



POSGRADOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN DISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS, HIDRÁULICOS Y TÉRMICOS

RPC-SO-24-NO.540-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA
DESARENADOR PARA RETENCIÓN
DE SEDIMENTO EN LA CISTERNA
DEL SISTEMA DE AGUA DE
ENFRIAMIENTO DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA ALAZÁN

AUTOR

DANIEL ALEJANDRO REINOSO ZHINDÓN

DIRECTOR:

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

CUENCA – ECUADOR

2023



Autor:**Daniel Alejandro Reinoso Zhindón**

Ingeniero Mecánico.

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño De Sistemas Mecánicos, Hidráulicos Y Térmicos por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

daniel-r09@hotmail.com

Dirigido por:**Nelson Gustavo Jara Cobos**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Ingeniería.

Doctor en Ingeniería

njara@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

DANIEL ALEJANDRO REINOSO ZHINDÓN

Diseño de un sistema desarenador para retención de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la central hidroeléctrica Alazán

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico:

A Dios, por haberme dado la oportunidad de crecer como ser humano y superar mis conocimientos académicos y laborales.

A mis queridos padres Susana y Johnny, quienes con su amor y apoyo constante me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más en mi vida. De igual manera a mis hermanos Cristina, Esteban y José por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primera instancia a mi Poder Superior, quien ha sabido interceder en mi toma de decisiones brindándome serenidad, valor y sabiduría.

A toda mi familia, quienes han sido en mi vida una guía de preparación personal, religiosa, académica y laboral.

A la Unidad de Negocio Hidroazogues perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC-EP), por haberme permitido desarrollar este proyecto de estudio dentro de las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Alazán, lo que me permitió un extenso aprendizaje.

Al M.Sc. Santiago Díaz Navas (Jefe de central) y al Ing. Raúl Neira González (Supervisor de operación), quienes me brindaron la oportunidad para desarrollar el presente proyecto. De igual manera al Ing. Hugo Dután Amay (Jefe de equipamiento mecánico), por haber sido mi orientador de trabajo.

A mi tutor Ph.D. Nelson Jara Cobos, por dirigir este proyecto con intelecto y bondad.

Al M.Sc. Freddy Moncayo Matute, por la asistencia brindada ante las dudas que surgieron en el proyecto.

A mi enamorada Samantha, quien día a día con su amor me motiva a cumplir todo lo que me proponga.

Mi agradecimiento eterno con todos, Daniel Alejandro.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	12
Abstract	13
1. Introducción	14
2. Determinación del Problema.....	15
2.1. Problema general.....	16
2.2. Problemas específicos.....	16
3. Marco teórico referencial.....	17
3.1. Energía hidroeléctrica	17
3.2. Canales, túneles y tuberías	17
3.3. Desarenador.....	18
3.4. Consideraciones para diseño de un desarenador	19
3.4.1. Geometría.....	19
3.4.2. Velocidad mínima del agua	19
3.4.3. Número.....	20
3.4.4. Tasa de desbordamiento superficial	20
3.4.5. Tiempo de retención hidráulico	20
3.5. Desgaste.....	20
3.5.1. Desgaste abrasivo en bombas hidráulicas	21
3.5.2. Efectos abrasivos de los sedimentos en los impulsores de bombas utilizadas para la captación de agua cruda	21
3.6. Agua de enfriamiento	22
3.7. Pozo profundo o cisterna en una central hidroeléctrica	23
3.7.1. Bombas de pozo profundo	24
3.8. Generador síncrono	25
3.9. Fuentes de agua.....	25
3.10. Turbiedad	26
3.11. Mantenimiento predictivo	26
3.12. Sistema SCADA de control.....	27
3.13. Bomba de achique.....	27
3.14. SolidWorks como software de modelado y análisis CFD	28
4. Materiales y metodología.....	29

4.1.	Obtención de planos, parámetros y condiciones actuales del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán.	29
4.1.1.	Revisión de planos generales y específicos del SAE	29
4.1.2.	Funcionamiento del SAE	30
4.1.3.	Diseño actual de la cisterna del sae.....	31
4.1.4.	Estudio de parámetros del sistema	32
4.1.5.	Modelos matemáticos en CFD, utilizado en el análisis del comportamiento del fluido del sistema.	34
4.1.6.	Reportes de fallo del sistema.....	38
4.2.	Sistemas de retención de sedimentos para sistemas de agua de enfriamiento de centrales hidroeléctricas y su efecto erosivo en los componentes.	39
4.2.1.	Técnicas de retención de sedimentos.	40
4.2.2.	Estudio sedimentológico en la cisterna.	42
4.2.3.	Estudio numérico computacional de los modelos turbulentos y DPM.	43
4.2.4.	Modelos numéricos de fluidos computacionales adaptados con modelos empíricos	45
4.2.5.	Modelos para flujos multifásicos, modelo Euler-Lagrange	46
4.2.6.	Dimensiones generales del tanque a realizar el análisis de dominio ...	47
4.2.7.	Causas principales del paso de sedimento	48
4.3.	Análisis computacional del sistema desarenador actual para visualizar las recirculaciones del tanque y proponer un nuevo sistema de retención de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán.....	49
4.3.1.	Condiciones frontera del tanque del SAE	50
4.4.	Propuesta de un diseño computacional del sistema desarenador actual que posibilite una mayor retención de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán	57
4.5.	Factibilidad técnica y económica del diseño.....	59
5	Resultados y discusión.....	61
5.1.	Resultado del análisis sedimentológico en la cisterna del SAE.....	70
6.	Recomendaciones y discusión	722
7.	Conclusiones.....	733
8.	Referencias	744
9.	Anexos	766

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Represa de Itaipú Brasil. Fuente: Tomado de Google, 2022.	17
Figura 2. Tuberías para centrales hidroeléctricas. Fuente: Tomado de Google, 2022....	18
Figura 3. Desarenador de captación de la Central Hidroeléctrica Alazán. Fuente: Autor, 2022.	18
Figura 4. Descripción esquemática de los principales mecanismos de desgaste. Fuente: Tomado de Google, 2022.	21
Figura 5. Efecto abrasivo en un impulsor de bomba. Fuente: Tomado de Google, 2022.	22
Figura 6. Dinámica del agua de enfriamiento dentro de un intercambiador de calor. Fuente: Tomado de Google, 2022.	23
Figura 7. Cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán. Fuente: Autor, 2022.	23
Figura 8. Características de una bomba de turbina vertical VTP. Fuente: Manual bomba SAE central Alazán, 2013.	24
Figura 9. Generador síncrono de una central hidroeléctrica. Fuente: Autor, 2022.	25
Figura 10. Fuentes de agua. Fuente: Autor, 2022.	26
Figura 11. Muestras de calidad de agua en NTU. Fuente: Tomado de Google, 2022.	26
Figura 12. Sala de supervisión, control y adquisición mediante SCADA. Fuente: Autor, 2022.	27
Figura 13. Bomba sumergible GRINDEX. Fuente: Tomado de Google, 2022.	28
Figura 14. Software SolidWorks. Fuente: Tomado de Google, 2022.	28
Figura 15. Partes del SAE. Fuente: Autor, 2022.	30
Figura 16. Cimiento actual de la cisterna. Fuente: Autor, 2022.	31
Figura 17. Flujo de trabajo para el análisis DPM. Fuente: Ansys Workbench, 2022.	34
<i>Figura 18. Entrada por superficie de la condición inlet. Fuente: Autor, 2022.</i>	<i>36</i>
Figura 19. Tipos de entradas inlet para el sistema a estudiar. Fuente: Tomado de Google, 2022.	36

Figura 20. Tipos de erosión en las superficies. Fuente: Tomado de Google, 2022.	37
Figura 21. Procedimiento de cálculo de partículas. Fuente: Tomado de Google, 2022.)	37
Figura 22. DPM Calculation – Steady Flow in application Process. Fuente: Tomado de Google, 2022.....	40
Figura 23. Dragado en embalse. Fuente: Tomado de Google, 2022.....	40
Figura 24. Reforestación represa Paute. Fuente: Tomado de Google, 2022.	41
Figura 25. Agricultura en las cuencas de los ríos. Fuente: Tomado de Google, 2022.....	41
Figura 26. Presa de retención. Fuente: Tomado de Google, 2022.....	42
Figura 27. Esquema de simulación Ansys Fluent. Fuente: Autor, 2022.	44
Figura 28. Modelo simplificado del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.	49
Figura 29. Visualización del dominio de análisis del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022. .	50
Figura 30. Visualización del dominio de entrada del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022. .	53
Figura 31. Visualización del dominio de salida del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022. ...	53
Figura 32. Visualización del name selection de entrada como inlet_fluid del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.....	54
Figura 33. Visualización del name selection de salida como outlet_fluid del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.....	54
Figura 34. Visualización del name selection de pared como wall_fluid y domain_fluid del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.....	55
Figura 35. Preestablecimiento del fluent. Fuente: Autor, 2022.....	56
Figura 36. Condiciones de flujo turbulento. Fuente: Autor, 2022.	56
Figura 37. Nueva propuesta del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.....	57
Figura 38. Nueva propuesta del tanque SAE. Lateral 1, dique y descarga de tubería principal descarga a cámara 2. Fuente: Autor, 2022.	58
Figura 39. Nueva propuesta del tanque SAE. Tuberías de descarga. Fuente: Autor, 2022.	58
Figura 40. Nueva propuesta del tanque SAE. Dique y descarga de tubería principal a cámara 2. Configuración de las tuberías y condición de simulación. Fuente: Autor, 2022.	59
Figura 41. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases, viscosidad de Eddy. Fuente: Autor, 2022.	611

Figura 42. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases, líneas rojas acumulación del 35 %, viscosidad de Eddy. Fuente: Autor, 2022.....	622
Figura 43. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases de recirculación. Fuente: Autor, 2022.	622
Figura 44. Contorno de velocidades en el volumen plano 1. Fuente: Autor, 2022.....	633
Figura 45. Energía turbulenta cinética del sistema plano 1. Fuente: Autor, 2022.	633
Figura 46. Mallado de la fase 1 de la cisterna del SAE. Fuente: Autor, 2022.	644
Figura 47. Fronteras de la propuesta en la fase 1 del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.	655
Figura 48. Mallado de la fase 2 de la cisterna del SAE. Fuente: Autor, 2022.	655
Figura 49. Fronteras de la propuesta en la fase 2 del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.	666
Figura 50. Movimiento sedimentario en la base de la cisterna. Fuente: Autor, 2022.	666
Figura 51. Sedimento suspendido en la entrada de la bomba. Fuente: Autor, 2022....	677
Figura 52. Convergencia de las fronteras de la nueva propuesta del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.	677
Figura 53. Velocidad de las partículas. Fuente: Autor, 2022.....	688
Figura 54. Movimiento de las partículas. Fuente: Autor, 2022.	699
Figura 55. Nivel de captación de partículas. Fuente: Autor, 2022.	699
Figura 56. Condición gravitatoria. Fuente: Autor, 2022.....	699

TABLAS

Tabla 1. Geometría recomendada para desarenadores rectangulares. Fuente: Freire Castelo, 2014.	19
Tabla 2. Parámetros del sistema actual del SAE. Fuente: Autor, 2022.	33
Tabla 3. Sistema de lubricación del SAE. Fuente: Autor, 2022.....	33
Tabla 4. Alternativas de pretratamiento de acuerdo con la calidad del agua. Fuente: OPS Guía desarenadores y sedimentadores.pdf, s. f., 2005.	42
Tabla 5. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación. Fuente: OPS Guía desarenadores y sedimentadores.pdf, s. f., 2005.	43
Tabla 6. Modelos empíricos computacionales. Fuente: Autor, 2022.....	46
Tabla 7. Medidas de la cisterna con agua. Fuente: Autor, 2022.	48
Tabla 8. Datos del análisis de sensibilidad de malla. Fuente: Autor, 2022.....	51
Tabla 9. Condiciones de borde del sistema del tanque. Fuente: Autor, 2022.	55
Tabla 10. Análisis sedimentológicos de la cisterna. Fuente: ETAPA, 2022.....	711

DISEÑO DE UN
SISTEMA
DESARENADOR PARA
RETENCIÓN DE
SEDIMENTO EN LA
CISTERNA DEL SISTEMA
DE AGUA DE
ENFRIAMIENTO DE LA
CENTRAL
HIDROELÉCTRICA
ALAZÁN

AUTOR:

DANIEL ALEJANDRO REINOSO ZHINDÓN

RESUMEN

En los procesos industriales del transporte de fluidos líquidos es importante hacer el control de partículas sólidas, sobre todo en aquellos fluidos que son tomados desde desembocaduras, ríos, canales o aguas tratadas, ya que el alto nivel de partículas sólidas y en algunas ocasiones hasta desperdicios orgánicos ocasionan daños permanentes en los equipos, bombas, accesorios, válvulas y más elementos que componen el sistema de transporte de dicho fluido. Por las grandes velocidades que adquiere el fluido transportado, presenta problemas graves de erosión, acumulación de sedimentos, y taponamiento de tuberías de diámetros pequeños, por ende, es de gran interés industrial poder controlar dichas condiciones naturales y estocásticas, mediante nuevos diseños de sistemas de captación y desarenadores óptimos, que puedan ser validados mediante la dinámica de fluidos computacional para disminuir los riesgos en el diseño y asegurar una implementación con éxito.

En este sentido, el presente estudio se enfoca en el análisis del tanque de recolección de agua del sistema de agua de enfriamiento – SAE de la Central hidroeléctrica Alazán de propiedad de la empresa pública Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC, a fin de establecer una propuesta de diseño factible que posibilite disminuir la cantidad de sedimentos que en la actualidad está generando problemas en los equipos y componentes del SAE interno.

Palabras clave: Sistema de agua de enfriamiento – Dinámica de Fluidos Computacional – Desarenadores – Transporte de fluidos.

ABSTRACT

In industrial processes for the transport of liquid fluids, it is important to control solid particles, especially in those fluids that are taken from mouths, rivers, canals or treated water, since the high level of solid particles and sometimes even waste Organics cause permanent damage to the equipment, pumps, accessories, valves and more elements that make up the transport system of said fluid. Due to the high speeds that the transported fluid acquires, it presents serious problems of erosion, sediment accumulation, and clogging of small diameter pipes, therefore, it is of great industrial interest to be able to control said natural and stochastic conditions, through new designs of optimal capture and desanders, which can be validated through computational fluid dynamics to reduce design risks and ensure successful implementation.

In this sense, the present study focuses on the analysis of the water collection tank of the cooling water system - SAE of the Alazán hydroelectric power plant owned by the public company Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC, in order to establish a proposal for feasible design that makes it possible to reduce the amount of sediment that is currently causing problems in the equipment and components of the internal SAE.

Keywords: Cooling water system – Computational Fluid Dynamics – Sand traps – Fluid transport.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía interna, así como la necesidad del uso de fuentes inagotables y de menor impacto al medioambiente (energía limpia), hace que la sociedad busque soluciones ambientalmente correctas; por ello, la necesidad de dirigir la matriz energética del país a fuentes inagotables (energías renovables), conscientes de un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, como por ejemplo los proyectos hidráulicos.

Esta creciente demanda implica que se requiera cubrir esta necesidad con una oferta de energía limpia como son los proyectos hidroeléctricos, demandando mayor generación de infraestructura que pueda crecer al mismo ritmo de la demanda, con mayor competitividad, responsabilidad social y respeto al medio ambiente; es decir, proyectos sostenibles en el tiempo.

Los impactos ambientales producto de los proyectos hidroeléctricos tienen características particulares de acuerdo a la ingeniería y ubicación de cada proyecto (cada río presenta características hidrológicas específicas); por ello, surge la necesidad de implementar herramientas que faciliten la toma de decisiones a la hora de establecer medidas preventivas y correctivas a los impactos ambientales (Pérez, s. f.).

El paso de sedimento provoca que algunos sistemas de una central hidroeléctrica se encuentren expuestos a diferentes fenómenos. Un ejemplo, las bombas de pozo profundo son equipos clave dentro de un proceso industrial o energético, debido a su alta eficiencia, amplio rendimiento y operación estable.

Por este motivo, es importante plantear sistemas de diseño mecánico que eviten el paso de estos sólidos suspendidos y garanticen un mejor funcionamiento en la unidad de generación, brindando un mayor porcentaje de confiabilidad operacional.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El agua utilizada en un proceso de generación eléctrica es un recurso aprovechado de los afluentes, donde mediante una red de canales, desarenadores y tuberías de conducción es transportada técnicamente, evitando que elementos sólidos como gravas, restos de vegetación o sedimento sigan su curso. La turbulencia del agua provoca una mezcla con el sedimento y se convierte en un material abrasivo dificultando daños en tuberías de transporte, componentes y accesorios hidráulicos (MUÑOZ SEPÚLVEDA, 2018).

Este fenómeno se conoce como desgaste abrasivo, y por esta razón, se ha venido ampliando un marco de estudio para el análisis e implementación de sistemas de control que detengan el paso de sedimento a sistemas hidráulicos de centrales hidroeléctricas (Alsina Quintero, 2019).

Debido a lo precedente, la Central Hidroeléctrica Alazán desde el inicio de su funcionamiento ha venido presentando una acumulación de sedimentos en el pozo del sistema de agua de enfriamiento. Este material que ingresa a las bombas de pozo profundo ha provocado desgaste y deterioro en los componentes del sistema, por lo que es indispensable controlar el paso de sedimento de forma preventiva para garantizar una confiabilidad operacional de la unidad de generación.

Basándose en esta problemática, se analizarán planos y el historial de reportes de fallo para diagnosticar las condiciones actuales y proponer un diseño que disminuya la acumulación de sedimento, evitando daños en las bombas y suministre la adecuada transferencia de calor para el enfriamiento del generador y circuitos de lubricación (Loayza Montalván & Morocho Navas, 2019).

2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Se puede evitar la excesiva acumulación de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán mediante un sistema desarenador?

2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

a. ¿Es posible obtener planos, parámetros y condiciones actuales del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán?

b. ¿Existe información de sistemas de retención de sedimentos para sistemas de agua de enfriamiento de centrales hidroeléctricas y su efecto erosivo en los componentes?

c. ¿Se puede diseñar un sistema desarenador que posibilite la retención de sedimento en la cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán y que permita un desalojo eficiente en intervenciones de mantenimiento?

d. ¿Es factible técnica y económicamente el sistema desarenador diseñado?

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación, se presenta de manera detallada y organizada cada uno de los conceptos y teorías en la que se sustenta el presente proyecto de titulación para el desarrollo de objetivos, la determinación del problema, la adecuada interpretación de los resultados y la elaboración de conclusiones y recomendaciones.

3.1. ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La generación de energía hidroeléctrica es uno de los tipos más importantes de energía renovable que aporta el 70% de la producción total, pero al mismo tiempo requiere una inversión inicial sustancial, una gestión rigurosa y un mantenimiento (Noon & Kim, 2021).



Figura 1. Represa de Itaipú Brasil. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.2. CANALES, TÚNELES Y TUBERÍAS

Según el tipo de central se necesita una red mayor o menor de conducciones. Las instalaciones situadas a pie de presa no tienen cámara de carga (es el propio embalse), al contrario que las centrales en derivación donde el agua tiene que hacer un recorrido más largo: primero desde la toma a la cámara de carga, y después hasta la turbina. El primer tramo que recorre el agua se realiza a través de canales, túneles o tuberías. En el segundo tramo hasta la turbina, se utilizan siempre tuberías. Los canales que transportan el agua de la toma a la cámara de carga pueden realizarse

cielo abierto, enterrados o en conducción a presión (Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017).

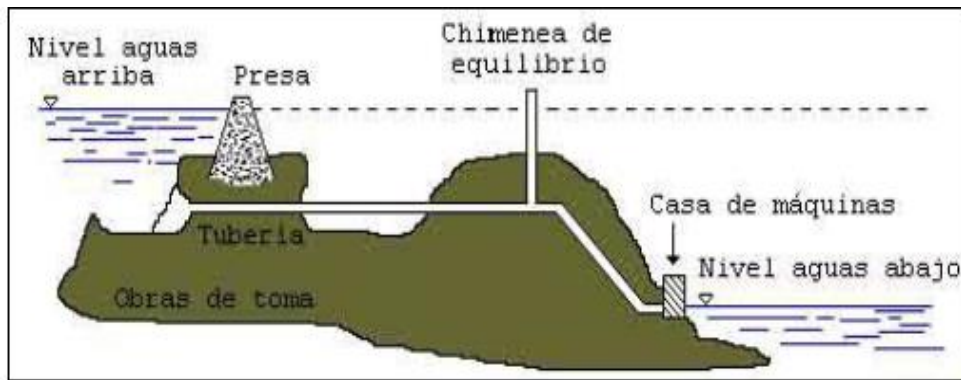


Figura 2. Tuberías para centrales hidroeléctricas. Fuente: Tomado de Google, 2022.

Las mezclas líquido-sólido causan erosión en tuberías, bombas, intercambiadores de calor y en varios sistemas, lo que resulta daños a los equipos, caídas de eficiencia y fallas. Por ello es importante que su recurso natural (agua) sea imperativo para mantener un nivel de producción energético uniforme (Noon et al., 2021)

3.3. DESARENADOR

Un desarenador es una estructura diseñada para retener la arena o sedimento que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de conducción, de una central hidroeléctrica y obstaculicen creando serios problemas (Gómez Vilcherrez, 2020).



Figura 3. Desarenador de captación de la Central Hidroeléctrica Alazán. Fuente: Autor, 2022.

3.4. CONSIDERACIONES PARA DISEÑO DE UN DESARENADOR

3.4.1. GEOMETRÍA.

Las características geometrías recomendadas para un desarenador de flujo horizontal, deben poseer los estudios de antideslizamiento y ángulos correctos ante el tipo de sedimento portados en el fluido, además los regímenes de flujos a altas velocidades también se deben controlar en el diseño para la calidad del captador de aguas abajo, se observa en la figura 4, los parámetros iniciales del desarenador del tanque principal. Características geometrías recomendadas para un desarenador de flujo horizontal.

Parámetro	Relación (m)
Profundidad	2 – 5
Relación largo - ancho	2,5:1 – 5,1
Relación ancho - profundidad	1:1 – 5:1

Tabla 1. Geometría recomendada para desarenadores rectangulares. Fuente: Freire Castelo, 2014.

3.4.2. VELOCIDAD MÍNIMA DEL AGUA

Los desarenadores deben diseñarse de manera tal que la velocidad pueda controlarse. La variación debe estar únicamente en un rango entre $0.2m/s$ y $0.4m/s$. El número de desarenadores es característico a cada diseño. Se recomienda un mínimo de dos unidades en cualquiera de los niveles de complejidad. Cada unidad debe tener la capacidad para operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza. Para el caso de un caudal mínimo se deberá construir un solo desarenador. Se recomienda un rango entre 700 a $1600 m^2/día$. Estos valores pueden ser expresados en términos de velocidad de sedimentación, variando aproximadamente entre $30 m/h$ y $65 m/h$. El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse; se

recomienda un tiempo entre *20 segundos y 3 minutos*. Esto se logra mediante dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo (Freire Castelo, 2014).

3.4.3. NÚMERO

El número de desarenadores es característico a cada diseño. Se recomienda un mínimo de dos unidades en cualquiera de los niveles de complejidad. Cada unidad debe tener la capacidad para operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza. Para el caso de un caudal mínimo se deberá construir un solo desarenador.

3.4.4. TASA DE DESBORDAMIENTO SUPERFICIAL

Se recomienda un rango entre 700 y 1600 $m^2/día$. Estos valores pueden ser expresados en términos de velocidad de sedimentación, variando aproximadamente entre 30m/h y 65 m/h.

3.4.5. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse; se recomienda un tiempo entre *20 segundos y 3 minutos*. Esto se logra mediante dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo (Freire Castelo, 2014).

3.5. DESGASTE

El desgaste es el daño a una superficie. Esto se produce, generalmente, debido al movimiento relativo entre una superficie y un cuerpo de contacto. Y tal como lo dice su nombre, provoca un desgaste en el material y puede llegar a generar pérdidas. El desgaste es la principal causa de desperdicio de material y de la pérdida de rendimiento mecánico de muchas maquinarias que se utilizan en ingeniería y en la vida en general, y muchos son los mecanismos de desgaste que existen (MUÑOZ SEPÚLVEDA, 2018).

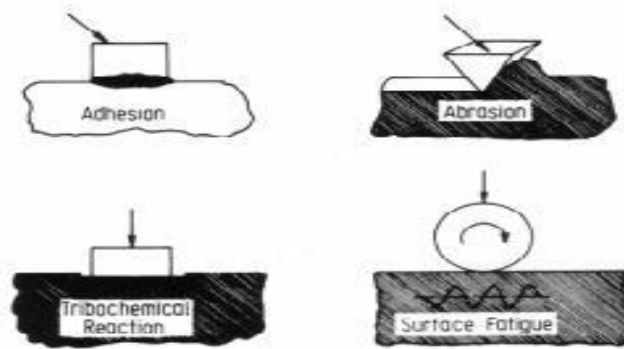


Figura 4. Descripción esquemática de los principales mecanismos de desgaste. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.5.1. DESGASTE ABRASIVO EN BOMBAS HIDRÁULICAS

Se refiere al corte de metal por partículas duras o una superficie áspera. Este tipo de desgaste puede disminuirse removiendo los restos de manufactura antes de iniciar el trabajo (Canal Sánchez, 2014). Las bombas de pozo profundo presentan un mayor porcentaje de falla debido al arenamiento laminar o turbulento que se encuentra en los pozos profundos del sistema de agua de enfriamiento (López Quintero & Reyes González, 2018). Otras causas:

- Oxidación del fluido
- Mala lubricación de la bomba

Las bombas tienen una entrada y una salida y pueden colocarse sumergidas dentro del líquido que van a bombear o fuera del mismo (Blanco Hernández, 2018).

3.5.2. EFECTOS ABRASIVOS DE LOS SEDIMENTOS EN LOS IMPULSORES DE BOMBAS UTILIZADAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA

Bombas utilizadas para la captación de agua cruda, instaladas en ríos de aguas sedimentarias destinadas a proyectos de riego y suministro urbano y rural, sufren desgaste en los impulsores causado por la abrasión de los sedimentos en suspensión. El diámetro y concentración de partículas de sedimento tienen una gran influencia en las condiciones de desgaste de la bomba, provocando puntos de

deformación resultante del impacto de partículas en la superficie de las palas del impulsor.

Analizando el desgaste en presencia de sólidos en suspensión en bombas centrífugas, concluyó que el aumento de vibración se produce por la abrasión que provoca el sedimento y es la principal causa de la reducción de su eficiencia y vida útil. En las bombas centrífugas, el desgaste por abrasión se produce entre los impulsor y tapa estacionaria de la carcasa, entre el eje y carcasa estacionaria y, principalmente, en la superficie del impulsor cuchillas, posiblemente causando desequilibrio y pérdidas de eficiencia (Serrano et al., 2018).



Figura 5. Efecto abrasivo en un impulsor de bomba. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.6. AGUA DE ENFRIAMIENTO

Recurso para la transferencia de calor en la industria. Los sistemas de enfriamiento se dan mediante circulación de agua en los equipos, pueden ser sencillos como el bombeo de agua fría de una fuente natural cercana y descargar agua caliente, o sistemas de recirculación con un proceso de enfriamiento del agua en una torre o un estanque, lo que implica un consumo considerablemente menor de agua. Otro método de enfriamiento consiste en introducir hielo al sistema industrial (Rodríguez, 2019).

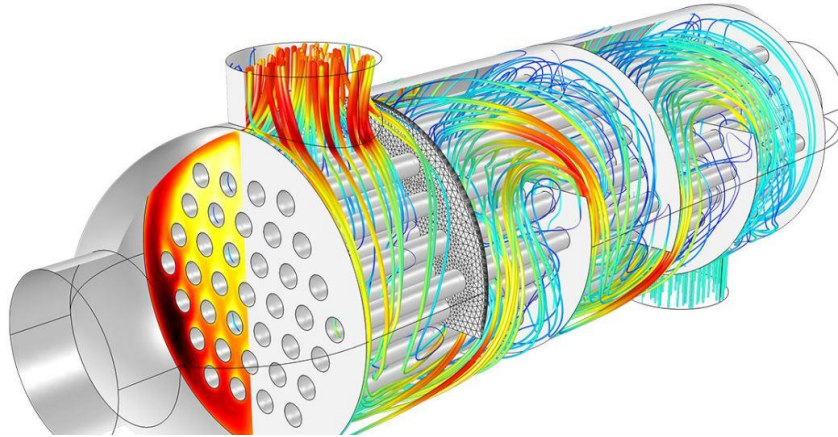


Figura 6. Dinámica del agua de enfriamiento dentro de un intercambiador de calor. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.7. POZO PROFUNDO O CISTERNA EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Es un depósito donde se almacena agua por medio de un circuito abierto-cerrado de agua turbinada, la misma que se utiliza para los sistemas auxiliares de casa de máquinas como: sistemas de refrigeración, de lubricación, contra incendios, entre otros (Vivero Condo & Merchán Saquipay, 2019).



Figura 7. Cisterna del sistema de agua de enfriamiento de la Central Hidroeléctrica Alazán. Fuente: Autor, 2022.

3.7.1. BOMBAS DE POZO PROFUNDO

Es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido (Guzmán Pérez, 2014).

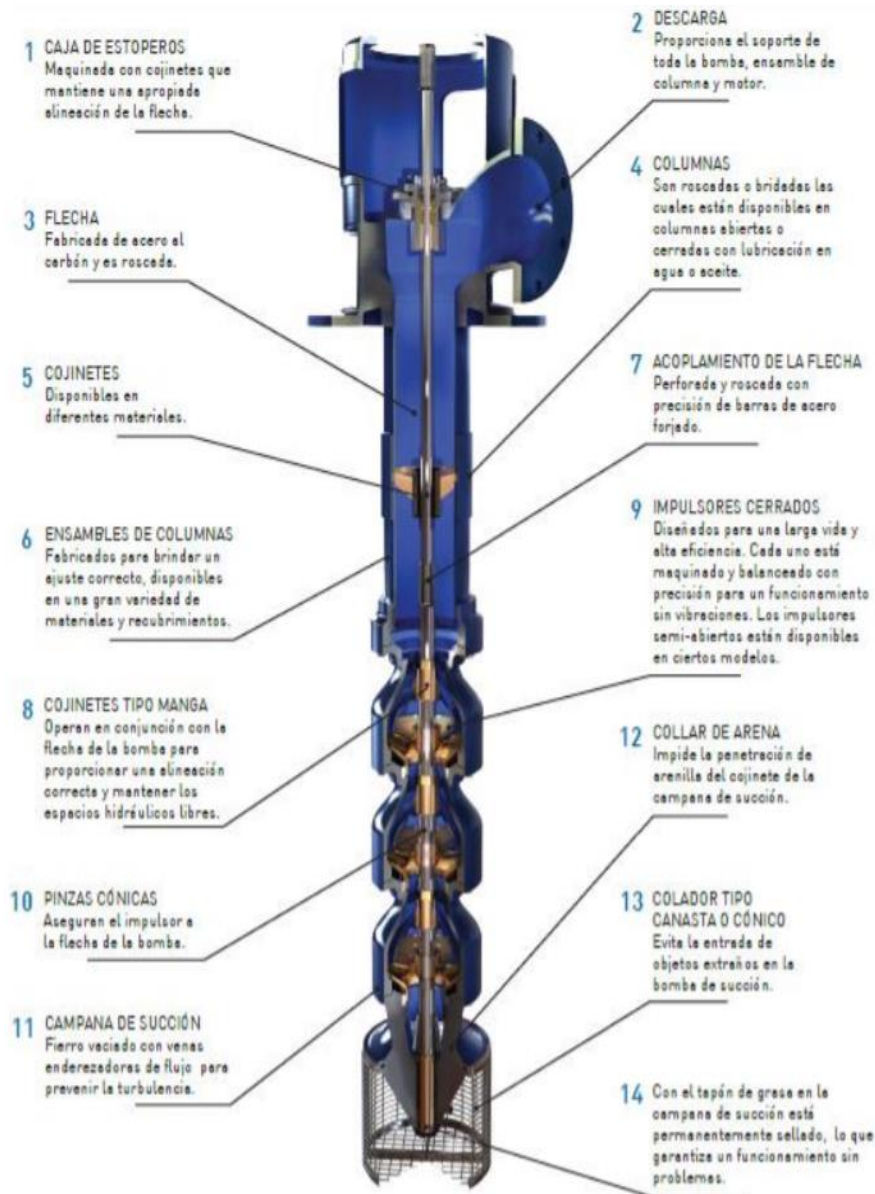


Figura 8. Características de una bomba de turbina vertical VTP. Fuente: Manual bomba SAE central Alazán, 2013.

3.8. GENERADOR SÍNCRONO

Debido a la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, éstos han venido utilizándose como generadores eléctricos sobre todo en centrales de pequeña potencia. Para ello es necesario que el par mecánico comunicado al rotor produzca una velocidad de giro superior a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador. Es importante que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para reducir las pérdidas en el cobre del rotor (Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017).



Figura 9. Generador síncrono de una central hidroeléctrica. Fuente: Autor, 2022.

3.9. FUENTES DE AGUA

Una fuente de abastecimiento de agua es el punto donde se desvía temporalmente el agua del ciclo natural para ser usada. Para la selección de una fuente para abastecimiento de agua se incluyen consideraciones en función del agua como su calidad, cantidad disponible, seguridad de abastecimiento y costo (Rodríguez, 2019).

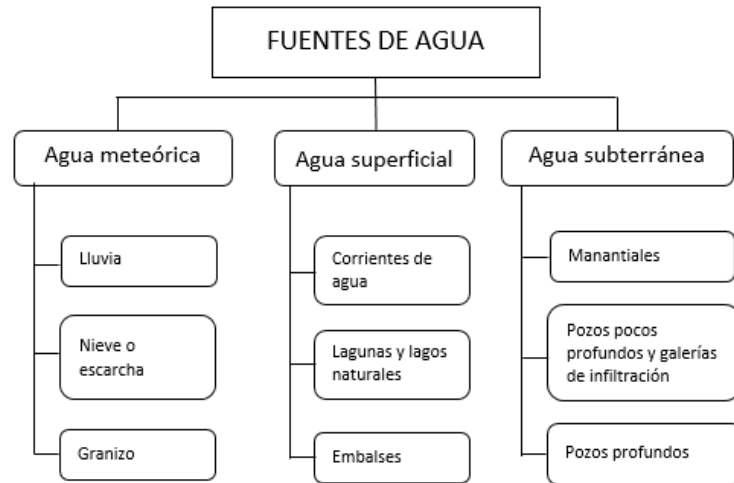


Figura 10. Fuentes de agua. Fuente: Autor, 2022.

3.10. TURBIEDAD

Es una propiedad óptica del agua, las partículas en suspensión reflejan la luz. La turbiedad es una expresión causada por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua. Cuanto mayor sea la intensidad de luz disipada en una muestra, mayor será la turbiedad (Rodríguez, 2019).



Figura 11. Muestras de calidad de agua en NTU. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.11. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo es una técnica de gestión que, en pocas palabras, utiliza la evaluación periódica de la condición real de funcionamiento de equipos, sistemas de producción y las funciones de gestión para optimizar la operación total de la planta (Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017).

3.12. SISTEMA SCADA DE CONTROL

El sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre computadores, generalmente en la parte de control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo como bombas, motores, etc. y controlando el proceso de forma automática desde pantallas de ordenador a las cuales llamaremos HMI (Interfaz Humano Máquina). También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) (Aguirre, D., 2014).

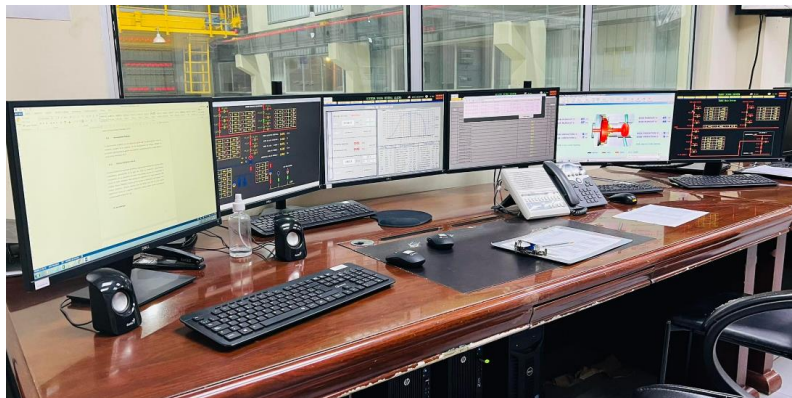


Figura 12. Sala de supervisión, control y adquisición mediante SCADA. Fuente: Autor, 2022.

3.13. BOMBA DE ACHIQUE

La función básica de una bomba sumergible o de achique es para el “drenaje” y bombear aguas residuales. En el sector industrial se puede colocar en el interior de un depósito de combustible como también para extraer agua en el pozo de agua. En el caso de los depósitos es muy útil porque permite elevar el líquido mejor que con “succión desde arriba”. Hay bombas que permiten separar el agua de aceites y de esta forma reinyectan el yacimiento.

La bomba sumergible o bomba de achique se puede conectar con tubo o manguera en sus entradas y salidas y pueden trabajar con tuberías de aspiración (siempre y cuando la bomba este por encima del nivel del depósito) (Velasco, D., 2018).



Figura 13. Bomba sumergible GRINDEX. Fuente: Tomado de Google, 2022.

3.14.SOLIDWORKS COMO SOFTWARE DE MODELADO Y ANÁLISIS CFD

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) utilizado para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo de un producto o análisis de sistemas (Kurowski, P. (2013). Análisis de ingeniería con... - Google Académico, s. f.).



Figura 14. Software SolidWorks. Fuente: Tomado de Google, 2022.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En el presente trabajo propone un estudio del tanque SAE con las situaciones actuales mediante el análisis computacional dinámico de fluidos, con el fin de presentar problemáticas ante las recirculaciones del flujo ante datos experimentales, que proporciona la planta de tratamiento de Alazán Celec, esto servirá para proponer un nuevo diseño de configuración de diques internos, y también realizar un estudio de fluidos y verificar las posibles repuestas al problema de acumulación de sedimentos que incluyen en el movimiento de flujo interno.

4.1 OBTENCIÓN DE PLANOS, PARÁMETROS Y CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALAZÁN.

Esta documentación se encuentra subida en la nube corporativa (Celecloud) de la institución, la plataforma está creada con el fin de almacenar documentos, planos o archivos que permitan a los funcionarios un libre acceso a su información.

4.1.1. REVISIÓN DE PLANOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL SAE

A continuación, se detallan planos y esquemas relacionados con el sistema, como se observa en el anexo 1.

Se presenta los diagramas PIYD, para la identificación de la simbología a la distribución de tuberías y accesorios instrumentados en dichas tuberías y tanques, dicha información se encuentra en el anexo 2.

4.1.2. FUNCIONAMIENTO DEL SAE

El sistema de agua de enfriamiento de la Central Alazán está diseñado para la circulación de agua en circuito abierto mediante bombas, filtros autolimpiantes, sensores, manómetros y válvulas en línea. El ingreso de agua (inlet) a la cisterna del SAE proviene del recinto de la turbina por gravedad mediante una tubería (anexo3). EL SAE está compuesto por dos bombas centrífugas verticales ubicadas en el piso de válvulas, dos filtros autolimpiantes ubicados en el mismo nivel, elementos para la conducción del agua de enfriamiento (válvulas, tuberías, etc.), instrumentos y tableros para el control del sistema (anexo 4).

Para el control se cuenta con un tablero denominado tablero principal de distribución de bajo voltaje (*1NG + PS6*) (anexo 5), que se encarga de suministrar energía a los filtros auto limpiantes 1 y 2. Dicho de otra manera, el SAE mediante un sistema de bombeo, hace circular el agua desde la cisterna hacia el sistema de lubricación para reducir la temperatura del aceite de lubricación de los cojinetes del sistema turbina-generador, esto se da en el intercambiador de calor y del mismo modo, suministra agua para los radiadores del generador para el enfriamiento del aire para los devanados (*MANUAL DE OPERACIÓN CENTRAL ALAZÁN.pdf*, s. f.). El sistema de enfriamiento de agua está compuesto por (anexos 6, 7, 8, 9, 10 y 11):



Figura 15. Partes del SAE. Fuente: Autor, 2022.

1. Bombas AC.
2. Filtros auto limpiantes.
3. Transmisor diferencial de presión.
4. Transmisor de presión.
5. Manómetros.
6. Sensor de nivel.
7. Válvula de compuerta manual.
8. Válvula globo activada por solenoide.
9. Válvula reductora de presión.

4.1.3. DISEÑO ACTUAL DE LA CISTERNA DEL SAE

La cisterna forma parte del SAE, ya que aquí se almacena el agua por medio de un circuito abierto-cerrado de agua turbinada que se utiliza para los sistemas de refrigeración, lubricación y contraincendios. El material utilizado para la construcción de este depósito es de hormigón armado y un impermeabilizador a base de cemento en polvo que no requiere agua para cumplir su función. Las siguientes magnitudes:

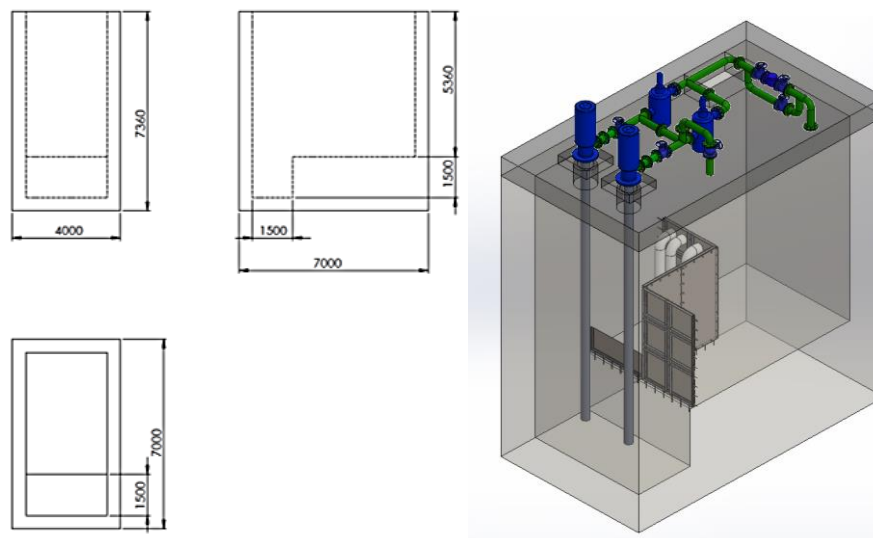


Figura 16. Cimiento actual de la cisterna. Fuente: Autor, 2022.

4.1.4. ESTUDIO DE PARÁMETROS DEL SISTEMA

Es importante conocer los parámetros máximos y mínimos del sistema, para interpretar su comportamiento al momento de generar, de modo que el personal de operación pueda determinar anomalías y realizar reportes de fallo para la intervención por personal de mantenimiento y de esta manera se garantice una generación de alto estándar, calidad y eficiencia ver *tabla 2*.

SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO				
				
Sistema	Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad de medida
Intercambiadores	Caudal de agua (Radiadores)	22,2		L/S
	Caudal de agua (cojinetes)	9,7		L/S
Bombas	Presión SAE B1	0.14		Mpa
	Presión SAE B2	0.13		Mpa
Filtros autolimpiantes	Presión de trabajo	0,14		MPa
	Presión de filtrado	0,03		MPa
	Presión de purga	0.2		MPa
	Flujo	0	190	m^3/h
	Precisión de filtrado	3		mm
Cisterna	Nivel de agua de trabajo	1,50	5,00	m
	Nivel nominal de agua	2,8		m

4. Metodología

Tabla 2. Parámetros del sistema actual del SAE. Fuente: Autor, 2022.

Se identifica el sistema de lubricación de los cojinetes en el sistema del SAE, además los parámetros que realzan su funcionamiento y los componentes sólidos se pueden observar en la *tabla 3*.


SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE LOS COJINETES				
				
Sistema	Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad de medida
Aceite	Temperatura	5	35	°C
Bombas	Aceite lubricante	L-TSA46		
	Caudal baja presión	125		L/min
Sistema	Caudal alta presión	8		L/min
	Presión de alta	5		MPa
	Temperatura	0	40	°C
Cuba	Humedad relativa	90 a 25		%
	Volumen de la cuba	4000		L
	Presión de Salida HPU	0,085	0,109	Mpa
Refrigeración	Consumo de agua de refrigeración	18		m ³ /h

Tabla 3. Sistema de lubricación del SAE. Fuente: Autor, 2022.

4.1.5. MODELOS MATEMÁTICOS EN CFD, UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO DEL SISTEMA.

La ejecución de los modelos numéricos en el análisis computacional CFD, tiene como objetivo analizar las condiciones del comportamiento del flujo durante un llenado de tanque, en el cual formulaciones matemáticas de flujo laminar y turbulento se evidencia en el comportamiento en recintos cerrados, además se prevé una adaptación de partículas en el flujo de agua que se transporta en condiciones ambientales. A continuación, se detalla el flujo de trabajo en la entrada de las tuberías del modelo 3D, en los cuales ya definido los estados de condiciones entradas, salidas y condiciones de frontera. El flujo de trabajo indica la secuencia de inicio de las partículas conjuntamente con el fluido, en el CFD, se realizarán estas configuraciones, las cuales, mediante la introducción de datos experimentales, el modelo de resolución físico la interacción con la fase, se visualiza en la *figura 18*, el flujo de trabajo a seguir adaptado de la filosofía de Ansys Workbench.

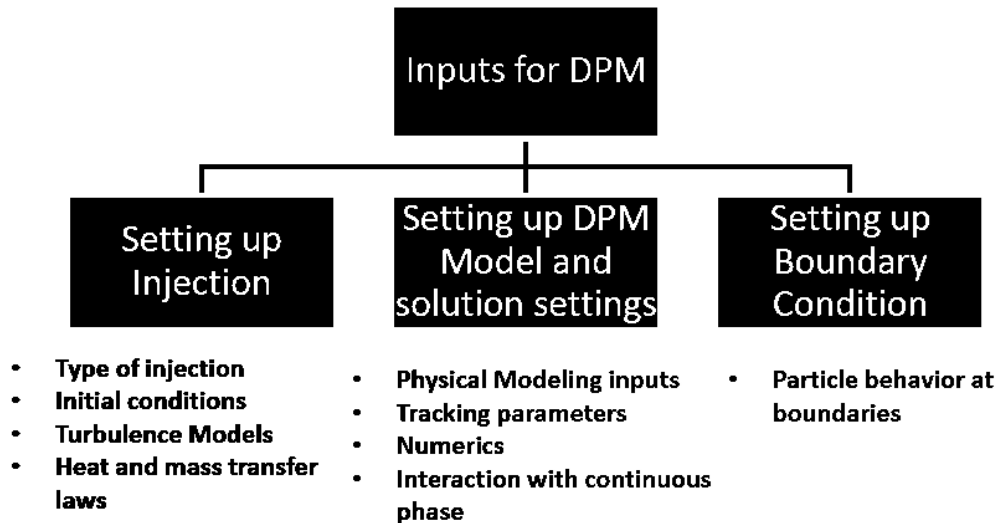


Figura 17. Flujo de trabajo para el análisis DPM. Fuente: Ansys Workbench, 2022.

Los monitores residuales de cálculo indicarán la convergencia del modelo mediante un número de iteraciones, en el presente estudio se estableció valores residuales de por diez a la menos seis, valores que garantizan la convergencia de la conservación de la masa.

Los tipos de flujo indican un régimen turbulento aguas arriba por la interacción del proceso de una turbina y el agua de reserva del proceso, la cual se conduce por la tubería de captación que se dirige al tanque, esta condición es calculada, según las alturas y la potencia y velocidad de la bomba superior. Para conocer el caudal que ingresa por la tubería de diámetro 12" (0.3 m) hacia el pozo del SAE, se utilizó la ecuación que se detallan a continuación:

$$Q = v * A$$

Donde:

Q, es el caudal en m³/s

v, es la velocidad en m/s

A, es el área en m²

$$Z_1 + \frac{P_1}{\delta} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\delta} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

v, es la velocidad en m/s

g, es la gravedad en m²/s

Z, es la altura en m

Los modelos de flujos precedentes en el análisis participan desde una superficie de condición de frontera, los cuales parten desde un perfil de velocidad, se verifico que el flujo requiere de una longitud de régimen para su desarrollo total del flujo ya que se verifico en primera corrida, que las líneas de flujo impactan directamente de la salida hacia la placa de retención de sedimentos, en la figura 24, se presenta el modelo del tanque como primera propuesta para el análisis computacional.

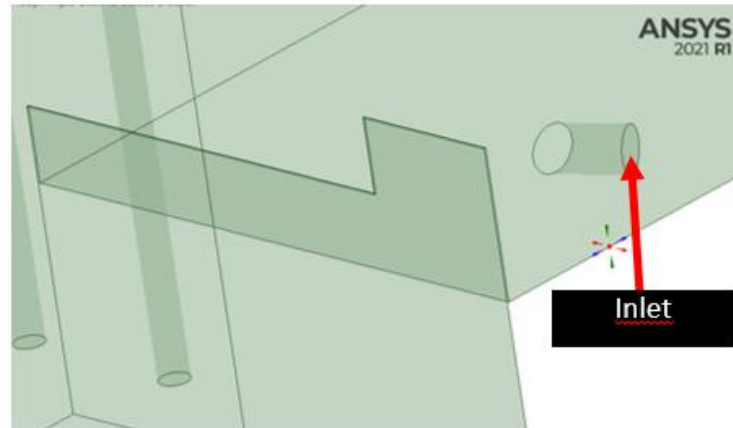


Figura 18. Entrada por superficie de la condición inlet. Fuente: Autor, 2022.

Para el análisis presente la condición más realista se define por **name selection** tipo superficie ya que permite ingresar el nivel de turbulencia, las condiciones de entrada se definirán en el próximo apartado, se mostrará las faces identificadoras. A continuación, se presenta las diferentes opciones que se pueden usar en el análisis para poder sustituir el comportamiento de los flujos de entradas, el tipo single (único o solo), se recomienda para cuando se realizara un sistema de rociadores con flujo a presión, según se observa en la figura 20.

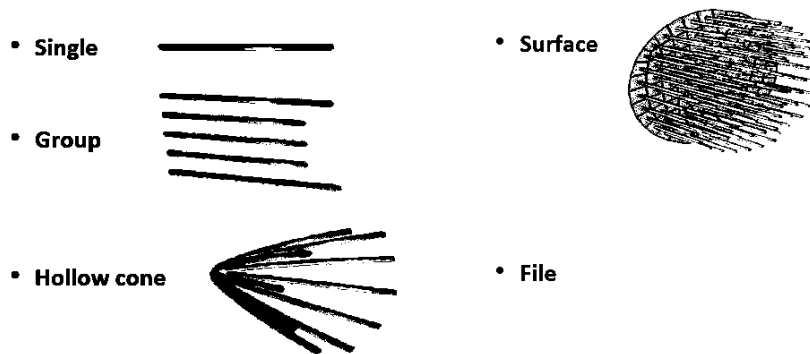


Figura 19. Tipos de entradas inlet para el sistema a estudiar. Fuente: Tomado de Google, 2022.

La proyección del modelo particulado, mediante el dominio también es visual en su adaptación del modelo computacional, se podría indagar en la erosión del sistema ante transporte de fluidos con sedimentos de gran magnitud, que puedan llegar a ocasionar daños en las placas o sistemas estacionarios. Estas iteraciones se pueden evidenciar con los modelos y la física del sistema a analizar, en el caso del tanque SAE no es de interés estudiar efectos de desgaste o erosión en las placas de

retención interna, aun así, no se descarta esta valoración de análisis durante las etapas del sistema, en la figura 21, se presenta los distintos escenarios.

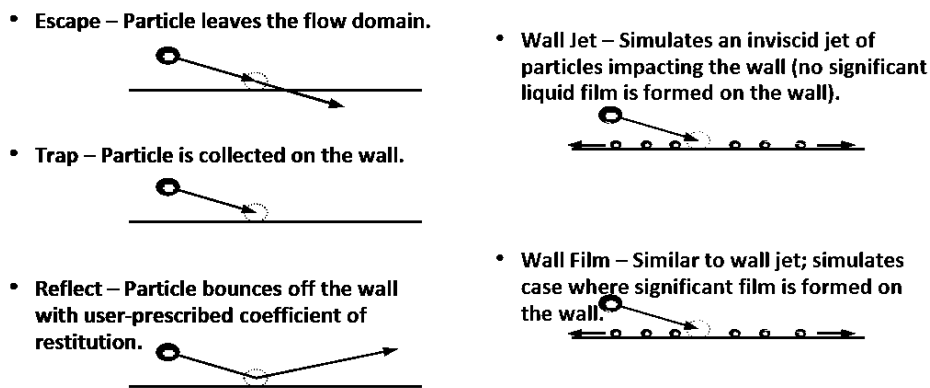


Figura 20. Tipos de erosión en las superficies. Fuente: Tomado de Google, 2022.

Por última parte se detalla los procedimientos de cálculo del sistema de ecuaciones en el tanque, se obtiene lo que es una fase continua de flujo calculado, por ende, la siguiente etapa, cálculo de la trayectoria de la partícula y la actualización de búsqueda de fase, las ecuaciones principales indican movimiento de la partícula y la ecuación de la fase continua, se observa en la figura 27, el procedimiento de cálculo.

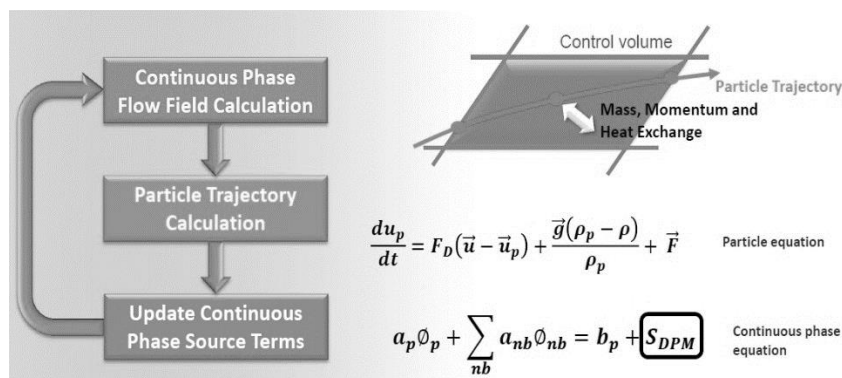


Figura 21. Procedimiento de cálculo de partículas. Fuente: Tomado de Google, 2022.)

Las técnicas desarrolladas permitirán el estudio completo del sistema a desarrollarse en la mecánica de fluidos, la misma que se presenta a continuación, se presenta desde las características de modelado 3D, simplificaciones, mado y estrategias de discretizado, y por ende el proceso de configuración del setup. En

último punto se realiza el postproceso del resultado de la simulación numérico con la visualización del flujo desarrollado.

4.1.6. REPORTES DE FALLO DEL SISTEMA

Cuando se origina un evento de fallo en generación debe solucionarse en dos tiempos. El primero es identificar el motivo de esta anomalía (detección de la falla) para inmediatamente proceder a analizar el problema y el segundo es efectuar las maniobras correspondientes (solución de la falla). Luego, se realiza un estudio más exhaustivo y detallado para explicar el origen del evento (*Torres et al. - INGENIERO EN ELECTRICIDAD Especialización POTENCI.pdf, s. f.*).

En el presente proyecto se puede constatar el estado real de los reportes de falla del sistema de agua de enfriamiento, debido a que el personal de mantenimiento, en este caso mecánico, ejecuta diferentes órdenes de trabajo para mantenimiento preventivo y correctivo. Este proceso se hace de dos maneras muy diferentes, la primera opción consta en llenar un formato físico (ver figura 2) para dejar un precedente de quien es la persona que reporta, que equipo y una descripción de la falla. Este formato solo es encontrado en la empresa por lo cual cuando una falla se presenta sólo se oficializa ante el personal de mantenimiento cuando este formato es diligenciado y entregado (anexo 12).

El formato físico es la manera más utilizada por los conductores para generar los reportes alcanzando aproximadamente un 70%, ya que este formato es utilizado como el primer paso dentro del protocolo que se realiza en el departamento de mantenimiento para dar inicio a un trabajo en el taller.

Buscar la reducción del tiempo y de las fallas en reportes de mantenimiento creados por los conductores, facilitando así la programación del área de operaciones, los planes de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

4.2. SISTEMAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS PARA SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y SU EFECTO EROSIVO EN LOS COMPONENTES.

Los impactos atribuibles a la retención de sedimentos para una central hidroeléctrica, se extienden tanto aguas arriba del sitio de la presa como hacia aguas abajo. Aguas arriba se presenta una problemática con respecto al embalse ya que se empieza a disminuir su volumen para el almacenamiento por ende su vida útil; y aguas abajo al retener el paso de sedimentos a toda la unidad de generación que produce un efecto corrosivo en sus diferentes sistemas (*Silva y Garzón - 2018 - Evaluación de impactos en la vida útil del embalse.pdf, s. f.*)

Mediante la simulación numérica computarizada se ha logrado evidenciar grandes optimizaciones en el ámbito de modelado, caracterización de muestras en condiciones ambientales, en aplicaciones industriales como presas, refinerías, sistemas de captación de agua para sus tratamientos a fines, etc. Por ende, el estudio presente prevé analizar un sistema de recinto abierto mediante el modelamiento de flujos de agua con un nivel de inyección de partículas de limo, antracita, y poder visualizar las líneas de flujo presente en el problema y realizar una propuesta de cambio en el tanque para eliminar el mayor porcentaje posible de residuos involucrados en el transporte. Los métodos de modelamiento postulados por Ansys en flujos estacionarios, en fase continua indica el procedimiento post en los filtros de celda, tamaño de fase y velocidad en cada nivel de discretización mediante el método de volúmenes finitos. Los cuales luego de ser analizadas se realiza una integración de la partícula con la ecuación de movimiento, y así filtrar la información de entrada y los sistemas posteriores se movilizan en el dominio del recinto tridimensional, en la *figura 23*, se presenta el *DPM Calculation – Steady Flow* para los problemas industriales.

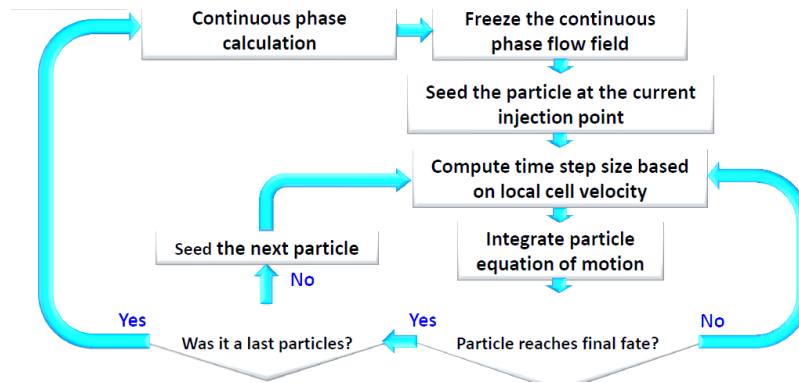


Figura 22. DPM Calculation – Steady Flow in application Process. Fuente: Tomado de Google, 2022.

4.2.1. TÉCNICAS DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS.

Existe poca información sobre la implementación de métodos para la selección de alternativas de gestión de sedimentos en los embalses, teniendo en cuenta parámetros de sostenibilidad, como la integración de los aspectos económicos, ambientales y sociales, así como la vinculación de los diferentes interesados en la decisión (Kiker et al., 2005). Algunas alternativas para el manejo de sedimentos son:

- **Dragado de mantenimiento (método mecánico):** entendido como, el conjunto de actividades de extracción, transporte y disposición final de materiales sedimentarios del fondo fluvial, con el fin de mantener las especificaciones de diseño inicial (*terminos_de_referencia_eia_hidroelectricas.pdf*, s. f.).



Figura 23. Dragado en embalse. Fuente: Tomado de Google, 2022.

- **Reforestación:** reforestar áreas cubiertas de pastos y arbustos de la cuenca es una alternativa, lo cual provoca una retención del 74% de sedimentos que llegan al embalse.



Figura 24. Reforestación represa Paute. Fuente: Tomado de Google, 2022.

- **Agricultura:** mejorar las prácticas agrícolas en las cuencas de los ríos, en donde se incluyen actividades de capacitación y acompañamiento para los dueños de cultivos.



Figura 25. Agricultura en las cuencas de los ríos. Fuente: Tomado de Google, 2022.

- **Construcción de presas de retención de sedimentos:** consiste en la construcción de presas revestidas de concreto hidráulico entre *15 a 20 metros* de altura y *35 metros* de longitud, sobre la cual, se incorporará un vertedero para el paso de crecientes máximas y se alojarán orificios libres que permitirán el paso de caudal durante las condiciones bajas y medias del río. Esta alternativa retendría un *75%* de los sedimentos durante eventos de crecienta (Polanco et al. - 2020 - *Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos .pdf*, s. f.).



Figura 26. Presa de retención. Fuente: Tomado de Google, 2022.

4.2.2. ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO EN LA CISTERNA.

El sistema de pretratamiento es una estructura auxiliar que debe preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas. La mayoría de las fuentes superficiales de agua tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión, siendo necesaria su remoción previa, especialmente en temporada de lluvias. Los procedimientos de separación de material muy grueso (rejillas: gruesas y finas) se realizan o están relacionados a las captaciones. Se considera como pretratamientos y acondicionamientos previos en la planta, a unidades como desarenadores y sedimentadores.

Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento ya que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros (OPS 2005b. *Guía desarenadores y sedimentadores.pdf*, s. f.).

Turbiedad UNT	< 250	< 500	< 1000
< 1000 / 100 ml	Sedimentación	Sedimentación	Desarenación + sedimentación
< 10000 / 100 ml	Sedimentación	Sedimentación	Desarenación + sedimentación

Tabla 4. Alternativas de pretratamiento de acuerdo con la calidad del agua. Fuente: OPS *Guía desarenadores y sedimentadores.pdf*, s. f., 2005.

Medir e identificar el tipo de material sedimentario es importante para comprender la dinámica de estas partículas en base a su dimensión y velocidad, ya sea en un régimen de flujo laminar o turbulento. Con ese conocimiento se pueden predecir problemas de ingeniería (en el caso de la acumulación de sedimentos en la cisterna del SAE, por ejemplo), para determinar zonas de erosión o desgaste en diferentes componentes mecánicos de los sistemas.

Material	ϕ Límite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(u/p)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{u} \right) d^2$ Stokes

Tabla 5. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación. Fuente: OPS Guía desarenadores y sedimentadores.pdf, s. f., 2005.

4.2.3. ESTUDIO NUMÉRICO COMPUTACIONAL DE LOS MODELOS TURBULENTOS Y DPM.

Para el estudio del comportamiento de un cuerpo o fluido, simulado en software Ansys Fluent, se pasa por una serie de etapas, en un esquema gráfico, donde se estiman parámetros de análisis para delimitar el volumen de influencia en el cual se direcciona a rigurosos métodos para simular lo que pasa en el entorno teniendo como prioridad la geometría de modelación, dominio computacional, el modelo

matemático aplicable al estudio, y las condiciones de contorno que se establecen en el software de forma predeterminada por Ansys y por otros parámetros asignados acorde a lo simulado, se presenta el esquema en la figura 33, la simulación para el tanque SAE.

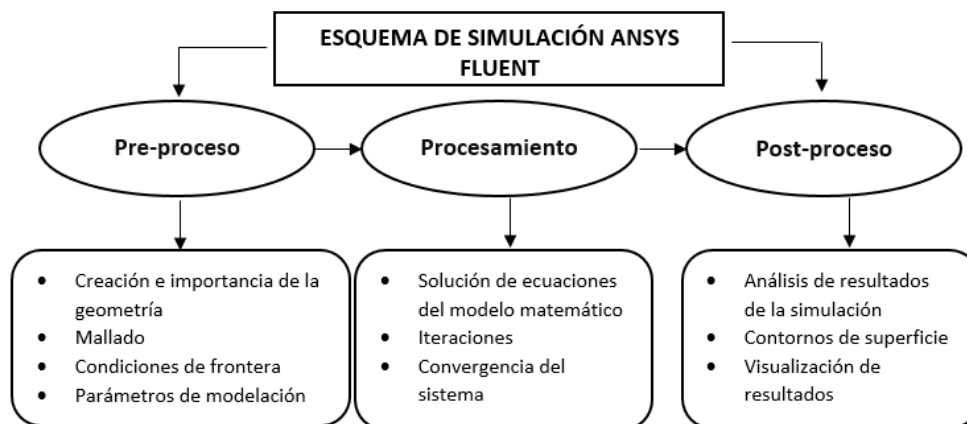


Figura 27. Esquema de simulación Ansys Fluent. Fuente: Autor, 2022.

- **Pre-Proceso, definiendo la geometría:** El preprocesamiento es la etapa inicial para crear la geometría del volumen de un fluido, el cual consiste importando (desde un software compatible como AutoCAD o SolidWorks) o elaborando un modelo CAD dimensionado con anticipación en software Ansys.
- **Dominio computacional:** El análisis dinámico computacional de un fluido ha facilitado estudiar con más precisión los fenómenos físicos en distintos entornos donde hay transferencia de masa y energía, siendo así, un mecanismo infalible para hacer proyecciones de eventos que logran existir en el medio siendo semejante a la realidad, aunque, si se quiere obtener resultados con más precisión, se debe establecer un modelos físico-espacial (discretización) y luego describir lo que sucede con el volumen que se está analizando, utilizando ecuaciones y modelos de simulación incorporados en el software, y esto es conocido como dominio computacional.

4.2.4. MODELOS NUMÉRICOS DE FLUIDOS COMPUTACIONALES ADAPTADOS CON MODELOS EMPÍRICOS

Ecuación de la continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad Ec (1)$$

Ecuación de conservación de momentum:

$$\rho \cdot \frac{D\vec{v}}{Dx} = \nabla \tau_{ij} - \nabla \rho + \rho F \quad Ec (2)$$

Ecuación de conservación de energía:

$$\rho \cdot \frac{DE}{Dx} + \rho \cdot (\nabla \vec{v}) = \frac{\partial q}{\partial t} - \nabla \rho + \rho F \quad Ec (3)$$

Para obtener la Ecuación de Navier- Stokes:

$$\rho \cdot \frac{D\vec{v}}{dt} = \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) - \nabla \rho + \theta \nabla \vec{v} \quad Ec (4)$$

Designación de las ecuaciones de estado numérico:

Donde:

ρ = Es la densidad del fluido

∇ = Es un operador vectorial de sistema de coordenadas

\vec{v} = Es el vector de velocidades

E = Energía interna

F = Fuerza

q = Fuerza de calor

∇q = Perdida de calor por conducción

τ_{ij} = Tensor de viscosidad

t = Tiempo

θ = Coeficiente de viscosidad dinámica

<p>LARGE EDDY SIMULATION (LES)</p>	<p>Utilizado para resolver sistemas de turbulencia grande, el costo computacional es más alto debido porque se procesan datos a gran escala, si el dominio es más pequeño se ajusta un modelo aproximado susceptible a variaciones de parámetros. (Hernández Rodríguez & Juárez Sosa Iván, 2019).</p>
<p>MODELO DE SIMULACION NUMERICA(DNS)</p>	<p>Conocido como <i>Direct Numerical Simulation</i>, es un modelo de turbulencia complicado debido a la resolución de las ecuaciones de Navier Stokes es de forma directa, es decir que la discretización de ecuaciones es mínima, razón principal para la exactitud en los resultados. (Bayona et al., 2015).</p>
<p>DATACHED EDDY SIMULATION</p>	<p>Es un modelo hibrido porque es la combinación de los modelos <i>RANS Y LES</i> por lo tanto posee características similares entre ella reducir gasto computacional y optimizar las simulaciones con resultados precisos. (Bayona et al., 2015).</p>

Tabla 6. Modelos empíricos computacionales. Fuente: Autor, 2022.

4.2.5. MODELOS PARA FLUJOS MULTIFÁSICOS, MODELO EULER-LAGRANGE

Se presenta las determinaciones numéricas de la Lagrange para los análisis acoplados de fases en estado estacionario del problema a analizar.

$$\nabla * \bar{u} = 0$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \rho (\bar{u} * \nabla \bar{u} = -\nabla \bar{p} + \mu \nabla \bar{u} - \nabla * \tau^{RS} + \bar{f}_{-D}) \tag{Ec (5)}$$

Siendo:

$-\nabla \bar{p}$ = Velocidad y la presión promedio del fluido, la densidad promedio.

μ = Viscosidad dinámica.

τ^{RS} = Es un coeficiente de resistencia que la relaciona la viscosidad con la energía cinética del fluido.

$$\sum \underline{Fi} = \underline{FD} + \underline{FB} + \underline{FG} \quad Ec (6)$$

$$\underline{FD} = \frac{3}{4} + \frac{\rho}{\rho q} \frac{mp}{d_p} * C_D(u - u_p)|u - u_p| \quad Ec (7)$$

Donde:

FD = Fuerza de arrastre

FB = Fuerza de flotabilidad

FG = Fuerza gravitacional

u = Viscosidad del fluido

d_p = Diámetro de las partículas

4.2.6. DIMENSIONES GENERALES DEL TANQUE A REALIZAR EL ANÁLISIS DE DOMINIO

El agua es almacenada en un pozo que mantienen un volumen constante de 58,23 m³, la tubería de ingreso desde las aguas turbinada se encuentra a 90 cm del primer nivel del pozo (2264.10 msnm) y a 240 cm del según nivel del pozo (2262.60 msnm), en dicha área se encuentra la toma de la succión de las bombas, este fluido no posee ningún tratamiento por lo que su concentración de sólidos depende de las condiciones de turbiedad del río, en la tabla 3, se presenta las características generales del tanque.

Medida de la cisterna			
Volumen 1		Volumen 2	
Ancho	3	Ancho (m)	3
Altura nivel de agua desde 2262.60 msnm (m)	4.36	Altura nivel de agua desde 2262.60 msnm (m)	2.86

Longitud (m)	1.5	Longitud (m)	4.5
Volumen 1 (m^3)	19.62	Volumen 2 (m^3)	38.61
Volumen de agua de la cisterna (m^3)	58.23		

Tabla 7. Medidas de la cisterna con agua. Fuente: Autor, 2022.

4.2.7. CAUSAS PRINCIPALES DEL PASO DE SEDIMENTO

La sedimentación es un proceso muy importante. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento ya que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros (OPS 2005b. *Guía desarenadores y sedimentadores.pdf*, s. f.). A continuación, se presentan las variables que ocasionan el paso de sedimento a un sistema:

- **Corrientes de densidad**

Estas corrientes se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (de concentración).

- **Corrientes debidas al viento**

El viento puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo.

- **Corrientes cinéticas**

Pueden ser debido al diseño impropio de la zona de entrada o de salida (velocidad de flujo excesiva, zonas muertas, turbulencias) o por obstrucciones en la zona de sedimentación (OPS 2005b. *Guía desarenadores y sedimentadores.pdf*, s. f.).

4.3. ANÁLISIS COMPUTACIONAL DEL SISTEMA DESARENADOR ACTUAL PARA VISUALIZAR LAS RECIRCULACIONES DEL TANQUE Y PROPONER UN NUEVO SISTEMA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTO EN LA CISTERNA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALAZÁN.

El modelo del tanque SAE identifica las condiciones generales de estudio para el modelo de elementos finitos, se realizó la simplificación de geometrías irregulares con el fin de obtener un comportamiento ideal del flujo en tres estados. El caso 1 de simulación computacional para el comportamiento de fluidos, se realiza mediante la ausencia de partículas en el sistema, es decir flujo de agua pura, donde se logrará visualizar el número de recirculaciones actuales en el sistema.

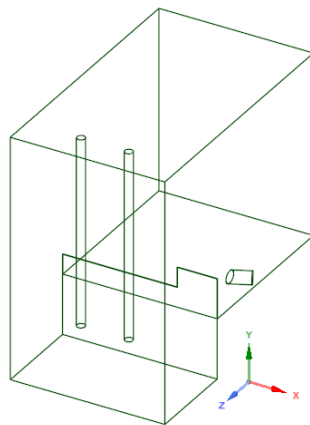


Figura 28. Modelo simplificado del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

Condiciones realistas del modelo, durante la edición del modelo se estableció las condiciones de frontera donde se parametrizará la condición de entrada del fluidos principal, la cual se trata de una tubería de descarga de $DN\ 250mm$, el porcentaje de contaminación en una primera corrida de análisis se considera de condiciones puras, en esta simulación se observa el alcance del flujo dentro del recinto cerrado. Actualmente el tanque SAE, fue modificado en la base de cimentación en la cual

agregó una plancha de acero estructural A36, con el fin de controlar el sedimento de mayor densidad. Se evaluará la condición actual del sistema mediante el flujo de fluidos, con los métodos de turbulencia más utilizados en la industria como es el $K - \epsilon$, turbulencia.

4.3.1. CONDICIONES FRONTERA DEL TANQUE DEL SAE

Dentro del módulo del *CFD*, se realiza la identificación de condiciones operables del sistema. También se identifica la entrada del flujo y se caracteriza la entrada como un flujo turbulento totalmente desarrollado por las altas velocidades que alcanza. Se realizará la parametrización de dominio como flujo de fluido, además en las paredes del sistema se garantiza el efecto de no deslizamiento para fines de análisis ideales. La densidad del fluido se considera constante todo el tiempo de cálculo y se parametriza una salida del fluido a presión atmosférica con el fin de visualizar la elevación del flujo durante la entrada de succión en la tubería, como se observa en la *figura 29*.

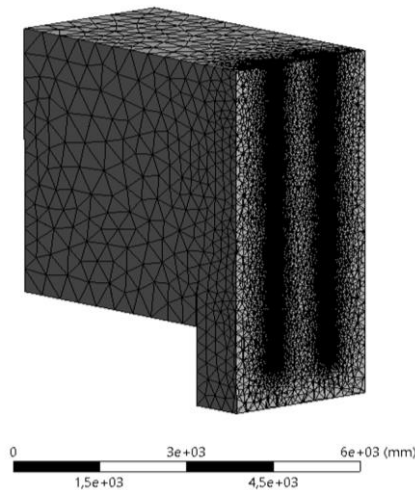


Figura 29. Visualización del dominio de análisis del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

La sensibilidad de la malla se realizó usando iteraciones con la convergencia de los resultados de velocidades en dirección Y m/s , también se realizan paquetes de simulación de *100 en 100* con tres tipos de mallas, las cuales son hexaédricas, tetraédricas y mixtas llegando a la decisión de usar elementos tetraédricos, que

aseguraren la convergencia del modelo en un punto de análisis en la recirculación de origen. En la *tabla 8* se observa los resultados de las iteraciones y mallas.

Residuales de velocidad en Y en m/s			
Iteraciones	Malla 1	Malla 2	Malla 3
100	2,031E-03	2,575E-05	2,571E-05
200	2,722E-03	2,625E-05	2,625E-05
300	2,155E-03	2,664E-05	2,662E-05
400	1,505E-03	3,645E-05	3,645E-05
500	1,058E-03	9,916E-05	9,918E-05
600	1,987E-03	2,868E-05	2,867E-05
700	1,388E-03	2,917E-05	2,915E-05
800	5,149E-03	3,134E-05	3,136E-05
900	2,156E-03	3,305E-05	3,309E-05
1000	9,405E-03	3,782E-05	3,788E-05
Nodos	872387	839325	811634
Elementos	875221	828651	870117

Tabla 8. Datos del análisis de sensibilidad de malla. Fuente: Autor, 2022.

A continuación se adjunta el modelo de viscosidad, el régimen de flujo incompresible y la densidad constante.

Selección de modelo de viscosidad

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad Ec (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \\ + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad Ec (13)$$

$$C_1 = \max \left[0.43 \frac{n}{n+5} \right], \quad n = S_\varepsilon^k, \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad Ec (14)$$

G_k = Energía cinética generada por la turbulencia cuando se descarga el fluido.

$G_b =$ Energía cinética de flotabilidad.

$Y_M =$ Fluctuaciones en la zona de turbulencia y la disipación.

C_1 y $C_2 =$ Constantes de Prandtl igual que σk y $\sigma \varepsilon$.

S_ε y $S_k =$ Valores asignados por el usuario.

Selección del modelo de fase discreta:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad Ec (15)$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d^2 p} \frac{c_{DRe}}{24} \quad Ec (16)$$

$$Re = \frac{\rho d |u_p - u|}{\mu} \quad Ec (17)$$

- **Identificación para las condiciones de entrada del sistema:**

Para el sistema de mallado se realizan mallados locales mediante esferas de influencia en sus entradas y salidas, con el fin de realizar el refinamiento local para no sobrecargar el modelo con tamaños de malla pequeños en zonas que intervengan de manera completa. En la entrada del flujo de fluido se realizó una diagramación de esfera de 300 mm de diámetro con un tamaño de elemento de 100 mm, como se observa en la figura 30. Esta condición permite obtener el control de entrada para la convergencia del modelo, además es el punto de entrada de datos experimentales del tanque que serán creados en el módulo de CFD.

No se considera el uso de la ecuación de energía (transferencia de calor) ya que los fluidos se encuentran a temperatura ambiente.

Es importante mencionar que para este sistema se establecieron salidas del flujo del fluido en las tuberías de succión de la bomba; incluido a esto se realizó la creación de una esfera de influencia de 200 mm de diámetro a una presión de salida atmosférica.

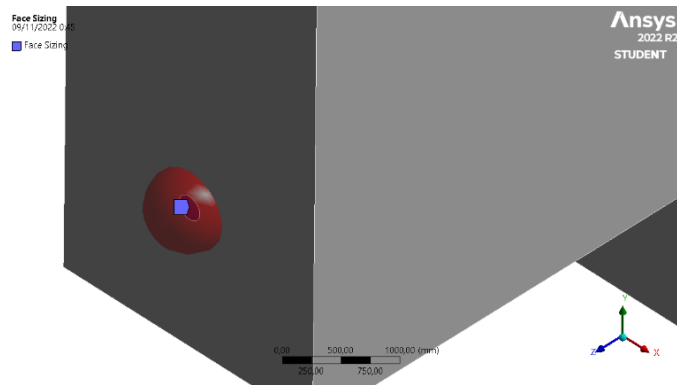


Figura 30. Visualización del dominio de entrada del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

En la *figura 31* se observa el dimensionamiento del modelo de succión para el primer análisis de flujo puro, donde se observara el comportamiento del fluido aguas abajo del tanque.

En posteriores analisis con la succión de partículas, se observará el porcentaje de suspensión con esta estrategia para poder delimitar las fronteras aguas arriba, usando el sistema desarenador, además se representará el área de restricción que tendrá el flujo para la retención de las partículas de gran tamaño. También se delimitará la altura en función al caudal promedio de entrada para asegurar que la recirculación sea inferior a la placa de acero.

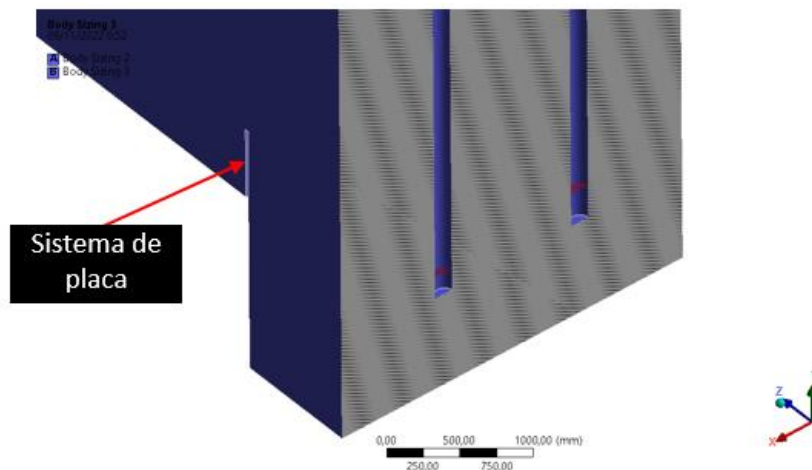


Figura 31. Visualización del dominio de salida del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

- **Identificación de los *names selection* del sistema:**

La importancia de la identificación de los *names selection* recae en poder realizar los valores input, outlet, domain y wall para identificar claramente el problema de dinámica de fluidos. A continuación se visualizan las selecciones del sistema:

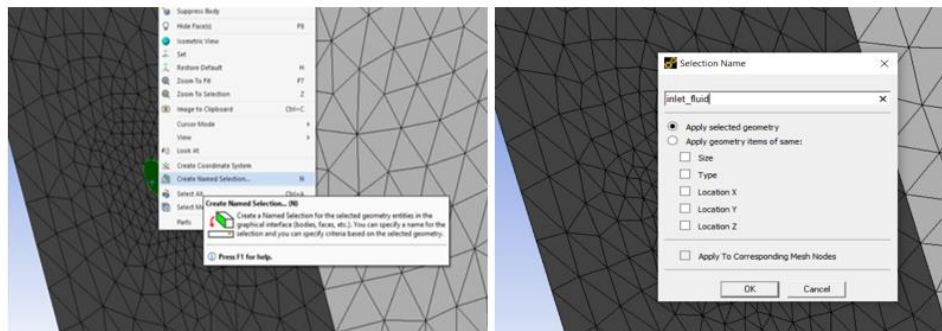


Figura 32. Visualización del name selection de entrada como *inlet_fluid* del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

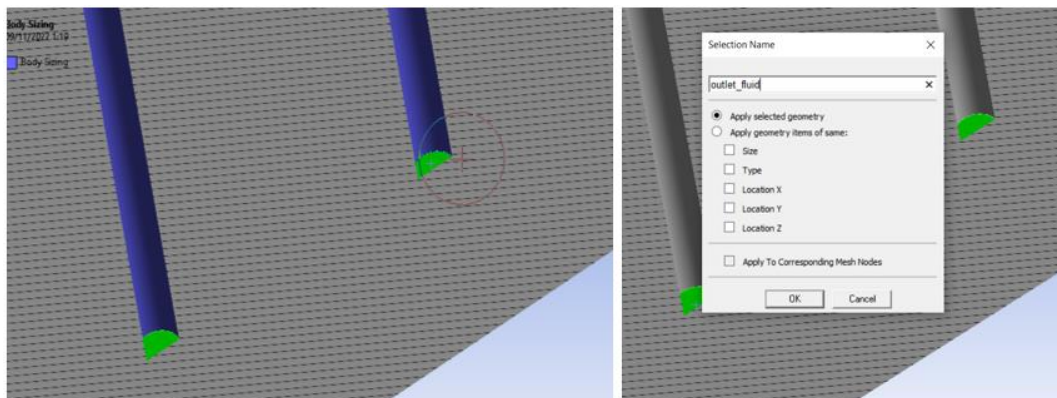


Figura 33. Visualización del name selection de salida como *outlet_fluid* del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

A continuación se realiza la adaptación del sistema wall para trabajar con un flujo de fluido. Esta condición permite realizar el comportamiento de los flujos dentro del dominio (Body) para realizar la respectiva adaptación de las condiciones de operación. En la *figura 34* se observa la selección de todas las caras (faces) externas, con el fin de identificar el tipo wall; además esta condición establece el efecto de no deslizamiento y que el modelo numérico de resolución sea más estable.

4. Metodología

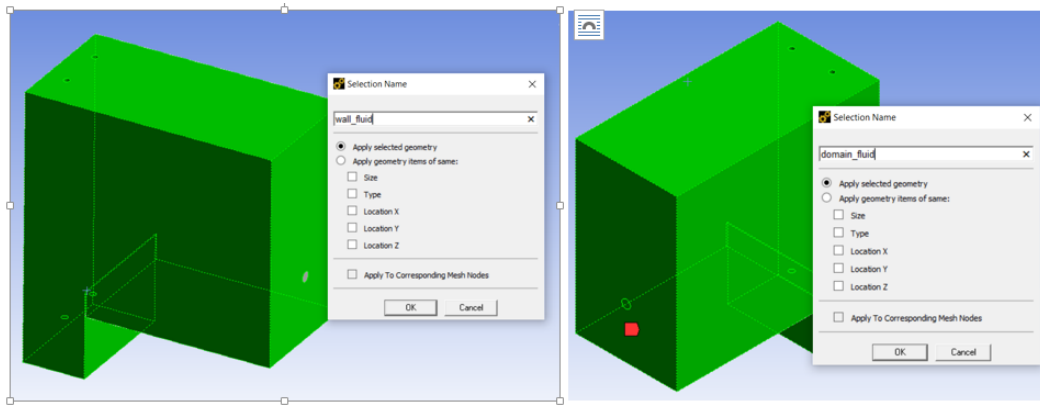


Figura 34. Visualización del name selection de pared como wall_fluid y domain_fluid del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

En la siguiente tabla se resumen los elementos de condiciones de borde del sistema a utilizar y sus respectivas fronteras:

Condiciones de borde	
Inlet	Zona de descarga del agua con una fracción volumétrica igual a 1, y una velocidad de entrada de 0.35 m/s.
Oulet	Zona donde circula aire con una presión manométrica igual a 0 kPa Límite superior del canal (Superficie exterior).
Wall	Paredes solidas del canal con un valor de rugosidad igual a 0.

Tabla 9. Condiciones de borde del sistema del tanque. Fuente: Autor, 2022.

En esta primera propuesta de análisis se realiza el cálculo numérico CFD, mediante el método de volúmenes finitos y se parametrizan las condiciones iniciales del dominio partiendo de un análisis estacionario con el fin de verificar el flujo del fluido en la entrada, figura 35.

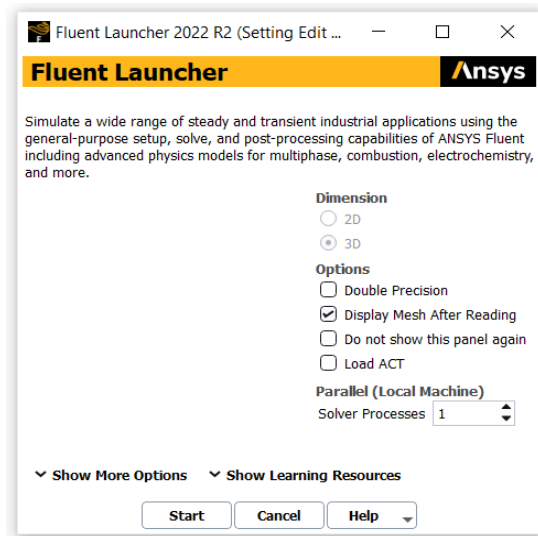


Figura 35. Preestablecimiento del fluent. Fuente: Autor, 2022.

Para el modelado del flujo se utilizó un modelo de turbulencia k - ω y el model SST parametrizado, ya que es un estudio de modelo industrial en transporte por tuberías. Esta configuración se realiza de manera general en todos los cálculos, además, dentro del estudio se realizan varias pruebas con modelos de flujos laminares para determinar las salidas de los flujos, como se observa en la figura 36.

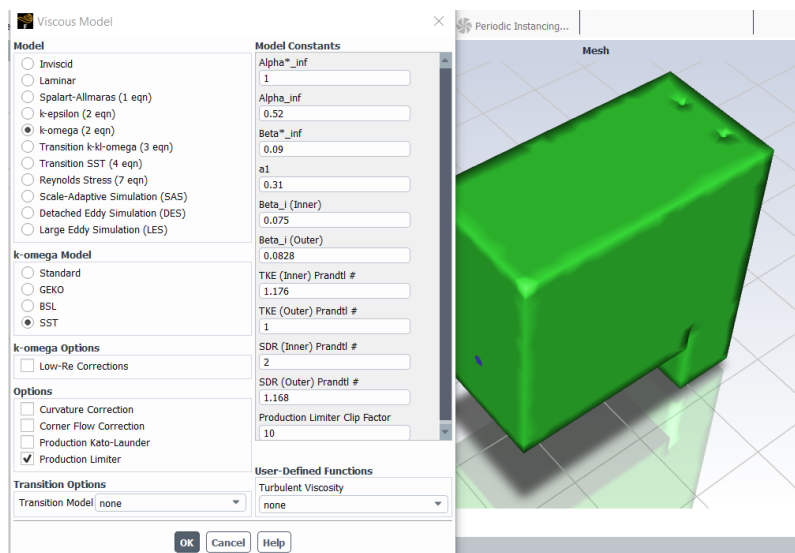


Figura 36. Condiciones de flujo turbulento. Fuente: Autor, 2022.

4.4. PROPUESTA DE UN DISEÑO COMPUTACIONAL DEL SISTEMA DESARENADOR ACTUAL QUE POSIBILITE UNA MAYOR RETENCIÓN DE SEDIMENTO EN LA CISTERNA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALAZÁN.

Se realiza el rediseño de la propuesta del tanque con el sistema de placas para tener el fluido en su altura y la elaboración de un dique superior con tuberías de alimentación a la siguiente cámara, como se observa en la *figura 37*, la geometría se volverá a realizar en *Space-Claim*, como algunas simplificaciones por etapas, con el fin de poder visualizar su detalle interno y el modelo de dominio para el análisis *CFD*. Los procedimientos de postprocesado y mallado se omitirán ya que son repetitivos y los criterios de convergencia se mantienen dentro del análisis. las ecuaciones de transporte y sistemas DPM usan el mismo principio (anexos 13,14, 15 y 16).

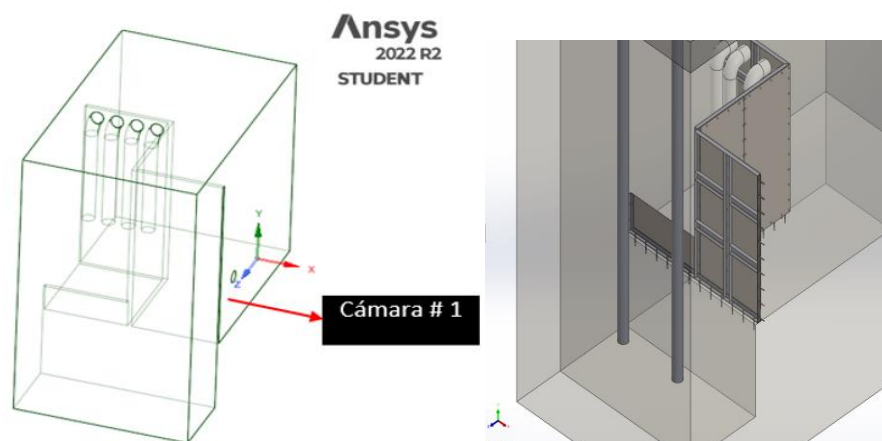


Figura 37. Nueva propuesta del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

4. Metodología

Se presenta la propuesta del tanque SAE en vista lateral, obteniendo las dimensiones de la tubería de descarga del dique mediante el anterior estudio de flujo de suspensión en la base. La tubería de descarga tiene un diámetro de 8”.

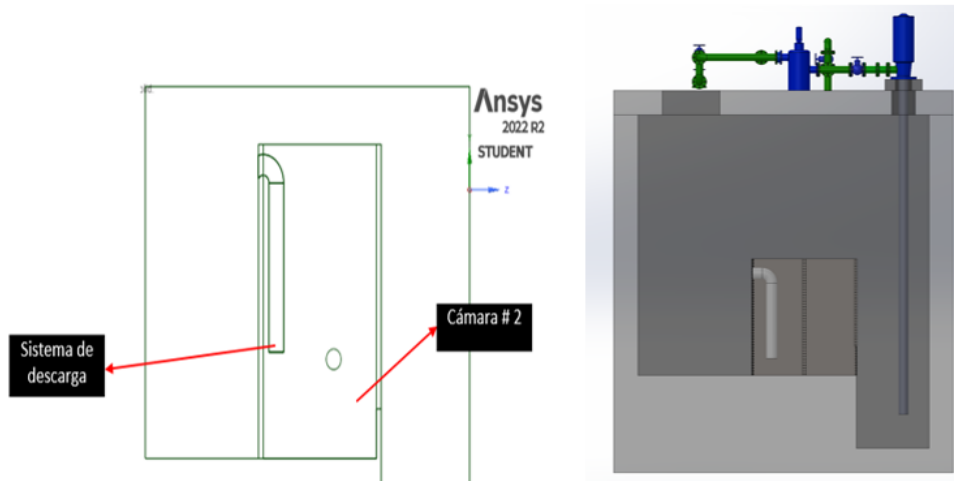


Figura 38. Nueva propuesta del tanque SAE. Lateral 1, dique y descarga de tubería principal descarga a cámara 2. Fuente: Autor, 2022.

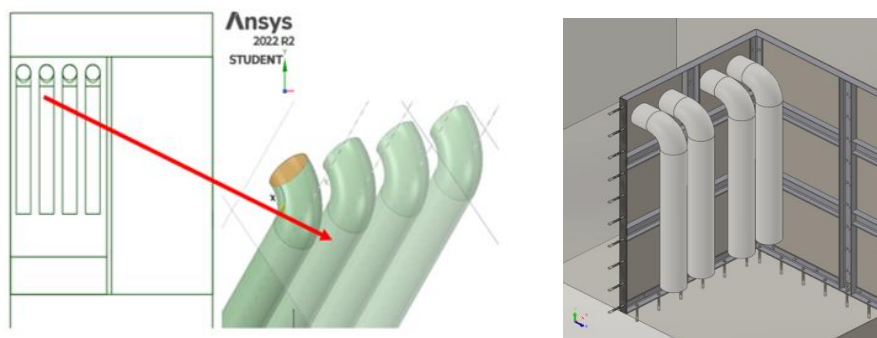


Figura 39. Nueva propuesta del tanque SAE. Tuberías de descarga. Fuente: Autor, 2022.

La propuesta de camaras separadoras podrán evitar que el sedimento pase de una cámara a otra, mejorando así el funcionamiento del sistema y manteniendo la integridad de sus equipos.

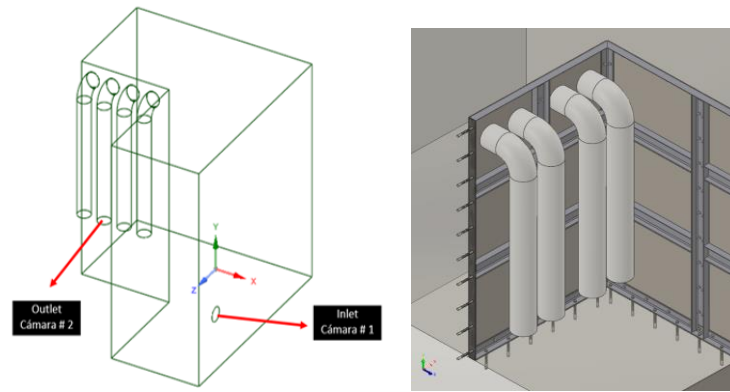


Figura 40. Nueva propuesta del tanque SAE. Dique y descarga de tubería principal a cámara 2. Configuración de las tuberías y condición de simulación. Fuente: Autor, 2022.

4.5. FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL DISEÑO

La implementación de este proyecto, va encaminado en poder aportar una mejor calidad de agua en el sistema de agua de enfriamiento, de esta manera se obtendrá una mayor fuente de generación de energía eléctrica en base al aprovechamiento potencial hidrológico y a las condiciones geográficas que posee el sitio.

El diseño actual no existen elementos específicos para la captación del sedimento, por esta razón se sugiere en este estudio y propuesta de diseño, que se sumen estos elementos para alcanzar los objetivos. También es importante mencionar que el área civil debería realizar mejoras en el sistema partiendo del acceso a la cisterna, como también componentes de izaje para el montaje y desmontaje por mantenimiento.

Para el estudio y desarrollo del proyecto, existe una buena factibilidad económica, ya que en el desarrollo del mismo se han considerado todos los parámetros involucrados dentro del sistema y su comportamiento.

Realizando un análisis costo-beneficio, se podría notar que la inversión valdría la pena, ya que en los análisis y estudios de esta propuesta, reflejan resultados óptimos ante la problemática.

Finalmente, si se construyera este proyecto, habrían menos intervenciones por mantenimiento.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Los modelos computacionales llegaron a a la convergencia esperada, ya que en una simulación de 4 horas se determinó el comportamiento del flujo de agua dentro de la cámara del tanque, el cual ingresó por la toma superior de la turbina presentando una distribución en el dominio del 85 % en su totalidad.

Se verifico con el volumen completo de arranque que son los 3.20 metros, a la cual el flujo de agua ingresa sumergido y se evidencia el movimiento en el fondo de la cisterna, como se observa en la figura:

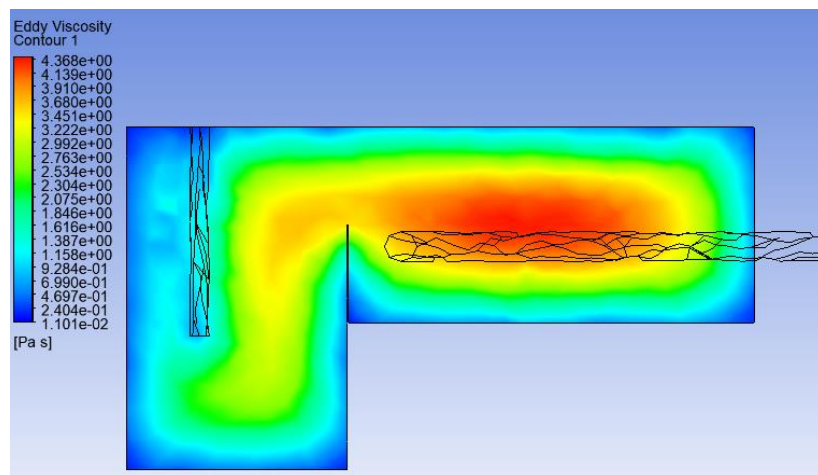


Figura 41. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases, viscosidad de Eddy. Fuente: Autor, 2022.

El comportamiento de fluctuación y suspensión de partículas densas del modelo computacional prevé mediante el modelo simplificado de Navier Stokes y la presentación en la base, una concentración completa, lo que se puede llegar en análisis de fluidos a preestablecer que dichos sedimentos se acumulen en la misma.

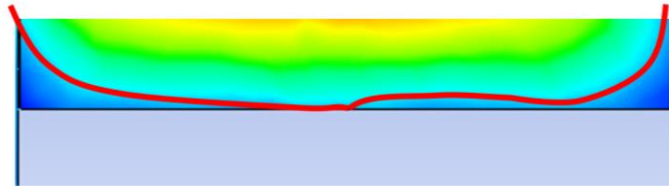


Figura 42. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases, líneas rojas acumulación del 35 %, viscosidad de Eddy. Fuente: Autor, 2022.

El sistema de análisis en el tanque, conjuntamente con los bordes de recirculación determinan las presiones en los volúmenes cerrados, según se observa en la figura:

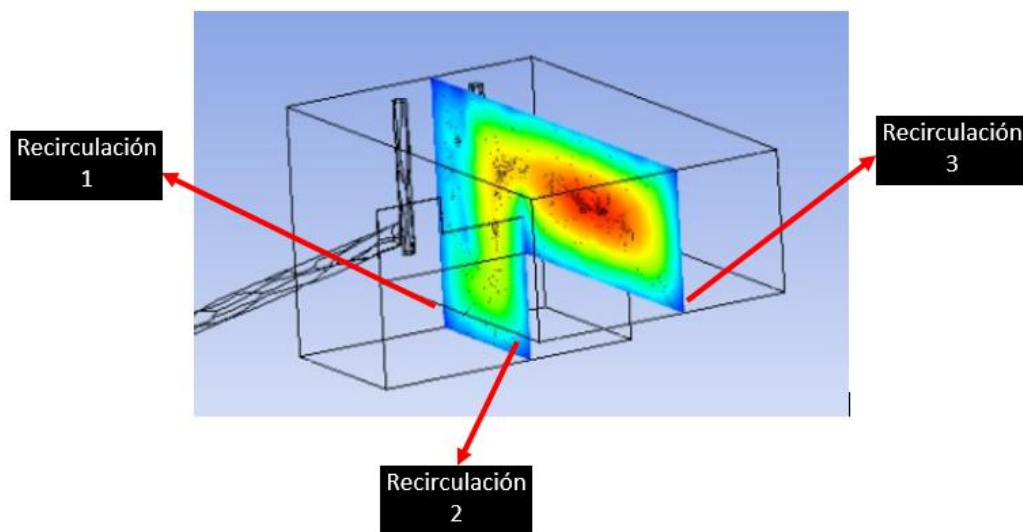


Figura 43. Comportamiento del flujo con partículas residuales en las fases de recirculación. Fuente: Autor, 2022.

Se analizaron las velocidades en los medios de recirculación y superposición del fluido. Las velocidades en el componente Y relativamente es baja en la zona de la pared en estado estacionario. También se observa el flujo en la entrada de succión de la bomba.

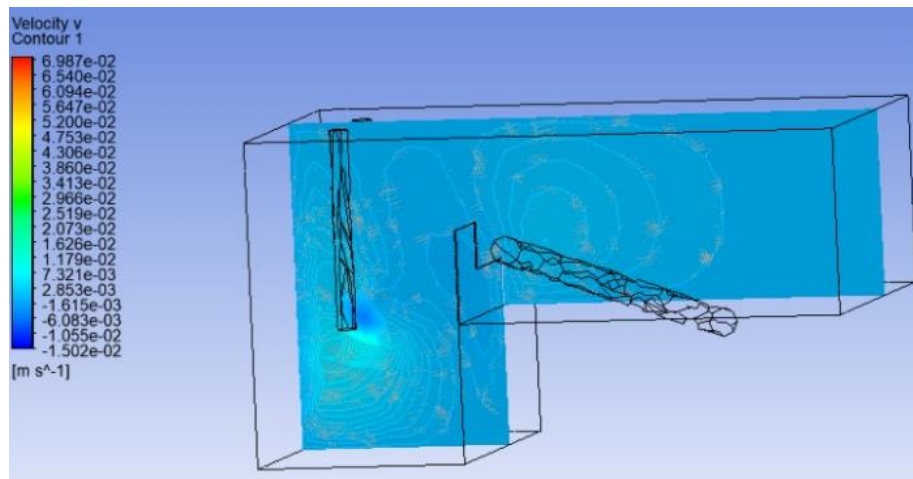


Figura 44. Contorno de velocidades en el volumen plano 1. Fuente: Autor, 2022.

La energía cinética turbulenta indica los términos de estabilidad del número de Richardson y otros conceptos no dimensionales en los vertices turbulentos cinéticos del sistema.

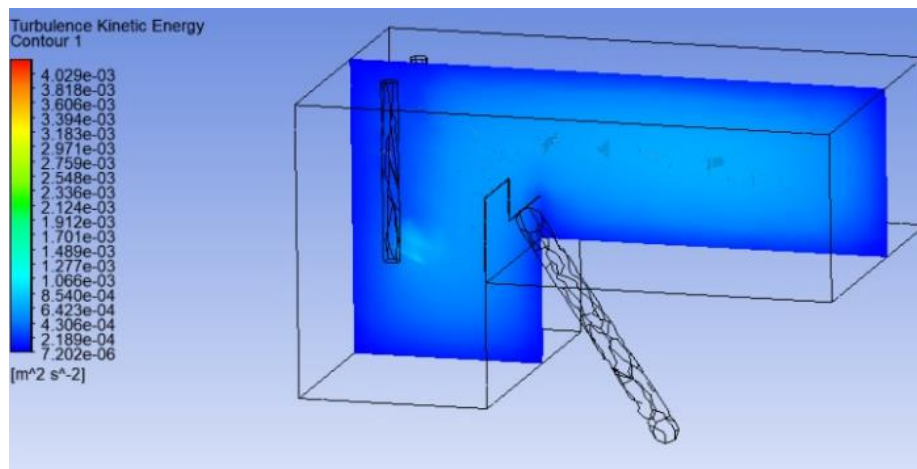


Figura 45. Energía turbulenta cinética del sistema plano 1. Fuente: Autor, 2022.

Ante el análisis computacional del tanque SAE, se evidencia debilidad en el sistema de alojamiento y desalojo de sedimentos, ya que no existe la altura suficiente. Además la parte de la base de la cimentación debe proveerse de una inclinación que esté entre los 7° y 13° en ambos sentidos. Esto asegurará una línea de acumulación transversal a la placa de retención. Por otra parte, se garantiza la altura necesaria para que el flujo llegue a un estado de reposo y elimine recirculaciones

y movimientos drásticos manteniendo así que las partículas en suspensión puedan llegar a un reposo de base nivel 0.

Por ende, se realizará una propuesta del nuevo diseño y un análisis de trayectorias posibles del flujo que ingresa en la tubería hacia las tuberías de succión de las bombas, mediante análisis CFD en las que se consideren las mismas condiciones de trabajo de la simulación anterior de la cisterna, con la diferencia de placas separadoras (desarenador) y un sistema de tuberías en el dique.

5.2 RESULTADO DE LAS CONDICIONES DE SIMULACIÓN

El sistema de mallado se usó para un elemento tetrahedrico, seleccionando los *name selection* al igual que los casos anteriores para las entradas. El dominio de fluido de agua, la salida a presión atmosférica y las condiciones de velocidad se colocan en la fase 1 de simulación, como se observa en la figura.

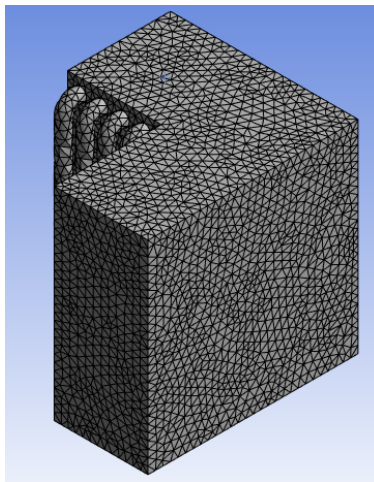


Figura 46. Mallado de la fase 1 de la cisterna del SAE. Fuente: Autor, 2022.

Se verifica las condiciones de frontera en el modelo de tanque. Luego se configura el setup de los elementos de entradas y salidas, las condiciones de wall y el domain fluid para el análisis de CFD. De esta manera se analiza el modelo de turbulencia y se realiza el cálculo con un 3500 iteraciones obteniendo el siguiente comportamiento de los flujos en una primera etapa:

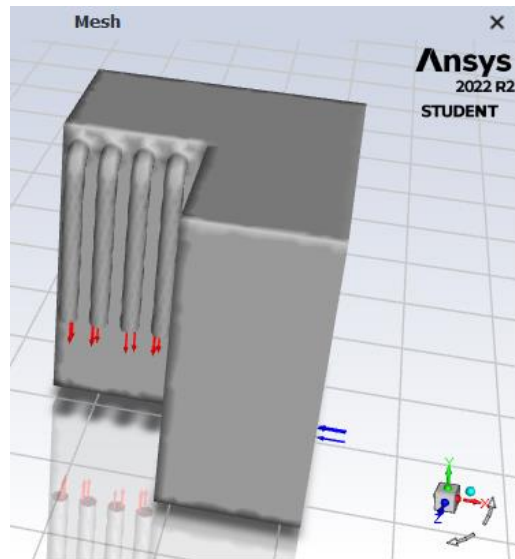


Figura 47. Fronteras de la propuesta en la fase 1 del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

Para la segunda fase de simulación se aprecia el nivel de mallado en el sistema, donde se aplican las mismas condiciones, solo con la diferencia que ahora se ocuparán los resultados de salida de la fase 1 como entrada.

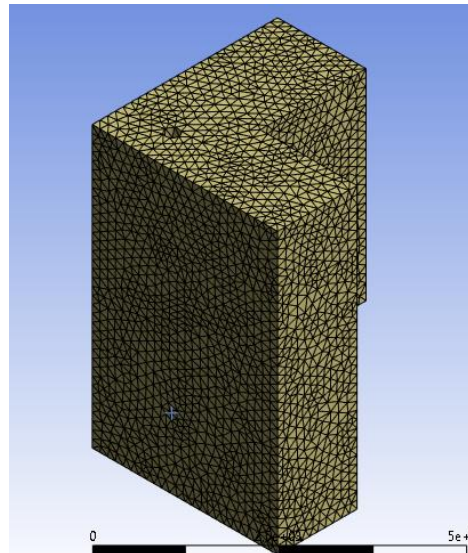


Figura 48. Mallado de la fase 2 de la cisterna del SAE. Fuente: Autor, 2022.

Se verifican las condiciones de frontera en el modelo de tanque de fase 2. Luego se realiza el setup de los elementos de entradas y salidas, de condiciones de wall y de domain fluid para el análisis de CFD.

De esta manera se analiza el modelo de turbulencia para realizar el cálculo con un mismo número de iteraciones de 3500, obteniendo el siguiente comportamiento de los flujos en la segunda etapa:

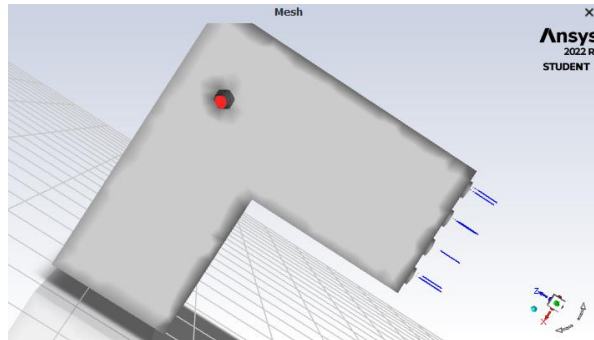


Figura 49. Fronteras de la propuesta en la fase 2 del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

Se puede observar la ausencia del movimiento de sedimento en la base:

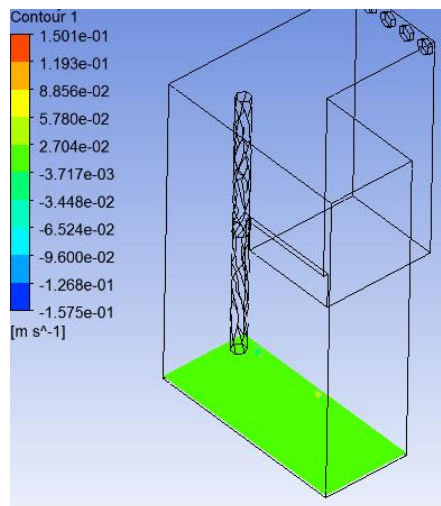


Figura 50. Movimiento sedimentario en la base de la cisterna. Fuente: Autor, 2022.

Se realizó un aumento del plano Z para visualizar los sedimentos en suspensión a la entrada de la bomba, de esta manera se concluye que las pruebas de simulación en CFD se pueden realizar con diferentes enfoques para el desarrollo de los problemas eventuales.

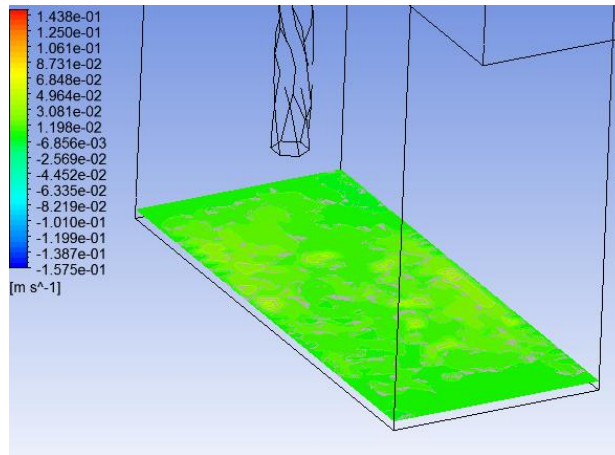


Figura 51. Sedimento suspendido en la entrada de la bomba. Fuente: Autor, 2022.

Finalmente se verifica que la convergencia dentro de los rangos residuales resuelve el problema estacionario.

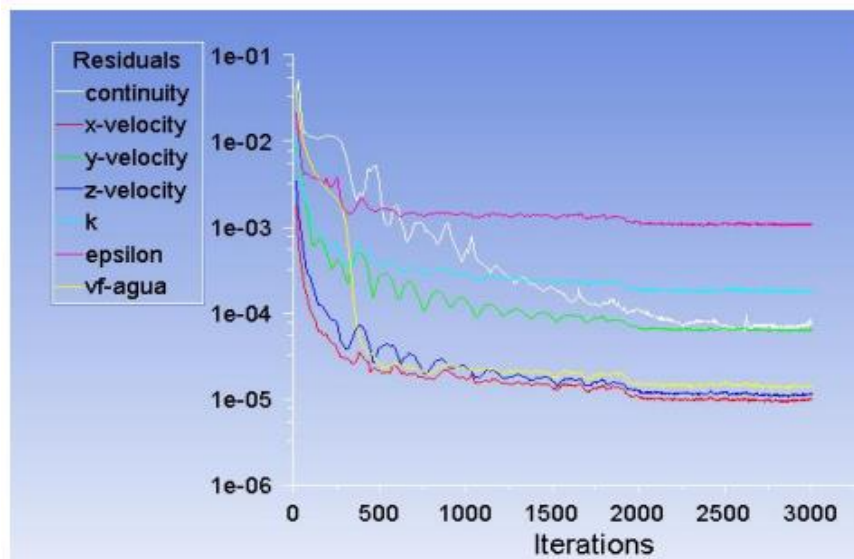


Figura 52. Convergencia de las fronteras de la nueva propuesta del tanque SAE. Fuente: Autor, 2022.

Los resultados muestran un comportamiento muy distinto al del primer modelo de en la cisterna, ya que al llenarse la cámara 1 se evidencia que el flujo sigue la dirección en X y el nivel de velocidad de la partícula queda estancada en las paredes perpendiculares a la salida del fluido.

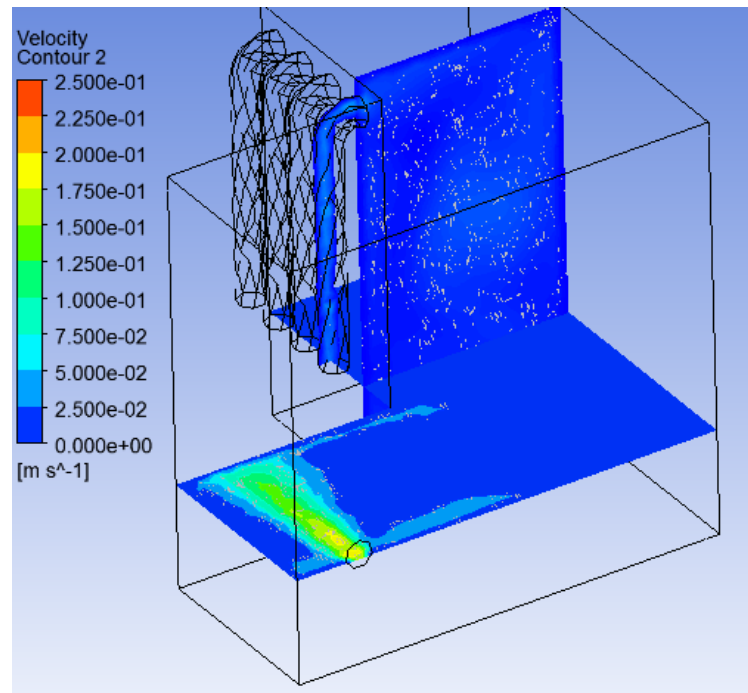


Figura 53. Velocidad de las partículas. Fuente: Autor, 2022.

Se verifica el movimiento de partículas sedimentadas en la base de la cimentación, esto nos da como resultado que la acumulación mayor va a ser en la cámara 1, con un porcentaje del 60 %, provocando la disminución del mismo por el montaje del dique, ya que las partículas más pesadas quedarán suspendidas en la misma, sin lugar a poder superar la altura de 3.40 metros, donde se encuentra la desembocadura del fluido para ser llevado a la cámara 2.

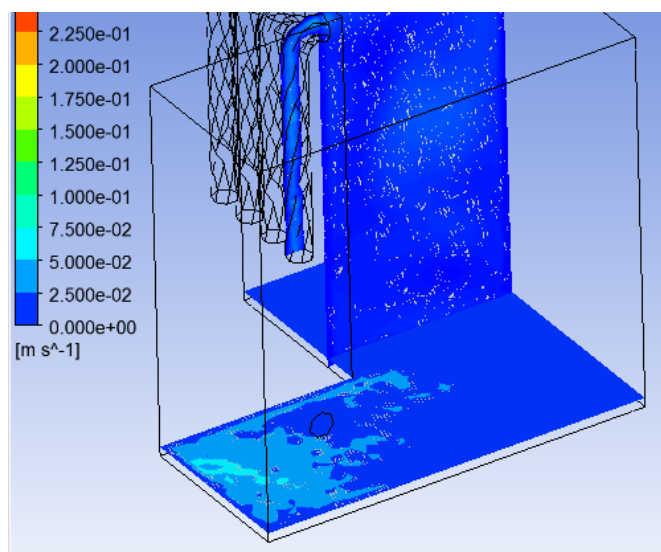


Figura 54. Movimiento de las partículas. Fuente: Autor, 2022.

A continuación se presenta el nivel de captación por recirculación del flujo ante el diseño. Se captará el sedimento en la base mayor.

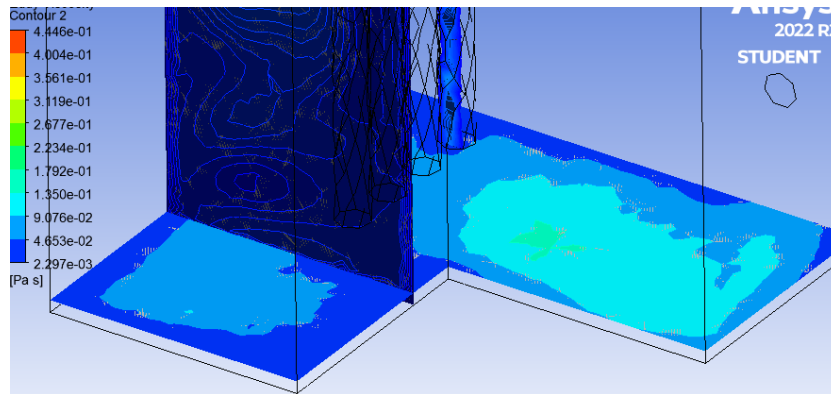


Figura 55. Nivel de captación de partículas. Fuente: Autor, 2022.

La condición gravitatoria de las partículas asegura que un 60 % de sedimento habrá quedado en la cámara 1, antes de llegar a la parte superior del dique.

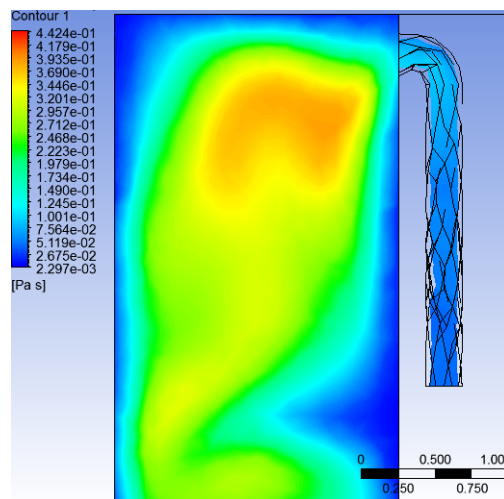


Figura 56. Condición gravitatoria. Fuente: Autor, 2022.

5.3 RESULTADO DE ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO EN LA CISTERNA DEL SAE

- **Método SM 2540 F**

Establece una metodología para la determinación de sólidos sedimentables en la matriz de agua en relación a las condiciones del laboratorio o campo según aplique. La determinación de sólidos sedimentables por el método *SM 2540F* volumétrico, se realiza en muestras de agua superficiales de acuerdo a lo establecido por el laboratorio. El límite inferior de lectura es de 0.1ml/L (*MS 2540 F.pdf*, s. f.).

Los sólidos asentables dentro de la cisterna se determinaron sobre un volumen (ml/L) o un peso (mg/L). Estos sólidos sedimentables, tienen un tamaño de 10μ que se desprenden de la suspensión en un tiempo determinado y están constituidos por partículas más densas que el agua.

Para la toma y preservación de la muestra, fue tomada en un recipiente plástico. Esta muestra fue analizada sin ningún tipo de pretratamiento o preservación. Se requirió como mínimo 2000mL de muestra para el análisis con su duplicado.

- **Método SM 2540 B**

Establece una metodología para la determinación de sólidos disueltos totales secados a 180°C en agua, por un método gravimétrico (*María - 5. EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES 5.1 EQUIPOS.pdf*, s. f.). Este método de análisis aplica a muestras de aguas residuales domésticas e industriales, aguas superficiales, lluvias y subterráneas.

Los sólidos son materiales suspendidos y disueltos en el agua, estos pueden afectar negativamente a la calidad del agua. El contenido de materia en suspensión dentro de la cisterna es muy variable debido a las condiciones temporales del afluente.

En el Laboratorio de Saneamiento, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba de la ciudad de Cuenca, se realizaron los análisis sedimentológicos

5. Resultados

generales de las muestras de agua tomadas en la cisterna del SAE (anexo 17), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

RESULTADOS				
Parámetro	Método	Fecha de realización	Unidad	Cisterna
<i>Sólidos sedimentables</i>	SM 2540 F	01 – dic - 2022	<i>ml/L</i>	0
<i>Sólidos suspendidos totales</i>	PEE/LS/FQ/04	01 – dic - 2022	<i>mg/L</i>	5
<i>Sólidos totales</i>	PEE/LS/FQ/05	01 – dic - 2022	<i>mg/L</i>	105
<i>Sólidos disueltos</i>	SM 2540 B	01 – dic - 2022	<i>mg/L</i>	100

Tabla 10. Análisis sedimentológicos de la cisterna. Fuente: ETAPA, 2022.

6. RECOMENDACIONES Y DISCUSIÓN

Se recomienda realizar estudios multifásicos, donde interfiera la contaminación de paredes, la degradación de los silicatos en el concreto, para refinar el modelo computacional. Analizar de manera más profunda el modelo turbulento a escalas de tiempo muy grandes para observar a detalle el comportamiento de los vórtices de ante ruidos o disturbios en los recintos cerrados, en la parte computacional adjuntar presiones de vacío en el modelo y poder visualizar cuál sería el comportamiento de trayectoria de las partículas. Trabajar con multimallas, para colocar obstáculos en los recorridos donde se observa acumulación del sedimento en el tanque. Realizar análisis transitorios también ayudar a determinar los niveles o tasas de corrosión que podría llegar a experimentar el sistema de bóveda que hace que el fluido obedezca el régimen de tráfico. El modelo computacional reacciona de una manera robusta al acople, es decir tomar resultados en dos fases de salida – entrada, esto se debe a la limitación de la licencia de Ansys académico. Las empresas buscan poder mejorar los sistemas de transporte de sedimentos, silicatos, carbono y piedra, el modelo computacional respondería de manera ideal ante una prueba de erosión, es decir poder llegar a determinar el desgaste de los sistemas mecánicos. Los análisis acoplados FSI, se pueden aplicar en este tipo de análisis ya que se puede crear una interferencia fluido – sólido, llegar a determinar cargas de impacto, y así determinar los esfuerzos de Von Mises en el contorno de los elementos concreto – acero, y así determinar un análisis de fatiga en el tiempo de todo el sistema.

7. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis computacional, dichas técnicas se adquirió durante el programa de maestría, demostrando gran uso y aplicabilidad en sistemas industriales, se modeló el sistema estructural del tanque SAE, con el fin de someterlo a un análisis de dinámica de fluidos computacional, en una primera fase se revisó el modelo actual del tanque y se sometido al transporte de fluidos (agua y partículas sedimentos).

Se verificó que el modelo actual carece de separadores para la mejor distribución de los sedimentos que se impregnan en la base del tanque, lo cual hace que los equipos del SAE, tiendan a experimentar daños en los sistemas internos y por ende, mayor tiempo de mantenimiento y arreglos de estos dispositivos, la propuesta nace de este estudio para realizar una reintegración estructural en el sistema de tanque para realizar desviaciones del flujo con sedimentos y una altura de entrada, asegurando que solo llegara el flujo de agua para pasar a la cámara # 2. Se evidencia el comportamiento de los asentamientos en la cámara # 3.

8. REFERENCIAS

- Aguirre Zapata, D. (2014). Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas.
- Alsina Quintero, H. A. (2019). Desempeño de geometrías de bombas PCP en pozos críticos de alto manejo de flujo de sólidos. *Escuela de Química y Petróleos*.
- Blanco Hernández, M. S. (2018). *Cálculo del caudal necesario para el sistema de enfriamiento de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Hanabanilla*. [PhD Thesis]. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Construcciones
- Canal Sánchez, I. (2014). *Análisis de fallos en elementos mecánicos*.
- Freire Castelo, M. E. (2014). *Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Municipal de Faenamiento de Ganado de Orellana* [B.S. thesis].
- Gómez Vilcherrez, J. B. (2020). *Análisis de ciclo de vida al hidrohord, material implementado para el diseño y fabricación de los asientos de las toberas de la central hidroeléctrica cañón del pato*.
- Guzmán Pérez, E. B. (2014). *REDISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL CÁRCAMO DE LA 1ª Y 2ª ETAPA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MANUEL MORENO TORRES "CHICOASEN"*.
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), 95. https://doi.org/10.1897/IEAM_2004a-015.1
- Kurowski, P. (2013). *Análisis de ingeniería con...* - Google Académico. (s. f.). Recuperado 24 de octubre de 2021, de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Kurowski%2C+P.+%282013%29.+An%3%A1lisis+de+ingenier%3%ADa+con+SolidWorks+Simulati+on+2013+Publicaciones+de+la+COSUDE.&btnG=
- Loayza Montalvan, S. X., & Morocho Navas, D. C. (2019). *Desarrollo de la gestión documental de operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Alazán* [B.S. thesis].
- López Quintero, N., & Reyes González, L. F. (2018). *Evaluación técnica y financiera del uso de la herramienta tubing screen en cinco pozos de campo casabe* [B.S. thesis]. Fundación Universidad de América.

MANUAL DE OPERACIÓN CENTRAL ALAZÁN.pdf. (s. f.).

María—5. EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES 5.1 EQUIPOS.pdf. (s. f.).

MS 2540 F.pdf. (s. f.).

MUÑOZ SEPÚLVEDA, C. B. (2018). *DESARROLLO DE UN MODELO DE MEJORA CONTINUA PARA IDENTIFICAR LAS CAUSAS Y PROYECTAR EL DESGASTE POR ABRASIÓN EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE CARBÓN EN PLANTA TERMO-ELÉCTRICA (AES GENER, CENTRAL VENTANAS)*.

Noon, A. A., Jabbar, A. U., Koteh, H., Kim, M.-H., Ahmed, H. W., Mueed, U., Shoukat, A. A., & Anwar, B. (2021). Strive to Reduce Slurry Erosion and Cavitation in Pumps through Flow Modifications, Design Optimization and Some Other Techniques: Long Term Impact on Process Industry. *Materials*, 14(3), 521. <https://doi.org/10.3390/ma14030521>

Noon, A. A., & Kim, M. H. (2021). *Sediment and Cavitation Erosion in Francis Turbines—Review of Latest Experimental and Numerical Techniques*. *Energies* 2021, 14, 1516. s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published

OPS 2005b. Guía desarenadores y sedimentadores.pdf. (s. f.)

Pérez, L. A. G. (s. f.). *MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL*.

Polanco et al. - 2020—Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos .pdf. (s. f.).

Rodríguez, D. A. Q. (2019). *Facultad de Ingeniería [PhD Thesis]*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.

Romero Guarín, A., & Soler Rodríguez, L. V. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica*.

Serrano, R. O., de Castro, A. L., Rico, E. A., Pinto, M. A., Viana, E. M. de F., & Martinez, C. B. (2018). Efeitos abrasivos dos sedimentos em rotores de bombas utilizadas na captação de água bruta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(9), 591-596.

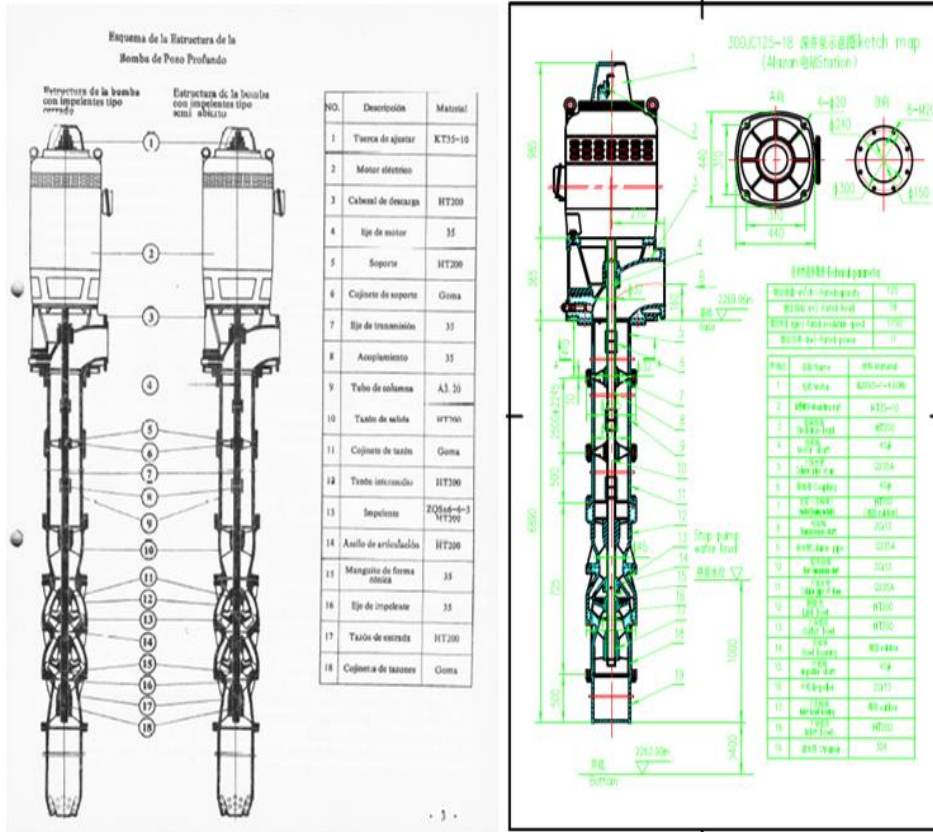
Silva y Garzón—2018—Evaluación de impactos en la vida útil del embalse.pdf. (s. f.).

Terminos_de_referencia_eia_hidroelectricas.pdf. (s. f.).

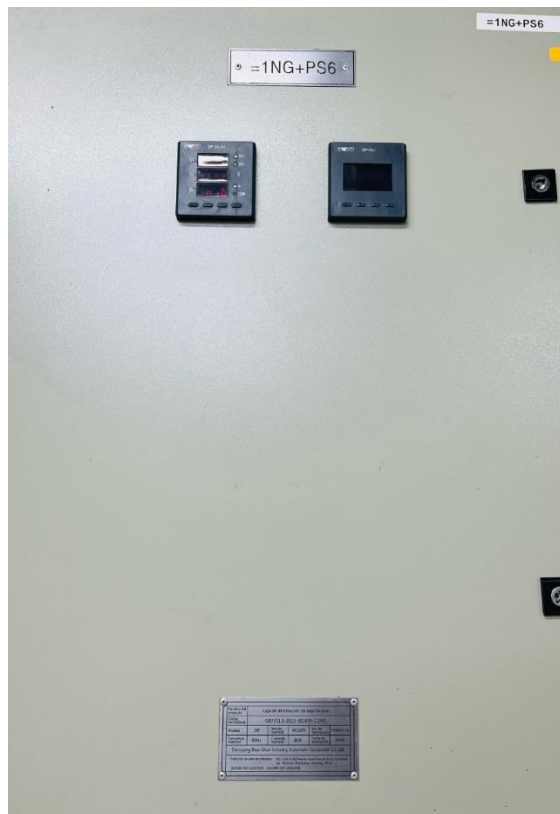
Torres et al. - INGENIERO EN ELECTRICIDAD Especialización POTENCIA.pdf. (s. f.).

Vivero Condo, C. D., & Merchán Saquipay, H. A. (2019). *Análisis de la microestructura en los rodets pelton de la Central Hidroeléctrica Paute-Molino mediante réplicas metalográficas in-situ [B.S. thesis]*.

9. ANEXOS



Anexo 1. Esquema de la estructura de la bomba de pozo profundo. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 5. Tablero principal de distribución de bajo voltaje. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 6. Tablero para accionamiento de bombas del SAE. Fuente: Autor, 2022.



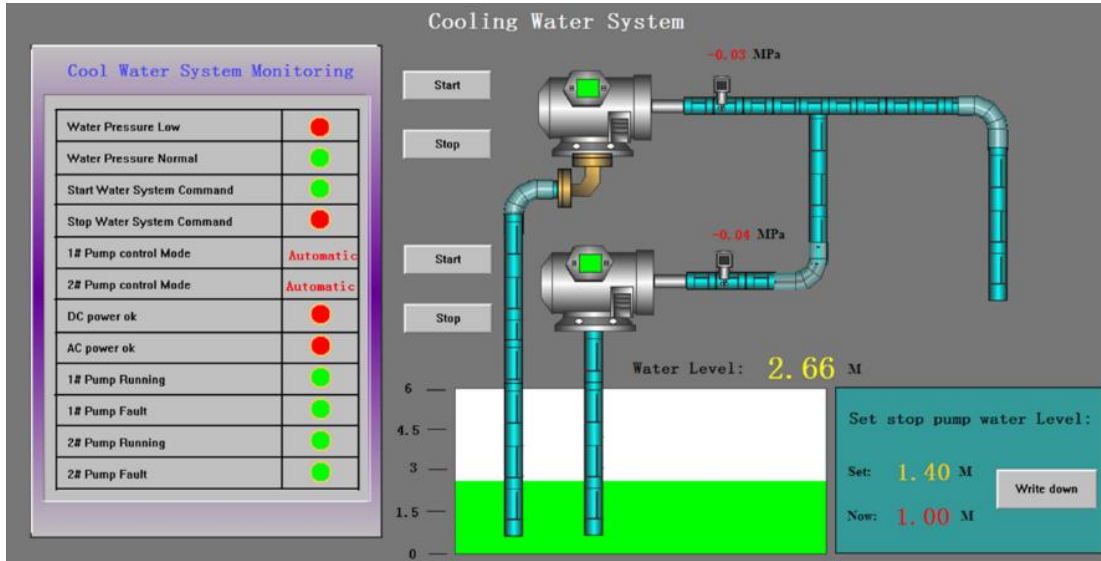
Anexo 7. Tablero de filtros autolimpiantes del SAE. Fuente: Autor, 2022.



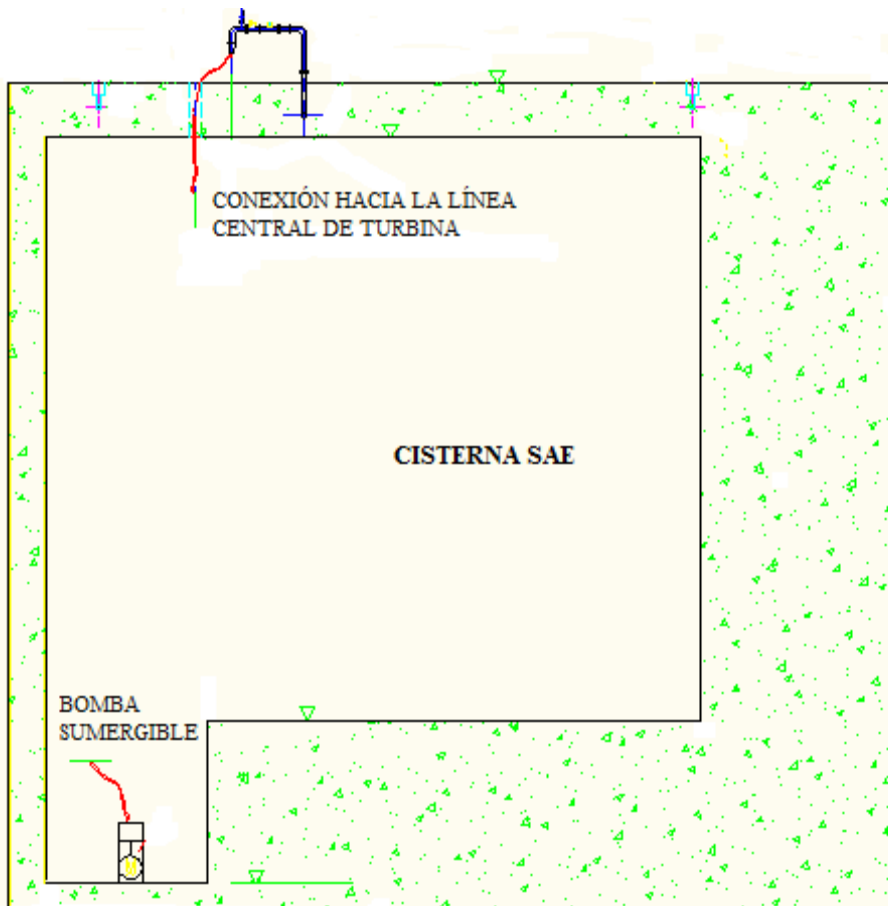
Anexo 8. Filtro autolimpiante. Fuente: Autor, 2022.

ALARMAS
Presión de salida agua demasiado baja
Presión de salida de agua normal
Comando de inicio de SAE
Comando de paro de SAE
Modo de control de Bomba 1
Modo de control de Bomba 2
Estado de alimentación DC
Estado de alimentación AC
Bomba 1 activada
Fallo en bomba 1
Bomba 2 activada
Fallo en bomba 2

Anexo 9. Alarmas comunes del SAE. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 10. Mímico del SCADA del SAE. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 11. Esquema cisterna actual del SAE. Fuente: Manual de operación Alazán, 2013.

 CENTRAL HIDROELECTRICA ALAZAN		OT-81 0470 Rev. 1 Edici: 2020/09/14 Pagina 1 de 1
Instalación: CH AL7-PGE01 Posición: AEN-LAECMO-BMB Objeto de obra: BMB1 Tipo de obra: Correctivo Descripción Carter: LIMPIEZA BOMBA 1 DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA 01 BOMBEO BOMBRA 1 PARA AGUA DE ENFRIAMIENTO Área: Mant. Mecánico Responsable: Jose Jimenez	
Descripción del trabajo: - Limpieza de la bomba 1 del Sistema de Agua de Enfriamiento - Desarmar la bomba 1 del SAE. - Preparar las partes de la bomba que sea necesario reparar o reponer el recubrimiento		
Condición de tarea: Normal Fecha de inicio: 14/09/2020 8:00 Fecha de finalización: 15/09/2020 16:00	RED No: Restricción: Ninguna Solicitado por: Juan Poma	
Instructivo de comig y recepción No.: Informe referencial: S/R		
Autorización: Inspector: Juan Abad Jefe de Área	Supervisor Mant: Hugo Durán	Operación: Jose Jimenez Mantenimiento Fecha: 14/09/2020 Hora: 16:00
Reporte del trabajo: (Llenar en Mito correctivo por falta (horas decimales)) FECHA/HORA DE INICIO: 14-09-20 FECHA/HORA DE FINALIZACIÓN: 15-09-20 Tiempo de parada (h): Tiempo de respuesta (h): Espera por repuestos (h):		
Ejecutor Mant:	Horas Laboradas:	Recibido por: Fecha: 15/09/2020 Hora: 15:00 Supervisor Mant: Juan Poma Operación:
MEDIDAS DE SEGURIDAD Equipo Desenergizado <input type="checkbox"/> Equipo Bloqueado <input type="checkbox"/> Señalización de Seguridad <input type="checkbox"/> Uso de EPPs <input checked="" type="checkbox"/>	CONTROL DE RIESGOS Riego Electrico <input type="checkbox"/> Contacto con Tóxicos <input type="checkbox"/> Riego Auditivo <input type="checkbox"/> Riego por Quemadura <input type="checkbox"/> Riego por Caída <input type="checkbox"/>	NIVEL DE RIESGO EN ACTIVIDAD Riego minimo <input checked="" type="checkbox"/> Riego moderado <input type="checkbox"/> Riego Alto <input type="checkbox"/>

DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES Y NOVEDADES

Fecha y nombre: (cuándo? ¿quién?)
 Anderson Mora; 16-09-2020
 Homero Gavilana

Inspección inicial: (Cómo se encontró el equipo?)
 Los bobinas se encuentran con desprendimiento del recubrimiento en algunas bobinas; presencia de oxidación y deterioro en el material base.
 Los bobinas, válvulas y accesorios presentan pequeños desprendimientos del recubrimiento.

Actividades realizadas: (Qué se hizo?)
 • Se realizó limpieza de los bobinas que presentan oxidación.
 • Se realizó el recubrimiento en mal estado.
 • Se limpió con disolvente todas las superficies antes de aplicar el nuevo recubrimiento.
 • Se aplicó el recubrimiento utilizando la pistola de aplicación.
 • Al terminar la aplicación se dejó secar por 24 horas; se realizó una limpieza a toda la obra.

Condición del objeto de mantenimiento: (Cómo quedó? ¿Se finalizó el trabajo o no?)
 Se finalizó el trabajo; las bobinas del SAE quedaron aplicadas recubrimiento nuevo (pintura verde).
 Bobinas, válvulas y accesorios fueron pintados con pintura actual en totalidad.
 El equipamiento colocado presenta buenas condiciones de fijación y aspecto bueno.

Documentación utilizada: (¿qué documentos le sirvieron para hacer el trabajo?)

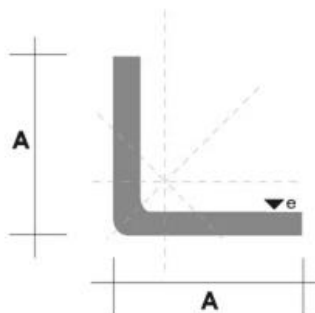
Pendientes: (¿Qué quedó pendiente por hacer? ¿Qué puede mejorarse?)
 Se recomienda programar para un mantenimiento futuro retirar todo el recubrimiento de las bobinas, para colocar uno nuevo y así lograr mejores condiciones.

Materiales Consumidos:

- Pintura Verde 3/4 Galón 1 GALÓN
- Pintura Azul 1/2 Galón 6 GALÓN
- Disolvente 2 GALONES
- Brochas 3 GALONES
- Waspie 2 lb
- Fina 16 lb

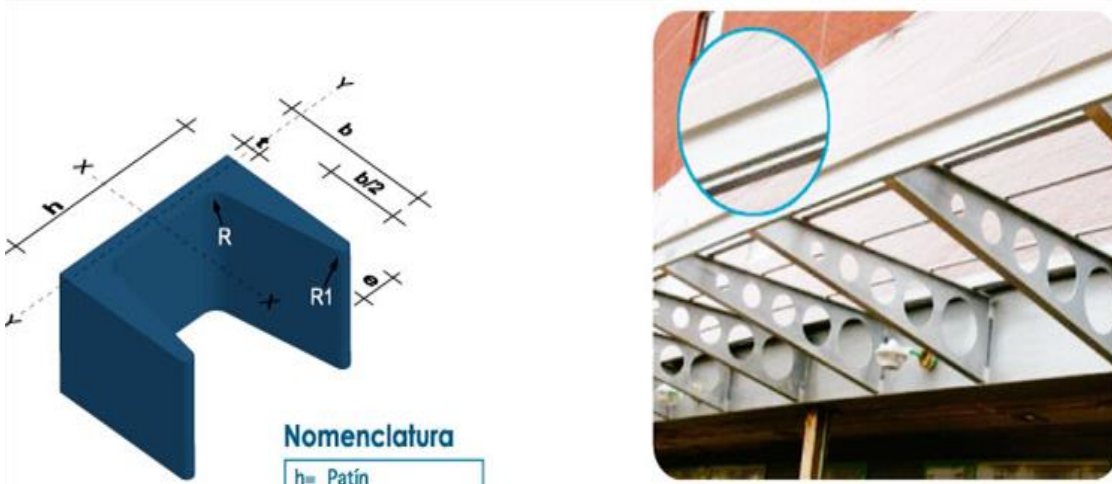
Anexo 12. Orden de trabajo Central Alazán. Fuente: Autor, 2022.

Descripción	Composición Química %					Pruebas Mecánicas				Prueba de Flexibilidad		
	C max	Si	Mn	P max	S max	Resistencia Mecánica psi (kgf/mm2)	Punto de Fluencia psi (kgf/mm2) min	Elongación		Espesor en (mm)	Ángulo de doblado	Radio de Curva Diámetro del espesor de la Muestra
								Muestra in.(mm)	% min			
Grade A				0,04	0,05					3/4(19.1) y menores		
Grade B	0,21		0,80~1,10	0,04	0,05	58,000 (40,8) ~	32,000 (22,5)	GL=8(200)	21	Sobre 3/4 to 1 1/4 (31,8), incl.	180°	3
Grade C	0,23	0,15~0,30	0,60~0,90	0,04	0,05	71,000 (49,9)		GL=2(50)	24	Sobre 1 1/4		3
Grade CS	0,18	0,15~0,30	1,00~1,35	0,04	0,05							
Grade E	0,18	0,15~0,30	0,70~1,35	0,04	0,05							
Grade R	0,24		0,60~0,90	0,04	0,05							



Denominación	Dimensiones mm		Peso		Área
	A	e	kg/m	kg/6m	cm2
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	56.95	11.60
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

Anexo 13. Material estructural AL 70*6. Fuente: Tomado de: <https://dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-laminados/angulo-importado/>, 2022.



Nomenclatura

- h= Patín
- b= Ala
- t= Espesor Alma
- e= Espesor Ala
- R= Radio Giro Alma
- R1= Radio Giro Ala

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO FLUENCIA	
Kg/mm ²	Mpa	Kg/mm ²	Mpa
37 - 52	370 - 520	24	235

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES						PROPIEDADES					
	h	b	t	e	R	R1	ÁREA SECCIÓN cm ²	PESOS kg/mts	INERCIA (cm ⁴)		RESISTENCIA (cm ³)	
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴			Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.64	106.00	19.40	26.50	6.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.49
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	86.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.60
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	495.00	535.00	67.80

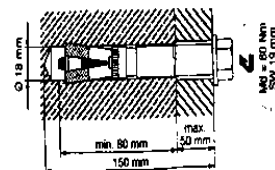
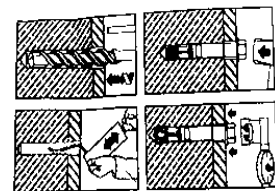
Anexo 14. Material estructural UPN 140. Fuente: Tomado de: <https://dipacmanta.com/producto/vigas/upn/upn/>, 2022.



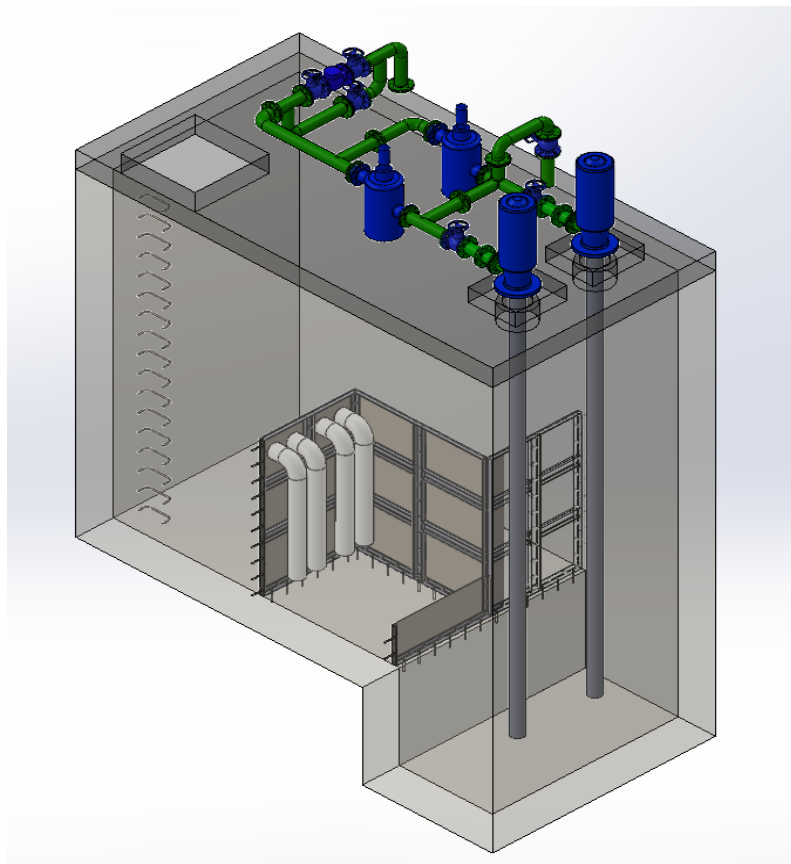
Anexo 15. Empaque en plancha 2 * 1.50m * 5mm. Fuente: Tomado de: <https://www.acerocomercial.com/shop/product/klingersil-c-4401-empaque-en-plancha-2x1-50mtrs-espesor-5mm-klingersil-c-4401-klinger-11052?category=1413#attr=>, 2022.

Información técnica							
Configuración de cabeza		Cabeza hexagonal					
Condiciones ambientales		Interior, ambiente seco					
Aprobaciones / informes de prueba		Clasificación sísmica, BZS (impacto), ETA, Fatiga, Fuego, Informe ICC-ES (concreto), VDS					
Composición del material		Acero al carbono grado 8.8, Zincado (min. 5 µm)					
Según IBC		IBC 2003, IBC 2006, IBC 2009, IBC 2012					
Descripción	Longitud de anclaje	Diámetro de anclaje	Diámetro de perforación	Profundidad de perforación	Espesor máximo a fijar	Unidad de empaque	Número de ítem
HSL-3 M8/40	118 mm	8 mm	12 mm	80 mm	40	40 un	371776
HSL-3 M10/20	110 mm	10 mm	15 mm	90 mm	20	20 un	371778
HSL-3 M12/25	131 mm	12 mm	18 mm	105 mm	25	20 un	371781
HSL-3 M12/50	156 mm	12 mm	18 mm	105 mm	50	10 un	371782
HSL-3 M16/25	153 mm	16 mm	24 mm	125 mm	25	10 un	371784
HSL-3 M20/30	183 mm	20 mm	28 mm	155 mm	30	6 un	371787
HSL-3 M24/30	205 mm	24 mm	32 mm	180 mm	30	4 un	371790

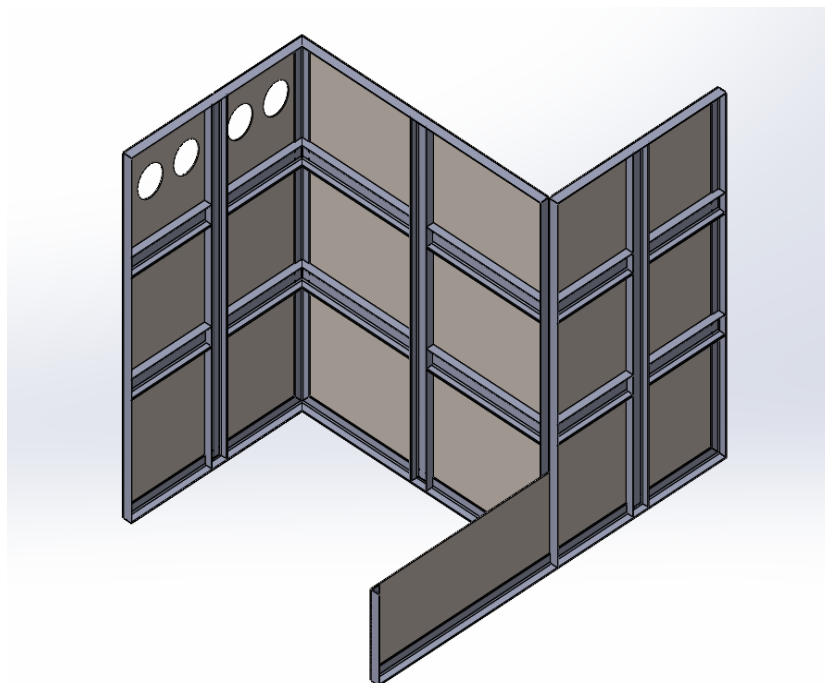
HSL M12/50
66543/5



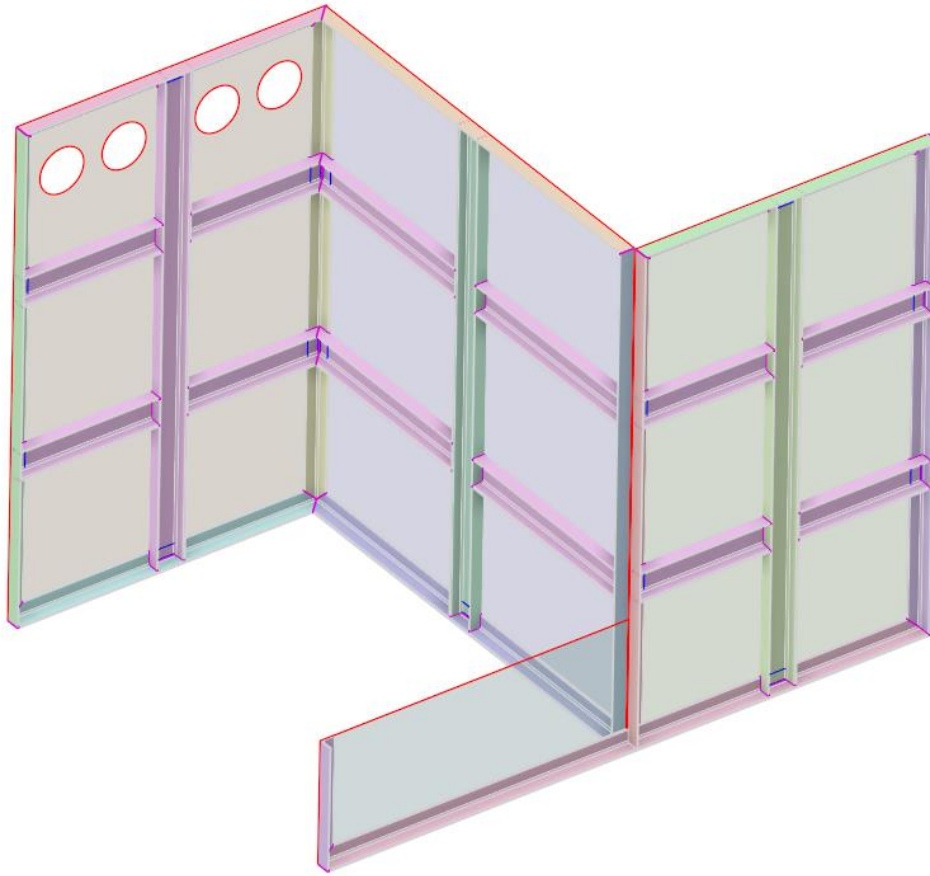
Anexo 16. Información técnica del perno de anclaje. Fuente: Tomado de: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517292718-perno-de-anclaje-hilti-hsl-m1250-tuerca-tornillo-cmprodemaq-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=88c69520-9204-45c7-a021-3ad33de17745, 2022.



Anexo 17. Propuesta general de diseño. Fuente: Autor, 2022.



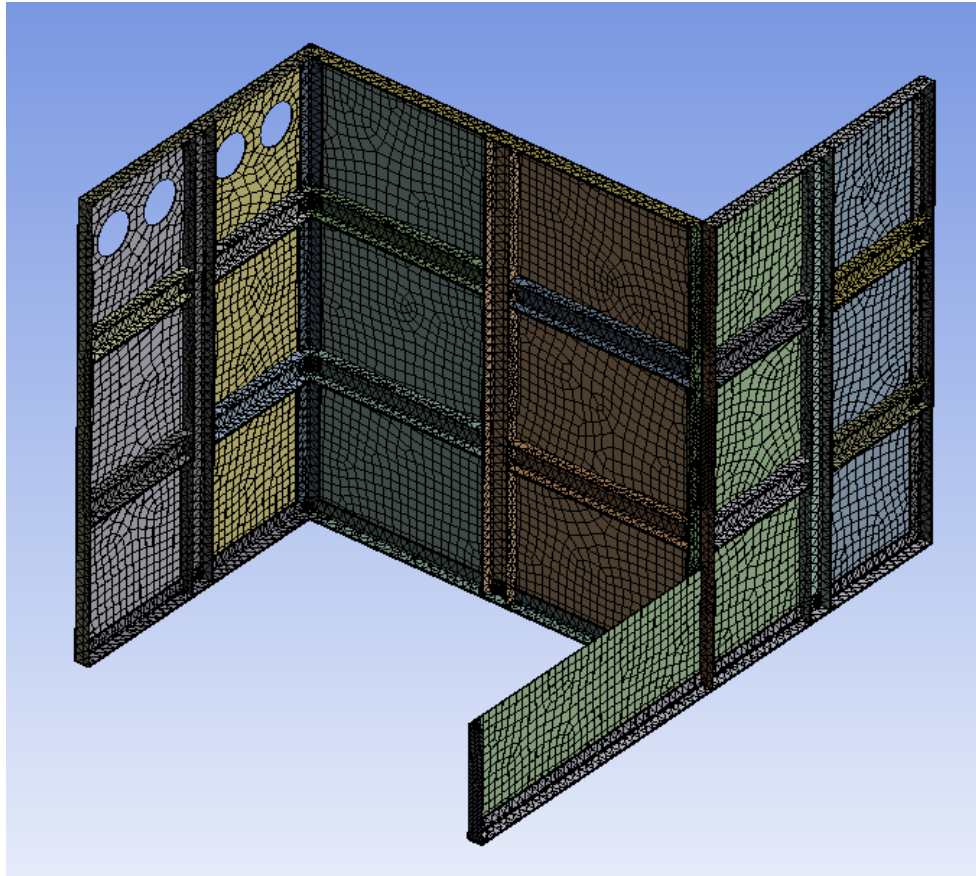
Anexo 18. Propuesta general de diseño del desarenador del SAE. Fuente: Autor, 2022.



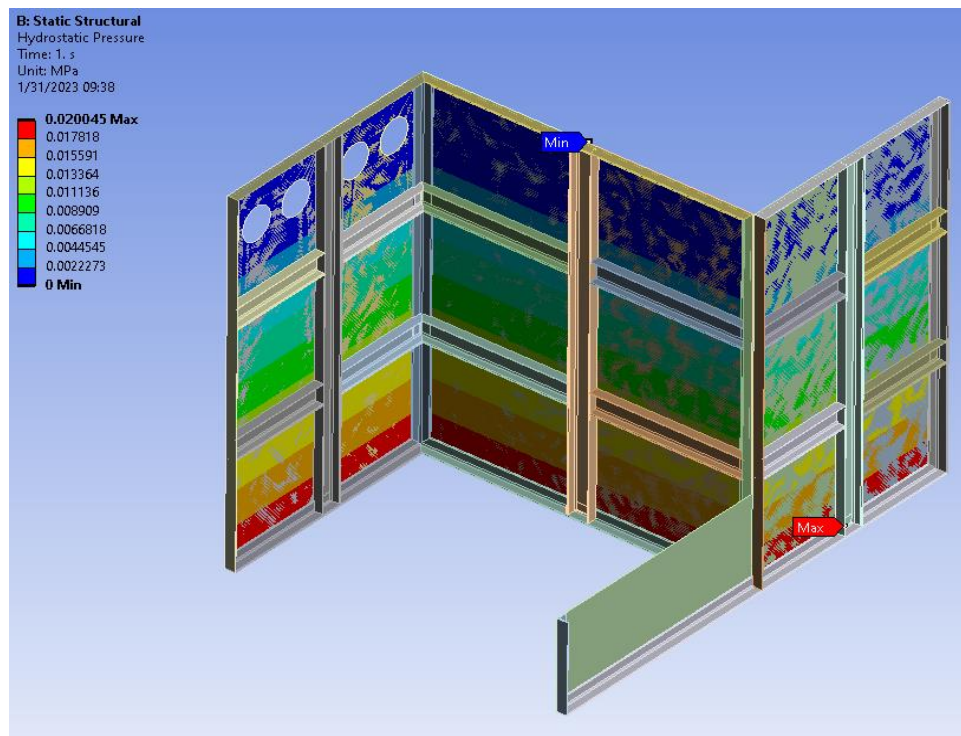
Anexo 19. Geometría estructural del desarenador. Fuente: Autor, 2022.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

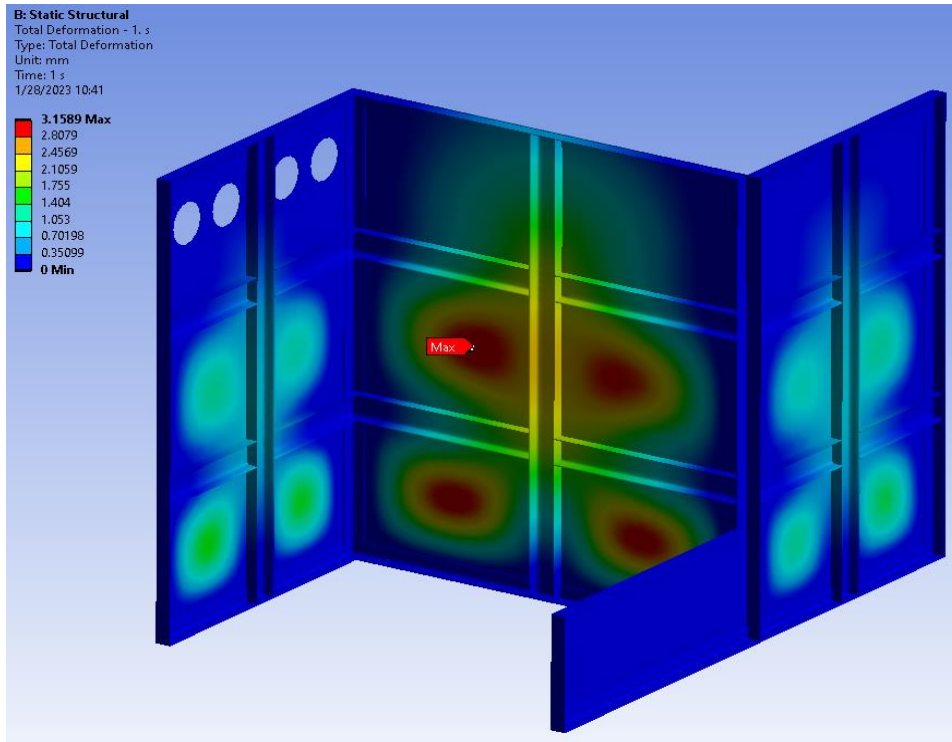
Anexo 20. Selección de material en Ansys. Fuente: Autor, 2022.



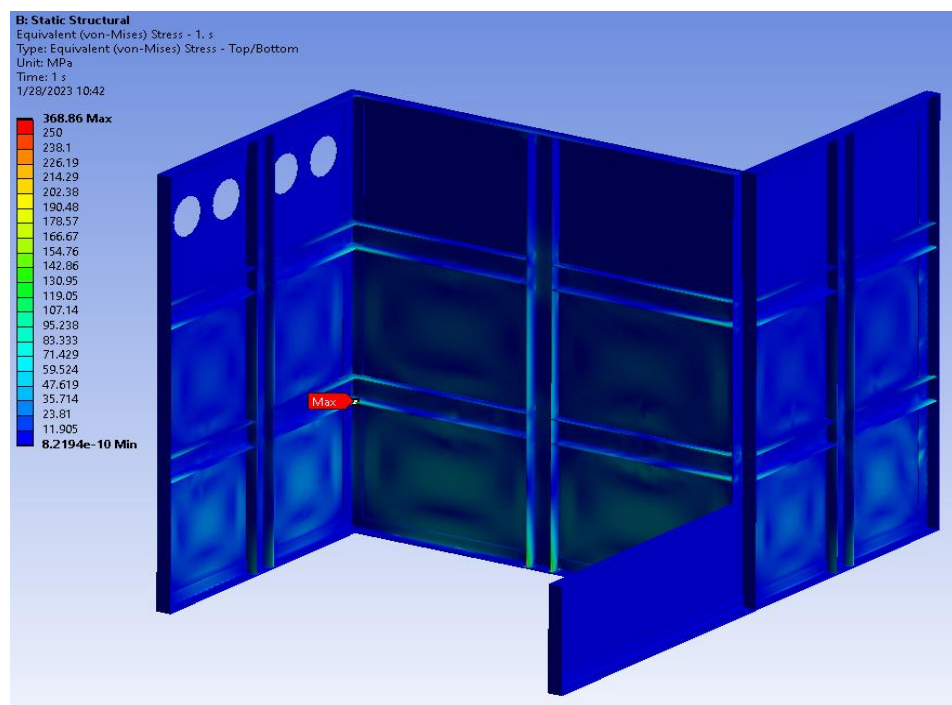
Anexo 21. Mallado estructural. Fuente: Autor, 2022.



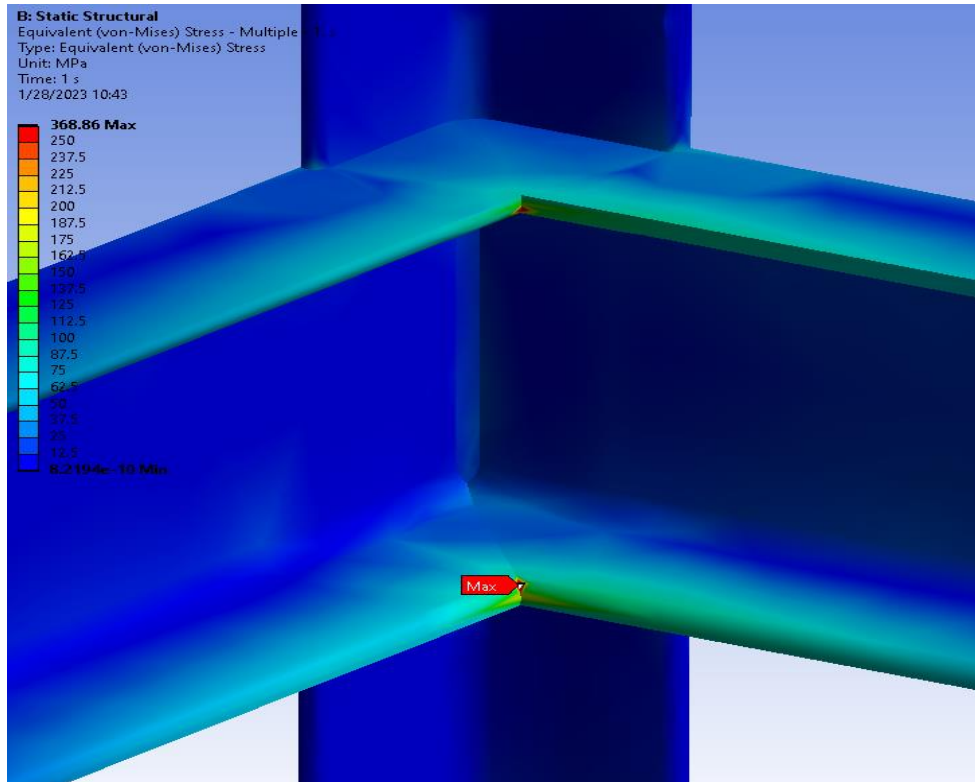
Anexo 22. Análisis de presión hidrostática. Fuente: Autor, 2022.



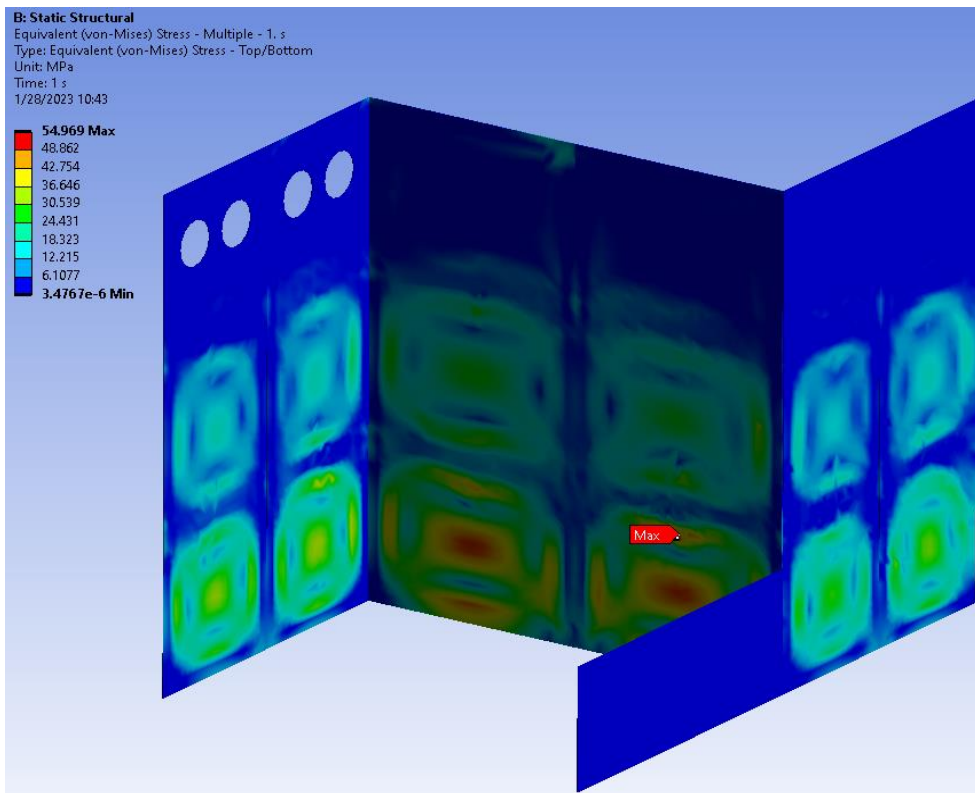
Anexo 23. Análisis de deformación máxima. Fuente: Autor, 2022.



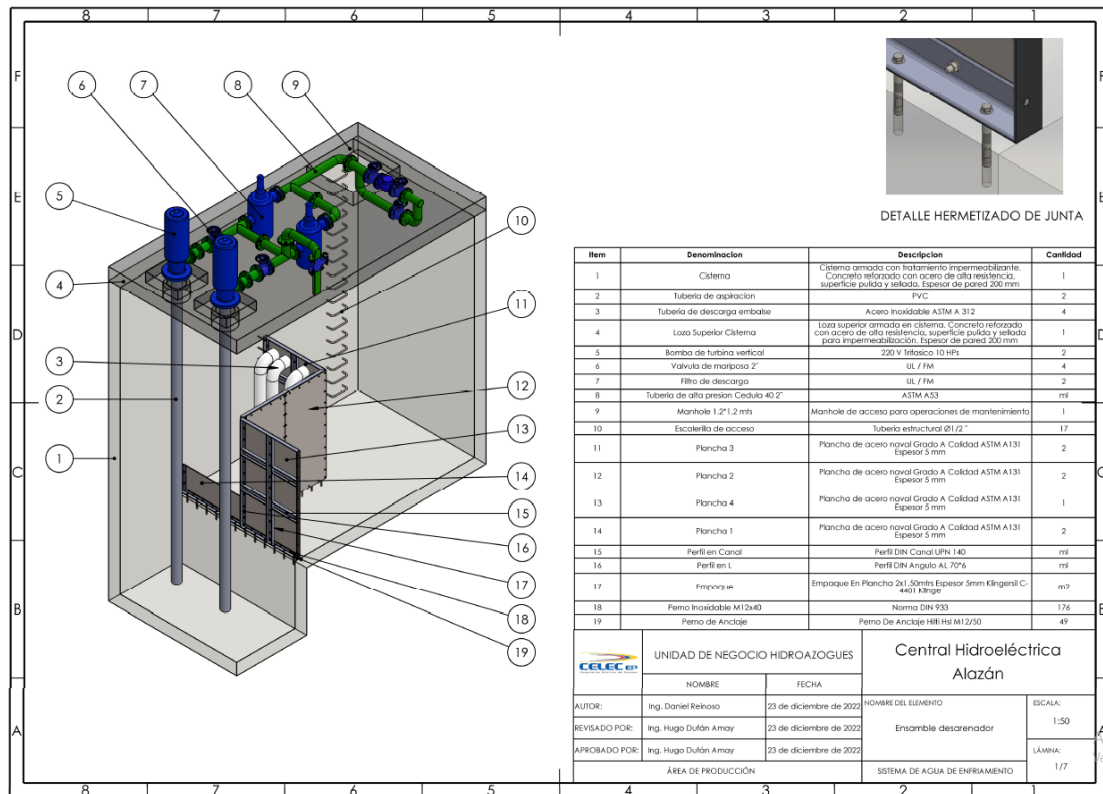
Anexo 24. Análisis de esfuerzo máximo. Fuente: Autor, 2022.



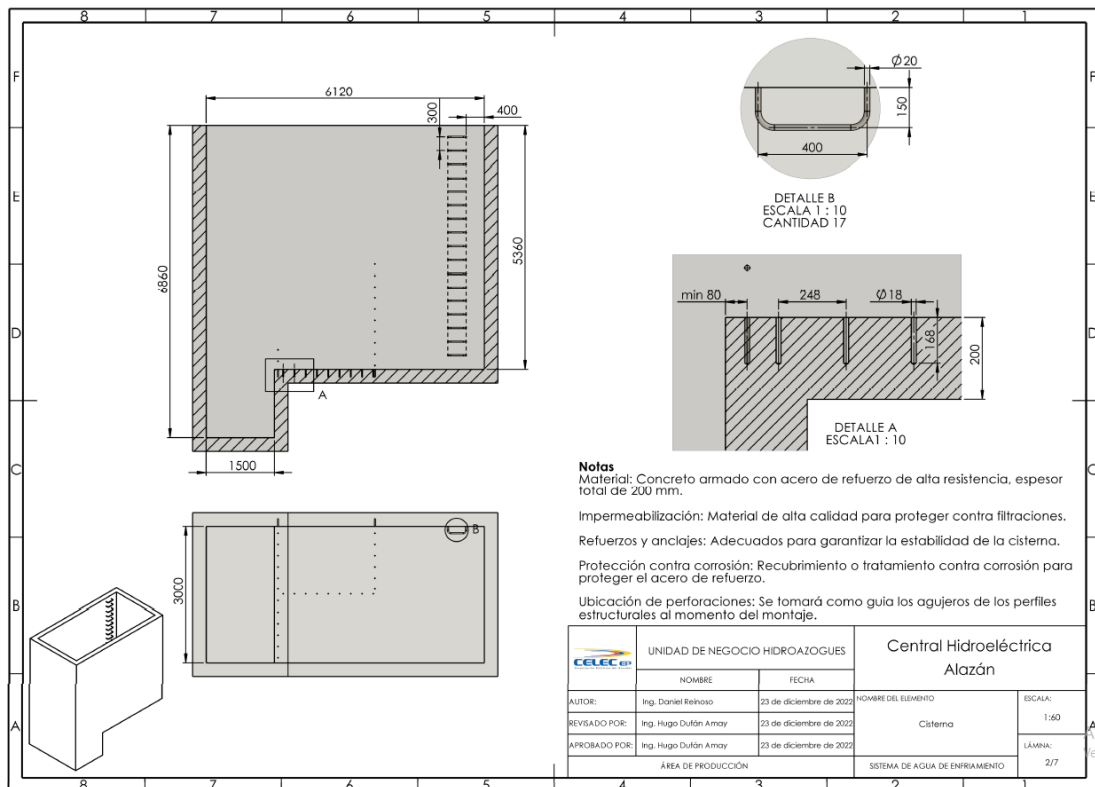
Anexo 25. Análisis Von-Mises. Fuente: Autor, 2022.



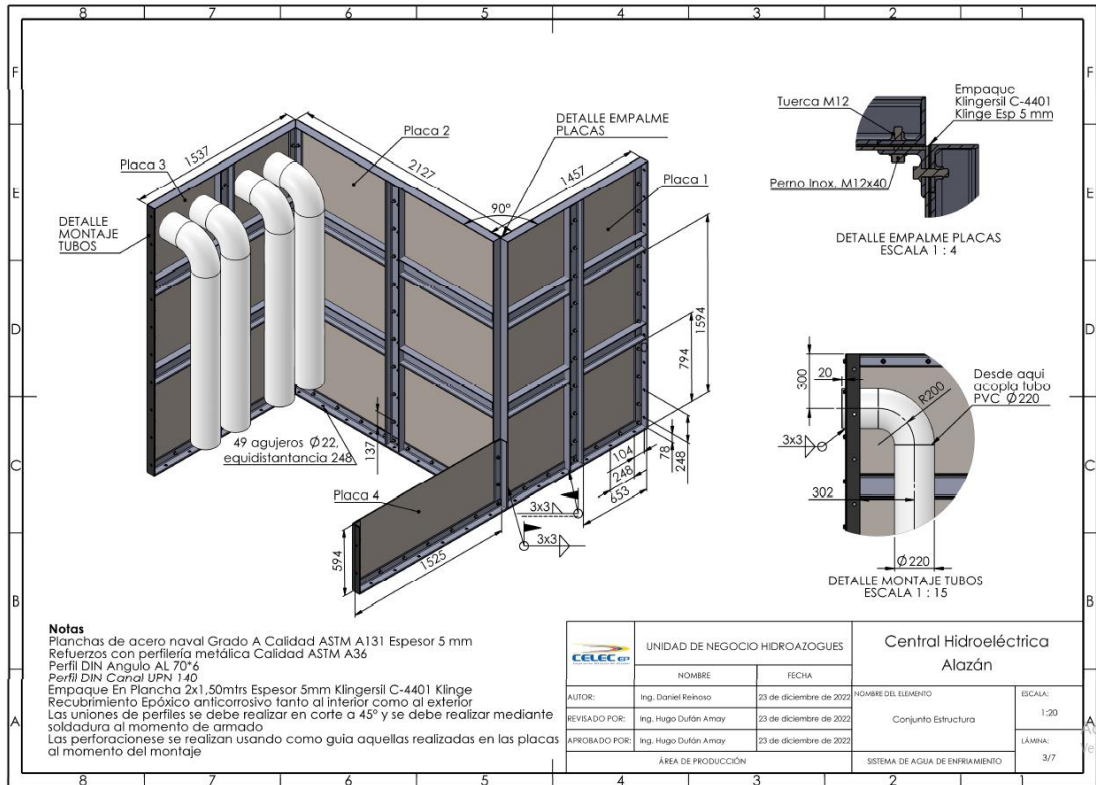
Anexo 26. Análisis de límite elástico en el acero. Fuente: Autor, 2022



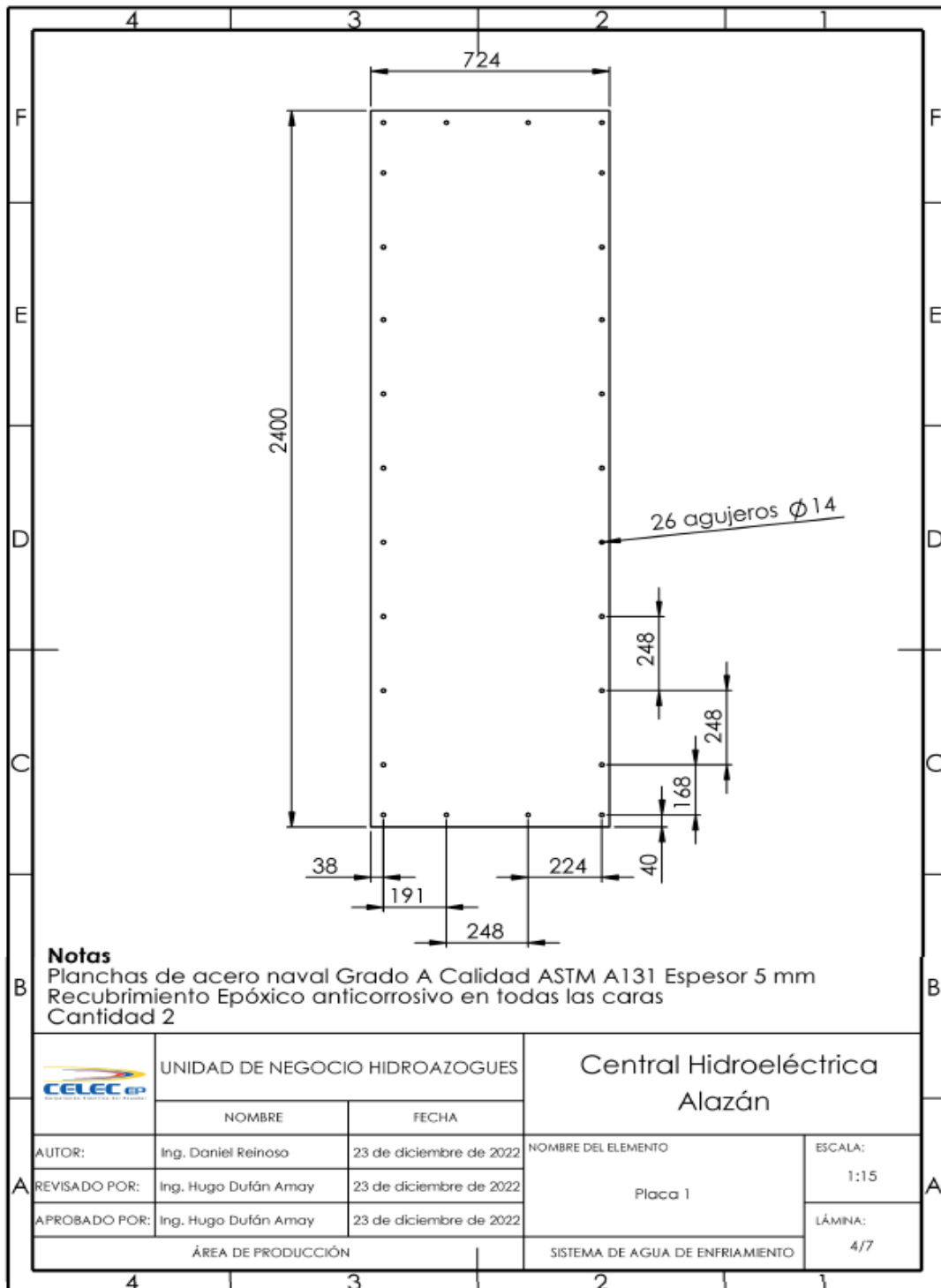
Anexo 27. Plano de ensamble desarenador del SAE. Fuente: Autor, 2022.



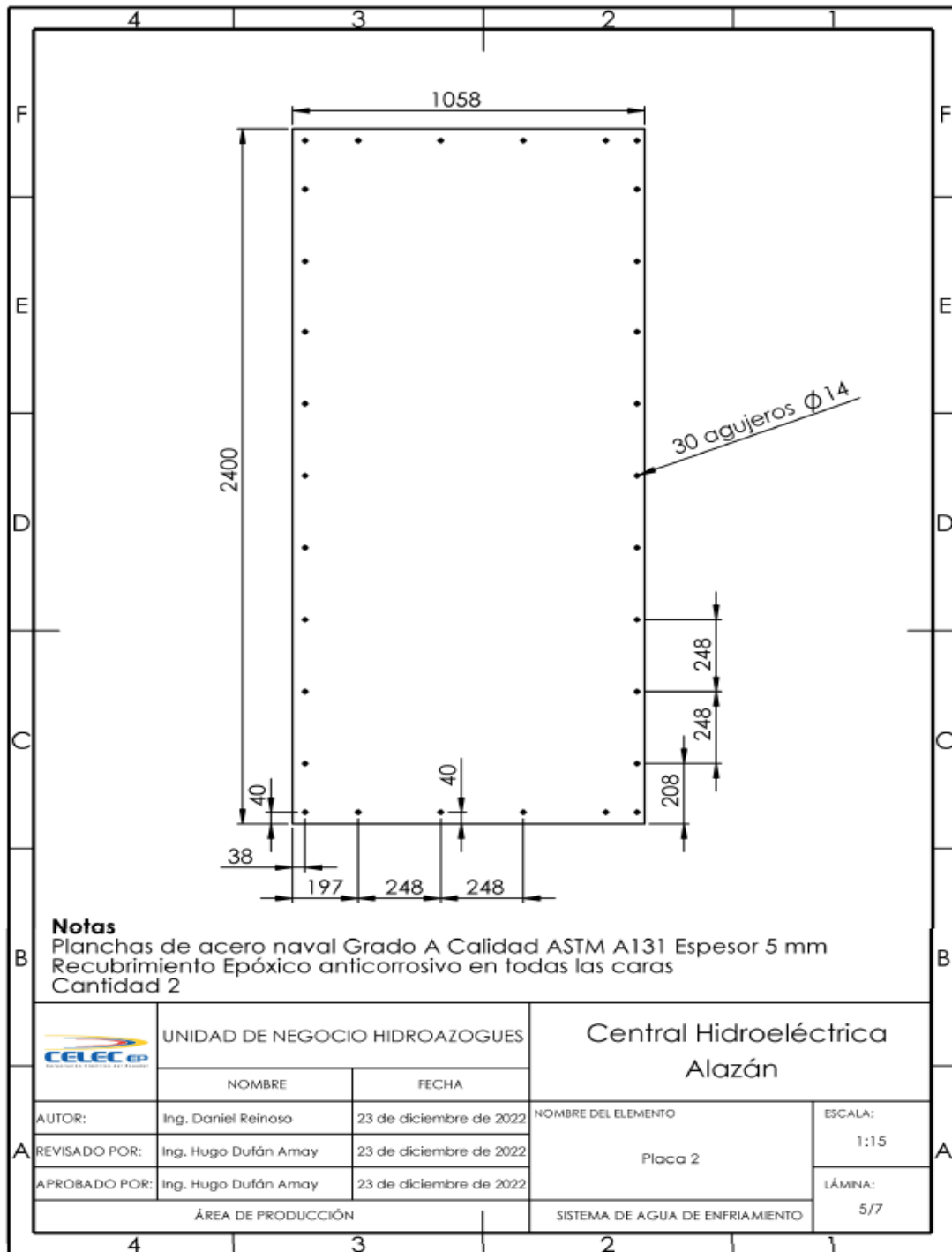
Anexo 28. Plano de detalles considerados del desarenador. Fuente: Autor, 2022.



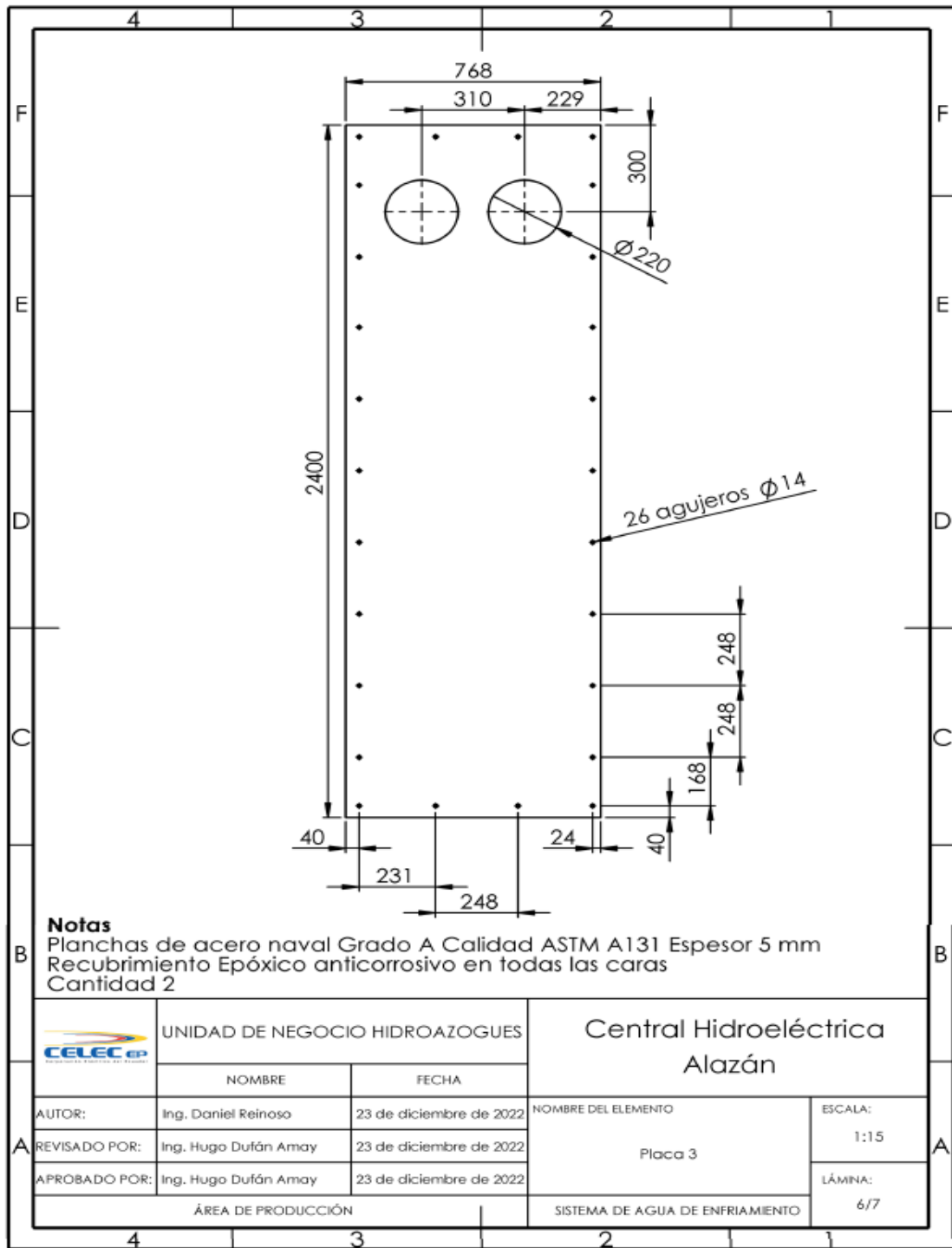
Anexo 29. Plano y detalles del conjunto de la estructura. Fuente: Autor, 2022.



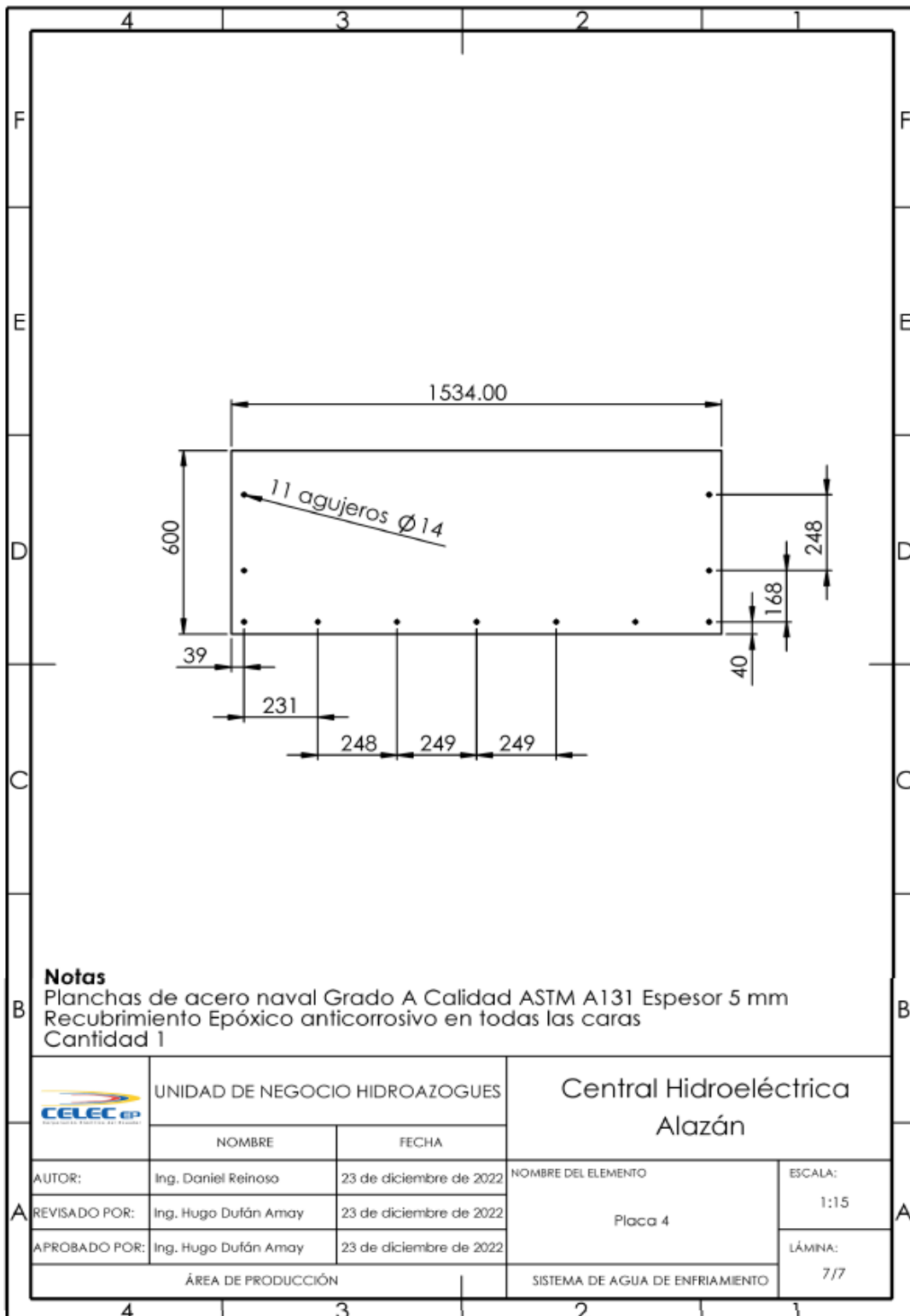
Anexo 30. Plano de placa 1. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 31. Plano de placa 2. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 32. Plano de placa 3. Fuente: Autor, 2022.



Anexo 33. Plano de placa 4. Fuente: Autor, 2022.

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2, - Cuenca Telf : 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con Acreditación N° SAE LEN 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
--	--	---

FECHA: 08/12/2022

INFORME N°: 501/01/22

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

NOMBRE REINOSO ZHINDON DANIEL ALEJANDRO
SOLICITADO POR: ING. DANIEL REINOSO
DIRECCIÓN: SIN CALLE SIN CALLE

MUESTRA


CÓDIGO: 501/01/22
DESCRIPCIÓN (Fuente): CISTERNA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO
PROCEDENCIA (Lugar): CELEC
FECHA DE RECEPCIÓN: 01/12/2022
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. SANDRA BARROS

RESULTADOS

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	CISTERNA 501/01/22
* SÓLIDOS SEDIMENTABLES	SM 2540 F	01/12/2022	mll	0
* SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEELS/FQ/04	01/12/2022	mg/l	5
SÓLIDOS TOTALES	PEELS/FQ/05	01/12/2022	mg/l	105
* SÓLIDOS DISUELTOS	SM 2540 B	01/12/2022	mg/l	100

<u>Parámetros</u>	<u>Sól. Susp Totales</u>	<u>Sólidos Totales</u>
Incertidumbre	19.99% 95% k=2	17.29% 95% k=2

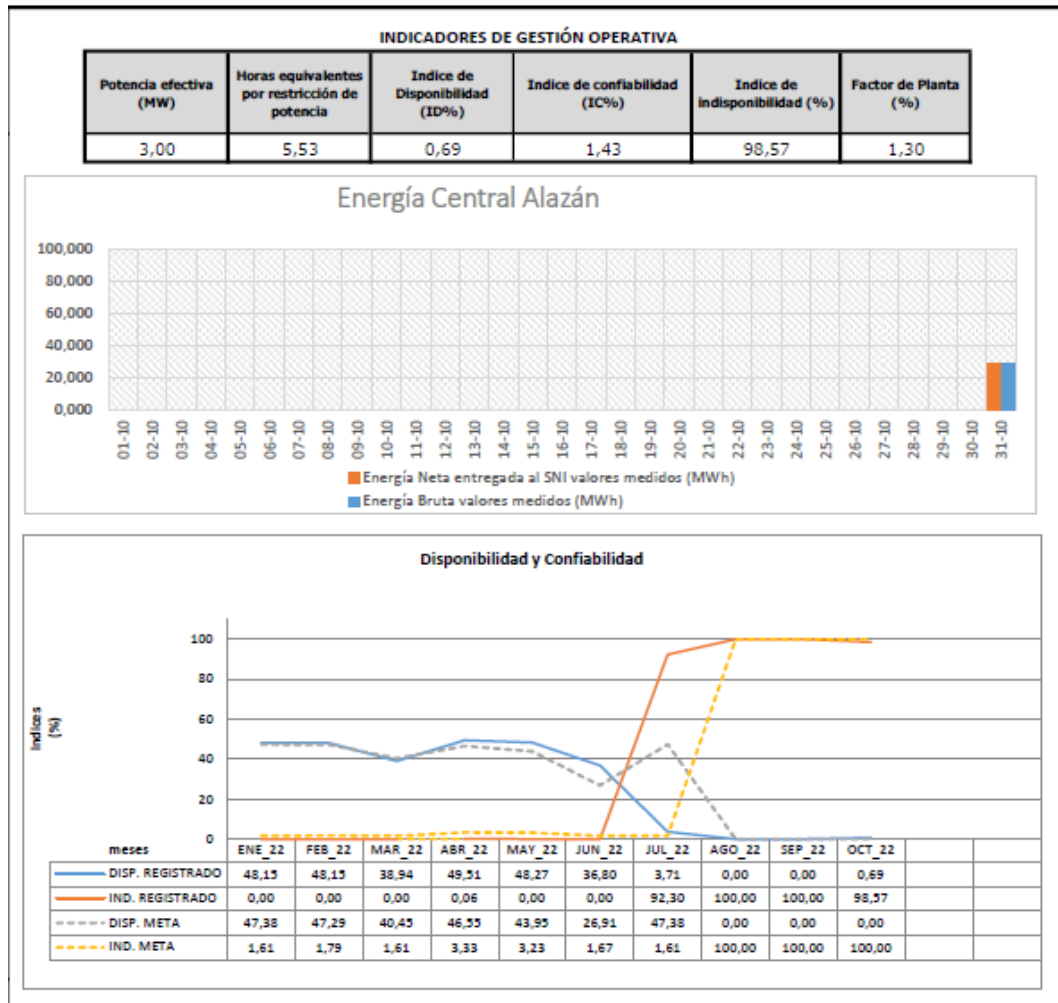
Atentamente,


BQF. María José Chérrez T.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

ETAPA EP
Laboratorio de Saneamiento
Panamericana Norte Km 5,5 Urcubamba
Teléfono: 4175568

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE"
- El laboratorio se descarga de responsabilidad debido a que la información del objeto de ensayo es proporcionada íntegramente por el cliente.
- Los resultados son aplicados a la muestra tal y como se recibió.
- La Declaración de conformidad queda excluida del informe de resultados.
- El Laboratorio es responsable de la gestión de toda la información obtenida por el cliente y será tratada como estrictamente confidencial.

Anexo 34. Resultados de análisis sedimentológico del agua de la cisterna del SAE. Fuente: ETAPA, 2022.



Anexo 35. Resultados de análisis sedimentológico del agua de la cisterna del SAE. Fuente: Autor, 2022.