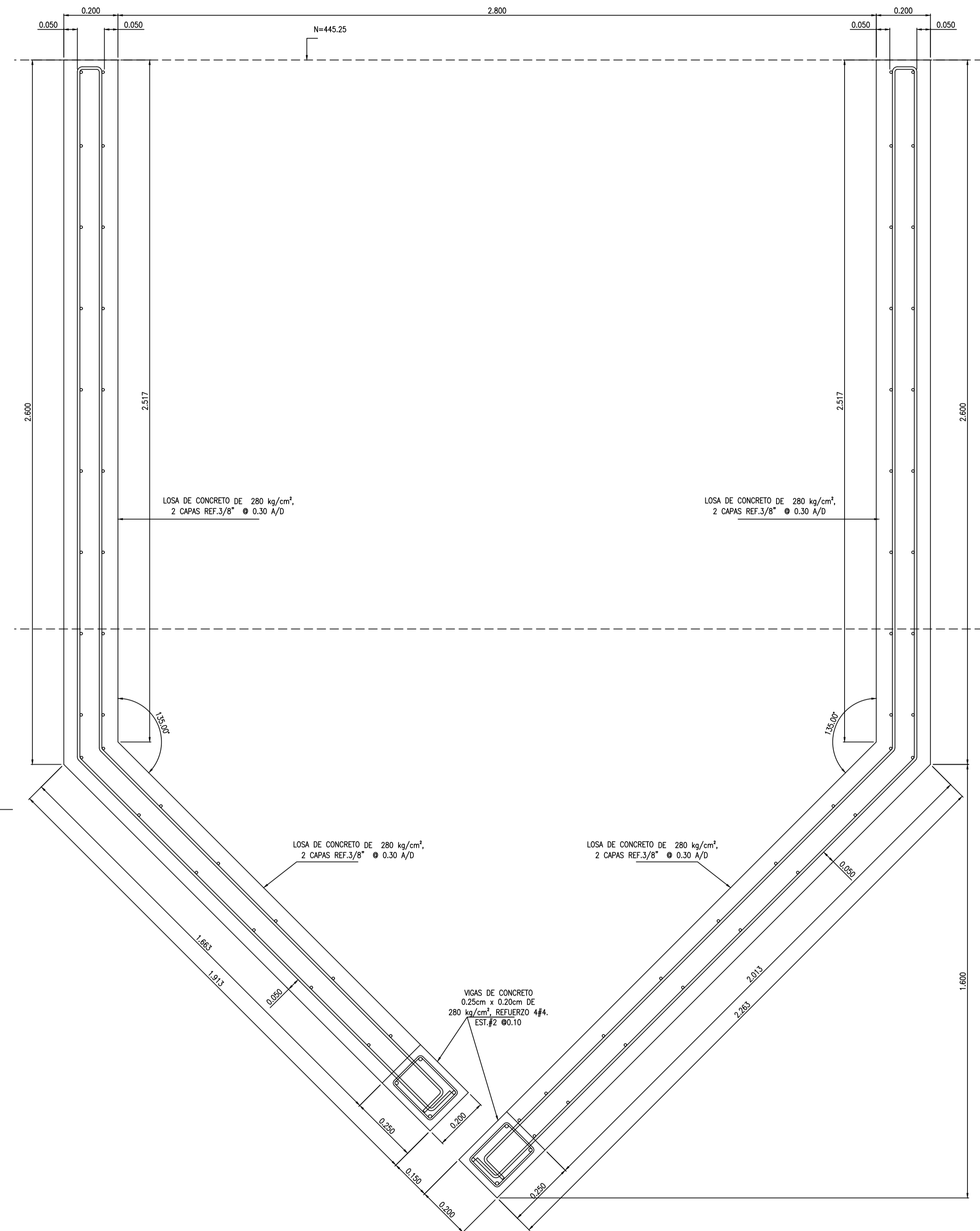
DETALLE 4
ESCALA 1 : 10



DETALLE 5
ESCALA 1 : 10



DETALLE 6
ESCALA 1 : 10



DETALLE 7
ESCALA 1 : 10

PROYECTO:

CONSTRUCCION DE
PARQUE INDUSTRIAL
"ZONA FRANCA
NIQUINHOMO"



ELABORADO POR:



DISEÑADORES

ARQUITECTURA:

YAOSKA MEZA

ESTRUCTURA:

FEDERICO TRAÑA FONSECA

ELECTRICIDAD:

JADER MARTINEZ

HIOSANITARIO:

TATIANA PEREZ

DIBUJO:

WILLIAM A. MOLINA S.

COORDINADOR:

LUIS JAVIER MEZA

ESPECIALIDAD:

CONJUNTOS

CONTENIDO:

PLANTA DE
TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES

REFERENCIA
CHS-PRE-0001

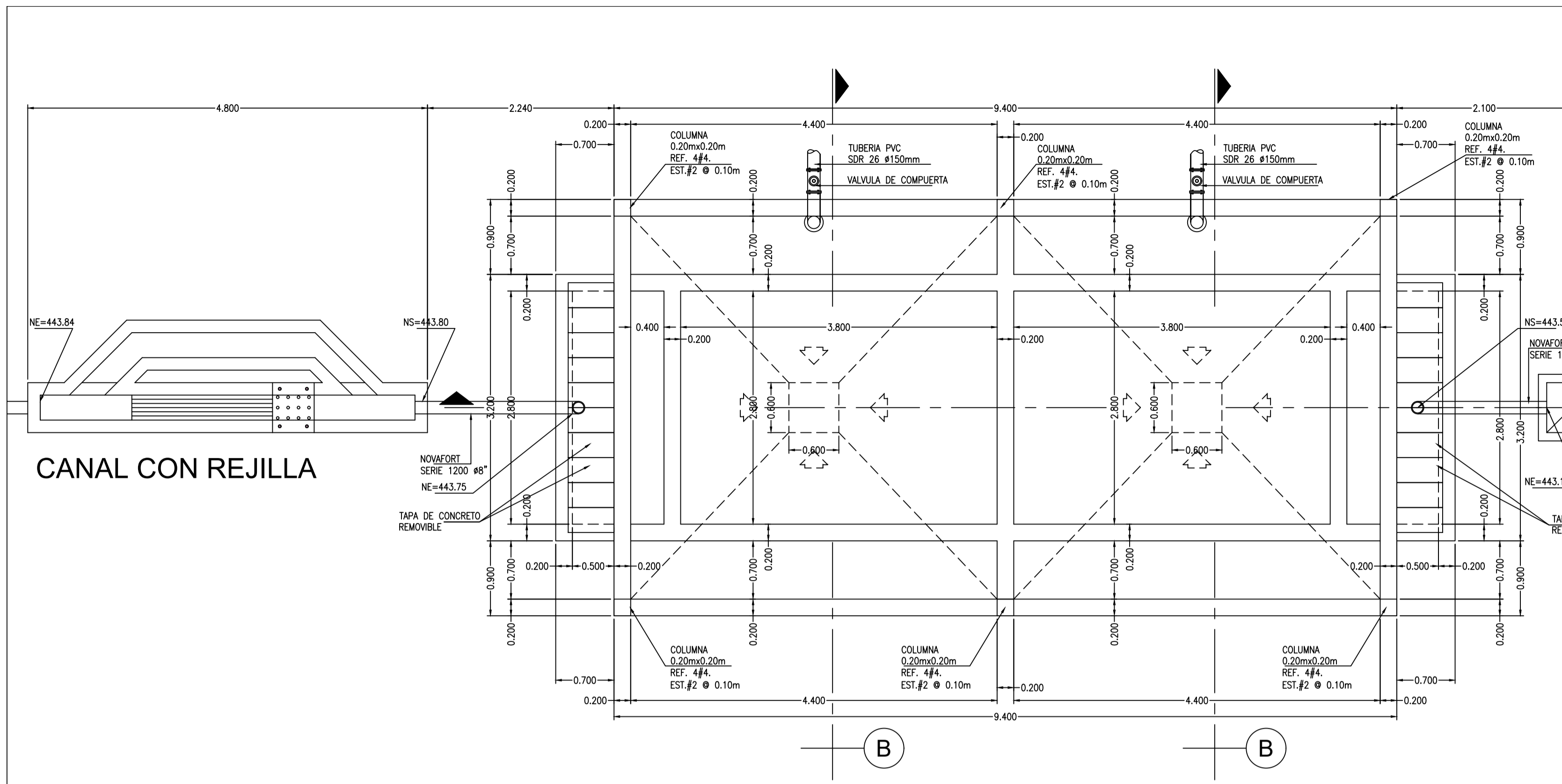
ESCALA:
INDICADA

LAMINA

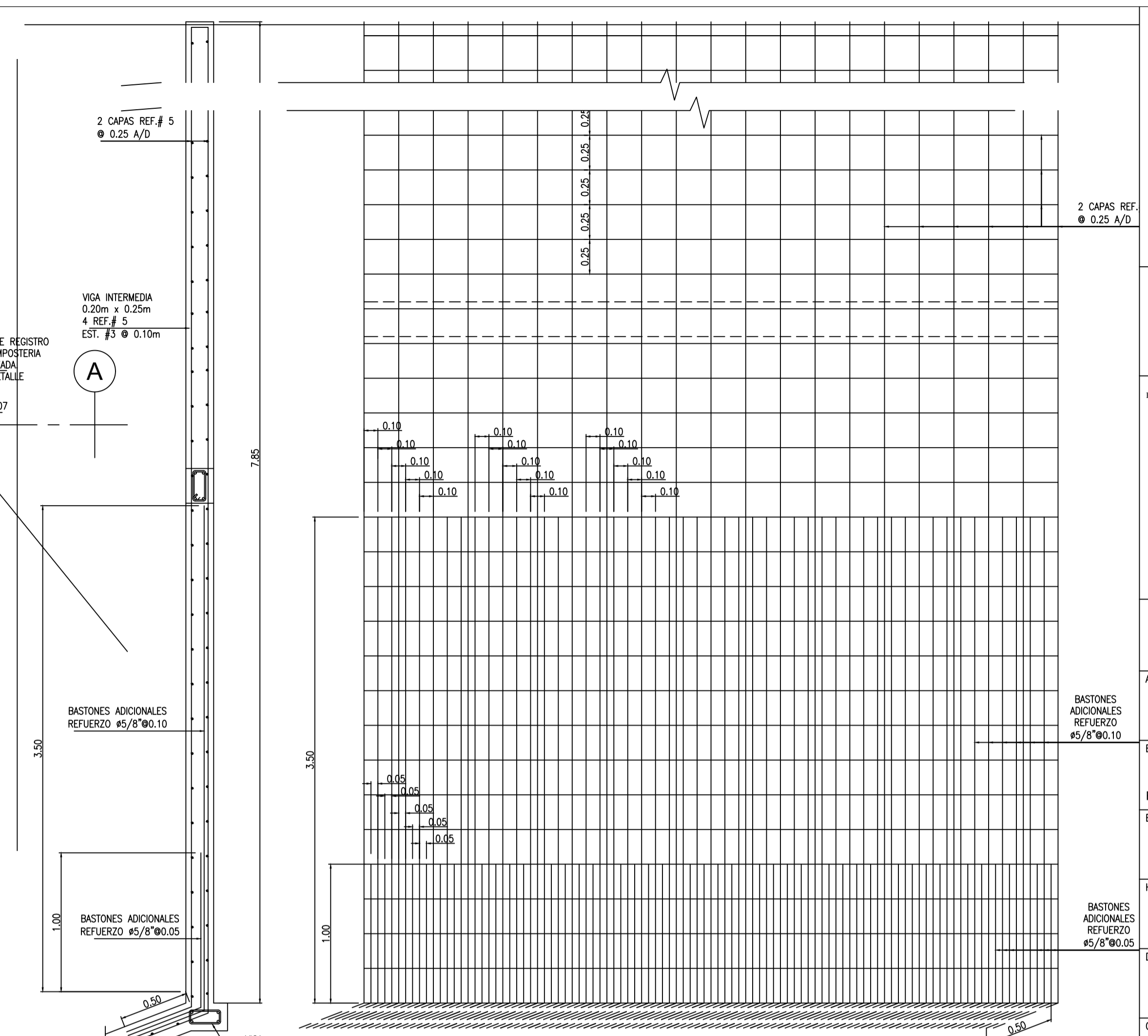
C-00 C-00

CONSECUTIVO:
00 DE 00

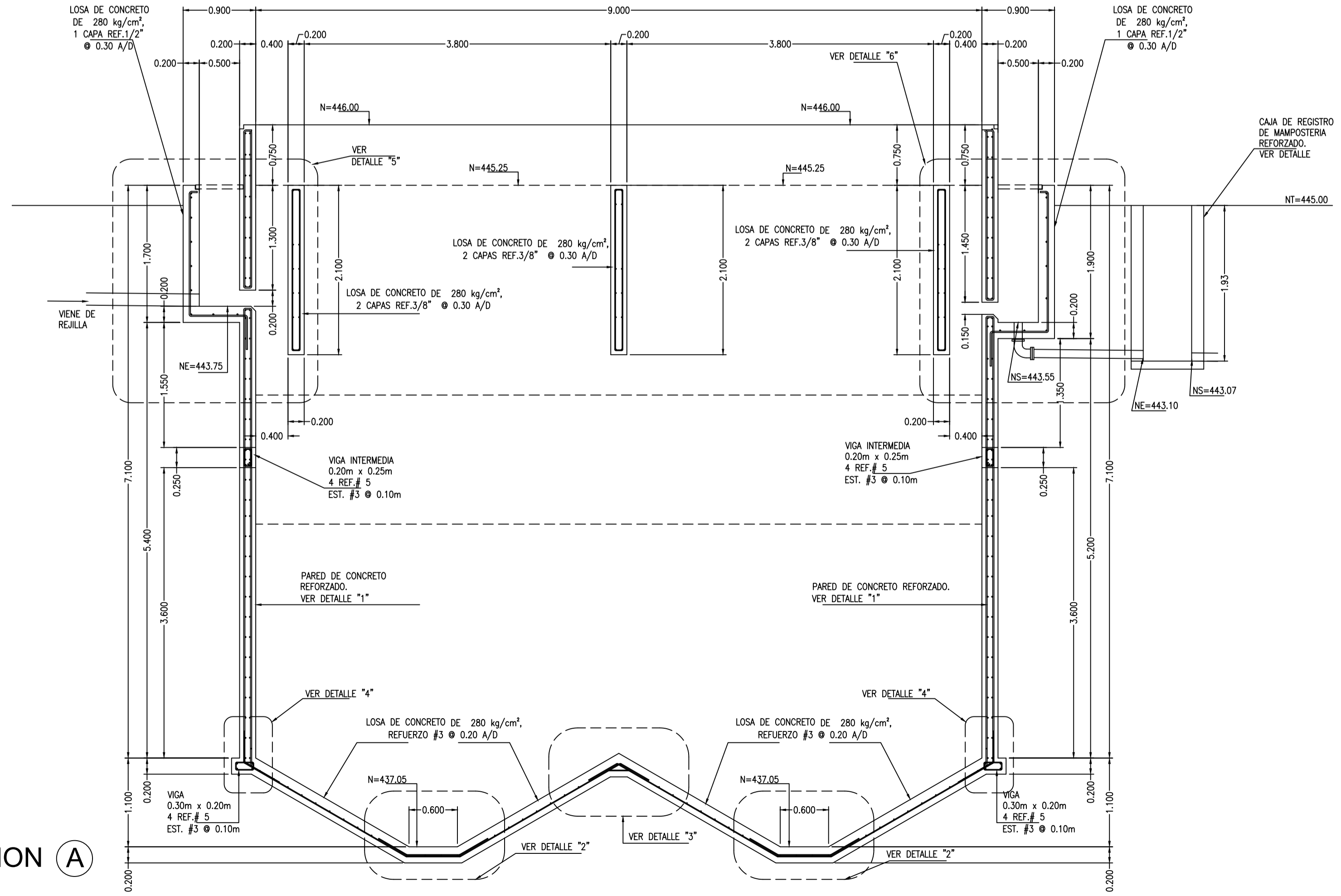
FECHA:
DICIEMBRE 2012



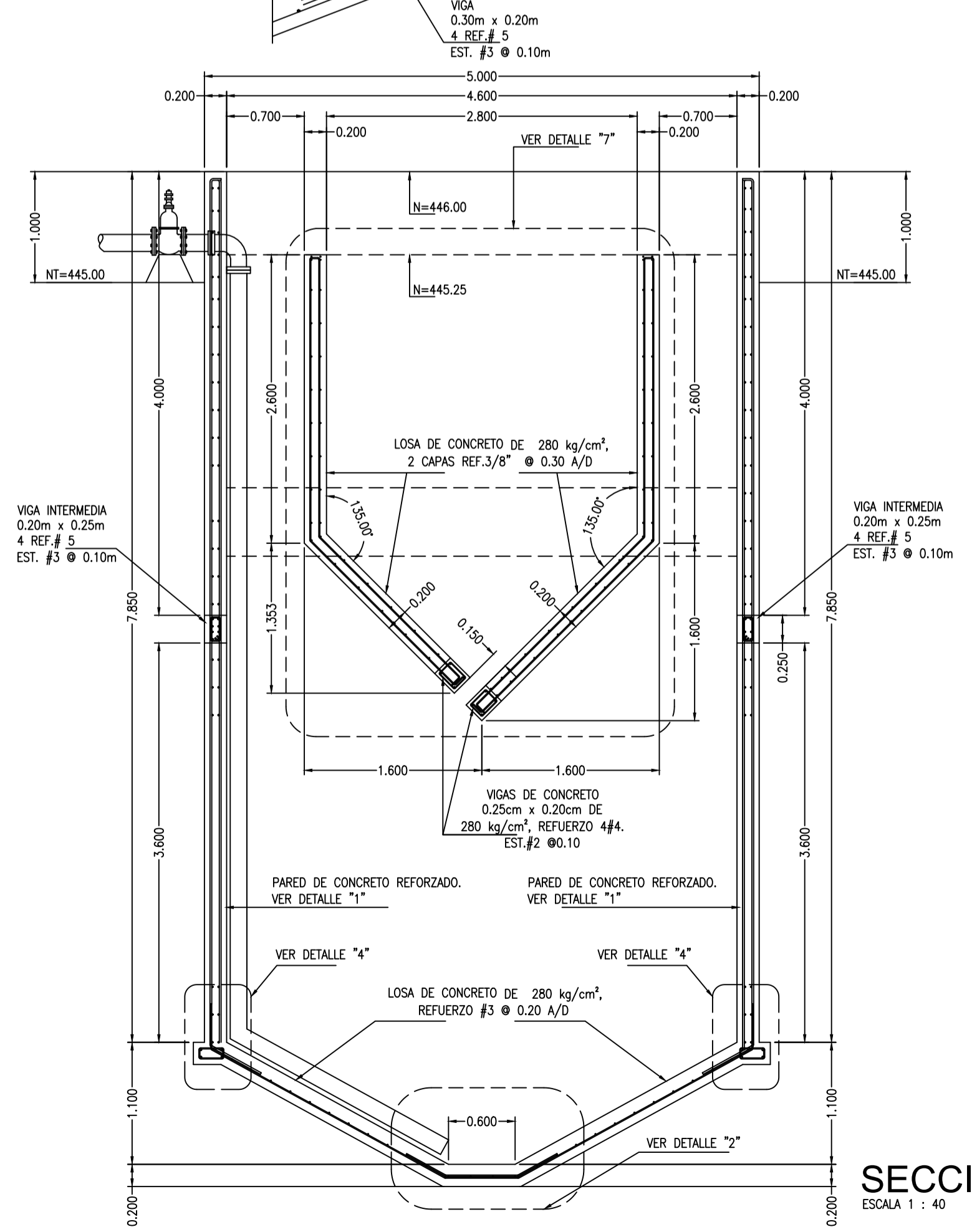
PLANTA DE TANQUE IMHOFF
ESCALA 1 : 40



DETALLE "1"
ESQUEMA DE REFUERZOS EN PAREDES EXTERIORES TANQUE IMHOFF
ESCALA 1 : 25



SECCION A
ESCALA 1 : 40



SECCION B
ESCALA 1 : 40

SIMBOLOGIA	
CAJA DE REGISTRO	CR
POZO DE ABSORCION	PA
POZO DE VISITA	PVS

PROYECTO:
CONSTRUCCION DE PARQUE INDUSTRIAL "ZONA FRANCA NIQUINHOMO"

ELABORADO POR:
ZFN NIQUINHOMO
MAYANA NEUGASSA

DISEÑADORES:
ARQUITECTURA: **YAOSKA MEZA**
ELECTRICIDAD: **JADER MARTINEZ**
HIDROSANITARIO: **TATIANA PEREZ**

DIBUJO:
WILLIAM A. MOLINA S.

COORDINADOR:
LUIS JAVIER MEZA

ESPECIALIDAD:
CONJUNTOS

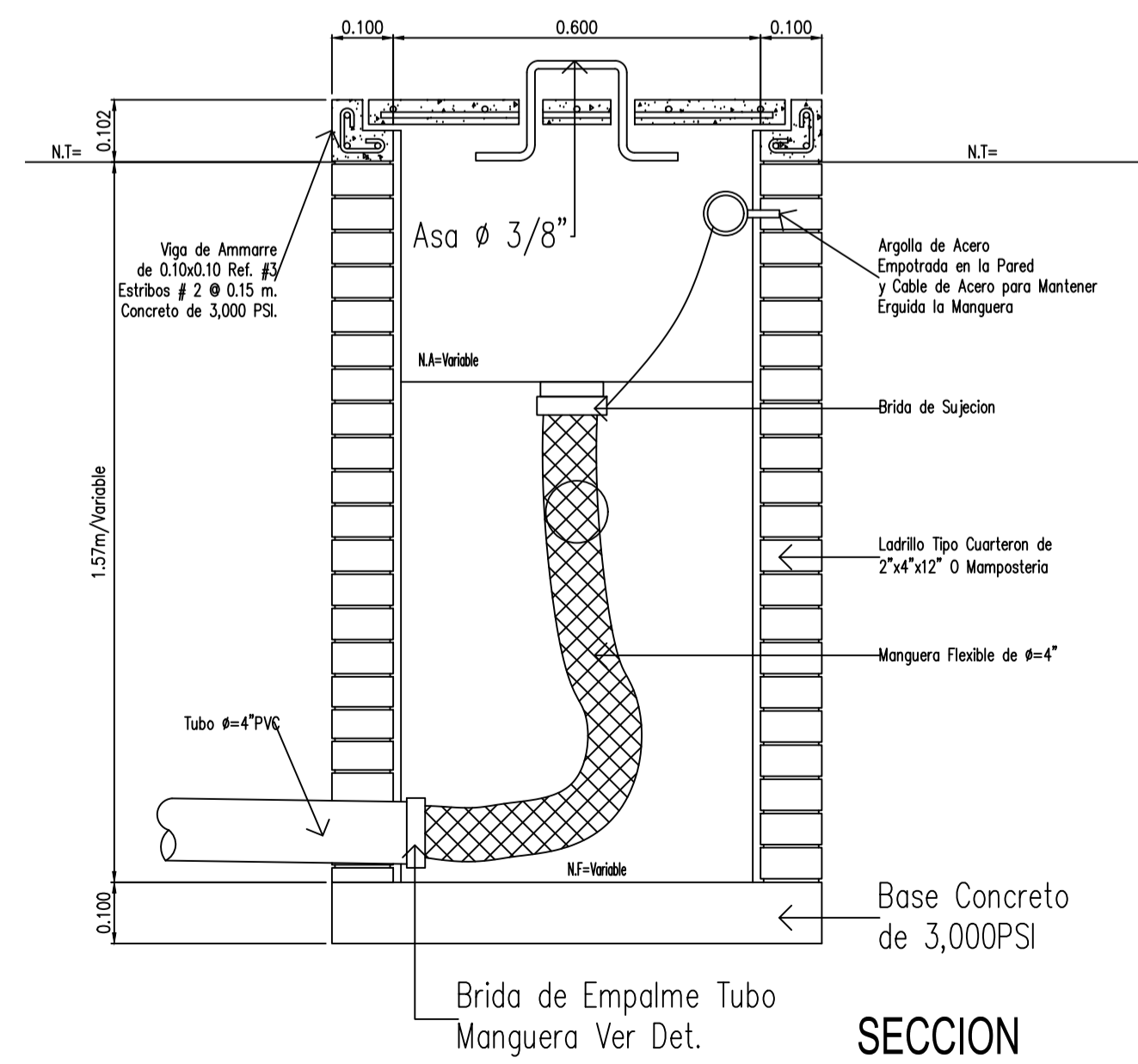
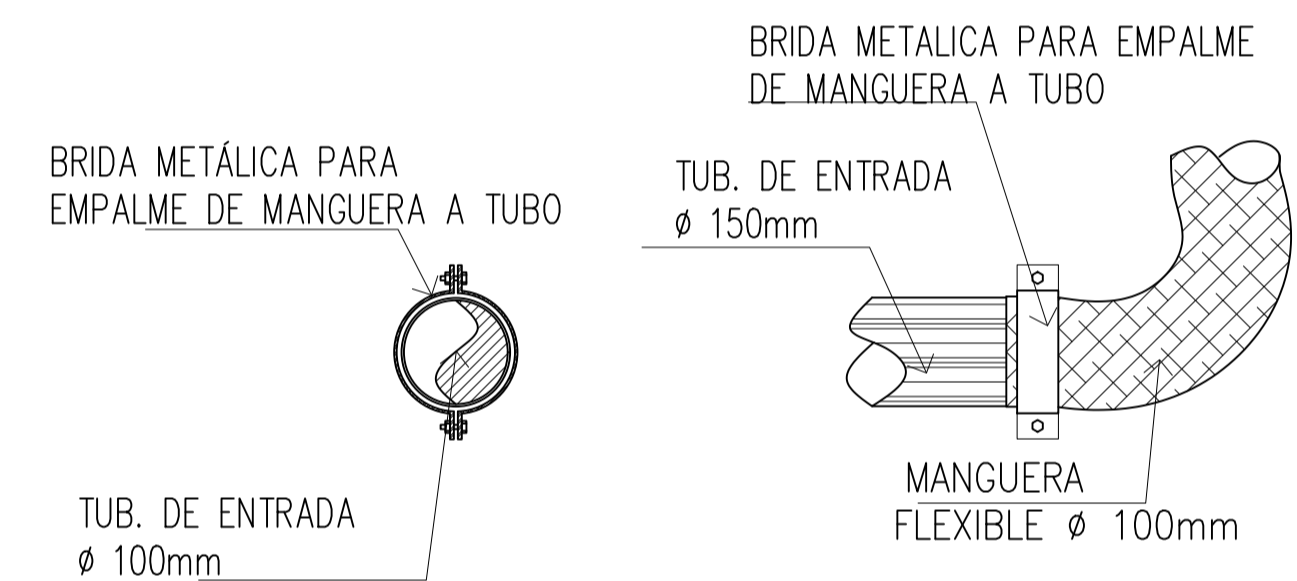
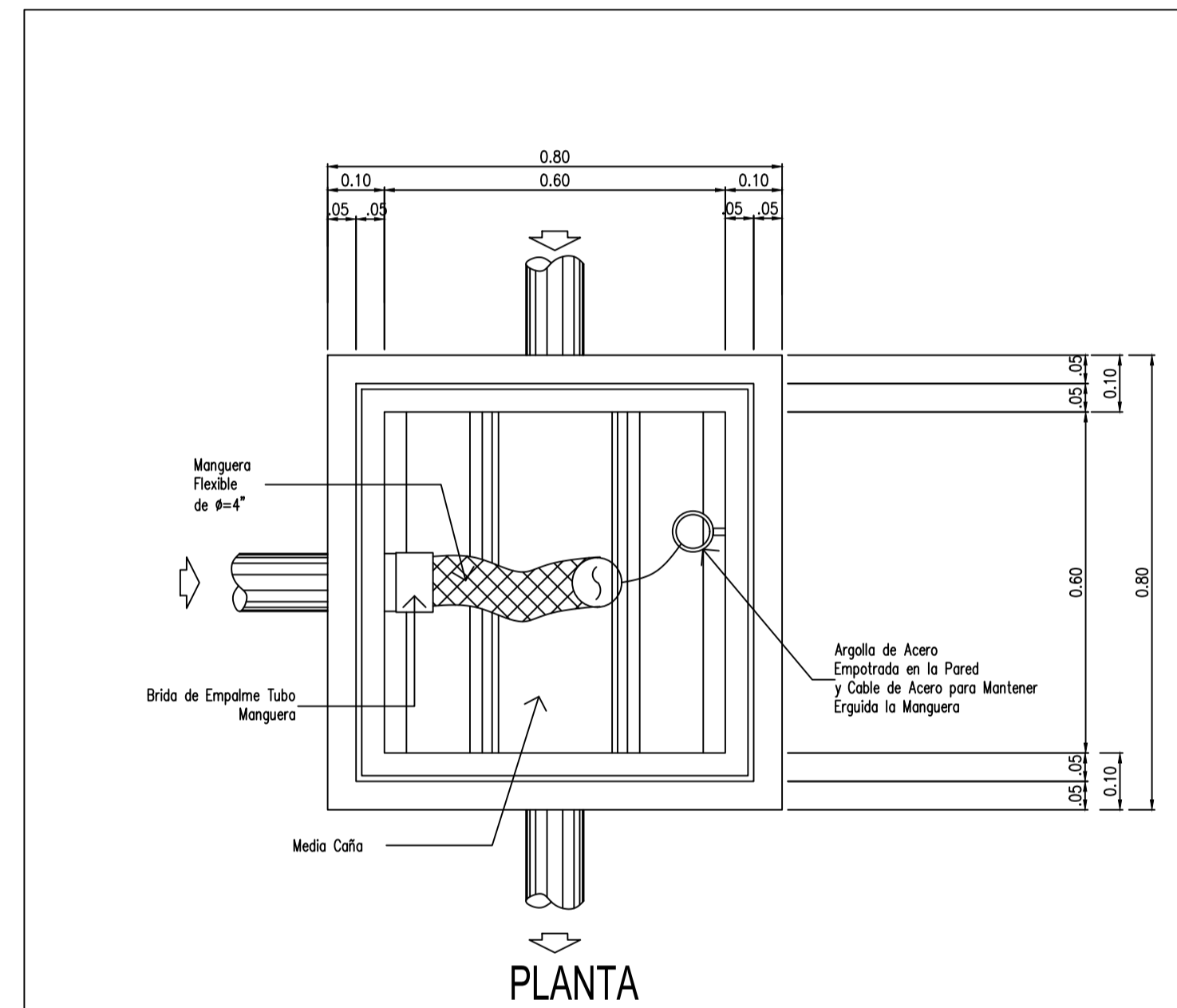
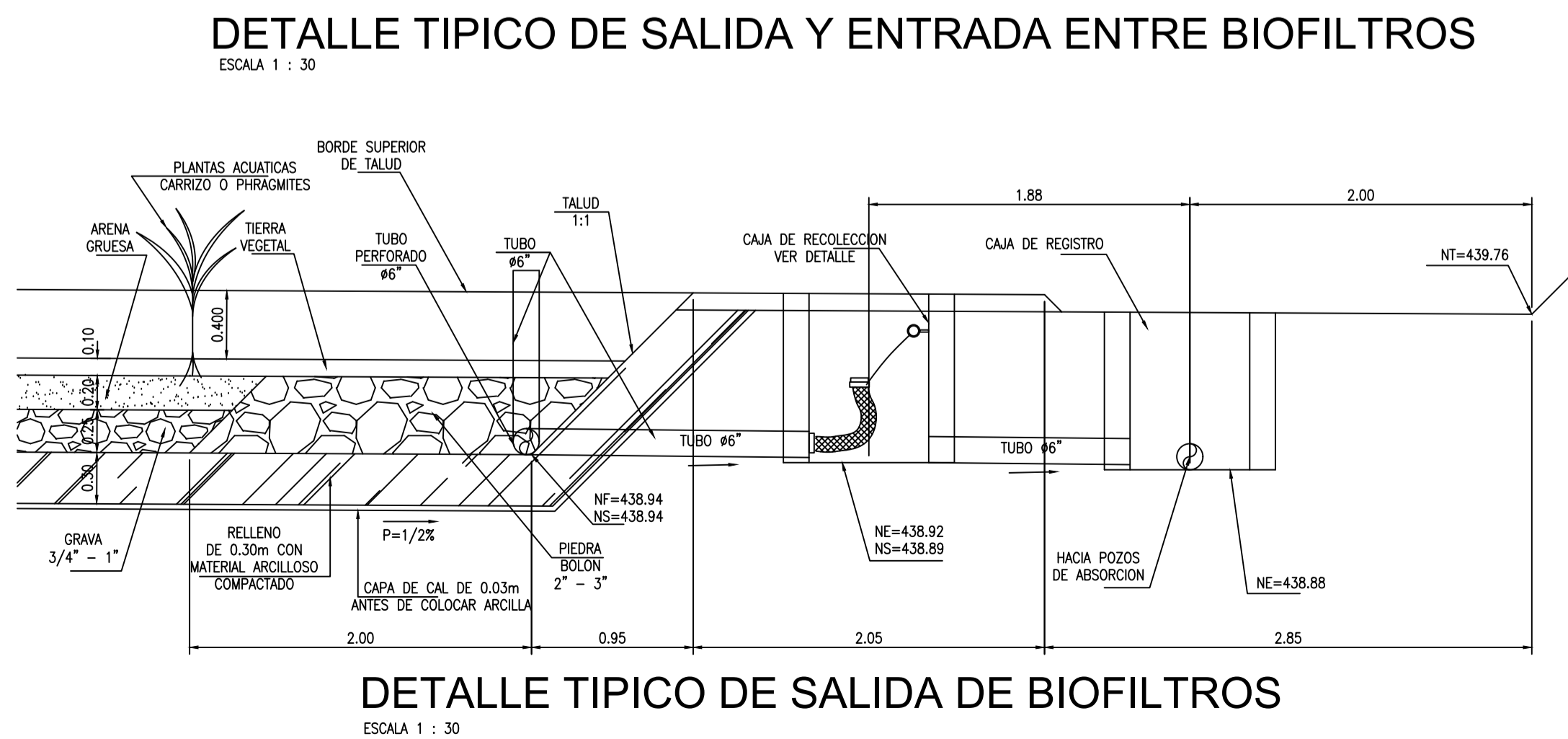
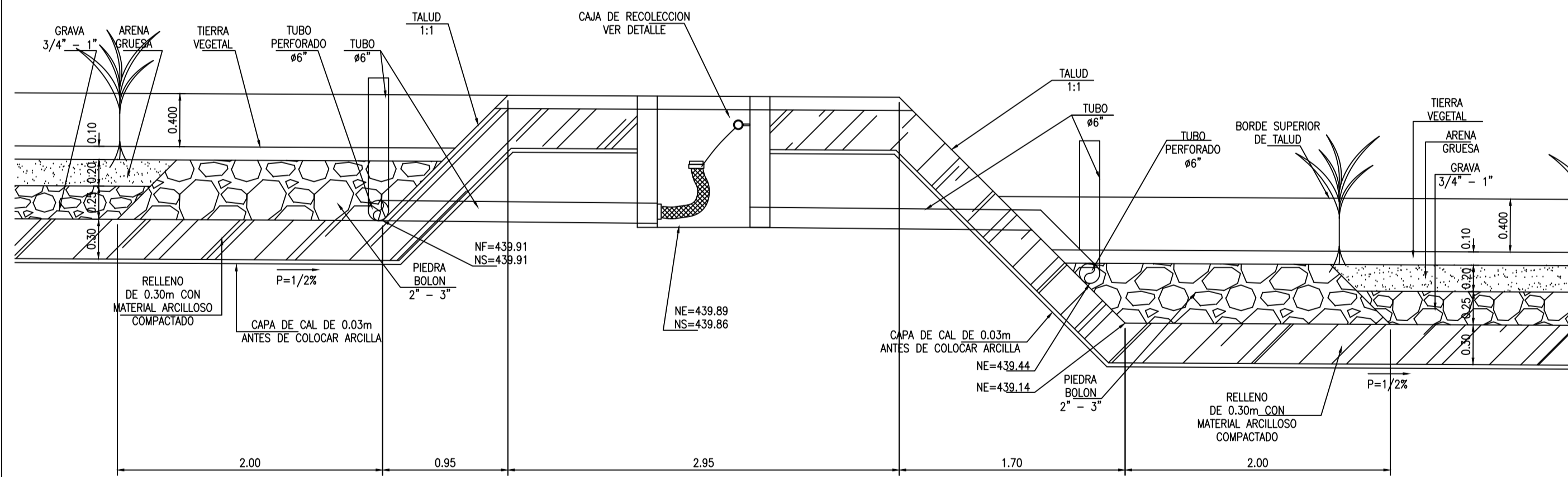
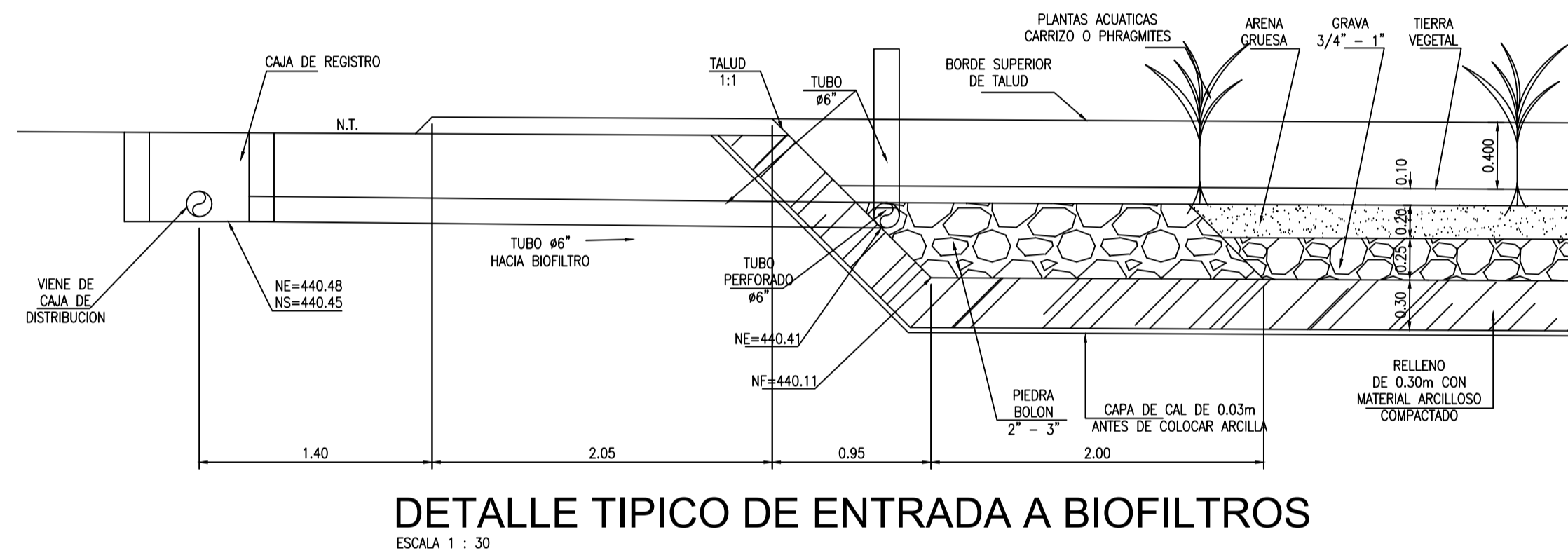
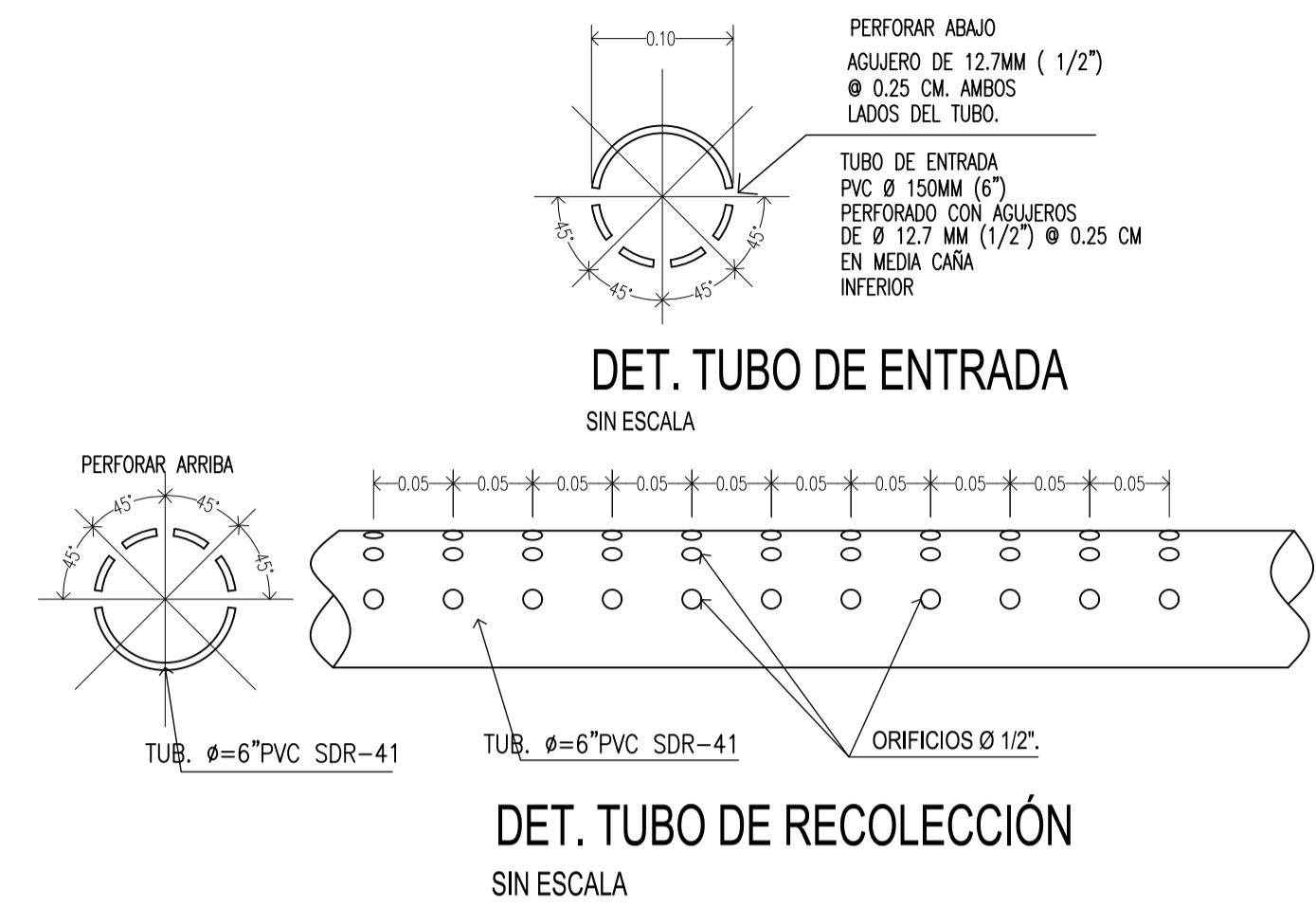
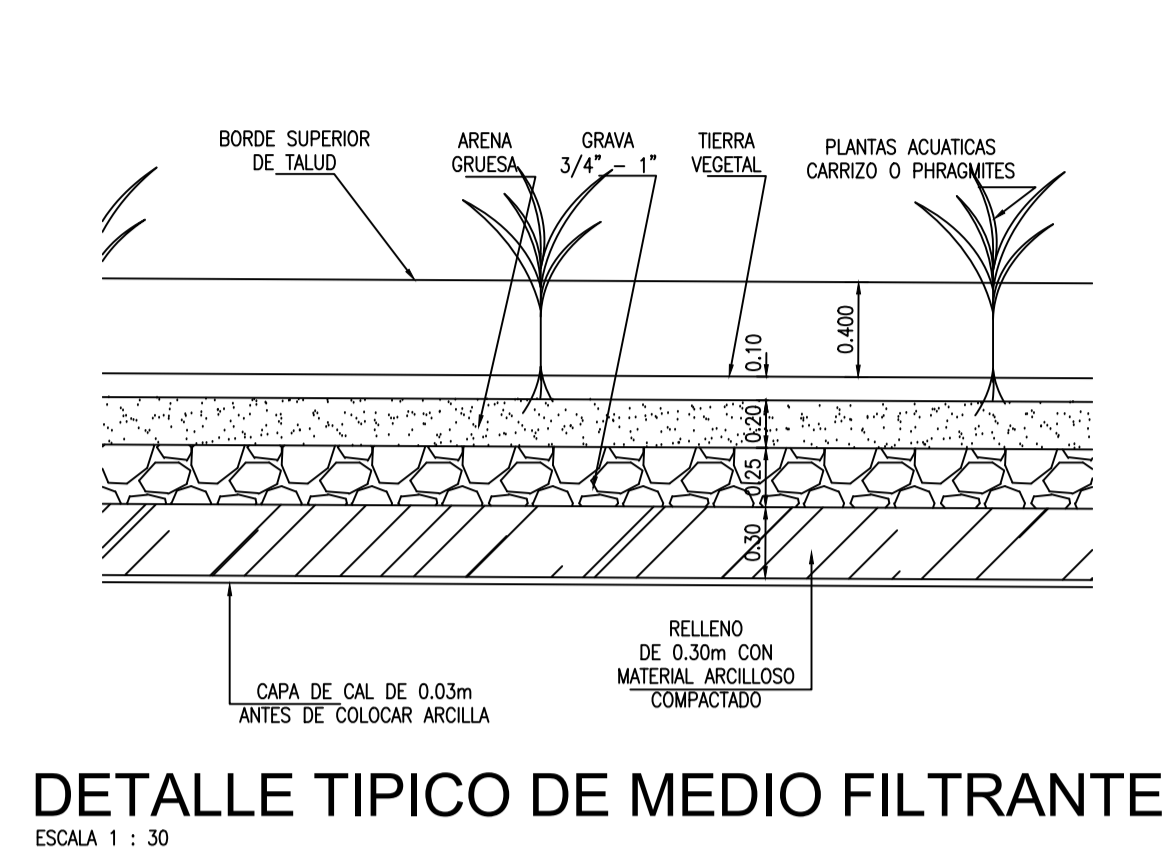
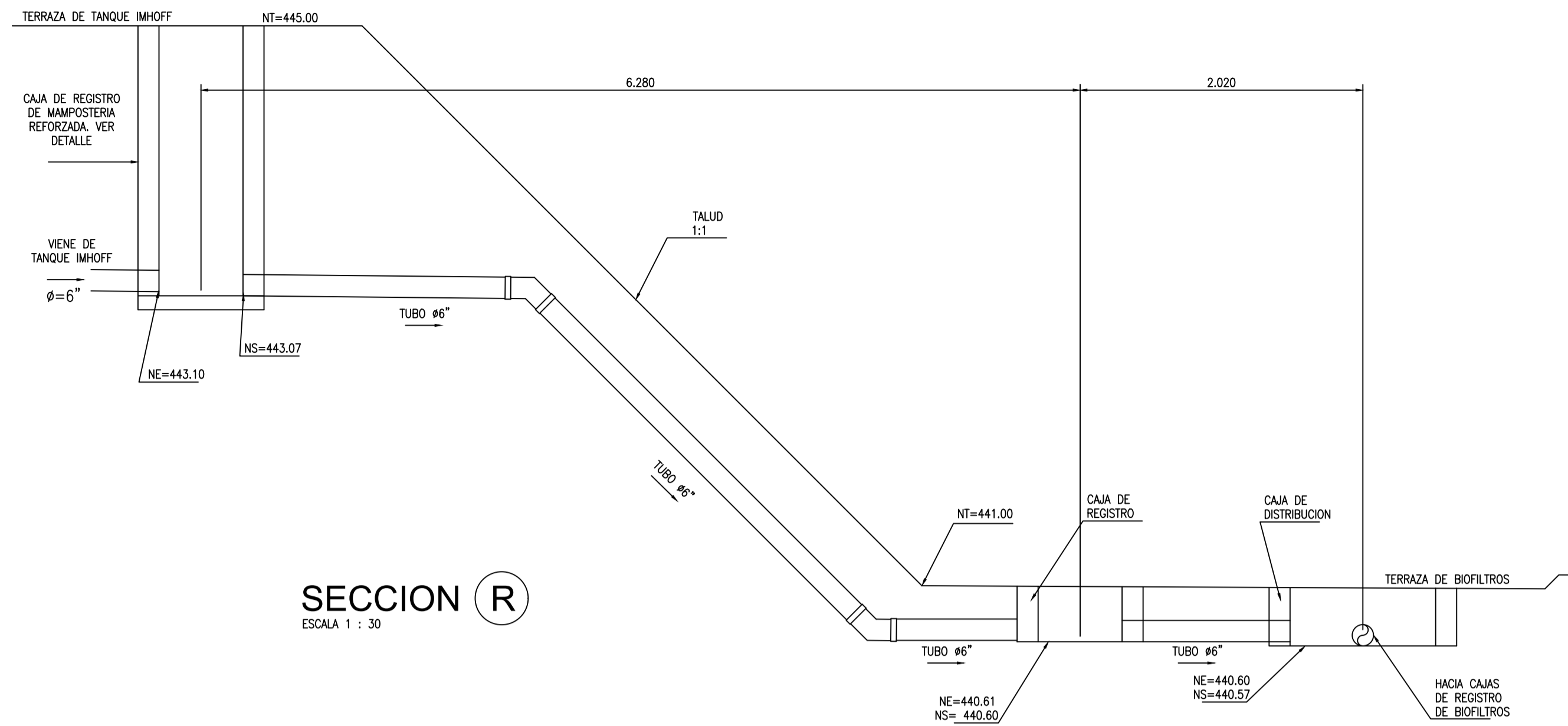
CONTENIDO:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

REFERENCIA:
CHS-PRE-0001

ESCALA:
INDICADA

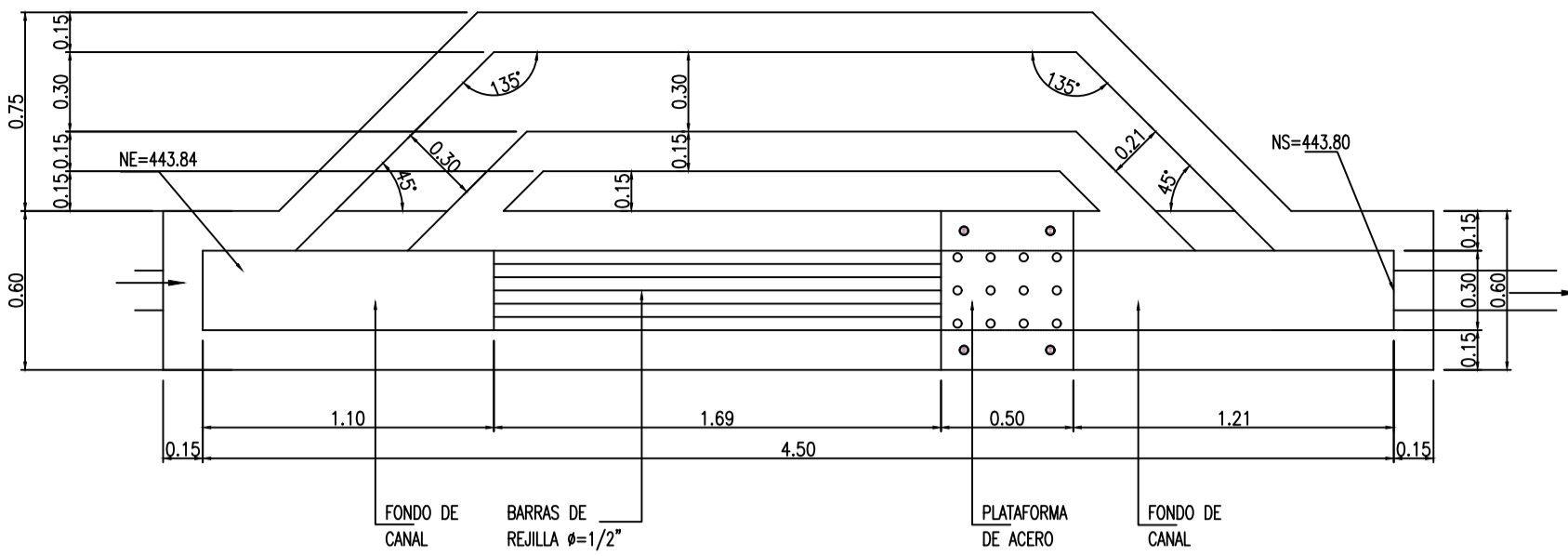
LAMINA:
C-00 DE C-00

FECHA:
DICIEMBRE 2012

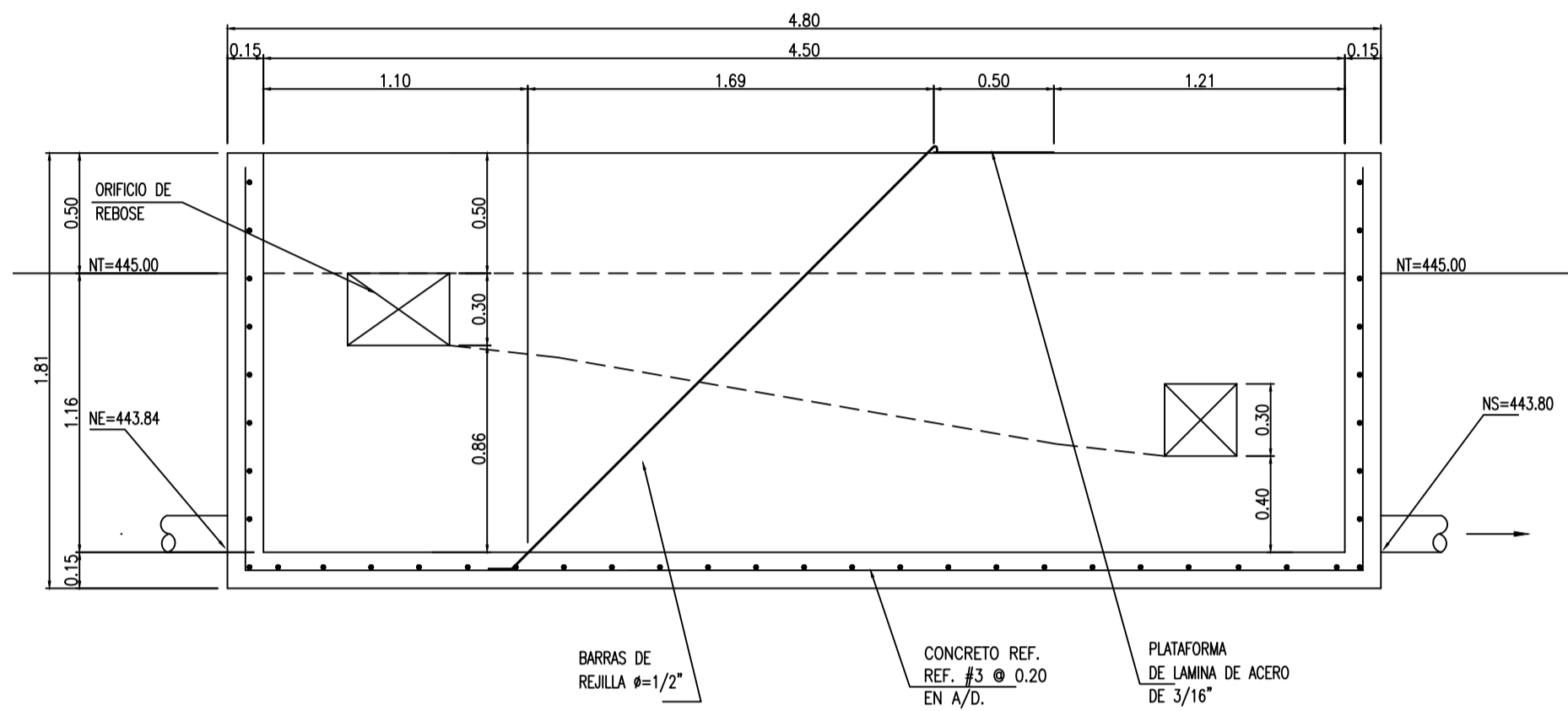


DETALLES TIPICOS DE CAJA DE RECOLECCION EN BIOFILTROS
ESC 1:10

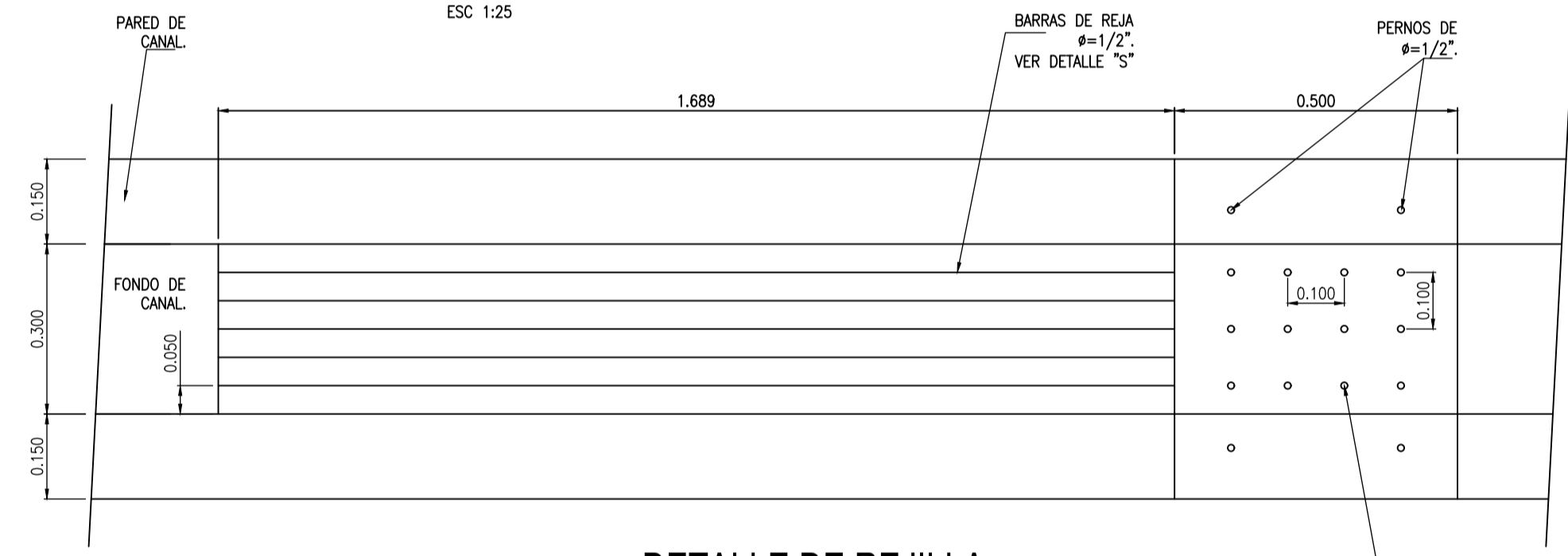
PROYECTO:	CONSTRUCCION DE PARQUE INDUSTRIAL "ZONA FRANCA NIQUINOHOMO"
ELABORADO POR:	ZFN NIQUINOHOMO
DISEÑADORES:	YAOSKA MEZA FEDERICO TRAÑA FONSECA JADER MARTINEZ TATIANA PEREZ WILLIAM A. MOLINA S. LUIS JAVIER MEZA
COORDINADOR:	CONJUNTOS
CONTENIDO:	BIOFILTROS
# REFERENCIA:	CHS-PRE-0001
ESCALA:	INDICADA
LAMINA:	C-00 C-00
CONSECUTIVO:	00 DE 00
FECHA:	DICIEMBRE 2012



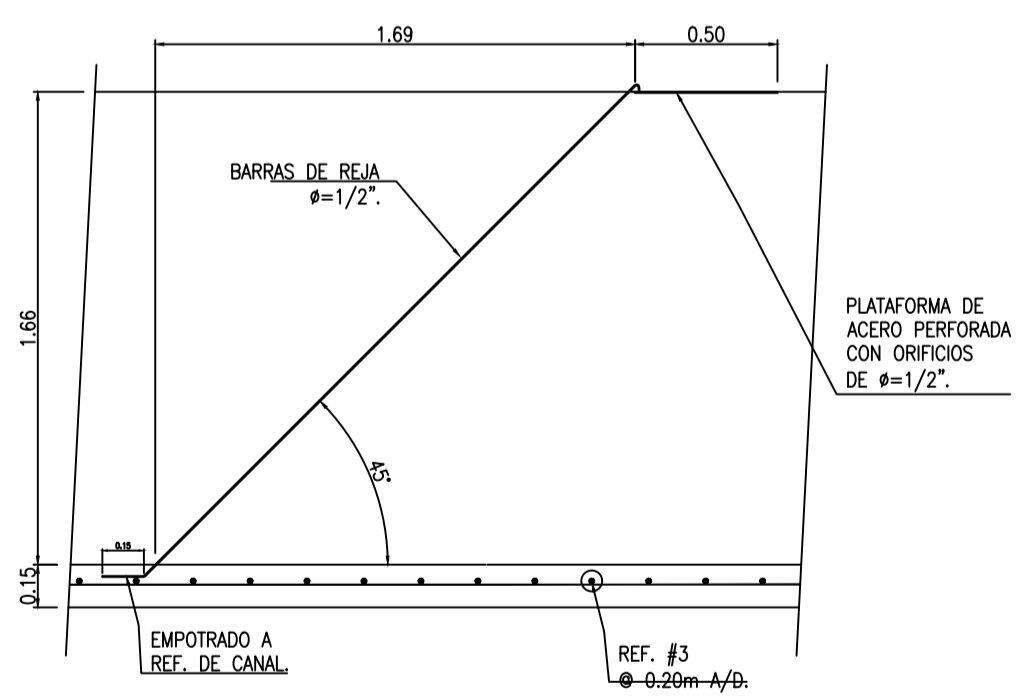
PLANTA DE CANAL CON REJILLA
ESC 1:25



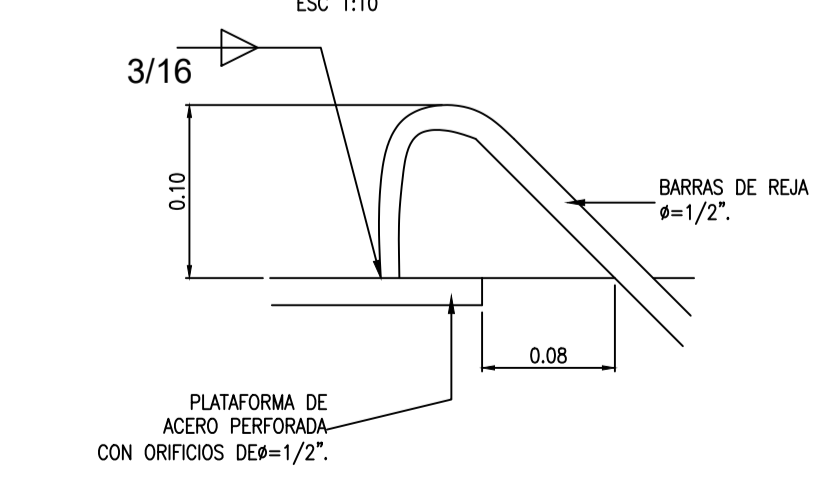
SECCION DE CANAL CON REJILLA
ESC 1:25



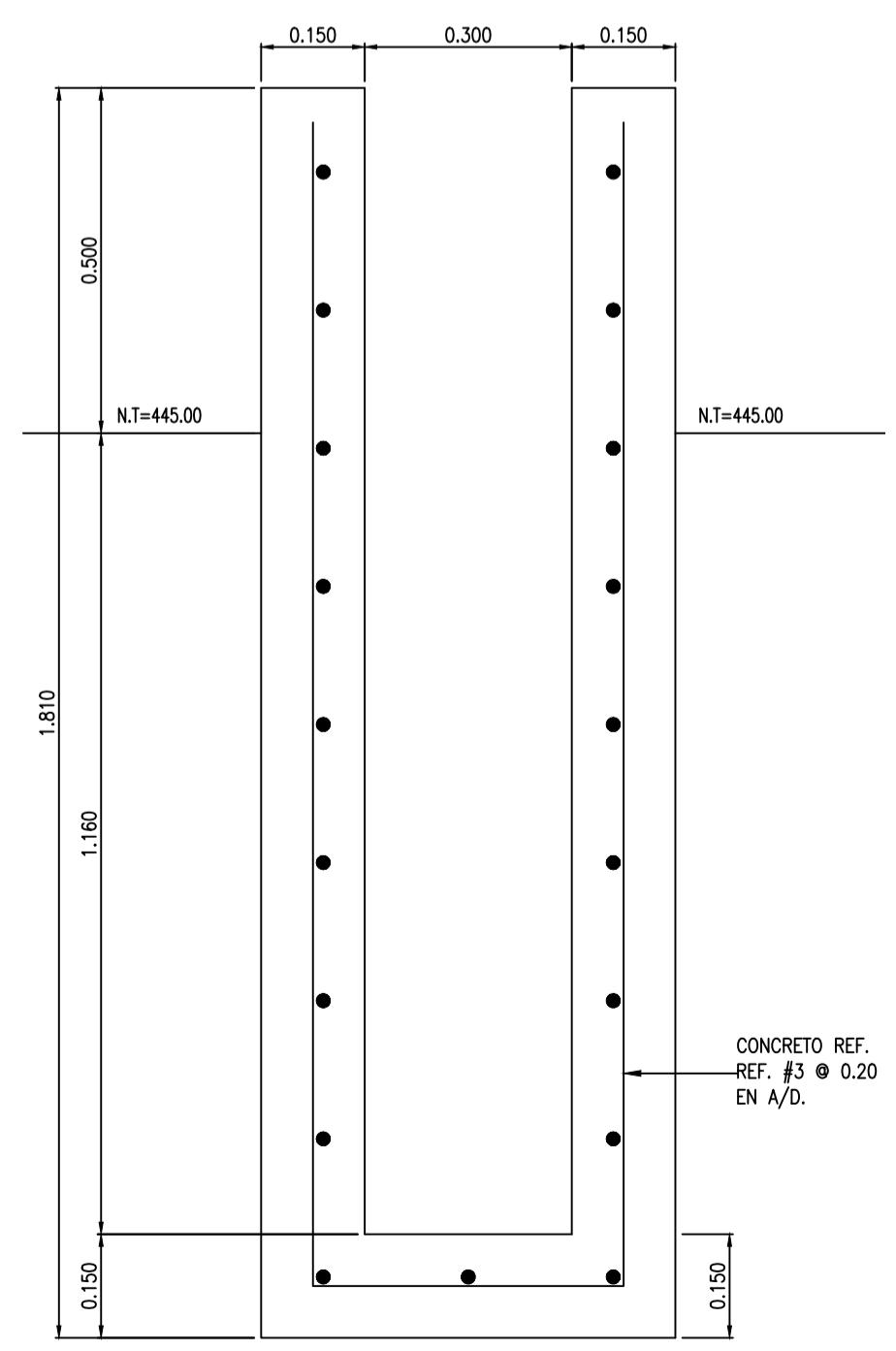
DETALLE DE REJILLA
ESC 1:10



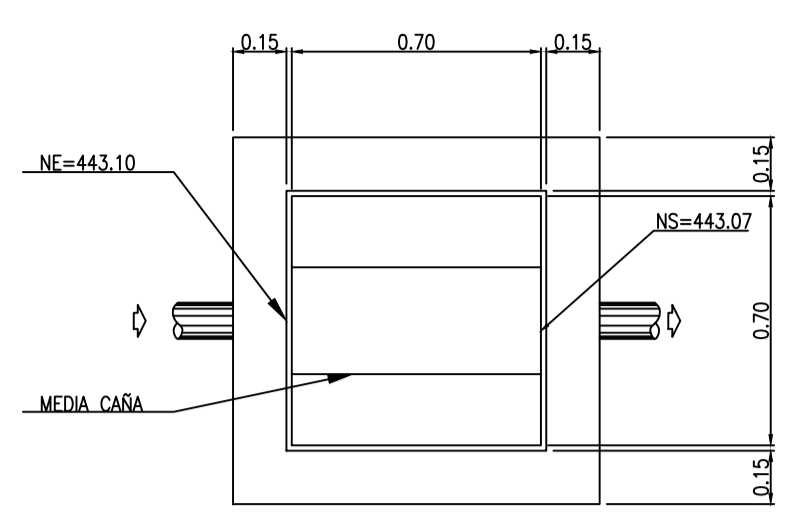
SECCION DE REJILLA
ESC 1:10



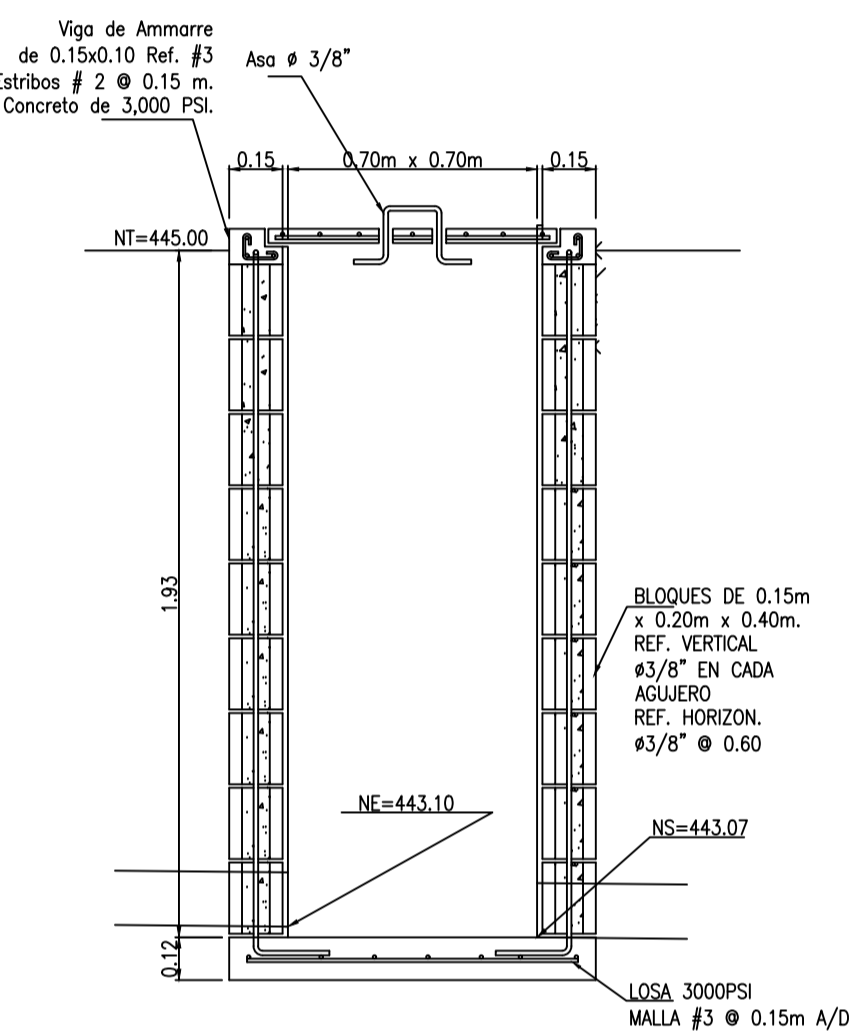
DETALLE "S"
SIN ESCALA



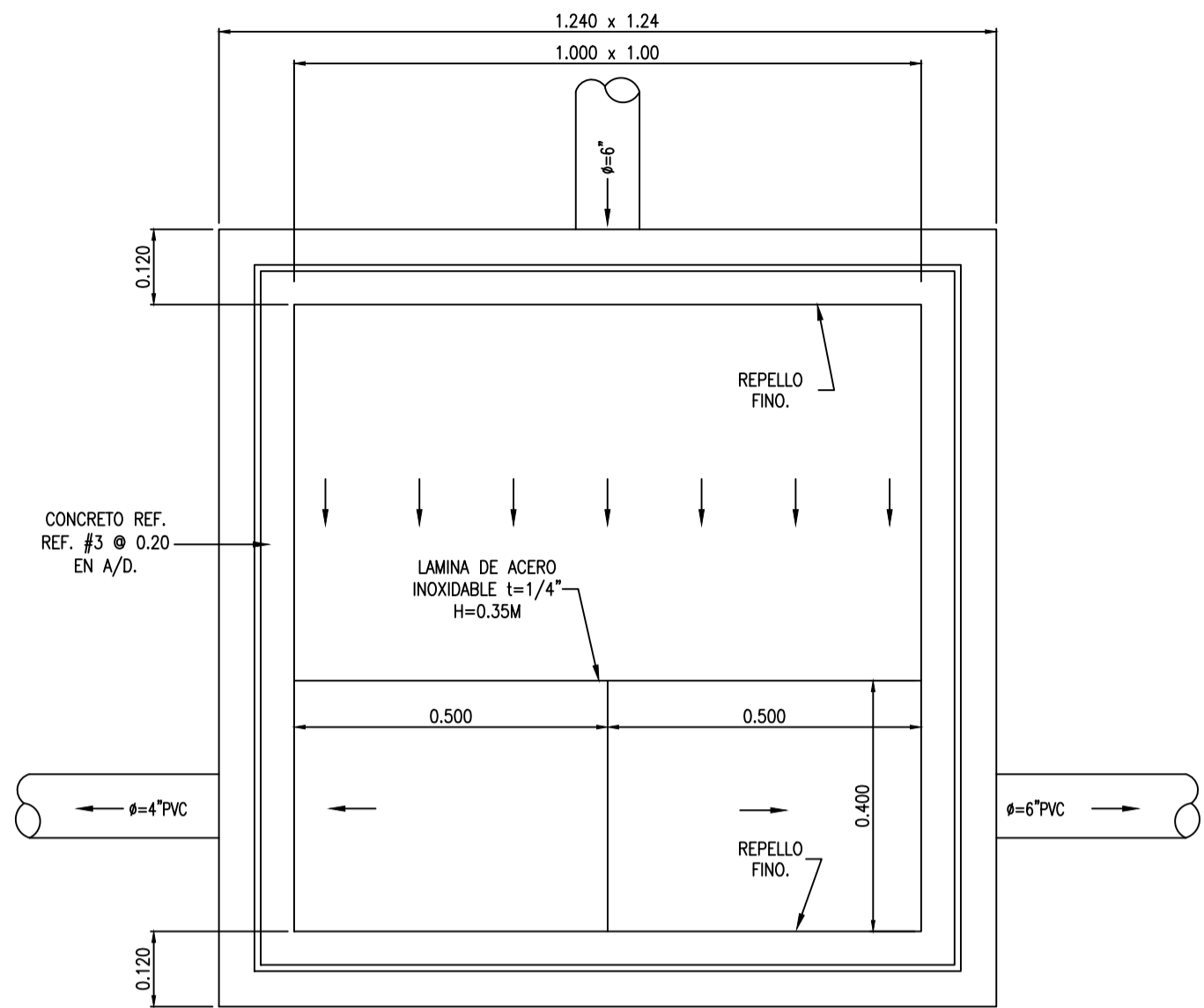
SECCION DE CANAL
ESC 1:10



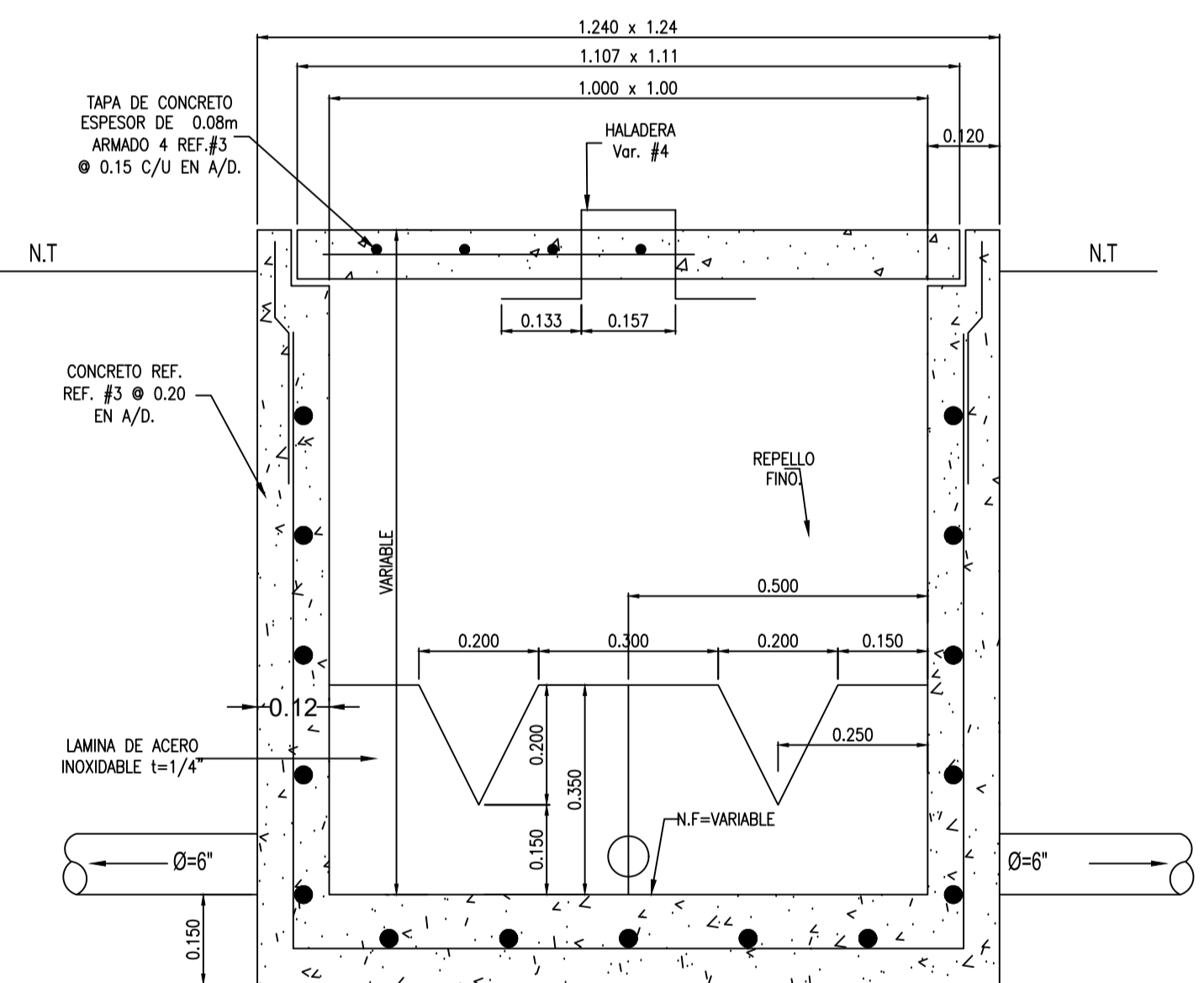
PLANTA DE CAJA DE REGISTRO DE MAMPOSTERIA REFORZADA (SALIDA DE IMHOFF)
ESCALA 1 : 20



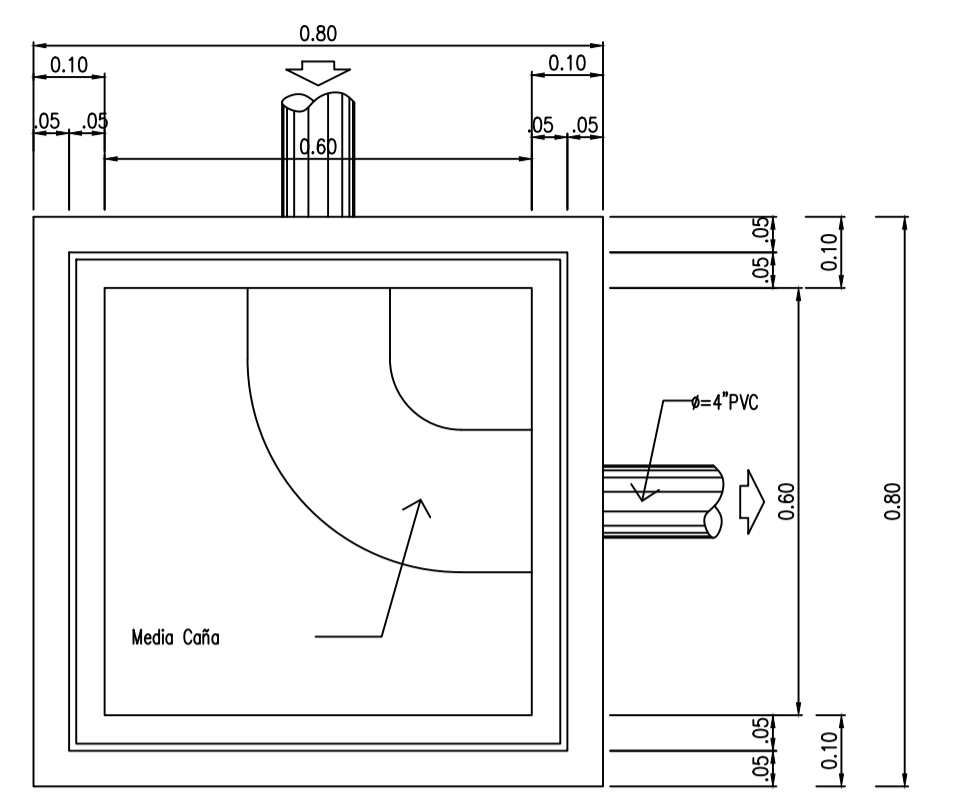
SECCION DE CAJA DE REGISTRO DE MAMPOSTERIA REFORZADA (SALIDA DE IMHOFF)
ESCALA 1 : 20



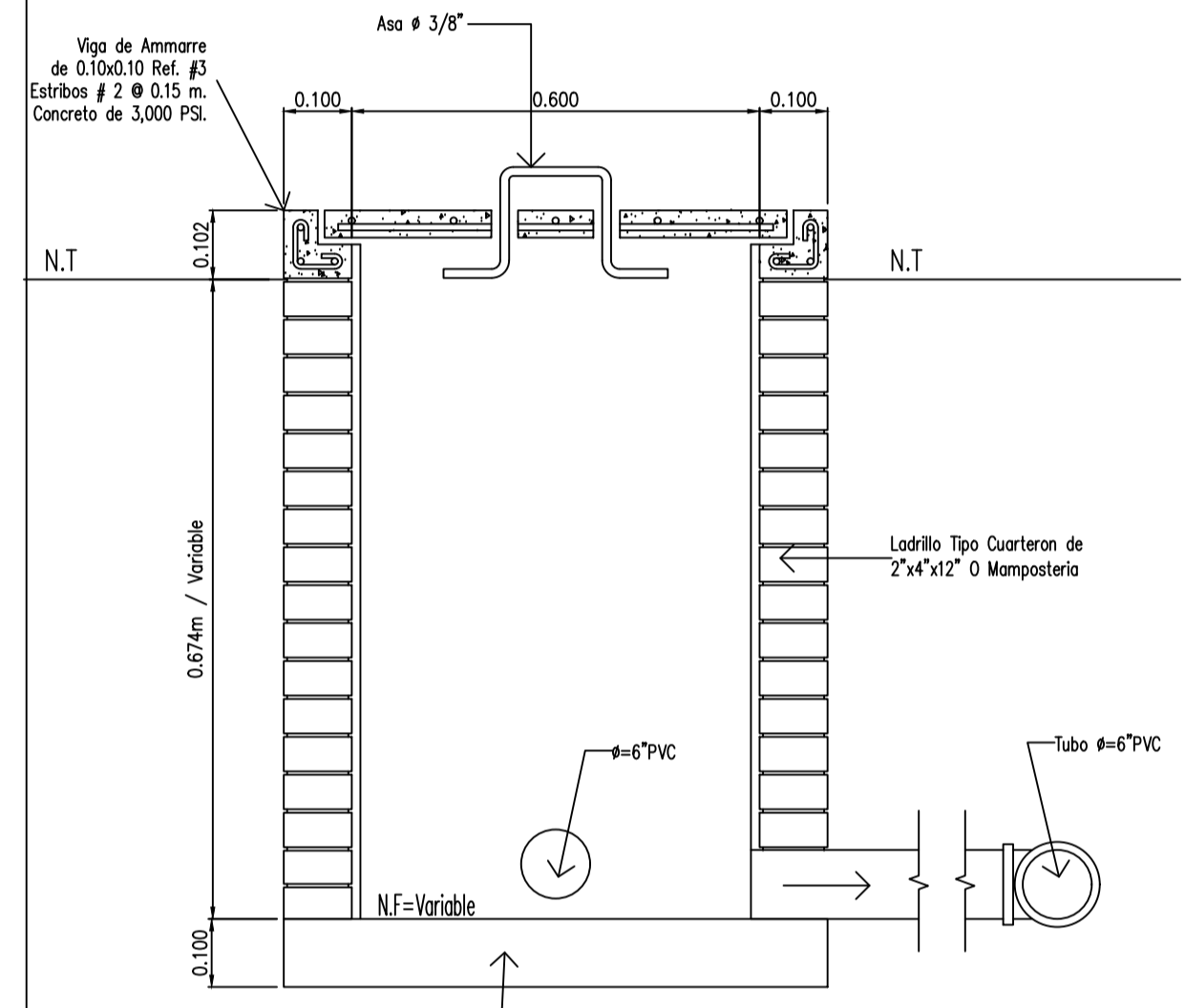
PLANTA DE CAJA DE DISTRIBUCION
ESC 1:10



SECCION DE CAJA DE DISTRIBUCION
ESC 1:10



PLANTA



SECCION

DETALLE TIPICO DE CAJA DE ENTRADA PARA BIOFILTRO 1 Y 2
ESC 1:10

PROYECTO:	
CONSTRUCCION DE PARQUE INDUSTRIAL "ZONA FRANCA NIQUINHOMO"	
ELABORADO POR:	
DISEÑADORES	
ARQUITECTURA:	YAOSKA MEZA
ESTRUCTURA:	FEDERICO TRAÑA FONSECA
ELECTRICIDAD:	JADER MARTINEZ
HIDROSANITARIO:	TATIANA PEREZ
DIBUJO:	WILLIAM A. MOLINA S.
COORDINADOR:	LUIS JAVIER MEZA
ESPECIALIDAD:	CONJUNTOS
CONTENIDO:	BIOFILTROS
# REFERENCIA:	CHS-PRE-0001
ESCALA:	INDICADA
LAMINA	
C-00	C-00
CONSECUTIVO:	00 DE 00
FECHA:	DICIEMBRE 2012

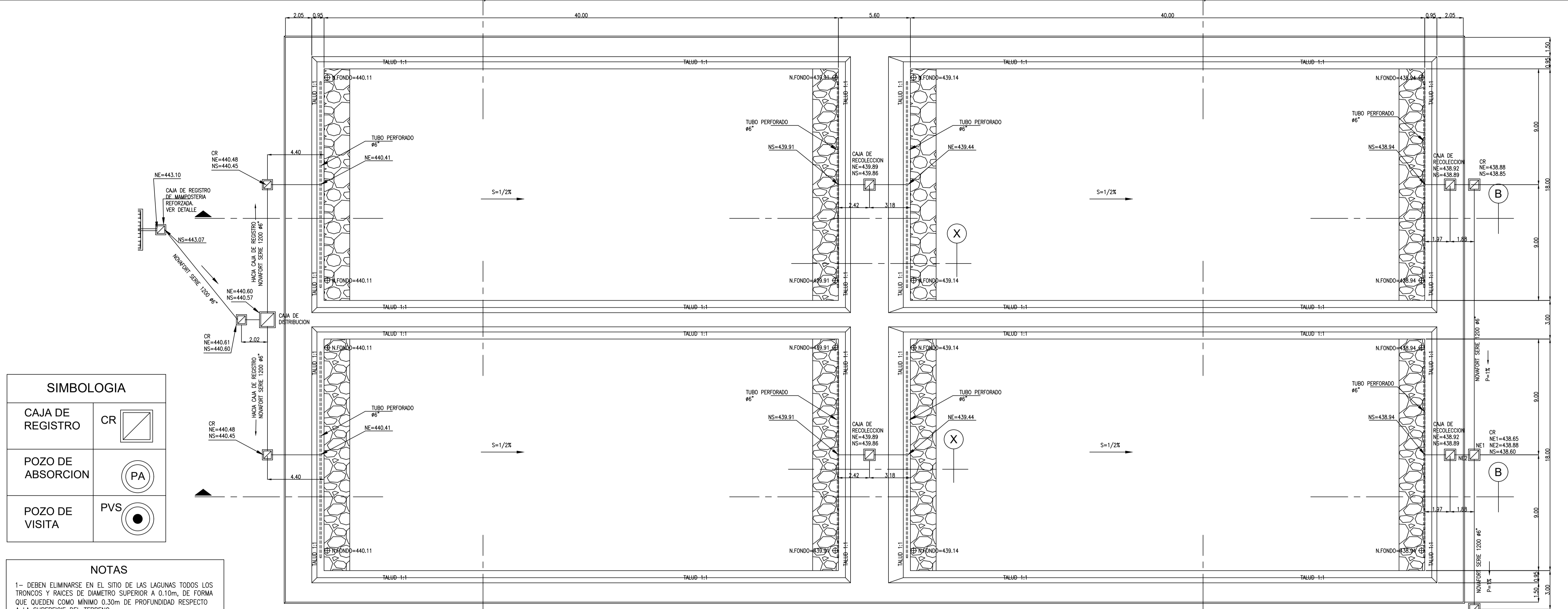


DISEÑADORES

- ARQUITECTURA:
YAOSKA MEZA
- ESTRUCTURA:
FEDERICO TRAÑA FONSECA
- ELECTRICIDAD:
JADER MARTINEZ
- HIOSANITARIO:
TATIANA PEREZ
- DIBUJO:
WILLIAM A. MOLINA S.
- COORDINADOR:
LUIS JAVIER MEZA
- ESPECIALIDAD:
CONJUNTOS
- CONTENIDO:

BIOFILTROS

- # REFERENCIA
CHS-PRE-0005
- ESCALA:
INDICADA
- LAMINA
C-00 C-00
- CONSECUTIVO:
00 DE 00
- FECHA:
DICIEMBRE 2012



SIMBOLOGIA

CAJA DE REGISTRO	CR	
POZO DE ABSORCION	PA	
POZO DE VISITA	PVS	

NOTAS

1- DEBEN ELIMINARSE EN EL SITIO DE LAS LAGUNAS TODOS LOS TRONCOS Y RAICES DE DIAMETRO SUPERIOR A 0.10m, DE FORMA QUE QUEDEN COMO MÍNIMO 0.30m DE PROFUNDIDAD RESPECTO A LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

2- DEBE DE IMPERMEABILIZARSE EL FONDO Y LOS TALUDES CON 0.30m DE ARCILLA EN CAPAS DE 5 A 6 CENTIMETROS DE ESPESOR. ANTES DE INICIAR LA COLOCACION DE ARCILLA DEBERA COLOCARSE UNA CAPA DE 3 CENTIMETROS DE CAL PARA SEPARAR EL TERRENO NATURAL DE LA CAPA DE ARCILLA.

