



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**MONITOREO DE LA EFICIENCIA DEL DESARENADOR EN LA
RETENCIÓN DE SEDIMENTOS MEDIANTE UN MODELO
NUMÉRICO EN SAN GABÁN II EN EL AÑO 2019 Y 2020**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CARLOS ROBERTO AGUILAR QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Roberto Aguilar Velásquez y Rosa Quispe Tacuri, que nunca dejaron de creer en mí, a mis hermanas Pamela y Tania, que son mi alegría al volver a casa, y a todos los amigos, compañeros y maestros que hicieron posible que sea la persona que soy ahora.

Carlos Roberto Aguilar Quispe



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los ingenieros Julio Callizaya y Rene Ccalluvari por contribuir en mi formación profesional, a los ingenieros de la EPIC-UNAP por los conocimientos adquiridos en mi etapa universitaria y a todos mis amigos por los momentos vividos.

Carlos Roberto Aguilar Quispe



ÍNDICE DE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.2.1. Pregunta general 18

1.2.2. Preguntas específicas..... 18

1.3. HIPÓTESIS 18

1.3.1. Hipótesis general 18

1.3.2. Hipótesis específicas 19

1.4. JUSTIFICACIÓN 19

1.4.1. Justificación de la metodología 19

1.4.2. Justificación teórica 19

1.4.3. Justificación práctica 19

1.5. OBJETIVOS..... 20

1.5.1. Objetivo general 20

1.5.2. Objetivos específicos..... 20



CAPITULO II

REVISION DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	23
2.1.3. Antecedentes locales	25
2.2. MARCO TEÓRICO	25
2.2.1. Centrales Hidroeléctrica	25
2.2.2. Central Hidroeléctrica San Gabán II	28
2.2.3. Desarenador.....	30
2.2.4. La calidad del agua.....	36
2.2.5. Diseño de desarenadores	38
2.2.6. Los sedimentos	46
2.2.7. Software Ansys.....	54
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	73

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	75
3.1.1. Ubicación.....	75
3.1.2. Área de influencia	75
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	76
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO	76
3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	77
3.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	77
3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	77



3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	78
3.7.1.Población	78
3.7.2.Muestra	78
3.8. DISEÑO ESTADÍSTICO	78
3.9. PROCEDIMIENTO	78
3.9.1.Muestreo y recolección de datos de la Empresa San Gabán	78
3.10. VARIABLES	82
3.10.1.Variable dependiente	82
3.10.2.Variable independiente	82

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS DEL DESARENADOR SAN GABÁN II.....	83
4.1.1.Caudales	83
4.1.2.Concentración de sólidos.....	84
4.1.3.Temperaturas	85
4.1.4.Diagnóstico del desarenador San Gabán II	86
4.1.5.Características del desarenador San Gabán II	89
4.1.6.Tiempos de limpieza actuales.....	90
4.2. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II SIN MODELACIÓN NUMÉRICA.....	92
4.2.1.Tiempo de retención T_r (s).....	92
4.2.2.Viscosidad cinemática del agua μ (cm ² /s).....	93
4.2.3.Velocidad de sedimentación V_s (cm/s)	94
4.2.4.Tiempo de sedimentación T_s (s)	94
4.2.5.Eficiencia del desarenador y/y_o (%)	95



4.3. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II SIN MODELACIÓN NUMÉRICA	96
4.3.1.Retención de sólidos (m3).....	96
4.3.2.Tiempos de limpieza propuestos sin modelamiento.....	97
4.4. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II CON MODELACIÓN NUMÉRICA EN ANSYS.....	98
4.4.1.Pre procesamiento del desarenador San Gabán II.....	98
4.4.2.Procesamiento del desarenador San Gabán II	103
4.4.3.Post procesamiento del desarenador San Gabán II	103
4.4.4.Velocidad de sedimentación con modelamiento	105
4.4.5.Tiempo de sedimentación con modelamiento	106
4.4.6. Eficiencia del desarenador con modelamiento	107
4.5. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II CON MODELACIÓN NUMÉRICA EN ANSYS	108
4.5.1.Retención de sólidos con modelamiento	108
4.5.2.Tiempos de limpieza propuestos con modelamiento	109
4.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EFICIENCIA Y TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABAN II.....	111
4.7. COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE LIMPIEZA ACTUALES Y PROPUESTOS EN EL DESARENADOR SAN GABÁN II	114
4.7.1.Comparación de tiempos de limpieza en el desarenador San Gabán II	114
4.7.2.Prueba T-Student para los tiempos de limpieza actuales y propuestos por la simulación en el desarenador San Gabán II	115
V. CONCLUSIONES.....	118
VI. RECOMENDACIONES	119



VII. REFERENCIAS..... 120

ANEXOS..... 124

Tema: Monitoreo de la eficiencia de un desarenador

Área: Transporte de sedimentos

Línea de investigación: Hidráulica y Medio Ambiente

Fecha de sustentación: 27 de marzo de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Central hidroeléctrica más grande del mundo (China).....	26
Figura 2.	Esquema simplificado de una central hidroeléctrica	28
Figura 3.	Ubicación de la Central Hidroeléctrica San Gabán II	29
Figura 4.	Central hidroeléctrica San Gabán II	30
Figura 5.	Esquema de un desarenador de lavado intermitente.....	31
Figura 6.	Vista en cortes de un desarenador	32
Figura 7.	Desarenador de la central hidroeléctrica San Gabán II	36
Figura 8.	Nomograma de Sellerio	41
Figura 9.	Velocidad de sedimentación de granos en agua turbia según Sudry	42
Figura 10.	Dimensiones de un tanque.....	43
Figura 11.	Trayectorias de partículas en el sedimentador.....	49
Figura 12.	Método del ábaco de Hazen	53
Figura 13.	Logotipo del software ANSYS.....	54
Figura 14.	Modelación numérica con dinámica de fluidos computacional (CFD).....	55
Figura 15.	Pantalla de inicio del software ANSYS-CFX	56
Figura 16.	Diagrama para el desarrollo metodológico para la simulación en ANSYS- CFX	57
Figura 17.	Ventana de geometría en ANSYS-CFX	59
Figura 18.	Pantalla de inicio de geometría en ANSYS-CFX.....	59
Figura 19.	Malla estructurada en ANSYS-CFX	62
Figura 20.	Malla no estructurada en ANSYS-CFX	62
Figura 21.	Identidades geométricas en ANSYS-CFX	63
Figura 22.	Celdas comunes para geometrías en 2D y 3D en ANSYS-CFX	64
Figura 23.	Ventana de mallado en ANSYS-CFX	66



Figura 24. Pantalla de inicio de mallado en ANSYS-CFX.....	66
Figura 25. Ventana de condiciones iniciales, soluciones y resultados en ANSYS-CFX	67
Figura 26. Pantalla de inicio de contornos iniciales en ANSYS-CFX	68
Figura 27. Ventana para procesamiento de datos en ANSYS-CFX	69
Figura 28. Diagrama de flujo de métodos de solución	71
Figura 29. Pantalla de resultados en ANSYS-CFX	72
Figura 30. Esquema resumen para modelo ANSYS CFX	73
Figura 31. Vista en planta del desarenador San Gabán II.....	76
Figura 32. Llenado del formato de datos del desarenador San Gabán II – “fotografía referencial”	80
Figura 33. Estado de la tabiquería de las naves de aproximación	87
Figura 34. Estado de la tabiquería de las naves del desarenador	88
Figura 35. Estado de los deflectores de entrada y salida	89
Figura 36. Geometría del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX.....	99
Figura 37. Mallado del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	99
Figura 38. Configuración inicial del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX....	100
Figura 39. Configuración de características atmosféricas en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	101
Figura 40. Configuración del fluido en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	101
Figura 41. Configuración del material del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	102
Figura 42. Configuración del caudal en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	102



Figura 43. Configuración del tiempo de simulación en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX.....	103
Figura 44. Volumen de agua en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX.....	104
Figura 45. Velocidades en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX	105
Figura 46. Perfil comparativo de tiempos de limpieza históricos y propuestos por simulación.....	115



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Diámetro de Partículas en Función de la Altura de Caída	38
Tabla 2.	Diámetro de Partículas en Función con el Tipo de Turbina	39
Tabla 3.	Constante “a” en Función del Diámetro	39
Tabla 4.	Velocidades de Sedimentación “w” Calculado por Arkhangelski (1935) en Función del Diámetro de Partículas	40
Tabla 5.	Valores de la Constante “k”	42
Tabla 6.	Coefficiente Para el Cálculo de Desarenadores de Baja Velocidad	45
Tabla 7.	Coefficiente Para el Cálculo de Desarenadores de Alta Velocidad	45
Tabla 8.	Clasificación de Material en Suspensión, Según su Tamaño	47
Tabla 9.	Viscosidad Cinemática del Agua	48
Tabla 10.	Número de Hazen (V_s/V_o)	52
Tabla 11.	Fortalezas y Debilidades de Mallas Estructuradas y no Estructuradas	61
Tabla 12.	Criterios de Evaluación de la Calidad de Mallado en ANSYS CFX	65
Tabla 13.	Ubicación del Desarenador San Gabán II	75
Tabla 14.	Formato de datos principales del desarenador de San Gabán II	79
Tabla 15.	Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – datos generales	80
Tabla 16.	Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – datos técnicos	81
Tabla 17.	Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – observaciones	82
Tabla 18.	Caudales del Desarenador San Gabán II	84
Tabla 19.	Concentración de Sólidos en el Desarenador San Gabán II	85
Tabla 20.	Temperatura en el Desarenador San Gabán II	86



Tabla 21. Características del Desarenador San Gabán II.....	90
Tabla 22. Limpieza Actual en el Desarenador San Gabán II.....	91
Tabla 23. Tiempo de Retención del Desarenador San Gabán II.....	92
Tabla 24. Viscosidad Cinemática del Desarenador San Gabán II	93
Tabla 25. Velocidad de Sedimentación del Desarenador San Gabán II	94
Tabla 26. Tiempo de Sedimentación del Desarenador San Gabán II	95
Tabla 27. Eficiencia del Desarenador San Gabán II	96
Tabla 28. Retención de Sólidos del desarenador San Gabán II	97
Tabla 29. Limpieza Propuesta sin Modelamiento en el Desarenador San Gabán II....	98
Tabla 30. Velocidad de Sedimentación con Modelamiento del Desarenador San Gabán II.....	106
Tabla 31. Tiempo de Sedimentación con Modelamiento del Desarenador San Gabán II	107
Tabla 32. Eficiencia con Modelamiento del Desarenador San Gabán II.....	108
Tabla 33. Retención de Sólidos con Modelamiento del Desarenador San Gabán II .	109
Tabla 34. Limpieza Propuesta con Modelamiento en el Desarenador San Gabán II.	110
Tabla 35. Comparación de la eficiencia y los Tiempos de Limpieza Actuales y Propuestos con Modelamiento en el Desarenador San Gabán II.....	112
Tabla 36. Sumatoria de veces de limpieza actuales y propuestos con modelamiento en el desarenador San Gabán II	114
Tabla 37. Prueba T-Student para los Tiempos de Limpieza Actuales y Propuestos por Simulación en el Desarenador San Gabán II	117



ÍNDICE DE ACRONIMOS

ANSYS: Sistema de análisis.

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

CAD: Diseño asistido por ordenador.

CFD: Dinámica de Fluidos Computacional.

ICEM: Congreso internacional de gestión de la ingeniería.

PH: Potencial de hidrógeno.

RAS: Servicio de aseguramiento de riesgos.

RMS: Valor residual promedio.

UTN: Unidades de turbidez nefelometría

VOF: Volumen de fluidos.



RESUMEN

En el desarenador de San Gabán II, se realiza una limpieza de sedimentos empírica, no teniendo en cuenta los niveles óptimos de almacenamiento de sólidos retenidos ni información histórica, por lo que, al momento de su descarga, ocasiona mal olor y molestias a la población. Según datos solicitados se realizan hasta 10 limpiezas anuales considerando caudales críticos y cantidades de sedimentos máximos. El objetivo del presente estudio es monitorear la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos, mediante una simulación numérica con el programa ANSYS y con las ecuaciones de Hazen y Stokes. La investigación que se ha desarrollado es de tipo longitudinal y nivel predictivo, con diseño no experimental, los parámetros que este software necesitó tales como dimensiones, caudales, diámetro de sedimentos entre otros se solicitaron a la Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. Utilizando los datos obtenidos se pudo precisar la eficiencia y los tiempos de limpieza de sedimentos retenidos en la estructura hidráulica, obteniendo como resultado que se debe realizar la limpieza 14 veces al año, siendo este valor el tiempo óptimo para no sobrepasar el 80% del volumen máximo de acumulación de sedimentos ni hacer limpiezas adicionales que se traducen en costo y tiempo. El intervalo entre cada fecha de limpieza varía según la época del año. Finalmente, se llegó a la conclusión que se debe aumentar la cantidad de veces de limpieza para garantizar un uso adecuado del desarenador San Gabán II.

Palabras Clave: Desarenador, eficiencia, simulación numérica, sedimentos, ANSYS.



ABSTRACT

In the San Gabán II sand trap, an empirical sediment cleaning is carried out, not taking into account optimal levels of retained solids storage or historical information, therefore, when it is unloaded, it causes a bad smell and inconvenience to the population. According to requested data, up to 10 annual cleanings are carried out, considering critical flows and maximum amounts of sediments. The objective of this study is to monitor the efficiency and optimize the cleaning of retained sediments, through a numerical simulation with ANSYS software and with the Hazen and Stokes equations. The research that has been carried out is of a longitudinal type and a predictive level, with a non-experimental design. The parameters that this software needed, such as dimensions, flows, diameter of sediments, among others, were requested from Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. Using the data obtained, it was possible to specify the efficiency and cleaning times of sediments retained in the hydraulic structure, obtaining as a result that cleaning must be carried out 14 times a year, this value being the optimal time to not exceed 80% of the maximum volume of sediment accumulation or to do additional cleaning that translates into cost and time. The interval between each cleaning date varies depending on the time of year. Finally, it was concluded that the number of cleaning times must be increased to guarantee proper use of the San Gabán II desander.

Keywords: Desander, efficiency, numerical simulation, sediments, ANSYS.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En América Latina, el uso de energía renovable llega a un aproximado del 29% del uso total de energía primaria, y de este total, un 62% es originado por energía hidroeléctrica, pudiendo elevarse hasta el 90% en países como Brasil o Paraguay debido al entorno que poseen (Canseco, 2010).

Actualmente, en el Perú se tiene 77 centrales hidroeléctricas en operación, y 53 en ejecución (OSINERMIN, s.f.), llegando en el 2020 a producir 29317.56 Mega Watts de energía, siendo este valor un 59.60% de la energía eléctrica en el país. (COES, s.f.).

Estas centrales hidroeléctricas captan el agua de diferentes ríos y/o cuerpos de agua que se tienen en el Perú, pasan por un desarenador para limitar el paso de sólidos en suspensión hacia un embalse regulador en algunos casos o de forma directa a una tubería forzada para luego ir a las turbinas de generación eléctrica. Estos sólidos almacenados en el desarenador producto de la sedimentación tienen que ser limpiados en su mayoría en un proceso aislado, vertiendo dichos sólidos al río, canales u otros de donde fue captado el agua. (Sparrow, 2008).

Este proceso de limpieza del desarenador se lleva de forma no controlada y empírica, no existiendo una medición de la eficiencia ni un plan de trabajo en el que se establezca los tiempos óptimos para la limpieza, razón por la cual se descarga un volumen considerable de sedimentos al momento de realizar la limpieza, ocasionando mal olor, dañando el ecosistema del río y causando molestias en general a las poblaciones aledañas.

Por esta razón, se tiene la necesidad de medir la eficiencia y optimizar los tiempos de limpieza del desarenador, de tal forma que la cantidad de sedimentos evacuada al



momento de hacer la limpieza genere un impacto ambiental mínimo tanto a las personas como al medio ambiente que lo rodea.

Para lo cual se utilizó como muestra de estudio al desarenador San Gabán II y se usó el software ANSYS CFX que permite realizar un modelamiento en tres dimensiones, con el que se espera simular el comportamiento del desarenador para que por consiguiente se pueda medir la eficiencia con fórmulas hidráulicas y establecer un plan de limpieza acorde a la realidad y en consecuencia optimizar los tiempos de limpieza del desarenador.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la eficiencia y el tiempo óptimo de limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II estimado mediante una simulación numérica con el programa ANSYS?

1.2.2. Preguntas específicas

¿Cuál es la eficiencia y el tiempo óptimo de limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II en época de máximas avenidas?

¿Cuál es la eficiencia y el tiempo óptimo de limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II en época de estiaje?

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Mediante la simulación numérica del desarenador San Gabán II se podrá medir la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II.



1.3.2. Hipótesis específicas

Mediante la simulación numérica en el software ANSYS del desarenador San Gabán II se podrá medir la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II en épocas de máximas avenidas.

Mediante la simulación numérica en el software ANSYS del desarenador San Gabán II se podrá medir la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II en épocas de estiaje.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación de la metodología

En la presente tesis se utilizó la metodología hipotético - deductiva que se fundamenta en una serie de pasos para responder a diferentes interrogantes que se plantean en una investigación, que posteriormente se verifican y si estos guardan relación con la realidad, se aprueba o rechaza la hipótesis.

1.4.2. Justificación teórica

Ante la imposibilidad de contar con una medición en campo confiable exige necesariamente la modelación del desarenador para obtener pronósticos acordes a la realidad y así poder optimizar el tiempo de limpieza de dicha estructura hidráulica.

1.4.3. Justificación práctica

Esta investigación podría ser empleada como antecedente para futuras investigaciones que requieran un modelamiento en tres dimensiones en proyectos donde intervengan estructuras hidráulicas.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Monitorear la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II mediante una simulación numérica con el programa ANSYS.

1.5.2. Objetivos específicos

Monitorear la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II mediante una simulación numérica con el programa ANSYS en época de máximas avenidas.

Monitorear la eficiencia y optimizar la limpieza de sedimentos retenidos en el desarenador de San Gabán II mediante una simulación numérica con el programa ANSYS en época de estiaje.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Respecto a los antecedentes, debido a que no existen estudios relacionados al óptimo tiempo de limpieza de desarenadores, no se ha logrado encontrar una cantidad de antecedentes considerable que pertenezcan al mismo nivel de investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Se analizó la problemática de desarenadores que no cuentan con una limpieza automatizada, para lo cual se propone utilizar un desarenador tipo Dufour, el cual permite que un mayor volumen de lodos sea evacuado en un menor tiempo al realizarse el mantenimiento correspondiente, respecto a un desarenador convencional. (Castro, Olivares, & Rozo, 2019).

Para la evaluación y comprobación de esta hipótesis, realizan un modelo hidráulico a escala en laboratorio, se comparan tiempos de limpieza de lodos y de residuos que quedan retenidos post limpieza, resultando efectivamente en la superioridad de un desarenador Dufour en cuanto a limpieza de lodos retenidos. (Castro et al., 2019).

- Se analizó la problemática de los sólidos en suspensión al ser captados para fines energéticos, ya que puede reducir la capacidad hidráulica de los canales y también incrementar pérdidas de presión, lo que trae como consecuencia abrasión en las turbinas. Esta investigación pretende utilizar modelos numéricos en Telemac-2D para simular el flujo hidráulico y el proceso de asentamiento de un desarenador específico que cuenta con 7 naves paralelas, en el cual circula un caudal de 90m³/s. Para la calibración y validación se usó un modelo a escala de 1:15 de este desarenador. Aunque hubo



discrepancias en el flujo de distribución en las naves entre el modelo construido de forma manual y el proyectado por un modelo numérico los resultados fueron satisfactorios en cuanto a la eficiencia tanto por nave como en conjunto en cuanto a los parámetros de eficiencia del desarenador. (Estigoni, Vasquez, Robb, Wang, & Mauad, 2015).

- Se concluyó que la piedra angular del diseño de un sistema de retención de corrientes de agua de precipitación fluviales mediante módulos de celdas plásticas es justamente la medición de la eficiencia en el tanque de recolección de sedimentos, con estos datos, es posible garantizar la operación a largo plazo del sistema, distribuyendo la cantidad de desarenadores a utilizar según la eficiencia, y presentar este sistema a los encargados de hacer posible su ejecución. (Ortega, 2019).

- Se concluyó que, de acuerdo a la investigación realizada, un desarenador estándar posee un deficiente proceso de desarenación en relación con un modelo de desarenador tipo Dufour, ya que la cantidad de sedimentos retenidos por este último es mayor, sin perjuicio del uso adicional de esta estructura. (Castro et al., 2019).

- Se concluyó que la cantidad de sedimentos que son retenidos en relación con los que logran pasar ha sido puesta a prueba de forma selectiva por el diámetro de partículas, logrando conseguir resultados de 66% de sólidos atrapados para el total, 99% de eficiencia para partículas de arena y 41% de sólidos atrapados en cuanto a finos. (Luzuriaga y Amaya, 2014).

- Se determinó que al poner a prueba el sistema de desarenación por medio de un procedimiento hidrodinámico, se obtuvo un 85.95% en el proceso de atrapamiento de partículas de arena. La eficiencia mínima requerida de acuerdo al reglamento RAS 2000 es de 75% o más en cuanto a sistemas de desarenador. Estos valores dan pie a que se



apruebe el uso de esta estructura por estar en las condiciones requeridas. (Charry y López, 2017).

- Se concluyó que la dinámica de fluidos computacional y su aplicación en ANSYS CFX abre el camino a futuras investigaciones y trabajos en relación a geometría, aplicación en fluidos por distintos sistemas de trabajo entre otros, debido a su correcta interpretación de datos al momento de hacer la experimentación. (Ceras, 2015).

- Se concluyó que la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en su uso referido a la investigación de un tanque de recirculación sometido a una prueba hidrodinámica para su posterior aplicación en acuicultura a escala real, dio pase a conocer y verificar las diferentes particularidades que necesita el proyecto, como las rejillas en el pase inicial del agua. Con estos resultados se pudo constatar el valor del CFD en cuanto a la verificación de diseño del ante proyecto en estructuras hidráulicas. (López, 2015)

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Se realizó el análisis de los cuatro modelos de turbulencia que podrían ser modelados en el programa Telemac - Mascaret. Como modelo de estudio se tuvo el desarenador de San Gabán II. Para poder calibrar el modelo se aplicaron las velocidades obtenidas del modelo físico que fue objeto de estudio en 1992. (Ruiz, 2017)

Se logró identificar las características de los sedimentos y de la estructura en relación con el flujo del agua del desarenador San Gabán II cotejando los resultados obtenidos del modelo a escala mediante la teoría del modelo K-e con los resultados de eficiencia. (Ruiz, 2017)

- Se dividió el análisis y modelación del desarenador Quitaracsa en hidrodinámica y sedimentológica, dejándonos apreciar el valor de añadir rejillas disipadoras en la concepción de esta estructura y comprobar el ratio del rendimiento en la operación de esta



estructura no hallando excesos de partículas en las rejillas de disipación o en las compuertas de entrada.(Gutiérrez, 2016).

La modelación numérica con el software Telemac - Mascaret considera los elementos geométricos y existencia de rejillas de disipación con el objetivo de alcanzar una adecuada simulación del entorno físico. Tales aplicaciones no pueden ser representadas por teoría ni pruebas llevadas en laboratorio. (Gutiérrez, 2016).

- Se analizó las etapas del proceso de retención de partículas en el desarenador de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato, el objetivo de este estudio es optimizar la retención de partículas de arena en esta estructura hidráulica. Con este fin se ha llevado a cabo la simulación en CFX con elementos de tabiquería y sin tabiquería, haciendo una comparación entre ambas. Para perseguir este resultado se optado por analizar el sistema mediante el módulo CFX del software ANSYS, tomando como referencia las ecuaciones de Navier - Stokes, que se desarrollan por el método de volúmenes finitos. Se validaron esos resultados por medio de estudios de ELECTROPERU e información almacenada por el centro de control de la Bocatoma. Como resultados se obtuvo que las naves centrales adquieren mayor velocidad en el Escenario 2 respecto al Escenario 1, además, respecto al análisis de la retención de sólidos, se calculó que la eficiencia de este sistema es de 7.38% de retención de solidos por la estructura para un caudal de 80 m³/s. (Ramos, 2019).

- Se concluyo que en la etapa de pre proyecto, al momento de realizar los cálculos correspondientes para diseño de estructuras hidráulicas, una gran cantidad de ecuaciones que se utilizan para este fin son producto de un análisis de laboratorio mediante experimentación. En este sentido, las ecuaciones y el detalle de cálculo utilizado en el cálculo del sifón Piura son aplicables debido a que son parte de una experimentación



realizada en este trabajo de investigación, y es coherente realizar la verificación de estos resultados con el programa ANSYS CFX. (Montalvan, 2021).

2.1.3. Antecedentes locales

No se encontraron antecedentes en el ámbito local.

2.2. MARCO TEÓRICO

Para una correcta estructuración de la investigación es importante tener en claro los conceptos hidráulicos que se manejan en este estudio, así como el entorno en donde se realizara el mismo, ya que las características tanto de las estructuras presentes como la morfología de la región donde se encuentra ubicado este desarenador son determinantes en los resultados que se buscan obtener.

2.2.1. Centrales Hidroeléctrica

La central hidroeléctrica es una serie de elementos hidráulicos y mecánico eléctricos acoplados que hacen posible la toma de elementos de agua como canales, ríos u otros para utilizar su energía potencial y generar energía eléctrica, por medio de un proceso de caída hacia una turbina en conjunto con elementos electrónicos. A nivel de buenas prácticas medioambientales, se tiene muy en cuenta la generación hidroeléctrica de energía, por ser una energía limpia y de bajo impacto al medio ambiente. (Gutiérrez, 2016).

Figura 1.

Central hidroeléctrica más grande del mundo (China)



Nota. Fuente: Recuperado de sectorelectricidad.com

Desde tiempos antiguos, la energía generada por el agua a distintos niveles, fue utilizada en diferentes formas, como de carácter agrícola o desmenuzar materiales que contienen grandes cantidades de celulosa para la elaboración de papel, razón por la cual se construían una gran cantidad de molinos antiguamente. Ya en la etapa de la revolución industrial se originarían las primeras centrales hidroeléctricas. Debido a la gran demanda de energía, una alternativa a considerar fue la energía hidroeléctrica debido a que elementos fósiles como el carbón no eran suficientes para cubrir la alta demanda de energía.(Gutiérrez, 2016).

El funcionamiento de la central hidroeléctrica más antigua se dio en Estados Unidos, aprovechando las aguas del río Fox en Appleton-Wisconsin, un 30 de setiembre en el año 1882. Esta central hidroeléctrica recibiría el nombre de Compañía de Luz



Appleton- Edison, en honor al científico Thomas Edison, que soñaba con poner en marcha una central energía eléctrica a vapor en New York. La primera prueba fue todo éxito, pues se generó la suficiente energía para iluminar los alrededores.(Gutiérrez, 2016).

Las centrales hidroeléctricas usan la energía almacenada por el agua en reposo, poniéndolas en movimiento mediante diferentes obras civiles hasta que logren llegar a una turbina de generación y convertir este movimiento en energía eléctrica. Comúnmente, se deriva el cauce de un río, canal o cualquier cuerpo de agua hacia una tubería de gran pendiente que lleva el agua hacia los alabes de una turbina, ubicada en una instalación en la parte baja, allí se conecta a generadores y demás circuitos eléctricos que permiten la generación de energía eléctrica.(Gutiérrez, 2016).

Las centrales hidroeléctricas de por sí, no son capaces de conservar la energía que producen, sino que esta tiene que ser liberada de acuerdo a las exigencias del usuario, por lo que están sujetas a la demanda de las personas y su producción es variada. (Gutiérrez, 2016).

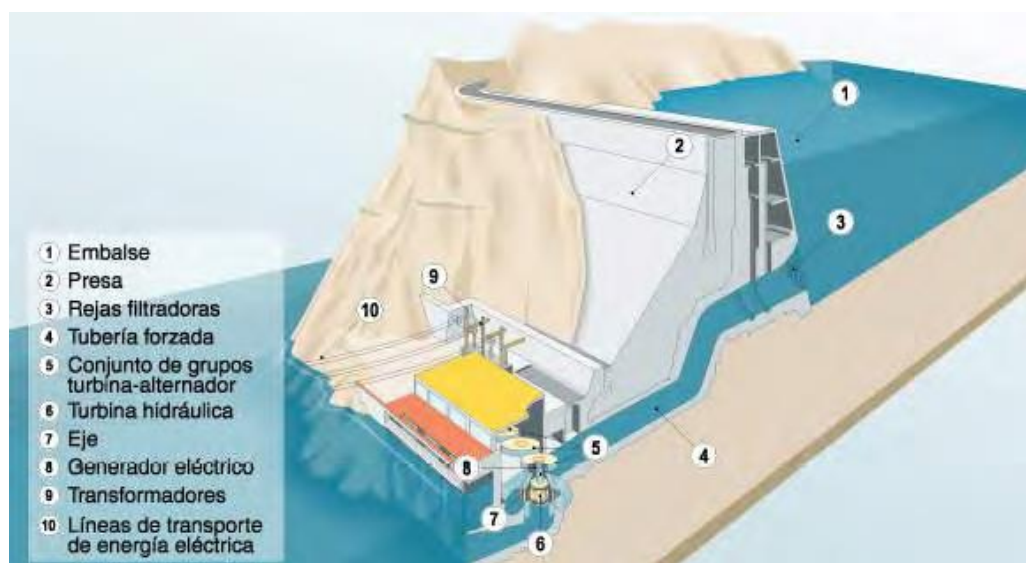
2.2.1.1. Esquema simplificado de una central hidroeléctrica

El agua almacenada natural o de forma artificial por medio de una presa, permitiendo que esta almacene energía estática a una determina altura. Esta agua almacenada será derivada mediante una toma, protegida por diferentes elementos para evitar el paso de cuerpos extraños y que regule el agua de ingreso para posteriormente pasar hacia una tubería forzada que dirige el flujo del agua hacia las turbinas de generación ubicadas en la parte baja, en una instalación conocida como casa de máquinas. La energía potencial adquirida es transformada en energía cinética mediante el movimiento, hasta el momento en el que el agua choca con la turbina, produciendo energía mecánica rotatoria. Esta rotación permite la generación de energía eléctrica en

corriente alterna de tensión media y alta. Luego, mediante equipos conocidos como transformadores esta energía se convierte en baja intensidad y alta tensión, para su posterior envío a una red general mediante líneas de transmisión. Finalmente, el agua utilizada para este proceso, es devuelta al lugar de origen mediante un canal de purga, conservando el ciclo del agua. (Gutiérrez, 2016).

Figura 2.

Esquema simplificado de una central hidroeléctrica



Nota Fuente: (Gutiérrez, 2016)

2.2.2. Central Hidroeléctrica San Gabán II

La Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. estuvo concebida por medio de acuerdo de lo que era anteriormente PRO inversión, con fecha 07 de noviembre de 1994, en donde ELECTROPERU S.A es responsable de su creación, requiriendo un aporte 20 millones de soles.

El directorio, por medio de Escritura Pública, siendo el 06 de diciembre de 1994, hacen posible su constitución mediante el capital descrito líneas arriba, con el cual se

daba inicio a la ejecución de trabajos preliminares de la obra Central Hidroeléctrica San Gabán II, dentro del marco de la ley.

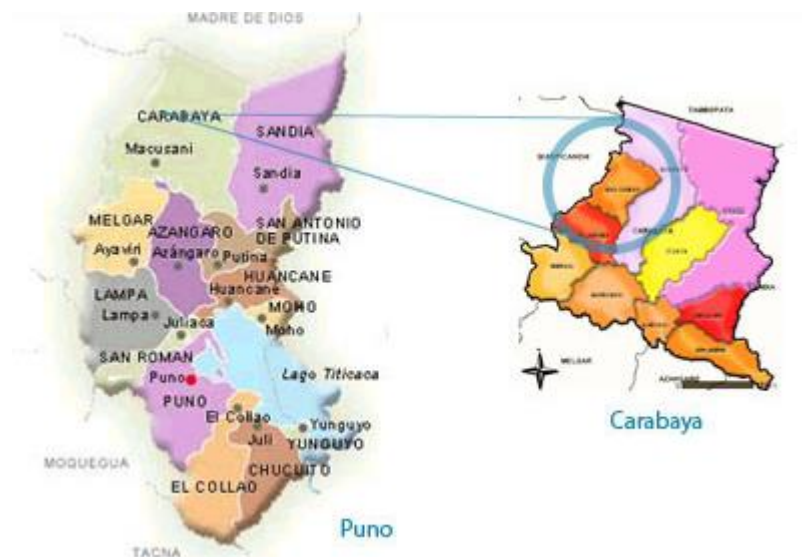
Siendo el mes de febrero de 1995, se inician los procedimientos administrativos, en tanto que los contratos para ejecución comenzaron en 1995.

2.2.2.1. Ubicación

La Central Hidroeléctrica San Gabán II está ubicada en el Río San Gabán, a 2090 m.s.n.m, en el tramo IV de la carretera interoceánica, comprendido entre las localidades de Ollachea y Uruwasi, distritos de Ollachea, San Gabán y Ayapata provincia de Carabaya de la región de Puno.

Figura 3.

Ubicación de la Central Hidroeléctrica San Gabán II



Nota. Fuente: Recuperado de sangaban.com.pe

2.2.2.2. Objetivo

El objetivo de estas instalaciones, es utilizar el recurso hídrico del río San Gabán, por medio de procesos hidráulicos de desarenación, y embalse, poder conducir el agua

hacia una turbina y generar energía eléctrica que sea distribuida a los diferentes clientes, como población, empresas entre otros para su uso industrial y doméstico, por medio de la red eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Figura 4.

Central hidroeléctrica San Gabán II



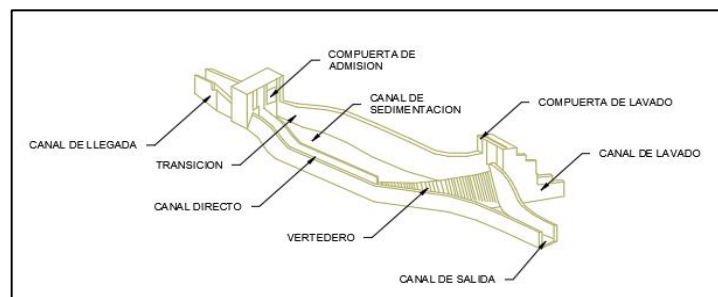
Nota. Fuente: Recuperado de sangaban.com.pe

2.2.3. Desarenador

Anteriormente, en la construcción de elementos hidráulicos, esta parte del sistema no se tenía en consideración. Fue cuando se presentaron daños en la estructura a nivel de conducción y recepción que fue necesario idear un medio para atrapar las partículas sólidas que eran transportadas junto con el flujo del agua. En este contexto es que se idea el desarenador, que en sus inicios es construido de manera experimental acorde a la necesidad de cada proyecto. (Fiesco y Arias, 2016).

Figura 5.

Esquema de un desarenador de lavado intermitente



Nota. Fuente: (Sparrow, 2008)

Los desarenadores vienen siendo estructuras hidráulicas cuyo fin es separar las partículas sólidas del agua mediante un proceso de caída por gravedad.

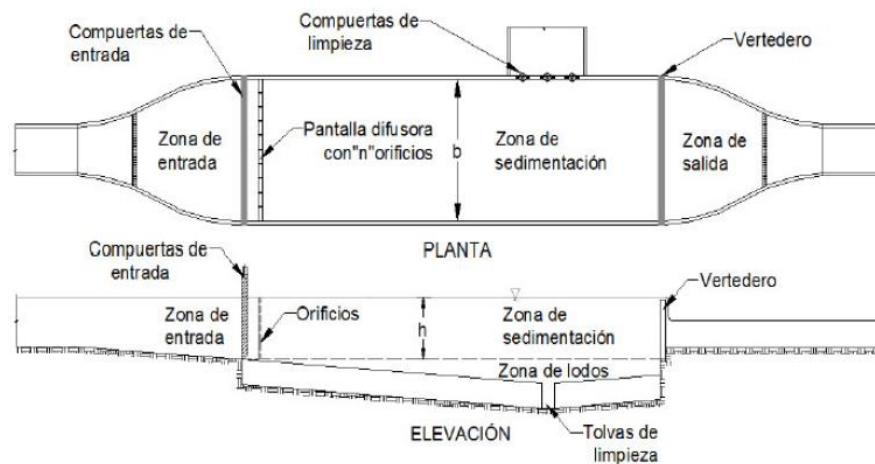
Los daños que ocasionan estas partículas en las estructuras que las transportan principalmente son:

1. A razón de que los sólidos quedan atrapados en el fondo, se reduce la capacidad hidráulica de canales y tuberías. Gran parte del material sólido se deposita en el fondo de los canales reduciendo su sección. Añadiéndose costes por aumento de mantenimiento e interrumpiendo el adecuado uso de las estructuras. (Sparrow, 2008).

2. Debido a que la recepción final del agua en centrales hidroeléctrica se da en las turbinas de generación, estas sufren un desgaste producto del contacto de los álabes de la turbina con los sólidos, produciendo un decrecimiento de la generación de energía y siendo necesario en muchas oportunidades el cambio o reparación de las turbinas. (Sparrow, 2008).

Figura 6.

Vista en cortes de un desarenador



Nota. Fuente: (Ramos, 2019)

El desarenador comúnmente se encarga de remover mediante caída las partículas de diámetro mayor a 0,2 mm (Rios y Rames, 2013).

Sin embargo, es importante mencionar que no todas las estructuras requieren de una eliminación rigurosa de sólidos, por citar un ejemplo, en irrigaciones, solo es necesario la remoción de partículas superiores a 0.50 mm y en el caso de hidroeléctricas, es necesaria la remoción de partículas superiores a 0.25 mm. (Barnuevo, 2018).

2.2.3.1. Clases de desarenadores

Según su forma de operación:

-**Desarenadores de lavado continuo:** Se presenta cuando de manera paralela la evacuación y sedimentación del flujo de agua. (Sparrow, 2008).

-**Desarenadores de lavado discontinuo:** Llamados también intermitentes, cuando la sedimentación y evacuación se dan en tiempos diferentes. (Sparrow, 2008).

Según su velocidad de operación:



-Desarenadores de baja velocidad: Se tiene en velocidades de escurrimiento menores a 1 m/s (generalmente entre 0.20 m/s a 0.60 m/s). (Sparrow, 2008).

-Desarenadores de alta velocidad: Se tiene en velocidades de escurrimiento mayores a 1 m/s (generalmente entre 1.00 m/s a 1.50 m/s). (Sparrow, 2008).

Según su disposición:

-Desarenadores en serie: Cuando se ha construido dos o más estructuras de retención una detrás de otra. (Sparrow, 2008).

-Desarenadores en paralelo: Cuando se ha construido dos o más estructuras de retención una al costado de otra, repartiéndose el caudal entre ellas. (Sparrow, 2008).

2.2.3.2. Elementos de un desarenador

-Transición de entrada.

La estructura que sirve de unión entre la zona de captación y las entradas de las naves del desarenador. (Sparrow, 2008).

-Cámara de sedimentación

La estructura en la cual se produce la caída de sólidos, siendo atrapadas en el fondo de esta construcción a consecuencia de la disminución de velocidad conforme la partícula recorre la estructura de manera longitudinal. (Sparrow, 2008).

-Vertedero

Esta estructura se encuentra al final de la cámara de sedimentación, en aquí, el agua que ha sido separada de los sedimentos cae por descarga libre hacia un elemento de conducción. Importante señalar que con velocidades flujo menores en esta etapa se produce menor turbulencia y arrastre de sedimentos. (Sparrow, 2008).

Por lo general, no hay espacio suficiente para construir un vertedero perpendicular y recto, por lo que se opta por una curva en los muros laterales y el flujo sigue su camino hacia las compuertas que dan paso a la conducción. (Sparrow, 2008).



-Compuerta de lavado

Esta compuerta tiene como utilidad remover los sedimentos atrapados en la parte inferior, para ello, el fondo del desarenador tiene una pendiente de 2% al 6%. El aumento de la altura de sedimentación producto de esta pendiente no está incluida en el diseño, sino que este volumen adicional se utiliza para el depósito de material. Se hace una proyección del tamaño de los sedimentos, así como su cantidad en el agua para dimensionar el desarenador y no hacer procesos de limpieza continuos. Para el proceso de limpieza del desarenador, se cierran las compuertas del canal de transición y se abre la compuerta del canal de purga, el agua baja con gran velocidad por este canal, llevándose consigo los sedimentos retenidos. También se debe considerar que el desarenador se puede limpiar mientras siga en funcionamiento, y, además, se tiene que calcular la pendiente para que el arrastre de sólidos sea efectivo. Esta pendiente varía de 3 a 5 m/s en la práctica para un adecuado uso de la estructura. (Sparrow, 2008).

Por la topografía que se presenta en zonas de captación, resulta imposible el colocar el desarenador justo después de la toma, la cual sería una ubicación óptima, por lo que, en casi todos los proyectos, se utiliza un canal de transición. (Sparrow, 2008).

-Canal directo

Este canal tiene como propósito el poder prescindir del desarenador para el transporte del fluido, este sistema se da por medio de compuertas al inicio del desarenador y otra que lleva a la zona de conducción, muchas veces en el caso de desarenadores en paralelo, este canal no es necesario puesto que se puede limpiar uno de ellos mientras el otro sigue en funcionamiento. (Villón, 2005).

2.2.3.3. Importancia del funcionamiento de un desarenador

La función principal del desarenador es, por medios físicos de caída, atrapar las partículas sólidas presentes en el agua, para que el flujo que sea transportado sin estas



partículas y así no cause un daño considerable a las turbinas a lo largo del tiempo, lo que ocasiona costes adicionales en mantenimiento y operación y, además, un déficit en la producción de energía eléctrica. Mediante el pronóstico correcto de sedimentos, y adecuada construcción del desarenador, se evitan problemas como obstrucciones en tuberías para riego y menores costes en tratamientos de agua para consumo. (Gonzales, 2020).

De hacer un mal diseño de esta estructura, se reducirá la capacidad de filtro a razón de que los sólidos atrapados sobrepasaran los del diseño, reduciendo su capacidad hidráulica, lo que se traduce en costos de mantenimiento elevados y retrasos y paralizaciones en el funcionamiento de canales y sistemas hidráulicos. (Gonzales, 2020).

2.2.3.4. Desarenador de la central hidroeléctrica San Gabán II

Esta estructura 4 canales de aproximación, en los cuales el ancho aumenta de dimensión conforme va pasando hacia las naves del desarenador a una razón de 4 a 6.35m.

Figura 7.

Desarenador de la central hidroeléctrica San Gabán II



Nota. Fuente: Elaboración propia.

2.2.4. La calidad del agua

La calidad de agua se puede definir como las características físicas, químicas, así como las biológicas que tiene que tener este elemento para determinar si se puede hacer uso de esta conforme a lo requerido en el diseño de cualquier estructura hidráulica. (Sánchez y Jerez, 2018).

2.2.4.1. Ensayo de turbiedad del agua:

Para el cálculo del grado de turbiedad del agua se utiliza el método nefelométrico, utilizando un aparato conocido como nefelómetro. Este método consiste en hacer una comparación de una muestra referencial con la que queremos saber el grado de turbidez, comparando la intensidad de la luz que se dispersa en la muestra. La muestra referencial que se usa comúnmente es un polímero de formacina, y cuyos resultados son similares a los obtenidos mediante el método de Jackson. (Sánchez y Jerez, 2018).



2.2.4.2. Ensayo de sólidos suspendidos totales:

Los tipos de sólidos no sedimentables encontrados en aguas naturales son: disueltos, suspendidos y coloidales. Estos sólidos vienen siendo transportados en la misma dirección del agua. Dependiendo del diámetro de los sólidos, pueden ser sedimentables o no sedimentables, teniendo como referencia diámetros menores a 0.01 mm no son sedimentables y diámetros mayores a esta unidad sí. Dentro de los sólidos no sedimentables tenemos material fino como limos, arcillas o de naturaleza orgánica como bacterias. Estos mismos le dan las características de color y olor o sabor al agua y no pueden ser removidos por procesos físicos, sino más bien químicos y su cálculo se da mediante la ecuación 1, de la siguiente manera:

$$SST = \frac{(\text{Peso Final (mg)} - \text{Peso Inicial (mg)}) * 1000}{\text{Volumen (ml)}} \quad (1)$$

2.2.4.3. Ensayo determinación de pH:

El pH de un elemento es el valor que expresa el grado de basicidad o acidez de una solución, este valor puede variar desde 0 hasta 14. (Sánchez y Jerez, 2018).

Conforme el pH va disminuyendo, el grado de acidez aumenta, se dice que una solución con un pH mayor a 7 se considera básica, mientras que menor a este valor es ácida. El punto medio de esta media, es decir 7, se considera como una solución neutra. El pH se mide en escala logarítmica, es decir, por cada punto menos en esta escala, se traduce como un aumento en la concentración de iones de hidrógeno [H⁺]. Existen diversas causas para el cambio de pH en el agua, como presencia de organismos vivos, aguas residuales, lluvia ácida o propiedades geológicas propias de una cuenca. (Sánchez y Jerez, 2018).

El pH tiene una influencia directa en los organismos acuáticos, puesto que existe un rango en el cual este ecosistema funciona con normalidad. Este rango es no mayor a 8.5 ni menor a 6.5 en la escala del pH. De salir de este rango, se producirá un desequilibrio en el ecosistema, pudiendo acabar con los organismos que viven en ella. (Sánchez y Jerez, 2018).

2.2.5. Diseño de desarenadores

A continuación, se tienen consideraciones de diseño propuestas por distintos autores para el óptimo funcionamiento hidráulico.

a) Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

El primer paso para el diseño de un desarenador es elegir el diámetro de partícula, para que partículas con un diámetro superior queden atrapadas. Esto está influenciado muchas veces en el tipo de estructura para lo que se requiere, en plantas hidroeléctricas se espera un diámetro de sedimentación mínimo de 0.25mm. (Villón, 2005).

Para centrales hidroeléctricas, se puede hacer una estimación del diámetro en función de la altura a la que cae la partícula, o también, en relación a la durabilidad del tipo de turbina, tal como se muestra las siguientes tablas. (Villón, 2005).

Tabla 1.

Diámetro de Partículas en Función de la Altura de Caída

Diámetros de partículas (d) que son retenidas en el desarenador (mm)	Altura de caída(H) (cm)
0.6	100 - 200
0.5	200 - 300
0.3	300 - 500
0.1	500 - 1000

Nota. Fuente: (Sparrow, 2008)

Tabla 2.*Diámetro de Partículas en Función con el Tipo de Turbina*

Diámetro de partículas (d) a eliminar en el desarenador (mm)	Tipo de turbina
1 - 3	Kaplan
0.4 - 1	Francis
0.2 - 0.4	Pelton

Nota. Fuente: (Sparrow, 2008)

b) Cálculo de la velocidad del flujo v en el tanque

Una velocidad en el desarenador que es menor a 0.20 m/s y mayor a 0.60 m/s se puede considerar lento. Esta velocidad se puede elegir a criterio del diseñador o bien utilizar la ecuación de Camp: (Villón, 2005).

$$V = a\sqrt{d} \text{ (cm/s)} \quad (2)$$

Donde:

d = diámetro (mm)

a = constante en función del diámetro

Tabla 3.*Constante "a" en Función del Diámetro*

a	d (mm)
51	< 0.1
44	0.1 - 1
36	> 1

Nota. Fuente: (Sparrow, 2008)

c) Cálculo de la velocidad de caída w (en régimen laminar)

Este parámetro está en relación directa con los siguientes aspectos:

-Peso específico de arenas a sedimentar: ρ_s gr/cm³



-Peso específico del agua: ρ_w gr/cm³

Se tiene diferentes criterios de cálculo, como son:

Tabla de Arkhangelski, que estable una relación entre la velocidad de caída y el diámetro de las arenas d (en mm). (Villón, 2005).

Tabla 4.

Velocidades de Sedimentación “w” Calculado por Arkhangelski (1935) en Función del Diámetro de Partículas

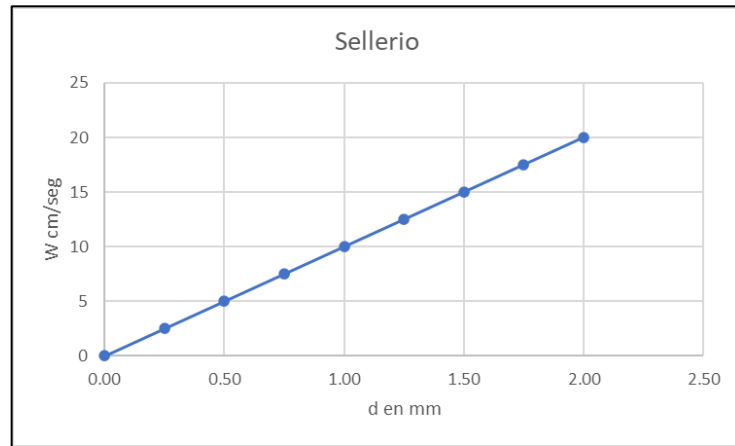
d (mm)	w (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

Nota. Fuente: (Sparrow, 2008)

Para Sellerio, esta relación viene dada por el siguiente nomograma: (Villón, 2005).

Figura 8.

Nomograma de Sellerio



Nota. Fuente: (Ramírez, 2020)

La fórmula de Owens:

$$w = k\sqrt{d(\rho_s - 1)} \quad (3)$$

Donde:

w = velocidad de sedimentación (m/s)

d = diámetro de partículas (m)

ρ_s = peso específico del material (g/cm³)

k = constante que guarda relación con la naturaleza y forma de las partículas, como se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5.

Valores de la Constante “k”

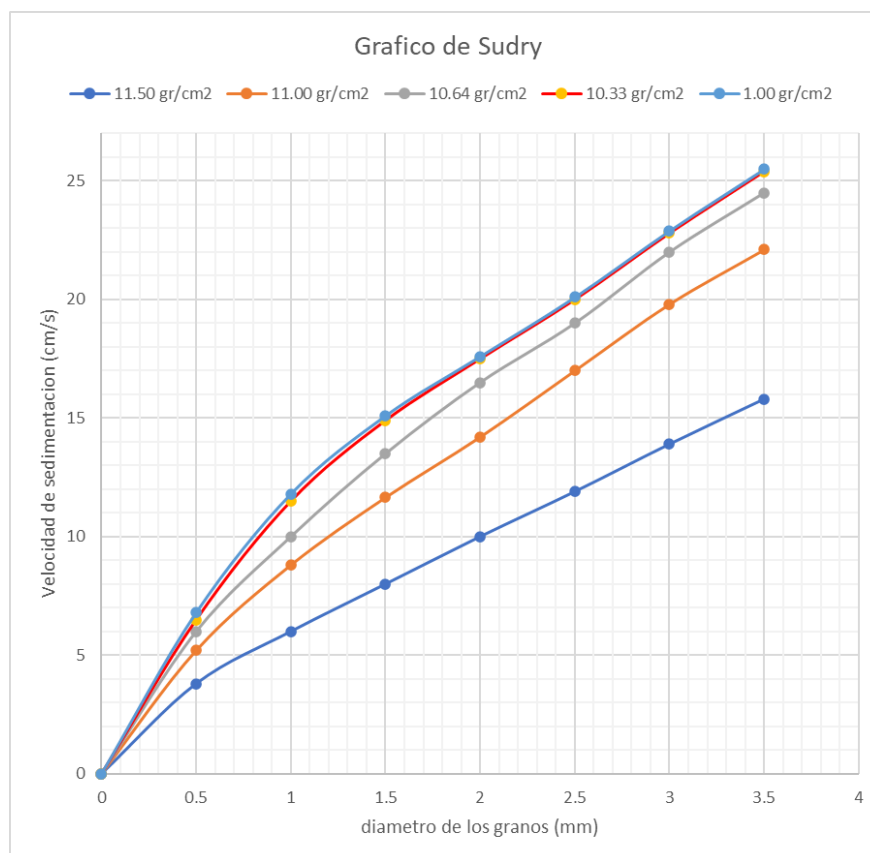
Forma y naturaleza	k
Arena esférica	9.35
Granos redondeados	8.25
Granos cuarzo d > 3 mm	6.12
Granos cuarzo d < 0.7 mm	1.28

Nota. Fuente: (Villón, 2005)

Para Sudry, según diferentes pruebas hechas en laboratorio, es posible determinar la velocidad en función del diámetro de las partículas (mm) y del peso específico del agua a diferentes condiciones (ρ_w en gr/cm³). (Villón, 2005).

Figura 9.

Velocidad de sedimentación de granos en agua turbia según Sudry



Nota. Fuente: (Villón, 2005)

Segun Scotti – Folglieni, producto de su experimentación, llego a la siguiente formula:

$$w = 3.8\sqrt{d} + 8.3d \quad (4)$$

donde:

w = velocidad de sedimentación (m/s)

d = diámetro de la partícula (m)

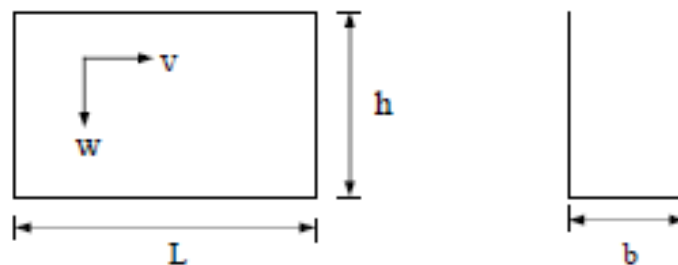
Para mayor detalle, incluso es preferible experimentar en laboratorio con modelos a escala las velocidades de caída de sedimentos. (Villón, 2005).

d) Cálculo de las dimensiones del tanque

Teniendo en consideracion un flujo laminar, se puede considerar los siguientes enunciados: (Villón, 2005).

Figura 10.

Dimensiones de un tanque



Nota. Fuente: (Villón, 2005)

$$\text{Caudal: } Q = b h v \rightarrow \text{ancho del desarenador: } b = \frac{Q}{h v} \quad (5)$$

$$\text{Tiempo de caída: } w = \frac{h}{t} \rightarrow t = \frac{h}{w} \quad (6)$$

$$\text{Tiempo de sedimentación: } v = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{v} \quad (7)$$



Igualando:

$$\frac{h}{w} = \frac{L}{v} \quad (8)$$

Despejando, se tiene:

$$L = \frac{h v}{w} \quad (9)$$

Si se pone en consideración la turbulencia del agua, incidiendo está en el proceso de sedimentación, se vería reducida la velocidad de sedimentación a $w - w'$; donde w' es el efecto de la turbulencia en la reducción de la velocidad. Entonces, la ecuación (10) se tiene:

$$L = \frac{h v}{w - w'} \quad (10)$$

De lo anterior se tiene que existe un incremento en la longitud del desarenador utilizando esta ecuación.

Eghiazaroff, plantea esta reducción como:

$$w' = \frac{v}{5.7 + 2.3h} \frac{m}{s} \quad (11)$$

Para Levin, esta reducción puede ser expresada por medio de un coeficiente:

$$w' = \alpha v \frac{m}{s} \quad (12)$$

Bestelli et plantea este coeficiente como:

$$\alpha = \frac{0.132 m}{\sqrt{h}} \frac{m}{s} \quad (13)$$

donde h se expresa en m.

Para desarenadores cuyas velocidades sean menores, puede aplicarse un factor que esté relacionado con la velocidad de escurrimiento del sistema:

$$L = K \frac{h v}{w} \quad (14)$$

donde K se obtiene de la siguiente tabla. (Sánchez y Jerez, 2018).

Tabla 6.

Coefficiente Para el Cálculo de Desarenadores de Baja Velocidad

Velocidad de escurrimiento (m/s)	k
0.20	1.25
0.30	1.50
0.50	2

Nota. Fuente: (Villón, 2005)

Para desarenadores con un intervalo de velocidad que varía entre 1 m/s a 1.50 m/s, Montagre, indica que la turbulencia no incide en el proceso de sedimentación, y el valor de k se puede calcular en función del diámetro, tal como se muestra a continuación: (Sánchez y Jerez, 2018).

Tabla 7.

Coefficiente Para el Cálculo de Desarenadores de Alta Velocidad

Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)	k
1	1
0.50	1.3
0.25 – 0.30	2

Nota. Fuente: (Villón, 2005)

Las dimensiones más importantes, como son, el ancho y el largo de las naves, pueden ser reducidas teniendo en cuenta que para una velocidad mayor a 0.20m/s y menor a 0.60m/s se puede asumir una altura entre 1.50 y 4.00m. (Sánchez y Jerez, 2018).



2.2.6. Los sedimentos

Se definen como partículas que son arrastradas por el flujo del agua que se quieren decantar y posteriormente eliminar con los desarenadores. Estas partículas son el resultado de procesos meteorológicos y geológicos que ocurren de forma natural en el medio ambiente producto de un proceso natural de erosión. Teniendo en cuenta esto, sus propiedades físicas y químicas están influenciadas por su origen y su modo de transporte. Se pueden dividir entre cohesivos y no cohesivos, dependiendo de la capacidad que tienen de pegarse unas a otras.(Proaño, 2013).

Cuando hablamos de partículas como limos y arcillas que tienen propiedades plásticas, estamos hablando de sedimentos cohesivos, cuya eliminación corresponde a un proceso de decantación más riguroso, ayudado por elementos floculadores. Partículas no cohesivas, debido a su mayor diámetro, es decir 0.062mm a más, es posible eliminarlas mediante un proceso de sedimentación, para establecer las propiedades de un sedimento a detalle, se tiene que hacer un análisis a nivel de composición mineralógica, porosidad, peso específico, entre otros. (Proaño, 2013).

Teniendo las características básicas de los sedimentos, es posible hacer relaciones con el agua que los transporta y calcular velocidades de sedimentación.(Proaño, 2013).

Tabla 8.*Clasificación de Material en Suspensión, Según su Tamaño*

Material	Diámetro (mm)	Material	Diámetro (mm)
Gravilla:		Fango:	
Gruesa	>2.0	Grueso	
Fina	2.00-1.00	Y medio	0.05-0.01
		Fino	0.01-0.005
Arena		Arcilla:	
Gruesa	1.00-0.50	Grueso	
Media	0.50-0.25	Y media	0.005-0.001
Fina	0.25-0.10	Fino	0.001-0.0001
Muy fina	0.10-0.05	Coloidal	<0.0001

Nota. Fuente: (R. López, 2003)

2.2.6.1. Teoría de la sedimentación

Esta investigación fue elaborada por Hazen y Stokes. Todo el trabajo de este estudio se consolida en la presente ecuación, se llega a la conclusión que la velocidad de sedimentación de una partícula es directamente proporcional al cuadrado de su diámetro. (Fiesco y Arias, 2016).

$$V_S = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} d^2 = Kd^2 \quad (15)$$

donde:

 V_S = Velocidad de sedimentación de la partícula (cm/s) g = Aceleración de la gravedad (981 cm/s²) ρ_s = Peso específico de la partícula (arenas = 2.65) ρ = Peso específico del fluido agua (agua = 1.00) d = Diámetro de partícula (d=0.01 cm) μ = Viscosidad cinemática del fluido (cm²/s)



Para efectos de este estudio y su aplicación práctica, se asume que:

- El flujo está distribuido de manera uniforme a lo largo de la sección transversal.
- La velocidad no varía en ningún punto del desarenador.
- Se considera una partícula removida apenas llegue al fondo.

Tabla 9.

Viscosidad Cinemática del Agua

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (cm ² /s)
0	0.01792
2	0.01763
4	0.01567
6	0.01473
8	0.01386
10	0.01308
12	0.01237
14	0.01172
15	0.01146
16	0.01112
18	0.01059
20	0.01007
22	0.00960
24	0.00917
26	0.00876
28	0.00839
30	0.00804
32	0.00772
34	0.00741
36	0.00713

Nota. Fuente: (López, 1995)

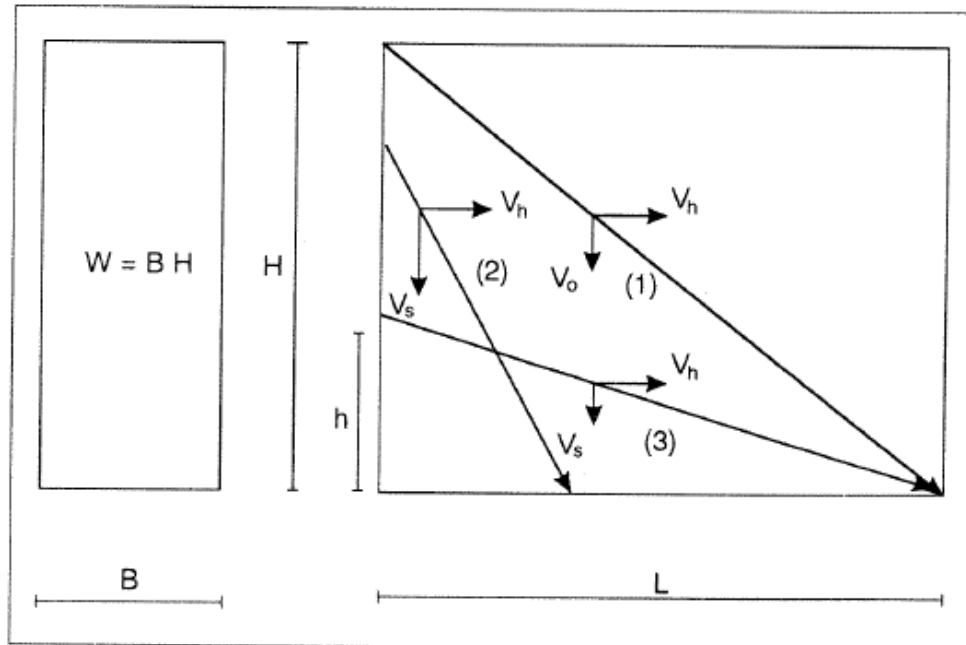
Este estudio fue desarrollado teniendo en cuenta el diámetro d expuesto en la formula anterior y su análisis posterior en el desarenador. (Fiesco y Arias, 2016).

De acuerdo al siguiente detalle, se considera la situación más crítica como la partícula que ingresa en la parte superior del desarenador, puesto que tiene que recorrer

una mayor longitud L y altura H para ser capturada, su trayectoria se ve en la siguiente figura (1). (R. López, 2003).

Figura 11.

Trayectorias de partículas en el sedimentador



Nota. Fuente: (López, 1995)

Se puede dividir la velocidad en dos componentes, velocidad vertical V_o y velocidad horizontal V_h , que realizan el recorrido para un tiempo t . Según esta consideración, todas las partículas con velocidad vertical semejante serán capturadas, y de igual manera, aquellas con una velocidad de sedimentación mayor a la velocidad vertical. En cuanto al caso de que se tenga una velocidad de sedimentación menor a la velocidad horizontal, pueda que se dé su remoción en función del lugar donde se encuentren a relación a la altura del desarenador. (R. López, 2003).

Según semejanza de triángulos:



$$\frac{L}{V_h} = \frac{H}{V_o} \rightarrow \frac{L W}{V_h W} = \frac{H}{V_o} \rightarrow \frac{V}{Q} = \frac{H}{V_o} \quad (16)$$

Siendo V= volumen del tanque y Q = caudal. La velocidad de la partícula crítica Vo Sera:

$$V_o = \frac{H Q}{V} \rightarrow V_o = \frac{Q}{A} \quad (17)$$

Siendo A= área superficial = B X L.

Según la ecuación de Stokes:

$$V_s = \frac{g (\rho_s - \rho)}{18 \mu} d^2 = K d^2 \quad (18)$$

Remplazando la velocidad de la partícula crítica en la ecuación de Stokes, se tiene:

$$K d^2 = \frac{Q}{A} \rightarrow d = \sqrt{\frac{Q}{K A}} \quad (19)$$

Realizando un análisis de la ecuación, se tiene que el diámetro del sedimento capturado está en relación directa con el área del sedimentador. (R. López, 2003).

La eficiencia del desarenador guarda relación directa con la profundidad de sedimentación del desarenador, ya que, a una menor altura de sedimentación, más rápido se atraparà la partícula a remover, de esto concluimos que a una Vs menor que Vo se tiene una mayor eficiencia de retención. (R. López, 2003).

La velocidad de sedimentación de la partícula crítica está dada por la relación Q/A llamada también carga hidráulica superficial (q). (R. López, 2003).



Para garantizar la remoción de una partícula, se debe cumplir que el periodo de retención hidráulico V/Q sea equivalente al tiempo en que se retiene una partícula que se encuentra en la parte superior del desarenador:

$$\frac{V}{\frac{Q}{H}} = \frac{V}{V_o} = 1 \quad (20)$$

Se tiene en la práctica que el caudal no se reparte de manera uniforme a causa de los deflectores, además que las velocidades al estar expuestas a zonas muertas y en contacto con el aire se ven afectadas, y, por último, algunas partículas atrapadas vuelven a subir a la parte superior. (R. López, 2003).

Por tanto, se añade un factor de seguridad considerando:

1) Porcentaje de remoción de partículas con $V_s < V_o$:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{No. partículas con } V_s < V_o}{\text{No. partículas con } V_s \geq V_o} \times 100 \quad (21)$$

2) Grado del desarenador (n):

El valor de n califica el grado de eficiencia de los deflectores.

n = 1: Deflectores deficientes o ausencia de ellos

n = 2: Deflectores regulares

n = 3: Deflectores buenos

n = 5 a 8: Deflectores muy buenos

n $\rightarrow \infty$: Caso teórico

Quedando la siguiente ecuación:

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V}{\frac{Q}{H}} = \frac{V_s V}{H Q} = V_s \frac{A}{Q} = \frac{V_s}{\frac{Q}{A}} = \frac{V_s}{V_o} \quad (22)$$

Siendo V_s = Velocidad de sedimentación efectiva



V_o = Velocidad de sedimentación teórica = Q/A

$$\frac{V_s}{V_o} = \text{Numero de Hazen}$$

La tabla 10 muestra los valores del número de Hazen un función a los deflectores y el porcentaje de remoción (R. López, 2003).

Tabla 10.

Número de Hazen (V_s/V_o)

Condiciones	Remoción (%)							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7.00	4.00	3.00	2.30	1.80	1.50	1.30	1.00
n=3	2.75		1.66					0.76
n=4	2.37		1.52					0.73
Máximo teórico	0.88		0.75					0.50

Nota. Fuente: (López, 1995)

Para un desarenador convencional opere de manera confiable, se recomienda:

$$V_h < 20V_s \quad (23)$$

$$9 < \frac{V_h}{V_o} < 15 \quad (24)$$

La velocidad de arrastre debe ser mayor que la velocidad horizontal, con el objetivo de garantizar la no resuspensión de las partículas.

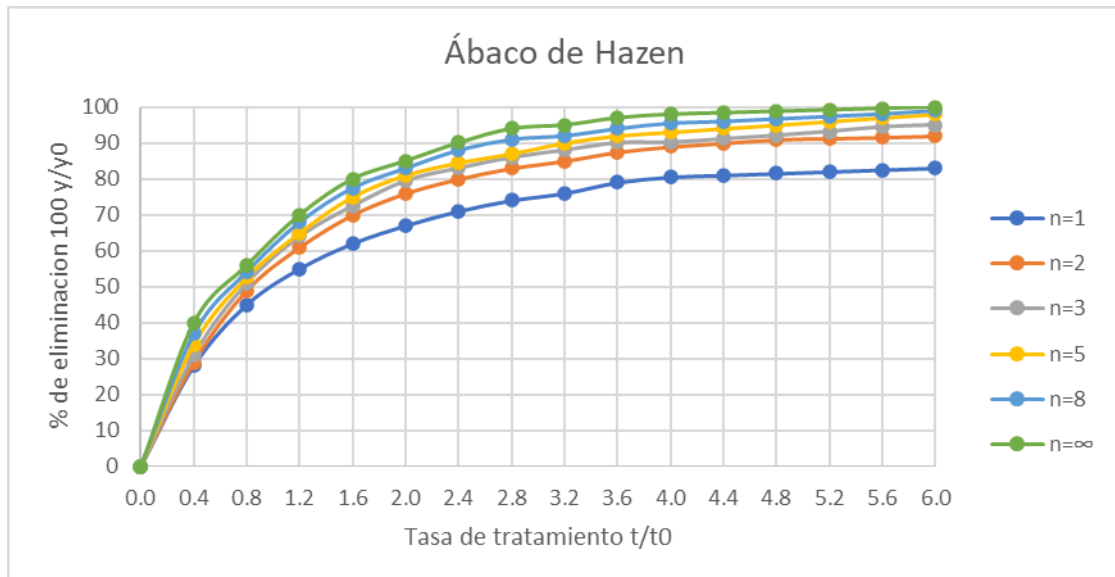
$$V_h < V_r = \sqrt{\frac{8k}{f} g(\rho_s - \rho)d} \quad (25)$$

Considerando la sedimentación de arenas, k obtiene un valor de 0.04 y para procesos de sedimentación por acción de la gravedad sin considerar coagulación, f toma un valor de 0.03. (R. López, 2003).

Para diferentes tiempos y rendimientos, se puede deducir la eficiencia, según la teoría de Hazen:

Figura 12.

Método del ábaco de Hazen



Nota. Fuente: Sánchez y Jerez, 2018

En el ábaco de Hazen:

t_0 = tiempo de sedimentación de las partículas en fluido laminar.

$t_0 = h/V_s$ = tiempo que recorre una partícula la altura de sedimentación h , con una velocidad de sedimentación V_s para ser capturada.

t = tiempo exacto que hace una partícula para recorrer la longitud del desarenador con una probabilidad de sedimentación y/y_0 .

$t = \text{Volumen del tanque} / \text{caudal}$

t/t_0 = tasa de tratamiento.

y = Partículas sedimentadas con una velocidad V_s .

y_0 = Partículas que ingresan con una velocidad V_s al inicio del desarenador.

y/y_0 = Porcentaje de partículas atrapadas (%)

yo-y= Partículas que permanecen en suspensión luego de recorrer todo el desarenador para un tiempo t.

El valor que puede tomar n variara en función de:

- Estado de las pantallas de deflexión a la entrada del desarenador.
- Viento y temperatura considerables que puedan ocasionar turbulencias en el desarenador, despreciable para desarenadores de gran tamaño.

2.2.7. Software Ansys

La empresa de tecnología ANSYS Inc. Fue fundada en el año 1970, tiene como objetivo analizar y producir trabajos de ingeniería mediante métodos novedosos para producir elementos de ingeniería innovadores, teniendo como consecuencia la disminución de costo y tiempo mediante el uso de programas que tienen como base el método de elementos finitos, el cual proyecta la funcionalidad de cualquier sistema a simular de forma real. (Martín, 2010).

Figura 13.

Logotipo del software ANSYS



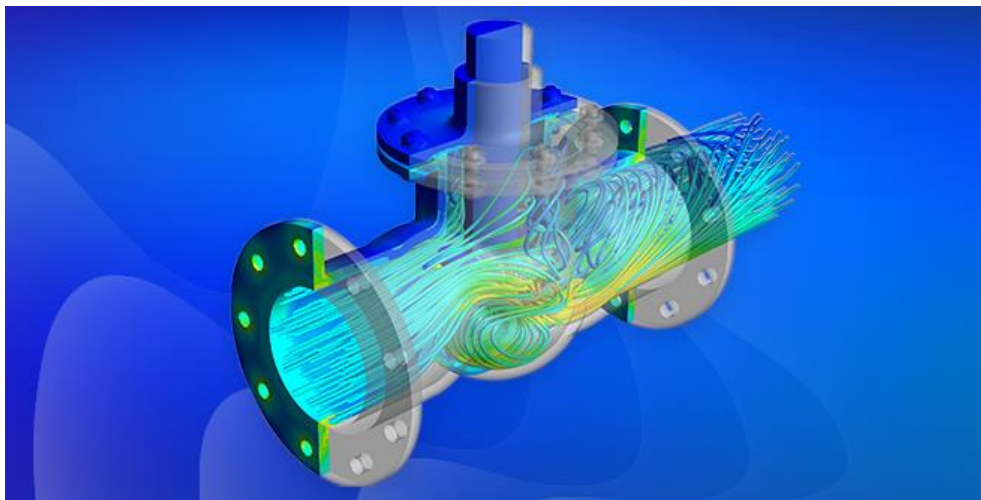
Nota. Fuente: Recuperado de <https://www.ansys.com/>

Con una visión a futuro, la mecánica de fluidos está relacionada cada vez más al uso de softwares de modelamiento numérico. Con la evolución tecnológica a nivel de ordenadores, tanto en cuanto a potencia como a una mayor facilidad de ingreso de datos,

es posible un estudio más amplio y a mayor detalle de fenómenos físicos relacionados a la ingeniería, a nivel de diseño y ejecución. Es así que en los últimos años se ha ido normalizando el uso de modelos numéricos mediante la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). (Ramírez, 2020).

Figura 14.

Modelación numérica con dinámica de fluidos computacional (CFD)



FUENTE: Ramírez, 2020

La rama de la mecánica de fluidos que utiliza procedimientos en base a métodos numéricos para dar solución a problemas que afectan el flujo de cuerpos de agua y sus estructuras es la dinámica de fluidos computacional (CFD), que abre la ventana al conocimiento cuantitativo y cualitativo de los fenómenos que gobiernan el comportamiento de los fluidos. (Ramírez, 2020).

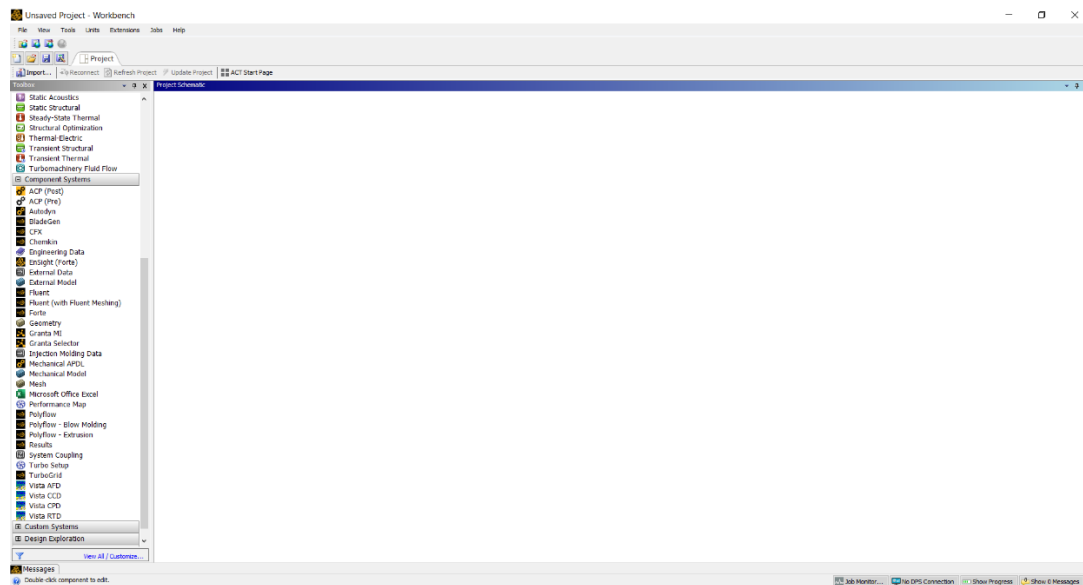
Existen softwares especializados en CFD, uno de ellos es el software ANSYS que desarrolla múltiples tareas en diferentes ramas de la ingeniería, ya sea a nivel estructural, termodinámico, o de fluidos por citar algunos. (Ramírez, 2020).

2.2.7.1.ANSYS CFX

Una de las múltiples opciones dentro de los fenómenos estudiados en ANSYS Inc., es ANSYS CFX, un software CFD, que viene dando solución a múltiples problemas de ingeniería por más de 2 décadas. (Egea y Garzón, 2009).

Figura 15.

Pantalla de inicio del software ANSYS-CFX

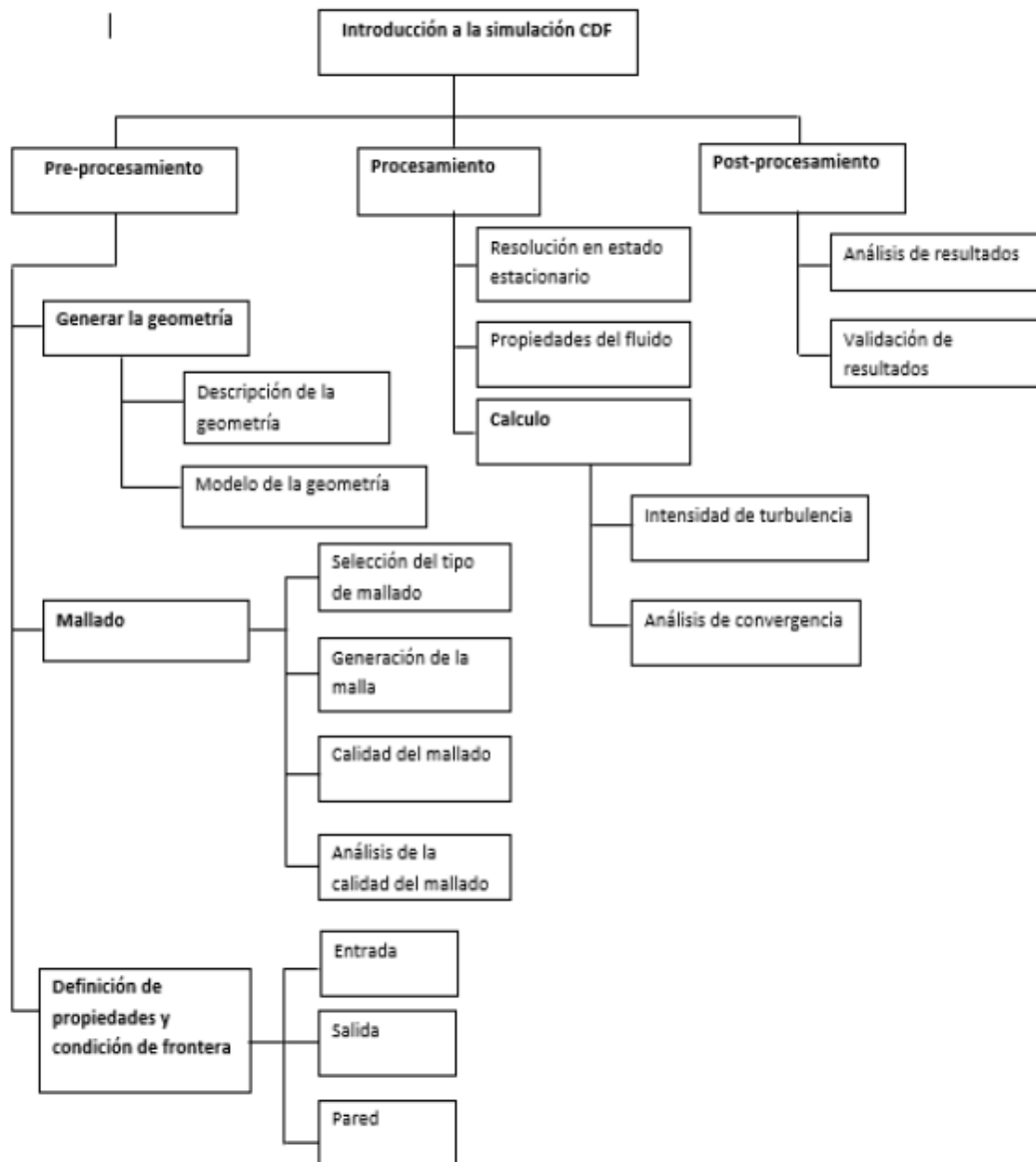


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Ansyc CFX, es un programa de análisis y simulación CFD (Computational Fluids Dynamics), en los que se pueden desarrollar trabajos de simulación para distintas aplicaciones de la hidráulica. Esta aplicación puede simular un fluido y su comportamiento de acuerdo a la geometría computacional que se le, con un alto nivel de detalle y exactitud. Para ello se siguen una serie de pasos en las diferentes plataformas que componen el programa, tales como geometría, modelación y mallado. (Montalvan, 2021).

Figura 16.

Diagrama para el desarrollo metodológico para la simulación en ANSYS-CFX



FUENTE: Lluquay, 2016

2.2.7.1.1. Pre procesamiento

En esta etapa se establecen las consideraciones generales de diseño de la simulación, para lo cual requiere un conocimiento previo de los fenómenos a simular, para así obtener resultados acordes a la realidad. Para lo cual se seguirán tres pasos: (Lluquay, 2016).



-Definición de la geometría en tres dimensiones que retrate las condiciones reales a simular. (Lluguay, 2016).

-Creación de la malla que mejor se adapte al modelo de la geometría creado anteriormente. (Lluguay, 2016).

-Definir las propiedades físicas del modelo, como parámetros de solución, condiciones de frontera y tiempo de simulación. (Lluguay, 2016).

- GEOMETRÍA

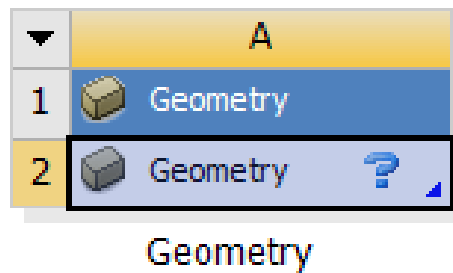
Este software posee herramientas necesarias para la creación de las geometrías en 2D o 3D sin necesidad de importar estos datos de otros softwares, que también se puede hacer. (Noblecilla, 2019).

Se pueden utilizar dos opciones para la creación de la geometría: ANSYS Discovery Space Claim y Design Modeler, los cuales se diferencian principalmente por la interfaz que utilizan, pero que debido a su entorno y uso amigable, son herramientas poderosas para la representación de geometrías sencillas hasta complejas.(Noblecilla, 2019).

Se pueden realizar infinidad de modelos en base a una única geométrica elaborada, por lo que los modelos a diferentes niveles, como pueden ser hidráulicos, termodinámicos o estructurales se hacen de una forma ordenada fácil y rápida en comparación a otros programas. (Noblecilla, 2019).

Figura 17.

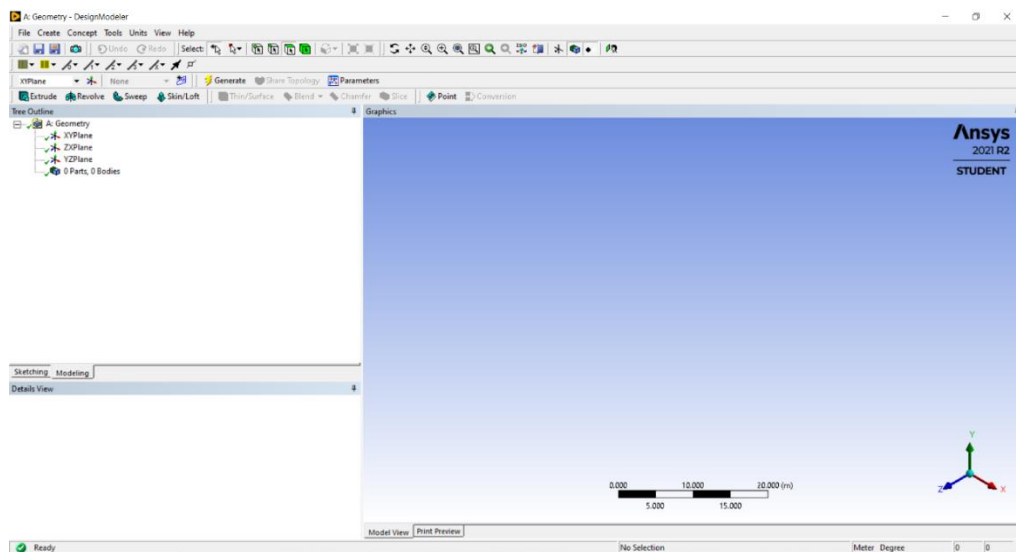
Ventana de geometría en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 18.

Pantalla de inicio de geometría en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

- MALLADO

La malla está definida como la discretización de la geométrica en cuerpo más pequeños. Cada cuerpo pequeño o celda será analizada en base a las ecuaciones que corresponden al problema a solucionar. (Noblecilla, 2019).



Las mallas se clasifican de la siguiente forma:

Malla estructurada: Se caracterizan por su condición regular y eficiente, sin embargo, están limitadas debido a su alto consumo de datos, por lo que no se recomienda su uso en geometrías avanzadas. Para geometrías en 3 dimensiones se utilizan hexaedros, y para 2 dimensiones, cuadriláteros. (Noblecilla, 2019).

Malla no estructurada: Se caracterizan por su forma irregular y organizada de forma aleatoria, utiliza tetraedros en 3 dimensiones, y para 2 dimensiones triángulos. (Noblecilla, 2019).

Malla híbrida: Es la unión de ambas mallas acorde a las necesidades de la geometría que se quiere evaluar mediante modelamiento. (Noblecilla, 2019).

Tabla 11.

Fortalezas y Debilidades de Mallas Estructuradas y no Estructuradas

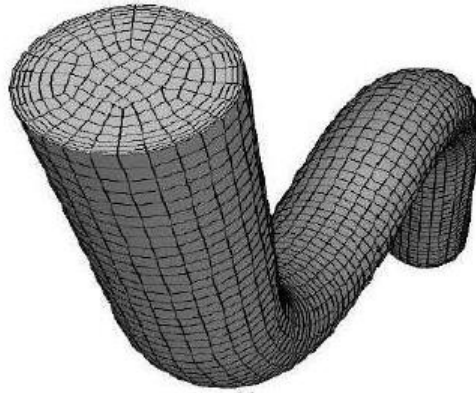
Tipo de malla	Fortalezas	Debilidades
Estructurada	<ul style="list-style-type: none">- Permite tener mayor grado de control. La malla puede ser diseñada precisamente a los requerimientos del usuario.- Las celdas hexaédricas son muy eficientes para llenar espacios, tolera un alto rango de oblicuidad y alargamiento antes de efectuar la solución- El alineamiento y organización de los elementos ayuda a obtener mejores resultados en la convergencia. Esto también ayuda a que la etapa de Post-Proceso sea más fácil.	<ul style="list-style-type: none">- El tiempo requerido para su elaboración es mucho mayor comparado con la malla no estructurada.- Es limitada al tipo de geometría debido a las particularidades que pueda presentar.
No estructurada	<ul style="list-style-type: none">- La generación automática de la malla requiere menos esfuerzo por parte del usuario.- Adecuada para aquellos usuarios con poca o sin experiencia.- Generará una malla válida para la mayoría de geometrías.- Se podrá obtener los resultados requeridos con mayor rapidez.	<ul style="list-style-type: none">- Falta de control del usuario, la malla puede no estar definida de manera adecuada en ciertas áreas de la geometría.- Los elementos tetraedrales no tienen una buena adaptación a los cambios cuando se varía su relación, lo que puede impactar en la precisión de los resultados.- La etapa de Post- Proceso requiere mayor cantidad de recursos computacionales.

Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

Considerando estos detalles, se debe escoger el tipo de malla que más se adapte a las necesidades del modelador, considerando factores como tiempo y coste computacional. (Noblecilla, 2019).

Figura 19.

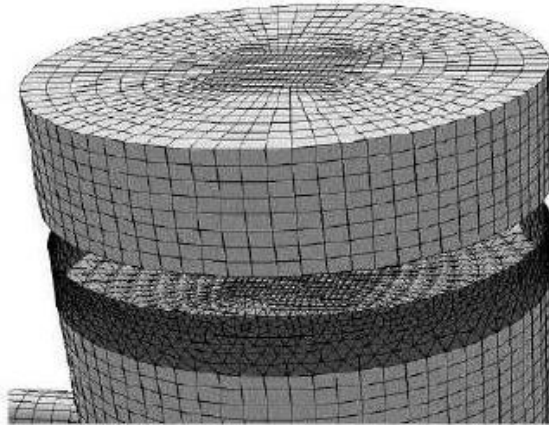
Malla estructurada en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

Figura 20.

Malla no estructurada en ANSYS-CFX

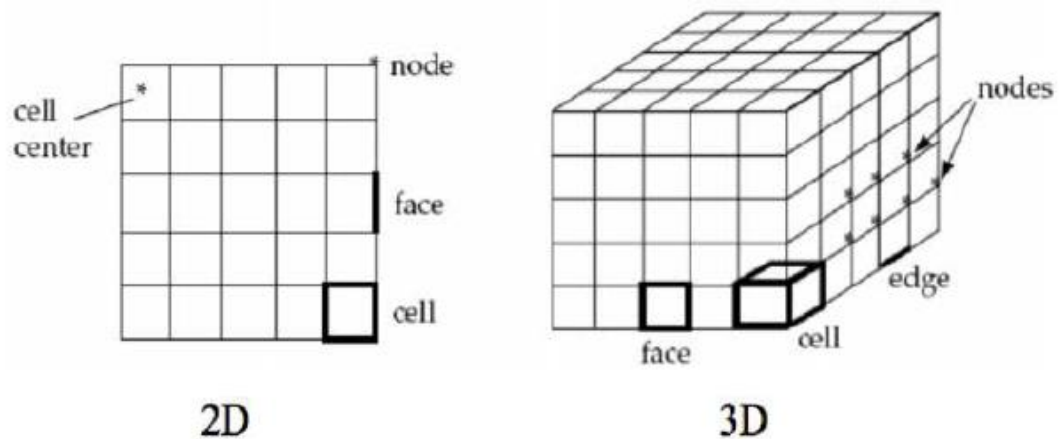


Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

A continuación, se muestran los elementos que forman las diferentes mallas bidimensionales y tridimensionales. (Noblecilla, 2019).

Figura 21.

Identidades geométricas en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

Como se puede observar las celdas para modelos 2D difieren de los modelos 3D, por lo que se debe observar los errores obtenidos producto del enmallado incorrecto, que podrán ser corregidos antes de iniciar con la modelación. (Noblecilla, 2019).

El dominio computacional se refiere a la representación de regiones de interés definidos por la malla, en estos, una celda es la representación de un volumen de control en donde se aplicarán las ecuaciones de flujo correspondientes a los fenómenos que se requiera estudiar.

Tipos de celdas más comunes:

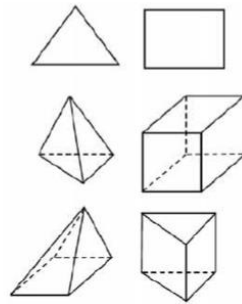
Para geometrías en 2D, se tienen mallas triangulares y cuadriláteras, cuyo uso dependerá de la rapidez y precisión que requiera el modelador.(Noblecilla, 2019).

Para geometrías en 3D, se tienen mallas tetraédricas, utilizadas para mallas no estructuradas, hexaédricas para mallas estructuradas de alta precisión, pero de alto coste computacional, mallas piramidales, que se encuentran presentes en la transición de

elementos hexaédricos a tetraédricos en mallas híbridas y prismáticas, cuyo uso se da al analizar las capas límite de diferentes escenarios. (Noblecilla, 2019).

Figura 22.

Celdas comunes para geometrías en 2D y 3D en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

Si se ha corrido el modelo, es posible regresar al proceso de mallado, para optimizar el mismo. Valores como gradiente, tamaños, ortogonalidad, entre otros pueden ser refinados. El mallado es la base para resultados precisos en software CFD. (Noblecilla, 2019).

Existe una relación entre el número de celdas generadas con el mallado y el coste computacional del modelo, por lo que se debe encontrar el equilibrio para generar un modelo preciso pero que se pueda ejecutar con el ordenador que se tenga disponible. Los siguientes factores pueden definir la calidad de la malla: (Noblecilla, 2019).

Precisión de la solución: Para mallas estructuradas y de mayor calidad se tiene una solución más precisa, se puede hacer un refinamiento en zonas donde los resultados que se muestren no sean los más óptimos. (Noblecilla, 2019).

Tiempo de cálculo: Para mallas estructuradas y refinadas, el tiempo de cálculo es bastante elevado, dependiendo del computador, pueden resultar en días o incluso semanas

de trabajo, por lo que se deberá optimizar la calidad de la malla acorde al computador que se esté usando. (Noblecilla, 2019).

Tasa de convergencia: La convergencia viene detallada al momento de correr el modelo, cuando el modelo converge de una forma estable, indica una buena calidad de malla.(Noblecilla, 2019).

Tabla 12.

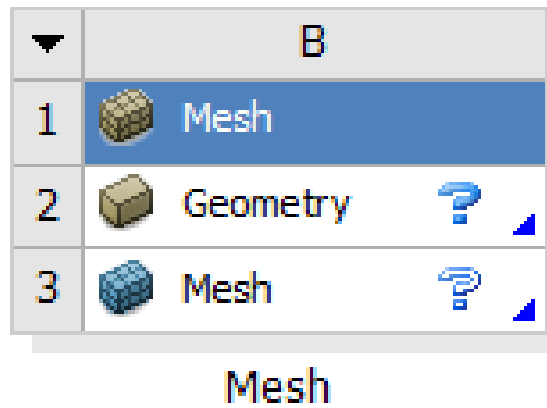
Criterios de Evaluación de la Calidad de Mallado en ANSYS CFX

Criterio	Descripción
Calidad Ortogonal (Orthogonal Quality)	El rango de calidad ortogonal media varía de 0 a 1, siendo el primer valor un índice de baja calidad y el segundo de alta calidad.
Calidad del elemento (Element Quality)	El rango de calidad del elemento varía de 0 a 1, siendo el primer valor un índice de Baja Calidad y el segundo de Alta Calidad.
Razón de Aspecto (Aspect Ratio)	El valor máximo de razón de aspecto media recomendada es de 5.
Asimetría (Skewness)	El rango de asimetría varía de 0 a 1, siendo el primer valor un índice de alta calidad y el segundo de baja calidad.

Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

Figura 23.

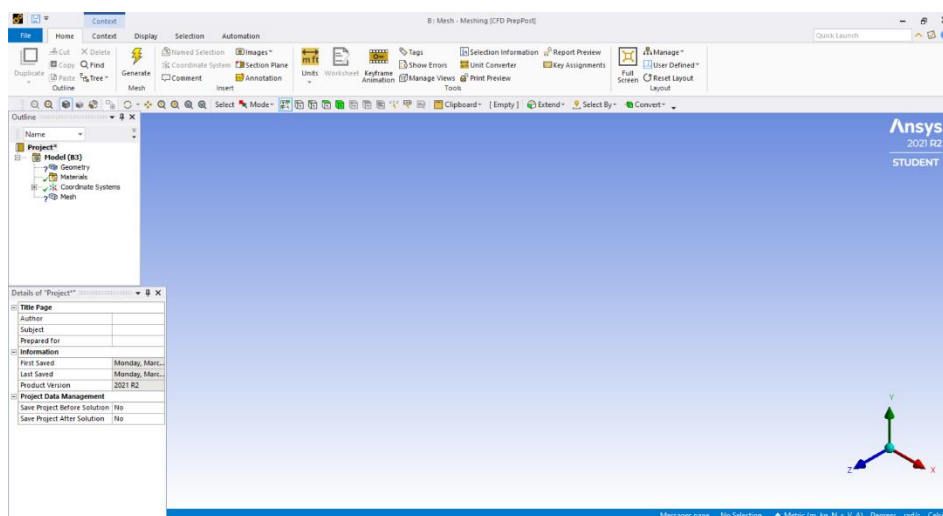
Ventana de mallado en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 24.

Pantalla de inicio de mallado en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

- PARÁMETROS DE MODELAMIENTO

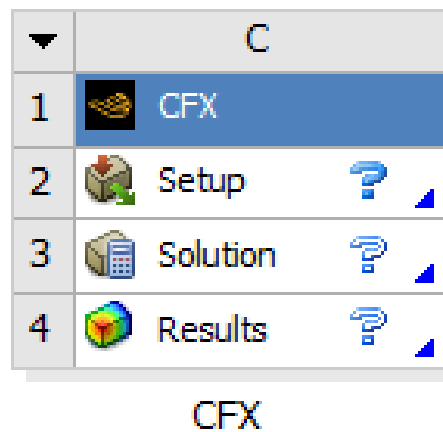
Para modelaciones en estado estacionario, que es el tipo de modelamiento más rápido, pero con menor cantidad de detalle, se utiliza por lo general el modelo k- ϵ , ya que

este modelo utiliza las ecuaciones que reflejan de forma real las propiedades de cualquier flujo. (Noblecilla, 2019).

Una limitación de este modelo radica en el paso siguiente, el solucionador, ya que solo considera dos fluidos como máximo en todas las fases de modelamiento, estando en la primera fase el fluido con menor densidad, es decir el aire, y en la segunda fase el fluido con mayor densidad ósea el agua. (Noblecilla, 2019).

Figura 25.

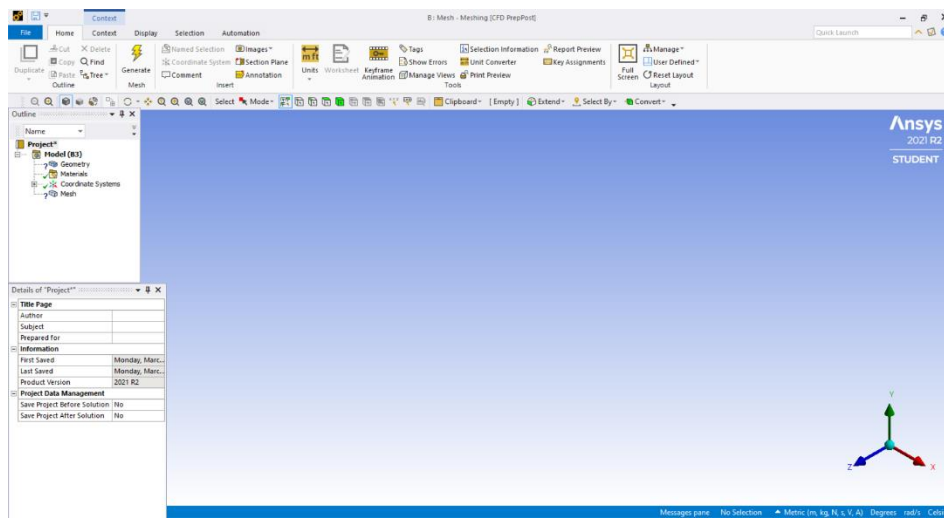
Ventana de condiciones iniciales, soluciones y resultados en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 26.

Pantalla de inicio de contornos iniciales en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

- CONDICIONES DE CONTORNO

El inicio de la simulación como tal corresponde a este paso, en donde se colocan valores de las variables que darán solución a nuestro modelamiento, donde estableceremos fronteras de dominio computacional. (Noblecilla, 2019).

Para las condiciones de borde como son superficie libre, muros, entrada o salida, se deberá tener cuidado al ingreso de estos parámetros, puesto que condiciones irreales no podrán ser resueltas por el programa. Especial consideración se deberá tener en los muros, puesto que también se deberá ingresar la rugosidad del material k (mm) para una adecuada representación del modelo. En cuanto a parámetros de ingreso como velocidades, presiones, rugosidad de paredes, viscosidad u otros, se deberán ingresar considerando los fenómenos a estudiar, ya que estos deberán reflejar la realidad del sistema a querer estudiar en la realidad. (Noblecilla, 2019).

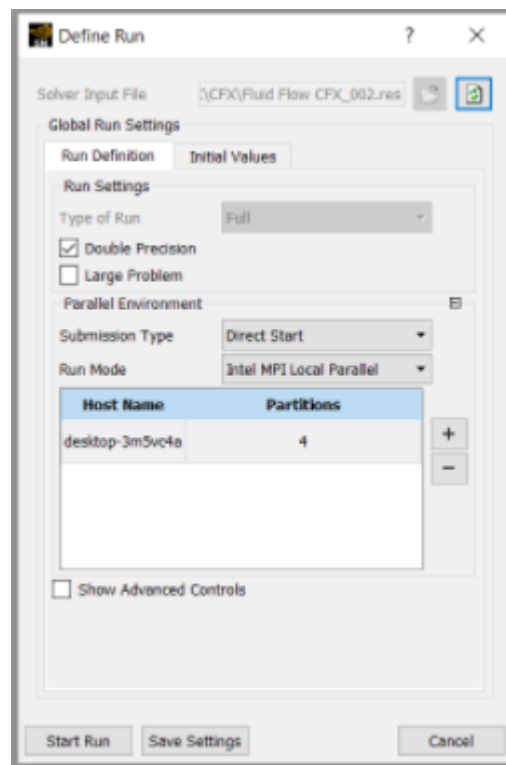
2.2.7.1.2. Procesamiento

Ya para este paso, se dará solución a las ecuaciones de Navier-Stokes de fluido incompresible, en función al principio de conservación de masa y movimiento. En este paso se analiza el sistema por medio del método de volúmenes finitos. (Lluguay, 2016).

Por medio de datos obtenidos en tiempo real y gráficos que se van actualizando segundo a segundo se puede ver el proceso de solución por cada iteración. Por defecto se tienen tres pantallas donde se va verificando si la solución al modelo converge, es decir, si las ecuaciones por cada celda pequeña obtienen solución que está acorde a todo el sistema. Estos valores de convergencia están medidos mediante valores residuales promedio RMS o máximos MAX que se muestran en la pantalla. (Noblecilla, 2019).

Figura 27.

Ventana para procesamiento de datos en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX



- Simulación y control de convergencia.

Al momento de definir las condiciones de contorno, también se indica el criterio de convergencia, que puede ser continuidad, conservación de masa en X, Y y Z, energía cinética y su conversación entre otros. (Noblecilla, 2019).

- Criterios para detener una simulación

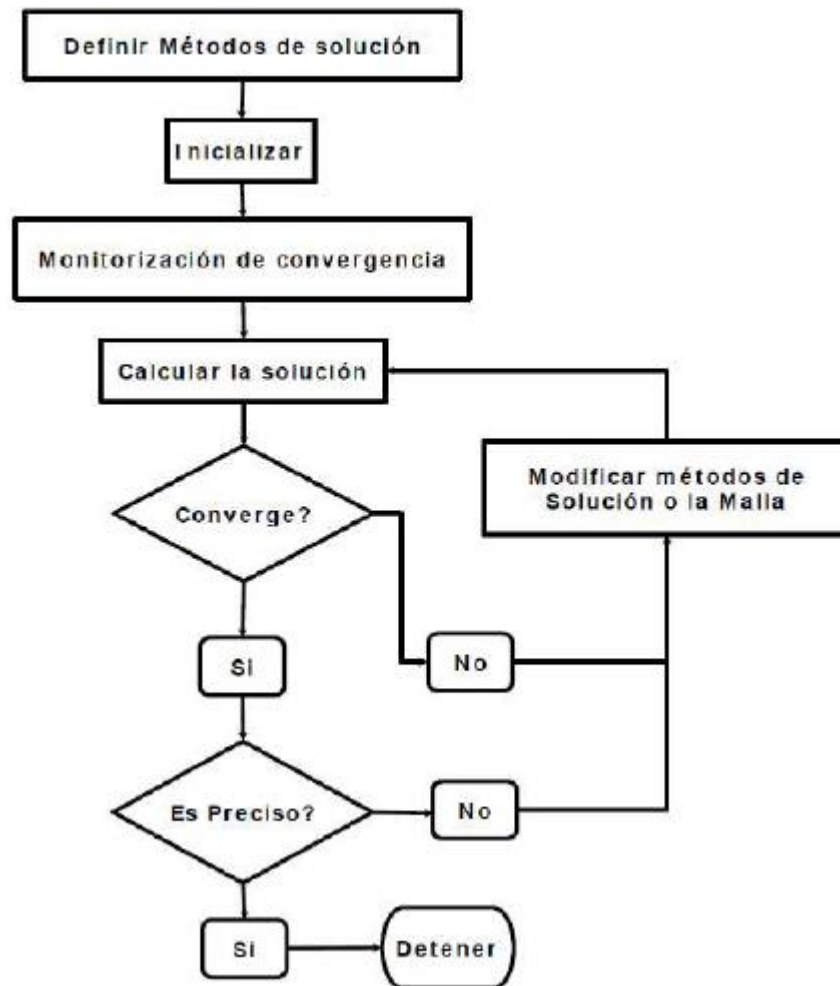
Para establecer el fin de la simulación, se deben haber programado previamente y de manera correcta las condiciones iniciales y de frontera. Cuando una simulación termina, quiere decir que ha alcanzado los términos impuestos por el simulador. Para el término de una simulación de manera correcta se deben revisar 3 parámetros: los puntos de monitoreo, los imbalances y los elementos residuales. El elemento residual se expresa mediante las siglas RMS, para una simulación de carácter estacionario, el RMS debe ser menor al 0.00001 y el residuo máximo debe ser menor a 0.001. En cuanto a los imbalances, estos no deben pasar el 1% del total. Por último, respecto a los puntos de monitoreo, se debe analizar una variable de interés en función a su evolución en el tiempo, ya que si esta alcanza un valor estable durante la simulación, se puede dar por finalizada la misma.(Noblecilla, 2019).

Para modelamientos de carácter transitorio, se programa una cantidad de iteraciones máxima previo al procesamiento, por lo que, será criterio del modelador el colocar la cantidad de iteraciones necesaria para que el modelo cumpla a su vez con los imbalances y elementos residuales. (Noblecilla, 2019).

De no alcanzar buenos valores de convergencia, se deberá revisar la malla o hasta la geometría de todo el modelo, puesto que debido a su importancia inicial, tiene una incidencia alta en la etapa final de modelación.(Noblecilla, 2019).

Figura 28.

Diagrama de flujo de métodos de solución



Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

2.2.7.1.3. Post procesamiento

En esta etapa se puede dar lugar a la interpretación de resultados obtenidos del modelo, que pueden ser presentados de manera grafica sobre el modelo, con líneas de corriente, herramientas de contorno, trayectorias e incluso videos de comportamiento de las partículas.(Lluguay, 2016).

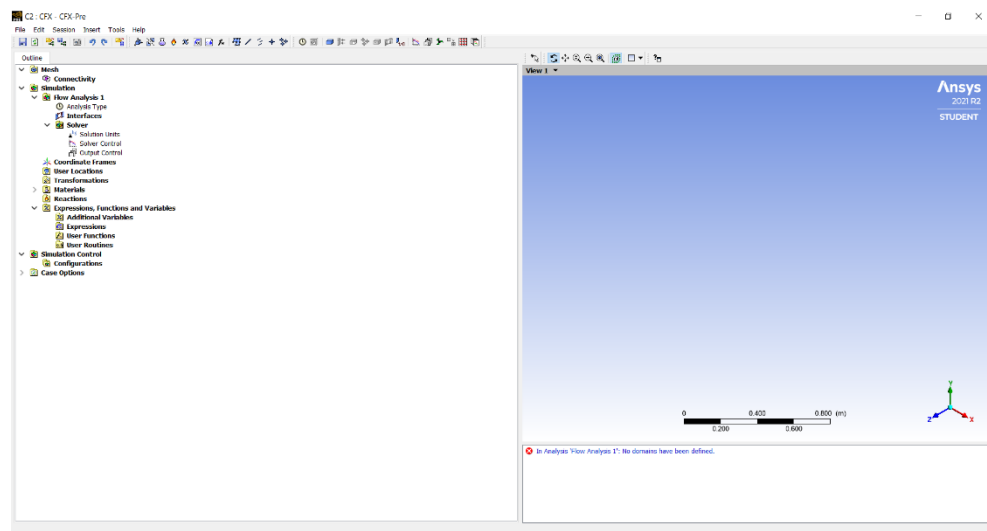
Además, en este módulo se pueden obtener datos de carácter numérico, como valores de velocidad, volumen, aceleración, entre otros. (Noblecilla, 2019).

- Análisis de resultados

Mientras está ocurriendo la simulación, el programa muestra gráficamente el número de iteraciones vs los valores residuales, conforme los valores residuales disminuyen, los valores obtenidos de las ecuaciones varían menos. Este proceso es conocido como convergencia. El caso contrario, es decir, cuando las soluciones a las ecuaciones varían con respecto a diferentes iteraciones, se dice que el modelo sufre una divergencia. Para que el modelo tenga una solución confiable y real, por cada iteración, tiene que ocurrir un proceso de convergencia, por lo que el modelador tiene que estar pendiente de la solución al momento de que esta viene siendo ejecutada, utilizando los gráficos de RMS e imbalances como guía. (Noblecilla, 2019).

Figura 29.

Pantalla de resultados en ANSYS-CFX

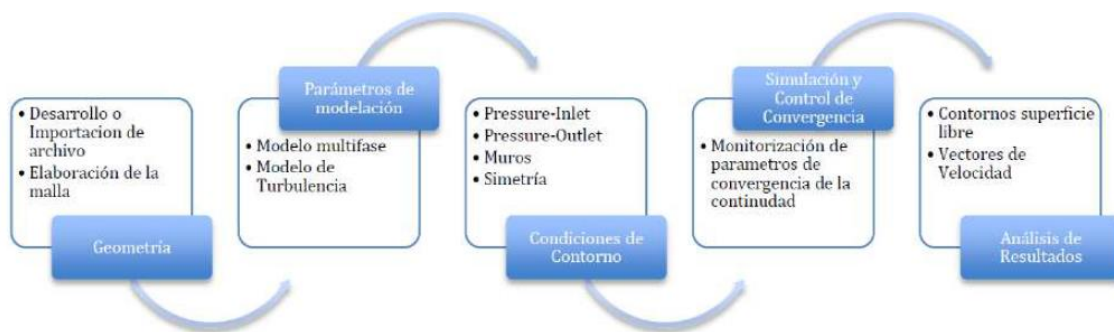


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Todos los pasos explicados previamente, se muestran en el siguiente esquema. (Noblecilla, 2019).

Figura 30.

Esquema resumen para modelo ANSYS CFX



Nota. Fuente: (Noblecilla, 2019)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Eficiencia hidráulica: La eficiencia hidráulica en términos de hidráulica se define como el mayor transporte de agua con el menor perímetro mojado posible.

Estiaje: Caudal mínimo que presenta un río, canal o similar durante una determinada época del año.

Estructura hidráulica: Es una obra construida con el objetivo de almacenar, conducir, regular, captar u otro similar de diferentes tipos de fluidos, pero en especial del agua, para uso del hombre y la sociedad.

Hidrología: Estudio del agua a nivel macro, por medio de cuencas hidrográficas, en donde se ven las propiedades de agua superficiales y subterráneas y su implicancia en obras de construcción civil.

Limpieza: Para este estudio, se refiere a la eliminación de material retenido en las diferentes estructuras hidráulicas que se tiene.

Máximas avenidas: Caudal máximo que presenta un río, canal o similar durante una determinada época del año.



Optimización: Adaptación de procesos que conducen al mejoramiento de sus parámetros, especialmente a nivel de reducción de costo y aumento de eficiencia, sin influir negativamente en otros procesos.

Sedimento: Conjunto de partículas sólidas que quedan atrapadas dentro de un flujo de agua, produciendo su acumulación.

Simulación numérica: Aplicación de un modelo teórico en base a un modelo físico para reproducir los fenómenos que intervienen en este a un mayor detalle.

Software: Programas de computador que cumplen con la ejecución de diferentes tareas a solicitud del usuario.

Retención: Se refiere al depósito de minerales y partículas finas de sedimentos recogidas por un flujo de agua que se posan en superficies determinadas.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

En la presente investigación se realizó la modelación del desarenador de San Gabán II, que es la estructura utilizada en el centro hidroeléctrico del mismo nombre para la región de Puno, se encuentra ubicado en:

Tabla 13.

Ubicación del Desarenador San Gabán II

DESCRIPCIÓN	DATO
Zona	19L
Coordenada Este	342914.00 m E.
Coordenada Norte	8482694.00 m S
Centro Poblado	Uruhuasi.
Distrito	Ollachea
Provincia	Carabaya
Región	Puno
País	Perú

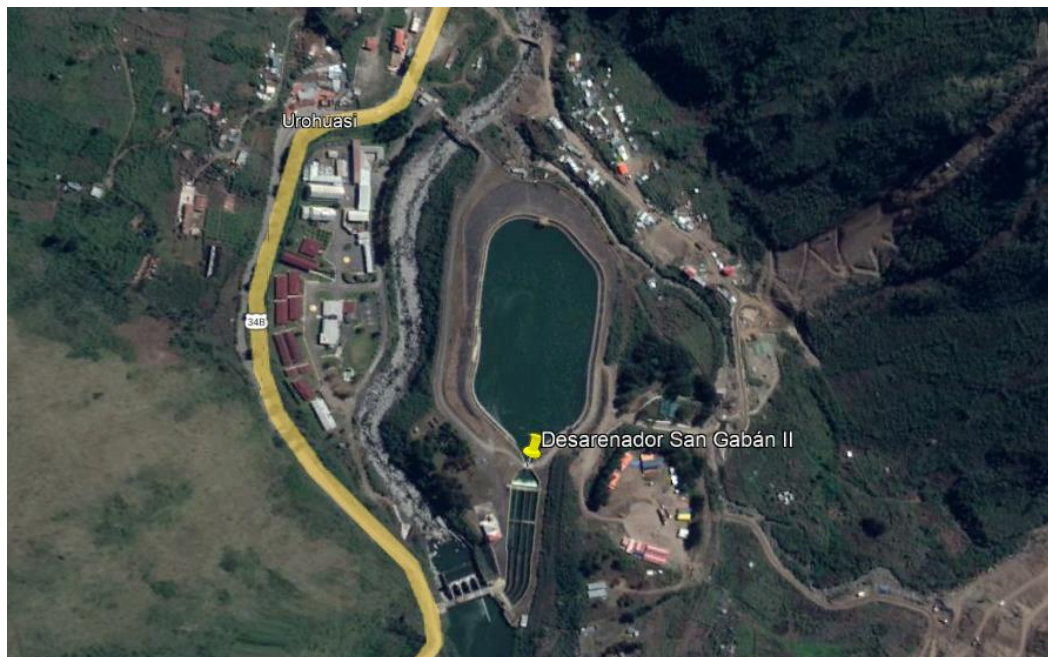
Nota. Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Área de influencia

El área en estudio del desarenador de San Gabán II comprende sus cuatro naves (secciones).

Figura 31.

Vista en planta del desarenador San Gabán II



Nota. Fuente: Google Earth

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La etapa de recolección de datos comenzó desde enero a marzo del 2022; solicitando información de datos exactos a la central hidroeléctrica de San Gabán II de años anteriores.

Se obtuvo el historial de datos de los años 2000 hasta el 2020 como se muestran en el ANEXO D, de donde para el presente proyecto se ha considerado los datos más críticos en la concentración de sólidos de forma mensual.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

Los materiales utilizados fueron:



Materiales de campo:

- Celular con cámara fotográfica
- Cuaderno

Materiales para trabajo de gabinete:

- Software ANSYS y Microsoft Office.
- 01 laptop
- 01 impresora
- Útiles de escritorio

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada según el objetivo que se persigue es aplicada, puesto que se enfoca en encontrar mecanismos o estrategias para solucionar un problema.

Según el tipo de datos analizados es una investigación cuantitativa, debido a que el análisis se realiza a través de diferentes procedimientos basado en la medición.

3.5. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es predictivo debido a que con los datos cuantitativos e interpretaciones cualitativas se busca predecir la cantidad óptima de limpieza del desarenador.

3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Según su diseño, esta investigación pertenece a un estudio no experimental, puesto que no se requiere modificar las variables de estudio.



3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.7.1. Población

La población comprende a los desarenadores en funcionamiento a nivel nacional.

3.7.2. Muestra

La muestra es de tipo no probabilística, donde se ha identificado el desarenador de la central hidroeléctrica San Gabán II de la región de Puno. Donde para la aplicación del modelado numérico se ha evaluado la infraestructura de la misma.

3.8. DISEÑO ESTADÍSTICO

Según las características y amplitud de la investigación, se utilizó un muestreo no probabilístico y por conveniencia. Donde por criterio se escogió el desarenador San Gabán II, siendo este el desarenador representativo en la región de Puno.

3.9. PROCEDIMIENTO

3.9.1. Muestreo y recolección de datos de la Empresa San Gabán

El método utilizado para la recolección de datos del mismo desarenador San Gabán II corresponde a la recopilación por solicitud a la empresa y registro en la ficha elaborada para tal propósito. Es importante mencionar que los datos recopilados y plasmados en la ficha corresponden a los más críticos de la concentración de sólidos del historial de datos desde el año 2000 al 2020 que se muestra en el ANEXO D, los datos fueron solicitados y entregados por la empresa San Gabán II.

La inspección se realizó en todo el desarenador San Gabán II que es la muestra seleccionada para el presente proyecto.

Para la obtención de resultados planteados en el objetivo, primero se hizo un filtro y revisión de la información concerniente al software ANSYS. Se aplicó la metodología CFX y se realizó el modelado correspondiente de la muestra seleccionada para el desarenador San Gabán II. La toma de datos se plasmó en la ficha de recolección como se muestra:

Tabla 14.

Formato de datos principales del desarenador de San Gabán II

TIEMPOS DE LIMPIEZA DE SEDIMENTOS RETENIDOS EN EL DESARENADOR DE SAN GABAN II							
Proyecto:							
Evaluado por:							
Estructura:							
Ubicación:							
Periodo evaluado:							
Fecha:							
DATOS DEL DESARENADOR SAN GABÁN II							
periodo	mes	temp. (°c)	caudal promedio (m ³ /s)	conc. (mg/l)	volumen de sólidos mensuales (m ³)	n° de veces de limpieza	año
Avenida	Enero						
	Febrero						
	Marzo						
	Abril						
	Mayo						
Estiaje	Junio						
	Julio						
	Agosto						
	Septiembre						
Avenida	Octubre						
	Noviembre						
	Diciembre						
OBSERVACIONES							

Nota. Fuente: Elaboración propia

Donde el formato de inspección se llenó de la siguiente manera:

•En la parte superior del formato se completan los datos de la unidad de muestra que incluyen el proyecto, el evaluador, la estructura evaluada, la ubicación, el periodo de evaluación y la fecha del llenado.

Tabla 15.

Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – datos generales

TIEMPOS DE LIMPIEZA DE SEDIMENTOS RETENIDOS EN EL DESARENADOR DE SAN GABAN II

Proyecto:	Monitoreo de la eficiencia del desarenador en la retención de sedimentos mediante un modelo numérico en San Gabán II
Evaluated por:	Carlos Roberto Aguilar Quispe
Estructura:	Desarenador de San Gaban II
Ubicación:	C.P. Uruhuasi – Ollachea – Carabaya - Puno
Periodo evaluado:	Datos históricos
Fecha:	04/04/2022

Nota. Fuente: Elaboración propia

●En la parte media se muestra una imagen panorámica de la estructura objeto de evaluación del formato presentado, en este caso el desarenador San Gabán II.

Figura 32.

Llenado del formato de datos del desarenador San Gabán II – “fotografía referencial”



Nota. Fuente: Elaboración propia

•En la parte inferior se rellenan los datos del periodo en el cual se considera épocas de avenidas y de estiaje, los meses en el que se realiza la limpieza de la estructura hidráulica, la temperatura, el caudal promedio en m³/s, la concentración de sólidos, el volumen de sólidos, el número de veces que se realiza la limpieza, y el año del dato histórico a considerar del desarenador San Gabán II.

Tabla 16.

Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – datos técnicos

Datos del desarenador San Gabán II							
Periodo	Mes	temp. (°c)	caudal promedio (m ³ /s)	conc. (mg/l)	volumen de sólidos mensuales (m ³)	nº de veces de limpieza	año
Avenida	Enero	10.0	14.50	56.0	820.70	01	2013
	Febrero	10.0	18.20	27.0	496.67	01	2020
	Marzo	11.0	18.80	28.0	532.04	01	2020
	Abril	11.0	8.21	42.0	348.52	01	2002
Estiaje	Mayo	11.0	9.20	31.0	288.26	01	2000
	Junio	9.0	9.21	29.0	269.95	00	2000
	Julio	9.0	8.80	34.0	302.41	01	2000
	Agosto	10.0	7.25	33.0	241.81	00	2001
	Septiembre	11.0	9.60	49.0	475.44	01	2001
	Octubre	12.0	10.02	46.0	465.86	01	2001
Avenida	Noviembre	12.0	11.20	40.8	461.86	01	2014
	Diciembre	11.0	14.10	52.0	741.06	01	2020

Nota. Fuente: Elaboración propia

•En la parte final se especifica algunas observaciones que se han podido encontrar de los datos obtenidos.



Tabla 17.

Llenado del formato de datos del desarenador de San Gabán II – observaciones

OBSERVACIONES
- El caudal promedio máximo se da en el mes de marzo y coincide con el periodo de máximas avenidas.
- El caudal promedió mínimo se da en el mes de agosto y coincide con el periodo de estiaje.
- Los valores críticos seleccionados fueron los máximos volumen de sólidos mensuales según los datos históricos de la empresa San Gabán.

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.10. VARIABLES

3.10.1. Variable dependiente

- Tiempo de limpieza del desarenador

3.10.2. Variable independiente

- Volumen de sedimentos retenidos
- Modelación numérica del desarenador en el software ANSYS.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente tesis se realizó el análisis mediante el programa ANSYS y las ecuaciones concernientes al proceso de desarenación, para alcanzar los objetivos planteados.

4.1. DATOS DEL DESARENADOR SAN GABÁN II

Para la obtención de los resultados se ha requerido de algunos datos del desarenador de San Gabán II, los cuales fueron seleccionados, ordenados y son presentados en los siguientes sub títulos:

4.1.1. Caudales

El caudal es la cantidad de fluido que transita a través de una sección por un tiempo definido. Se obtuvieron identificando los meses más críticos del anexo D (Datos históricos del desarenador San Gabán II) de las últimas dos décadas y se consideró estos mismos para el cálculo respectivo.

Este parámetro es necesario para determinar la cantidad de agua que fluye a través del desarenador San Gabán II, se consideró los datos de forma mensual y se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 18.*Caudales del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	CAUDAL (m ³ /s)
2013	Enero	14.50
2020	Febrero	18.20
2020	Marzo	18.80
2002	Abril	8.21
2000	Mayo	9.20
2000	Junio	9.21
2000	Julio	8.80
2001	Agosto	7.25
2001	Septiembre	9.60
2001	Octubre	10.02
2014	Noviembre	11.20
2020	Diciembre	14.10

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Concentración de sólidos

Los sólidos en suspensión se encuentran presentes en flujos de agua, que, en proyectos de centrales hidroeléctricas, dañan las turbinas de generación al momento de que el agua está en contacto con estas. Es por ello que la función principal del desarenador de San Gabán es retener dicho material. Estos datos se obtuvieron identificando los meses más críticos del anexo D (Datos históricos del desarenador San Gabán II) de las últimas dos décadas y se consideró estos mismos para el cálculo respectivo. Para la presente investigación se considerará los sólidos como arena húmeda con una densidad de 2650 kg/m³.

La cantidad de sólidos influye directamente con la limpieza de la estructura hidráulica, es por ello, que estos datos son importantes en la presente investigación y se presentan de forma mensual en la siguiente tabla:

Tabla 19.*Concentración de Sólidos en el Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	CAUDAL (m ³ /s)	CONCENTRACIÓN (kg/m ³)	SÓLIDOS (kg)	SÓLIDOS (m ³)
2013	Enero	14.50	0.056	2174860.80	820.70
2020	Febrero	18.20	0.027	1316165.76	496.67
2020	Marzo	18.80	0.028	1409909.76	532.04
2002	Abril	8.21	0.042	923565.89	348.52
2000	Mayo	9.20	0.031	763879.68	288.26
2000	Junio	9.21	0.029	715373.86	269.95
2000	Julio	8.80	0.034	801377.28	302.41
2001	Agosto	7.25	0.033	640807.20	241.81
2001	Septiembre	9.60	0.049	1259919.36	475.44
2001	Octubre	10.02	0.046	1234528.13	465.86
2014	Noviembre	11.20	0.041	1223921.66	461.86
2020	Diciembre	14.10	0.052	1963802.88	741.06

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Temperaturas

La temperatura es el grado o nivel térmico del ambiente. Los datos a utilizar se obtuvieron identificando los meses más críticos del anexo D (Datos históricos del desarenador San Gabán II) de las últimas dos décadas. Los datos obtenidos se presentan de manera mensual en la siguiente tabla:

Tabla 20.

Temperatura en el Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	TEMPERATURA (°C)
2013	Enero	10.0
2020	Febrero	10.0
2020	Marzo	11.0
2002	Abril	11.0
2000	Mayo	11.0
2000	Junio	9.0
2000	Julio	9.0
2001	Agosto	10.0
2001	Septiembre	11.0
2001	Octubre	12.0
2014	Noviembre	12.0
2020	Diciembre	11.0

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Diagnóstico del desarenador San Gabán II

El estado actual del desarenador San Gabán II está en buenas condiciones, para la evaluación hidráulica de esta estructura, se tomó en cuenta el estado de la tabiquería y el estado de los deflectores, tal como está considerado por la mayoría de autores en el capítulo II.

Figura 33.

Estado de la tabiquería de las naves de aproximación



Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura, los muros del canal de aproximación se encuentran en óptimas condiciones, presentando eso sí, eflorescencia y aparición de elementos orgánicos como moho a los bordes, pero que no interfieren en el proceso de sedimentación.

Figura 34.

Estado de la tabiquería de las naves del desarenador



Nota. Fuente: Elaboración propia

De igual forma, en las naves del desarenador no se aprecia ninguna falla importante en la tabiquería del sistema, estando en buen estado, y sin presencia de material orgánico. Es importante señalar que la empresa San Gaban II hace un mantenimiento rutinario a estas instalaciones cada vez que ocurre el proceso de limpieza de material acumulado.

Figura 35.

Estado de los deflectores de entrada y salida



Nota. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en cuanto a los deflectores de entrada y salida, se puede apreciar que están en óptimas condiciones de operación, no presentando averías en ninguna de las rejillas, y estando de forma continua a lo largo de las 4 naves del desarenador.

Sin embargo, debido a que su cambio se realizó hace 4 años atrás, no pueden trabajar a la misma eficiencia de un deflector nuevo, por lo que, para esta investigación se ha considerado que el valor n para estos deflectores, es de bueno, siendo el valor óptimo un deflector de un año de antigüedad como máximo y correctamente instalado.

4.1.5. Características del desarenador San Gabán II

A continuación, se presenta las características del desarenador San Gabán II, datos obtenidos de los planos de construcción de la estructura hidráulica.

Estas características sirven para determinar resultados útiles de la presente investigación. Dichas características se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Características del Desarenador San Gabán II

CARACTERÍSTICAS	
Naves	4.00 und
Largo	60.70 m
Altura	2.35 m
Volumen por nave	1585.20 m ³
Volumen total	6340.79 m ³
Volumen acumulación de sólidos	487.40 m ³
Volumen limpieza (80%)	389.92 m ³
Grado del desarenador (n)	3.00 (bueno)

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Tiempos de limpieza actuales

El funcionamiento del desarenador de San Gabán II consiste en una disminución de la velocidad del agua hasta alcanzar un estado laminar, dando pase así a que las partículas sólidas caigan al fondo del desarenador y sean eliminados de la estructura en lo posterior.

Estos periodos oscilan de acuerdo a la concentración de sólidos retenidos y al caudal, y varían según la época del año. Es por ello, que se presenta a continuación la cantidad de veces que se ha realizado la limpieza en el desarenador San Gabán II en los meses más críticos.



Tabla 22.

Limpieza Actual en el Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	N° DE VECES DE LIMPIEZA ACTUALES
2013	Enero	1
2020	Febrero	1
2020	Marzo	1
2002	Abril	1
2000	Mayo	1
2000	Junio	0
2000	Julio	1
2001	Agosto	0
2001	Septiembre	1
2001	Octubre	1
2014	Noviembre	1
2020	Diciembre	1

Nota. Fuente: Elaboración propia

Estos datos como se mencionan son los que fueron utilizados en la fecha crítica mensual. Es decir, en la hidroeléctrica San Gabán y específicamente en el desarenador no se tiene tiempos de limpieza definidos, y solo se realizan dependiendo de los caudales y la concentración de sólidos.

4.2. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II SIN MODELACIÓN NUMÉRICA

4.2.1. Tiempo de retención T_r (s)

El tiempo de retención T_r se calcula en función del caudal que se capta en el desarenador San Gabán II y el volumen total del desarenador. Se calcula dividiendo el volumen de almacenamiento sobre el caudal captado, los resultados por mes crítico se detallan a continuación.

Tabla 23.

Tiempo de Retención del Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	VOLUMEN (m ³)	CAUDAL (m ³ /s)	TIEMPO DE RETENCIÓN T_r (s)
2013	Enero	6340.79	14.50	437.30
2020	Febrero	6340.79	18.20	348.40
2020	Marzo	6340.79	18.80	337.28
2002	Abril	6340.79	8.21	772.33
2000	Mayo	6340.79	9.20	689.22
2000	Junio	6340.79	9.21	688.47
2000	Julio	6340.79	8.80	720.54
2001	Agosto	6340.79	7.25	874.59
2001	Septiembre	6340.79	9.60	660.50
2001	Octubre	6340.79	10.02	632.81
2014	Noviembre	6340.79	11.20	566.14
2020	Diciembre	6340.79	14.10	449.70

Nota. Fuente: Elaboración propia



4.2.2. Viscosidad cinemática del agua μ (cm²/s)

La viscosidad cinemática es una medida de la resistencia interna de un fluido a fluir a causa de las fuerzas gravitacionales a las que está sometido.

Para hallar la viscosidad cinemática (cm²/s) se utilizó la variable temperatura (°C) y la tabla 9 (Viscosidad cinemática del agua) obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24.

Viscosidad Cinemática del Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	TEMPERATURA (°C)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA μ (cm ² /s)
2013	Enero	10.0	0.01308
2020	Febrero	10.0	0.01308
2020	Marzo	11.0	0.01273
2002	Abril	11.0	0.01273
2000	Mayo	11.0	0.01273
2000	Junio	9.0	0.01347
2000	Julio	9.0	0.01347
2001	Agosto	10.0	0.01308
2001	Septiembre	11.0	0.01273
2001	Octubre	12.0	0.01237
2014	Noviembre	12.0	0.01237
2020	Diciembre	11.0	0.01273

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Velocidad de sedimentación V_s (cm/s)

Para la obtención de la velocidad de sedimentación se utilizó la teoría desarrollada por Hazen y Stokes en la ecuación 15 en el capítulo II.

Donde se considera un diámetro de sólido de 0.01 cm debido a que la mayoría de autores este valor es considerado como mínimo. Obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la tabla.

Tabla 25.

Velocidad de Sedimentación del Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	VISCOSIDAD CINEMÁTICA μ (cm ² /s)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN V_s (cm/s)
2013	Enero	0.01308	0.6875
2020	Febrero	0.01308	0.6875
2020	Marzo	0.01273	0.7064
2002	Abril	0.01273	0.7064
2000	Mayo	0.01273	0.7064
2000	Junio	0.01347	0.6676
2000	Julio	0.01347	0.6676
2001	Agosto	0.01308	0.6875
2001	Septiembre	0.01273	0.7064
2001	Octubre	0.01237	0.7270
2014	Noviembre	0.01237	0.7270
2020	Diciembre	0.01273	0.7064

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Tiempo de sedimentación T_s (s)

El tiempo de sedimentación T_s es el tiempo que requiere una partícula sólida con velocidad de sedimentación V_s , para quedar atrapada desde una altura H del desarenador.

$$T_s = \frac{H}{V_s} \quad (26)$$

Los tiempos de sedimentación T_s del desarenador de San Gabán II se hallaron de forma mensual y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 26.*Tiempo de Sedimentación del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	ALTURA (cm)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN Vs (cm/s)	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN Ts (s)
2013	Enero	235	0.6875	341.82
2020	Febrero	235	0.6875	341.82
2020	Marzo	235	0.7064	332.67
2002	Abril	235	0.7064	332.67
2000	Mayo	235	0.7064	332.67
2000	Junio	235	0.6676	352.01
2000	Julio	235	0.6676	352.01
2001	Agosto	235	0.6875	341.82
2001	Septiembre	235	0.7064	332.67
2001	Octubre	235	0.7270	323.26
2014	Noviembre	235	0.7270	323.26
2020	Diciembre	235	0.7064	332.67

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Eficiencia del desarenador y/yo (%)

La eficiencia del desarenador y/yo (%) se determinó con la ayuda del método del ábaco de Hazen de la figura 12. Para ello se dividió las variables calculadas anteriormente tiempo de retención T_r y el tiempo de sedimentación T_s . Y se comparó en el ábaco con el grado del desarenador.

El porcentaje eficiente de retención del desarenador, son los resultados obtenidos en el anexo A, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 27.*Eficiencia del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	n	Tr/Ts	y/yo (%)
2013	Enero	3.00	1.28	66
2020	Febrero	3.00	1.02	58
2020	Marzo	3.00	1.01	57
2002	Abril	3.00	2.32	82
2000	Mayo	3.00	2.07	81
2000	Junio	3.00	1.96	78
2000	Julio	3.00	2.05	81
2001	Agosto	3.00	2.56	84
2001	Septiembre	3.00	1.99	80
2001	Octubre	3.00	1.96	79
2014	Noviembre	3.00	1.75	75
2020	Diciembre	3.00	1.35	68

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II SIN MODELACIÓN NUMÉRICA

4.3.1. Retención de sólidos (m3)

La retención de sólidos en el desarenador de San Gabán fue obtenida con las variables de concentración de sólidos mensuales (m3) en la tabla 19 y la eficiencia del desarenador (%) en la tabla 27. Se realizó una multiplicación de ambos datos para la retención de sólidos (m3).

Los resultados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 28.*Retención de Sólidos del desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	SÓLIDOS (m3)	EFICIENCIA DEL DESARENADOR (%)	RETENCIÓN DE SÓLIDOS (m3)
2013	Enero	820.70	66	541.66
2020	Febrero	496.67	58	288.07
2020	Marzo	532.04	57	303.26
2002	Abril	348.52	82	285.78
2000	Mayo	288.26	81	233.49
2000	Junio	269.95	78	210.56
2000	Julio	302.41	81	244.95
2001	Agosto	241.81	84	203.12
2001	Septiembre	475.44	80	380.35
2001	Octubre	465.86	79	368.03
2014	Noviembre	461.86	75	346.39
2020	Diciembre	741.06	68	503.92

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Tiempos de limpieza propuestos sin modelamiento

El tiempo de limpieza propuesto, será propuesto de acuerdo a la retención de sólidos (m3) del desarenador calculado anteriormente y considerando un volumen de limpieza (80%) del volumen de almacenamiento de sólidos (487.40 m3) es decir 389.92 m3.

Este tiempo indicará las veces que deben realizarse la limpieza en el desarenador San Gabán II en tiempos se recomienda que deben oscilar simétricamente entre sí y son propuestos de forma mensual como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29.*Limpieza Propuesta sin Modelamiento en el Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	RETENCIÓN DE SÓLIDOS (m3)	Nº DE VECES DE LIMPIEZA
2013	Enero	393.94	1
2020	Febrero	223.50	1
2020	Marzo	239.42	1
2002	Abril	236.99	1
2000	Mayo	184.48	1
2000	Junio	170.07	1
2000	Julio	193.54	1
2001	Agosto	174.11	1
2001	Septiembre	304.28	1
2001	Octubre	293.49	1
2014	Noviembre	258.64	1
2020	Diciembre	363.12	1

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II CON MODELACIÓN NUMÉRICA EN ANSYS

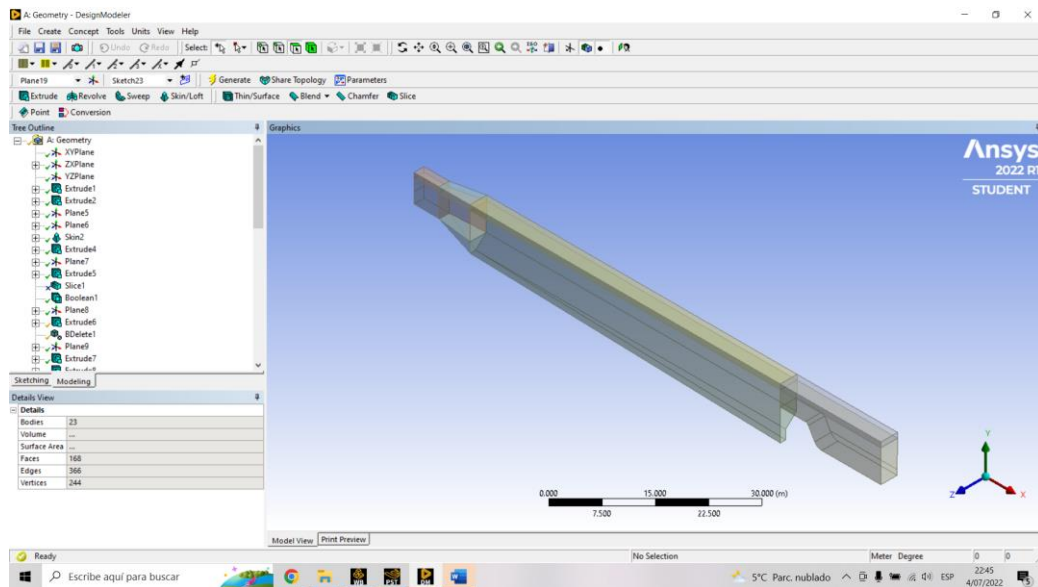
4.4.1. Pre procesamiento del desarenador San Gabán II

En el software ANSYS se desarrolló la simulación del desarenador San Gabán II y en la etapa del pre procesamiento se definió las características generales del mismo.

Se inició con la geometría del desarenador como se observa en la siguiente figura.

Figura 36.

Geometría del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX

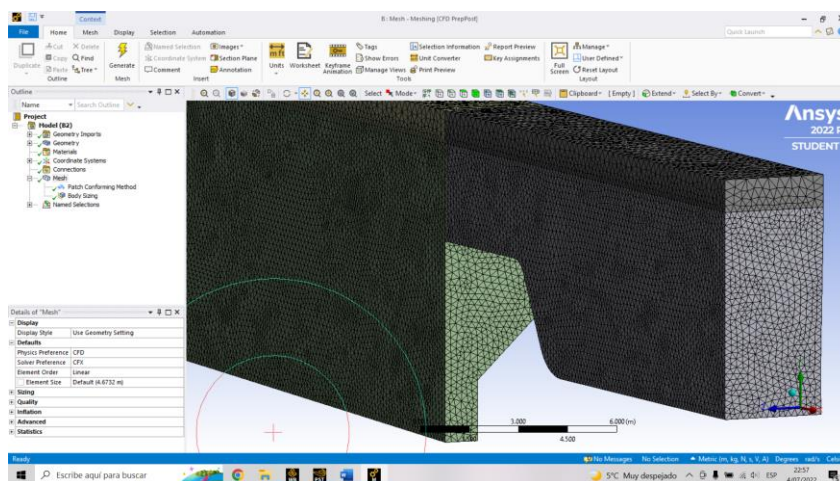


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Se continuo con el mallado del desarenador, como se aprecia a continuación en la siguiente figura.

Figura 37.

Mallado del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



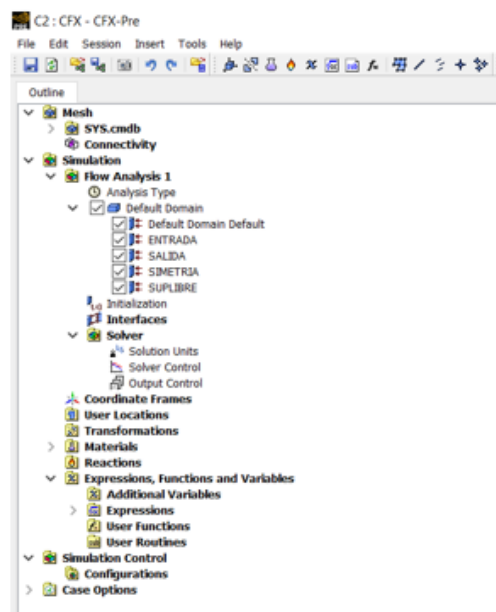
Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Se culminó el pre procesamiento configurando los parámetros de modelación y las condiciones de contorno.

Se realizó la configuración de las partes del desarenador, se continuo con las características atmosféricas y se especificó el fluido que atraviesa la estructura hidráulica como se aprecia a continuación:

Figura 38.

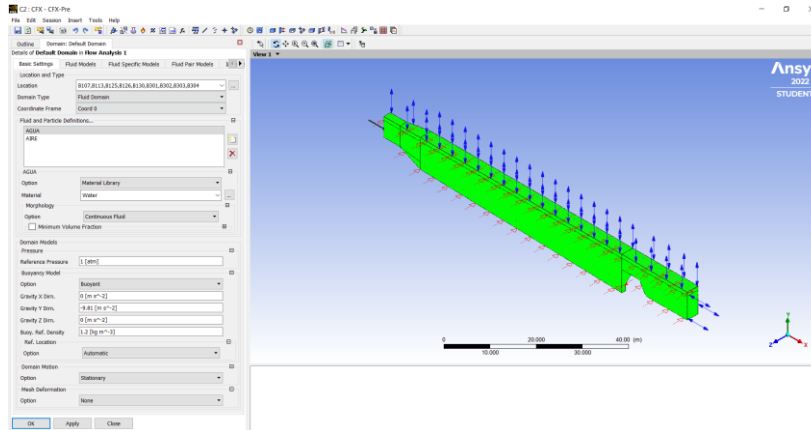
Configuración inicial del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 39.

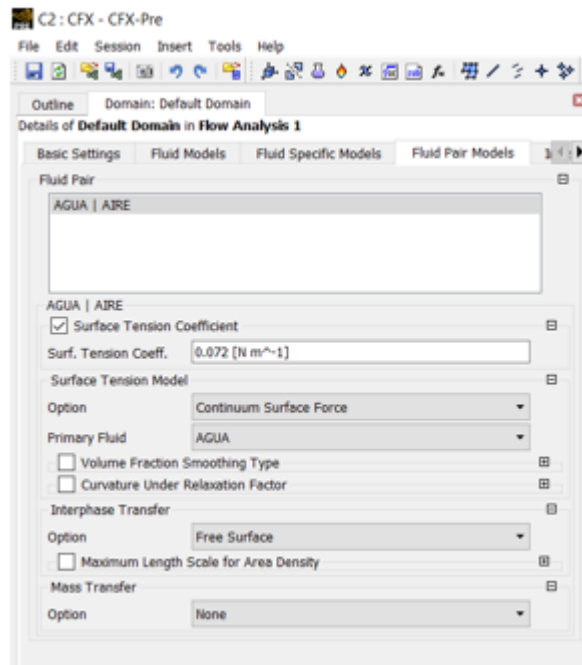
Configuración de características atmosféricas en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 40.

Configuración del fluido en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX

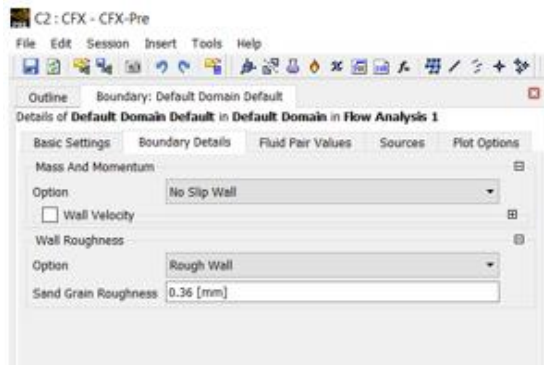


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Culminada la configuración de las condiciones atmosféricas y del fluido se prosiguió con el material de la estructura hidráulica, en donde se especificó que es de concreto armado como se muestra en la siguiente figura.

Figura 41.

Configuración del material del desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX

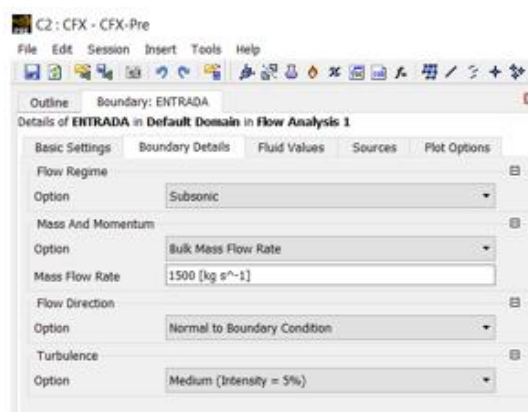


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

También se realizó la configuración del caudal y el tiempo de simulación antes de continuar con el procesamiento en el software.

Figura 42.

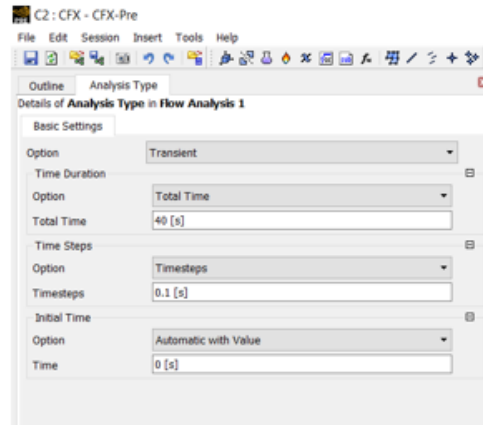
Configuración del caudal en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Figura 43.

Configuración del tiempo de simulación en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Con esto se concluyó el pre procesamiento del desarenador San Gabán II en el software ANSYS-CFX. En donde se configuró todos los parámetros iniciales antes del procesamiento.

4.4.2. Procesamiento del desarenador San Gabán II

En el procesamiento del desarenador San Gabán II en el software ANSYS-CFX el programa con la ayuda de los parámetros indicados en el pre procesamiento resolvió las ecuaciones que describen el fenómeno natural mediante iteraciones.

Se culminó este proceso revisando los parámetros residuales, imbalances y puntos de monitoreo.

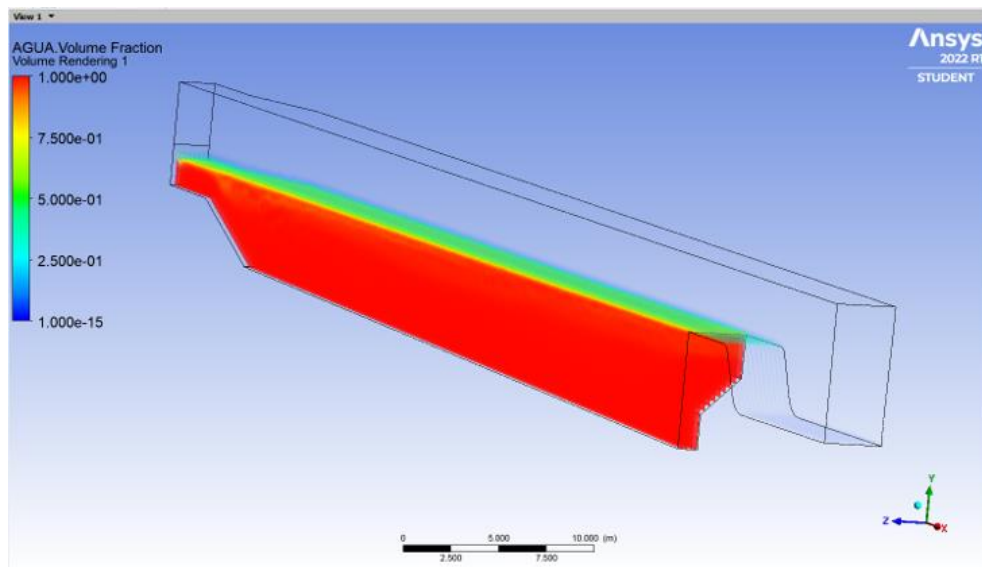
4.4.3. Post procesamiento del desarenador San Gabán II

El análisis e interpretación de los resultados de la modelación del desarenador San Gabán II son presentados de forma gráfica e interactiva sobre el modelo.

El volumen de agua en circulación dentro del desarenador se muestra en la siguiente figura.

Figura 44.

Volumen de agua en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX

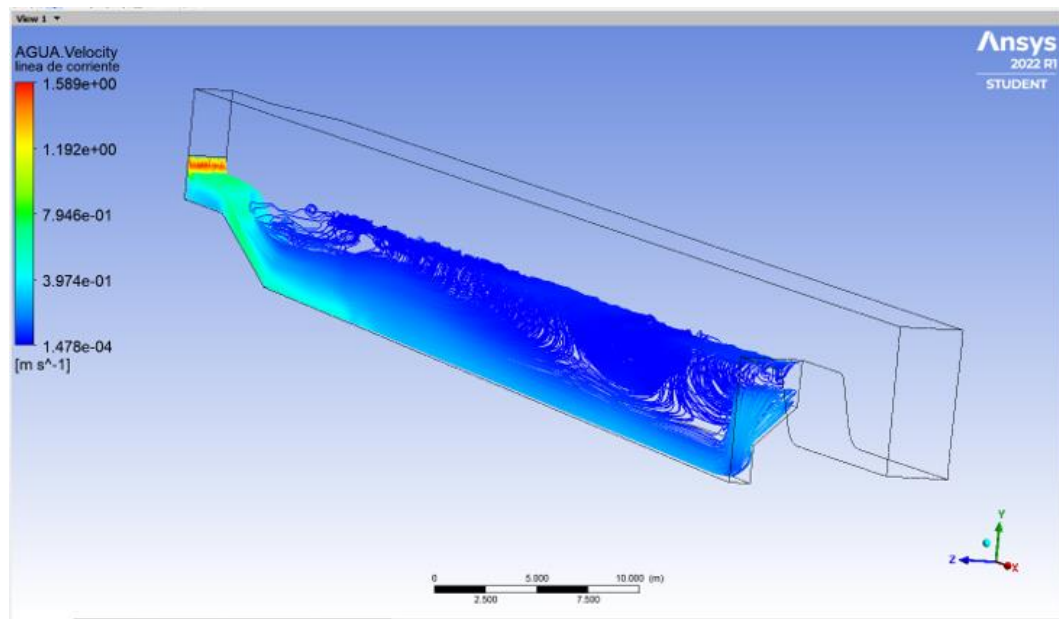


Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

Para finalizar se visualizó las velocidades en los diferentes puntos del desarenador San Gabán II. Donde se utilizó la velocidad promedio para realizar el cálculo de los tiempos de limpieza de la estructura hidráulica. Las velocidades promedio se pueden observar en la tabla 26.

Figura 45.

Velocidades en el desarenador San Gabán II en ANSYS-CFX



Nota. Fuente: Software ANSYS CFX

4.4.4. Velocidad de sedimentación con modelamiento

Para la obtención de la velocidad de sedimentación con el modelamiento se utilizó las velocidades promedio otorgadas por el programa ANSYS en el modelado realizado del desarenador San Gabán II. Se realizó el modelado para los diferentes caudales mensuales y las velocidades obtenidas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 30.*Velocidad de Sedimentación con Modelamiento del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	CAUDAL (m ³ /s)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CON MODELAMIENTO V_s (cm/s)
2013	Enero	14.50	0.9498
2020	Febrero	18.20	0.9614
2020	Marzo	18.80	0.9764
2002	Abril	8.21	0.7089
2000	Mayo	9.20	0.7808
2000	Junio	9.21	0.7834
2000	Julio	8.80	0.7616
2001	Agosto	7.25	0.6686
2001	Septiembre	9.60	0.8442
2001	Octubre	10.02	0.8511
2014	Noviembre	11.20	0.8704
2020	Diciembre	14.10	0.9347

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Tiempo de sedimentación con modelamiento

El tiempo de sedimentación con modelamiento se determinó con la velocidad de sedimentación calculada anteriormente y con la altura H del tanque. Utilizando la ecuación 26.

Los tiempos de sedimentación con modelamiento se hallaron de forma mensual y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 31.*Tiempo de Sedimentación con Modelamiento del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	ALTURA (cm)	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CON MODELAMIENTO Vs (cm/s)	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN Ts (s)
2013	Enero	235	0.9498	247.42
2020	Febrero	235	0.9614	244.44
2020	Marzo	235	0.9764	240.68
2002	Abril	235	0.7089	331.50
2000	Mayo	235	0.7808	300.97
2000	Junio	235	0.7834	299.97
2000	Julio	235	0.7616	308.56
2001	Agosto	235	0.6686	351.48
2001	Septiembre	235	0.8442	278.37
2001	Octubre	235	0.8511	276.11
2014	Noviembre	235	0.8704	269.99
2020	Diciembre	235	0.9347	251.42

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Eficiencia del desarenador con modelamiento

La eficiencia del desarenador con modelamiento se determinó también con la ayuda del método del ábaco de Hazen de la figura 12. Para ello se dividió las variables tiempo de retención y el tiempo de sedimentación con modelamiento. Y se comparó en el ábaco con el grado del desarenador.

El porcentaje eficiente de retención del desarenador, son los resultados obtenidos en el anexo B, y se presentan en la siguiente tabla.



Tabla 32.

Eficiencia con Modelamiento del Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	n	Tr/Ts	y/yo (%)
2013	Enero	3.00	1.77	76
2020	Febrero	3.00	1.43	70
2020	Marzo	3.00	1.40	69
2002	Abril	3.00	2.33	82
2000	Mayo	3.00	2.29	82
2000	Junio	3.00	2.30	82
2000	Julio	3.00	2.34	82
2001	Agosto	3.00	2.49	84
2001	Septiembre	3.00	2.37	83
2001	Octubre	3.00	2.29	82
2014	Noviembre	3.00	2.10	81
2020	Diciembre	3.00	1.79	78

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.5. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABÁN II CON MODELACIÓN NUMÉRICA EN ANSYS

4.5.1. Retención de sólidos con modelamiento

La retención de sólidos con modelamiento en el desarenador de San Gabán fue obtenida con las variables de concentración de sólidos mensuales en la tabla 15 y la eficiencia del desarenador con modelamiento determinados anteriormente.

Los resultados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 33.*Retención de Sólidos con Modelamiento del Desarenador San Gabán II*

AÑO	MES	SÓLIDOS (m ³)	EFICIENCIA DEL DESARENADOR CON MODELAMIENTO (%)	RETENCIÓN DE SÓLIDOS CON MODELAMIENTO (m ³)
2013	Enero	820.70	76	623.73
2020	Febrero	496.67	70	347.67
2020	Marzo	532.04	69	367.11
2002	Abril	348.52	82	285.78
2000	Mayo	288.26	82	236.37
2000	Junio	269.95	82	221.36
2000	Julio	302.41	82	247.97
2001	Agosto	241.81	84	203.12
2001	Septiembre	475.44	83	394.62
2001	Octubre	465.86	82	382.00
2014	Noviembre	461.86	81	374.10
2020	Diciembre	741.06	78	578.02

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Tiempos de limpieza propuestos con modelamiento

El tiempo de limpieza propuesto con modelamiento, será de acuerdo a la retención de sólidos del desarenador calculado anteriormente y considerando un volumen de limpieza (80%) del volumen de almacenamiento de sólidos (487.40 m³) es decir 389.92 m³.

Este tiempo indicará las veces que deben realizarse la limpieza en el desarenador San Gabán II de forma mensual como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 34.

Limpieza Propuesta con Modelamiento en el Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	RETENCIÓN DE SÓLIDOS CON MODELAMIENTO(m3)	Nº DE VECES DE LIMPIEZA CON MODELAMIENTO
2013	Enero	623.73	2
2020	Febrero	347.67	1
2020	Marzo	367.11	1
2002	Abril	285.78	1
2000	Mayo	236.37	1
2000	Junio	221.36	1
2000	Julio	247.97	1
2001	Agosto	203.12	1
2001	Septiembre	394.62	1
2001	Octubre	382.00	1
2014	Noviembre	374.10	1
2020	Diciembre	578.02	2

Nota. Fuente: Elaboración propia



4.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EFICIENCIA Y TIEMPOS DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR SAN GABAN II

Como objetivos específicos se planteó la obtención de la eficiencia para épocas de estiaje y de avenida, así como los tiempos de limpieza óptimos del desarenador para estas épocas con el programa ANSYS, teniendo como punto de partida estos objetivos, se estudió la *teoría de la sedimentación, propuesta por Stokes*, (Fiesco y Arias, 2016), que señala que la velocidad de sedimentación está relacionada con el peso específico de la partícula y su diámetro. Posterior a ello, también se estudió el porcentaje de eficiencia de los desarenadores, concretamente el *ábaco de Hazen*, (Sánchez y Jerez, 2018), que relaciona la eficiencia del desarenador con los tiempos de sedimentación y/yo. Y sumado a ello, se estudió el software ANSYS y su aplicación en modelos hidráulicos (Ramírez, 2020). para calcular la velocidad de sedimentación, y posterior a ello, calcular el porcentaje de eficiencia del desarenador San Gabán.

En los resultados obtenidos en la presente investigación se observó que la cantidad de sedimentos retenidos calculados mediante ecuaciones teóricas era menor a la calculada con ayuda del software ANSYS, y, además, los tiempos de limpieza actuales y teóricos eran menores a los calculados con ayuda del software ANSYS, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 35.

Comparación de la eficiencia y los Tiempos de Limpieza Actuales y Propuestos con Modelamiento en el Desarenador San Gabán II

AÑO	MES	% EFICIENCIA SIN MODELAMIENTO	% EFICIENCIA CON MODELAMIENTO	Nº DE VECES DE LIMPIEZA ACTUALES	Nº DE VECES DE LIMPIEZA CON MODELAMIENTO
2013	Enero	66	76	1	2
2020	Febrero	58	70	1	1
2020	Marzo	57	69	1	1
2002	Abril	82	82	1	1
2000	Mayo	81	82	1	1
2000	Junio	78	82	0	1
2000	Julio	81	82	1	1
2001	Agosto	84	84	0	1
2001	Septiembre	80	83	1	1
2001	Octubre	79	82	1	1
2014	Noviembre	75	81	1	1
2020	Diciembre	68	78	1	2

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la presente investigación son consecuentes con lo obtenido por Ramos, (2019). En cuya investigación analiza el desarenador con el software ANSYS, y logra reproducir la realidad con el modelo teórico, proyectando incluso soluciones de tabiquería para mejorar la eficiencia. Y más importante aún, estos resultados coinciden con lo investigado por Gonzales, (2020). En lo que al hacer la verificación del comportamiento hidráulico del desarenador Quiroz, al evaluar las velocidades del desarenador por métodos tradicionales o teóricos y contrastar con las velocidades obtenidas en el modelamiento con ANSYS, encontró que las velocidades del modelamiento eran ligeramente superiores a las teóricas.

Finalmente, los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, dan fe que las simulaciones con ANSYS CFX reflejan la realidad de los procesos físicos en cuanto a estructuras hidráulicas, siendo los valores encontrados por este software



exactos, ya que consideran, además de las ecuaciones que gobiernan los fluidos, un análisis a detalle producto del enmallado que se realiza al momento de hacer la investigación, y esto es en lo que justamente se basa el método de elementos finitos que usa el software. Teniendo en consideración lo expuesto anteriormente, es sensato señalar que producto de las simulaciones de ANSYS CFX y los datos obtenidos de estas, los tiempos de limpieza del desarenador deberían ser mayores, para garantizar el óptimo funcionamiento de esta estructura hidráulica.



4.7. COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE LIMPIEZA ACTUALES Y PROPUESTOS EN EL DESARENADOR SAN GABÁN II

4.7.1. Comparación de tiempos de limpieza en el desarenador San Gabán II

Con los resultados de los datos actuales en el desarenador San Gabán II y los datos obtenidos con las velocidades de la simulación en el software ANSYS-CFX, obtenemos los resúmenes que se muestran en la tabla 35.

Luego de los valores de la tabla 36, se obtiene la sumatoria de las veces de limpieza anuales en la situación actual y con el modelamiento en el desarenador de San Gabán II.

Tabla 36.

Sumatoria de veces de limpieza actuales y propuestos con modelamiento en el desarenador San Gabán II

	Nº DE VECES DE LIMPIEZA ACTUALES ANUALES	Nº DE VECES DE LIMPIEZA CON MODELAMIENTO ANUALES
TOTAL	10	14

Nota. Fuente: Elaboración propia

Al observar la comparación de resultados del número de veces de limpieza del desarenador de San Gabán II los valores de limpieza anuales difieren en cuatro ocasiones, siendo enero y diciembre los meses con mayores veces de limpieza.

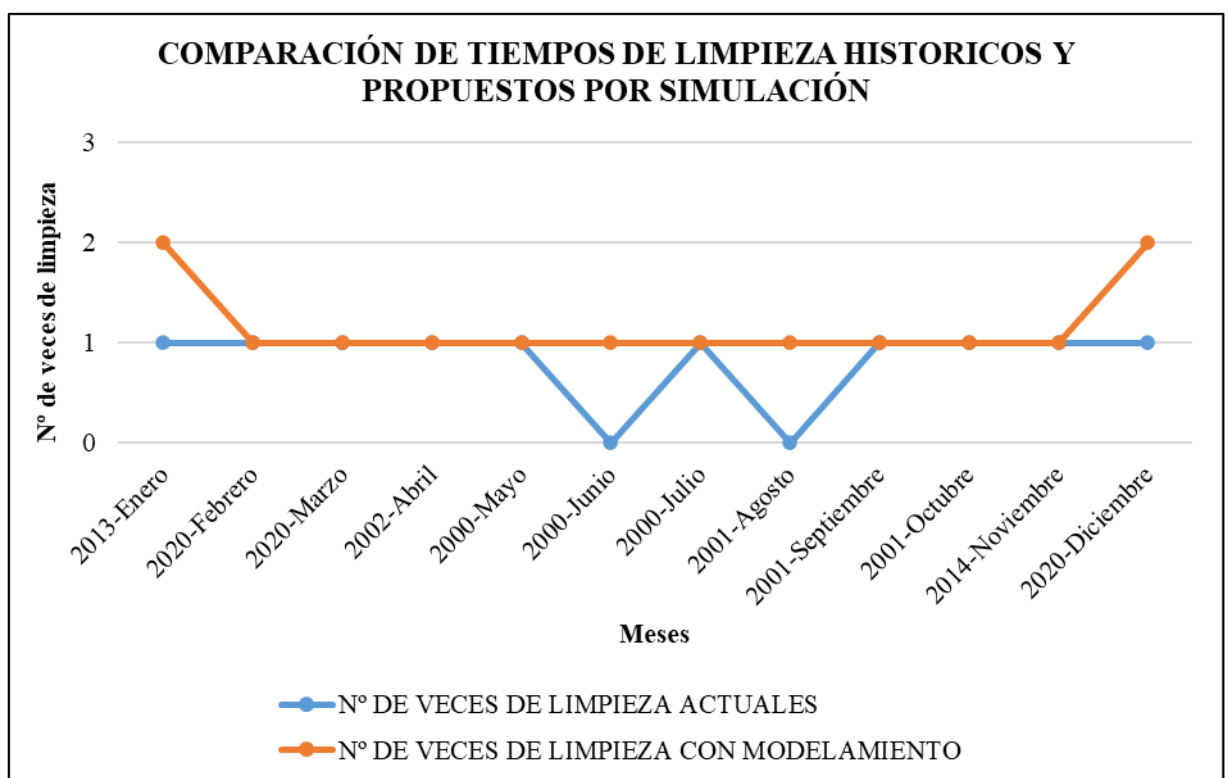
Aunque los resultados en algunos meses son similares, se observa que con la simulación en el software ANSYS-CFX demanda mayor número de veces de limpieza en la estructura hidráulica, esto muestra que existe diferencias entre lo actual y lo propuesto en la simulación.

4.7.2. Prueba T-Student para los tiempos de limpieza actuales y propuestos por la simulación en el desarenador San Gabán II

Utilizando la tabla 31 se pudo representar un perfil de comparación entre los dos tiempos de limpieza en la estructura hidráulica, donde se observa la diferencia en sus resultados que se muestra en la siguiente figura.

Figura 46.

Perfil comparativo de tiempos de limpieza históricos y propuestos por simulación



Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 47, existen diferencias entre la cantidad de veces de limpieza actuales y con modelamiento; sin embargo, este grafico es insuficiente para un análisis a detalle, por lo que se requiere que estos datos sean estadísticamente probables y significativos. En este sentido, se planteó utilizar la prueba estadística T-Student que representa la comparación entre dos promedios muestrales y nos sirve para contrastar entre la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_a). Para este análisis:



$H_0: M (\text{ACTUAL}) = M (\text{PROPUESTA})$, no existe diferencia entre medias.

$P \leq 0.05$ (5%)

$H_a: M (\text{ACTUAL}) \neq M (\text{PROPUESTA})$, existe diferencia entre medias.

Luego, procedemos a calcular la Media y varianza de los valores de la Tabla 31, donde:

LIMPIEZA ACTUAL:

Media simple:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (27)$$

$x = 0.83$

Varianza:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1} \quad (28)$$

$$s^2 = 0.15$$

Desviación estándar:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (29)$$

$$s = 0.39$$

LIMPIEZA PROPUESTA POR SIMULACIÓN:

Media simple:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (30)$$

$$x = 1.17$$

Varianza:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (31)$$

$$s^2 = 0.15$$

Desviación estándar:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (32)$$

$$s = 0.39$$

Considerando un nivel de confianza del 95% o que es lo mismo, un nivel de riesgo del 5% $\alpha=0.05$, con ayuda del programa Microsoft Excel para el T-Student se obtiene el siguiente resultado.

Tabla 37.

Prueba T-Student para los Tiempos de Limpieza Actuales y Propuestos por Simulación en el Desarenador San Gabán II

DESCRIPCIÓN	Nº DE VECES DE LIMPIEZA ACTUALES	Nº DE VECES DE LIMPIEZA CON MODELAMIENTO
Media	0.83333333	1.16666667
Varianza	0.15151515	0.15151515
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.2	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-2.34520788	
P(T<=t) una cola	0.01940705	
Valor crítico de t (una cola)	1.79588482	
P(T<=t) dos colas	0.03881409	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como el valor de P (T<=t) para una y dos colas es menor que 0.05 (5%), entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir que existe diferencia entre las muestras y ésta es estadísticamente significativa.



V. CONCLUSIONES

•Mediante la simulación numérica del desarenador San Gabán II en el software ANSYS-CFX se pudo monitorear la eficiencia, alcanzando un promedio de 76.0% en época de avenida, y 82.5% en época de estiaje, como se puede apreciar en la tabla 32. En consecuencia, se obtiene como resultado que se debe realizar la limpieza 14 veces al año y no 10 como sucede actualmente, como se puede ver en la tabla 35. El intervalo entre cada fecha de limpieza varía según la época del año.

Con los resultados de la presente investigación se puede concluir que el desarenador San Gabán II debe aumentar la cantidad de veces de limpieza a 14 anuales para garantizar un uso adecuado del mismo. Garantizando de esta manera el mantenimiento y el uso correcto de la estructura hidráulica.

•Por medio de la simulación numérica del desarenador San Gabán en el software ANSYS-CFX se determinó que, en épocas de máximas avenidas, las cuales corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre; la eficiencia promedio es de 76.0% y, la cantidad de veces de limpieza de la estructura hidráulica debe ser de 8 veces, 2 veces por mes en enero y febrero y 1 vez en marzo, abril, noviembre y diciembre.

•Por medio de la simulación numérica del desarenador San Gabán en el software ANSYS-CFX se determinó que, en épocas de estiaje, las cuales corresponden a los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre; la eficiencia promedio es de 82.5% y la cantidad de veces de limpieza de la estructura hidráulica debe ser de 6 veces, 1 por cada mes.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la limpieza en el desarenador San Gabán II considerando los tiempos obtenidos mediante la simulación numérica en ANSYS-CFX. Ya que estos son más exactos que los que se manejan actualmente y de esta manera poder llevar un monitoreo y mantenimiento adecuado de la estructura hidráulica.
- Al realizar la limpieza del desarenador San Gabán II en épocas de máximas avenidas correspondientes a los meses enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, se debe considerar que a mayor caudal y concentración mayor cantidad de sólidos retenidos. Es por ello que la limpieza debe realizarse considerando la cantidad de veces calculada mediante la simulación numérica en ANSYS-CFX de manera mensual.
- Al realizar la limpieza del desarenador San Gabán II en épocas de estiaje correspondientes a los mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, se debe considerar que a menor caudal y concentración menor cantidad de sólidos retenidos. Es por ello que la limpieza debe realizarse considerando la cantidad de veces calculada mediante la simulación numérica en ANSYS-CFX de manera mensual.
- Se recomienda impulsar el uso del software ANSYS-CFX en las diferentes estructuras hidráulicas de la región para poder conocer a mayor detalle su funcionamiento y así poder realizar el mantenimiento o la rehabilitación adecuada. Optimizando de esta manera la economía y la calidad de funcionamiento de las mismas.



VII. REFERENCIAS

- Barnuevo, E. (2018). *Nuevo diseño del desarenador Desaguadero del canal Taymi en el distrito de Pucalá, provincia de Chiclayo, región Lambayeque - 2015*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Castro, A., Olivares, M., & Rozo, O. (2019). *Evaluación del sistema de lavado de los desarenadores convencional y dufour mediante el cálculo de volumen muerto a través de modelos hidráulicos*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Ceras, M. (2015). *Simulación mediante fluidodinámica computacional de reacciones catalíticas en fase gas llevadas a cabo en termobalanza*. Universidad de Zaragoza.
- Charry, E., & López, J. (2017). *Sistema de desarenación hidráulica mediante fuerza centrífuga, de flujo continuo y autolavable (DEFUCA)*. Universidad Pilote de Colombia.
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional. (s.f.).
Producción de energía hidroeléctrica en el año 2020
<https://www.coes.org.pe/Portal/portalinformacion/VisorPowerBI>.
- Egea, J., & Garzón, N. (2009). *Modelaje y simulación de dispersiones de humo generado por un incendio en un espacio confinado - tunel; a partir de una herramienta CFD*. Universidad de los Andes.
- Estigoni, M., Vasquez, J., Robb, D., Wang, E., & Mauad, F. (2015). 2D Numerical modelling of sediment trap efficiency in a multi-basin desander.
- Fiesco, F., & Arias, H. (2016). *Estudio de la eficiencia en desarenadores ligados a un nivel de complejidad mediante un modelo físico a escala reducida*. Universidad



de la Salle.

- Gonzales, S. (2020). *Verificación del comportamiento hidráulico del desarenador de la Central Hidroeléctrica Quiroz mediante Ansys CFX*. Universidad de Piura.
- Gutiérrez, F. (2016). *Modelación numerica con telemac del comportamiento del flujo y sedimentos del desarenador Quitaracsa I*.
- Lluguay, K. (2016). *Desarrollar un modelo CFD para el análisis del comportamiento del fluido en tuberías del banco de pérdidas de turbomáquinaria hidraulica y laboratorio*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- López, B. (2015). *Aplicación de CFD-Ansys-fluent en el estudio hidrodinámico de tanques de recirculación empleados en acuacultura*. Universidad Autónoma del Estado de Mexico.
- López, R. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1).
- López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado* (2da Edició). Bogotá - Colombia.
- Luzuriaga, M., & Amaya, D. (2014). *Simulacion numerica del flujo de sedimentos en el desarenador del proyecto hidroelectrico coca codo sinclar*. Universidad de Cuenca.
- Martín, A. (2010). *Simulación mediante el método de los elementos finitos de una estructura metálica*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Montalvan, X. (2021). *Modelación numérica del flujo y comportamiento del sifón Piura utilizando Ansys*. Universidad de Piura.



- Noblecilla, L. (2019). *Modelación numérica para determinar la orientación de una bifurcación en el Tramo B del río Piura*. Universidad de Piura.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (s.f.). Fichas técnicas de proyectos de generación de energía eléctrica.
<https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/proyectos/generacion>.
- Ortega, L. (2019). *Estudio de la eficiencia de dos desarenadores para cámaras de inspección bajo distintas condiciones hidráulicas y de carga de sedimentos*. Universidad de los Andes.
- Proaño, P. (2013). *Bases para el diseño hidráulico de la estructura de entrada, cámara de desarenación y estructuras de limpieza, con caudales entre $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq Q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ para desarenadores en aprovechamientos hidroeléctricos*. Universidad Central del Ecuador.
- Ramírez, C. (2020). *Introducción a la modelación numérica con dinámica de fluidos computacional (CFD)*.
- Ramos, G. (2019). *Simulación numérica del proceso de sedimentación en el desarenador de la central hidroeléctrica Cañón del Pato*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rios, H., & Rames, R. (2013). *Diseño de un desarenador para mejorar la calidad de agua en la planta potabilizadora de la ciudad de Cutervo - Cajamarca*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Ruiz, C. (2017). *Calibración hidráulica del desarenador San Gabán II analizando los modelos de turbulencia con telemac-3d*. Universidad de Piura.
- Sánchez, J., & Jerez, L. (2018). *Estudio del porcentaje de eficiencia de la remoción de*



*arenas en desarenadores de flujo horizontal contruidos respecto a teorías de
diseño.* Universidad de la Salle.

Sparrow, E. (2008). El Desarenador.

Villón, M. (2005). *Diseño de estructuras hidráulicas* (Segunda Ed). Lima - Perú.



ANEXOS

ANEXO A: ECUACIONES UTILIZADAS

ANEXO B: ABACOS DE HAZEN MENSUALES PARA CÁLCULO SIN
MODELAMIENTO.

ANEXO C: ABACOS DE HAZEN MENSUALES PARA CÁLCULO CON
MODELAMIENTO.

ANEXO D: FORMATO DE DATOS PRINCIPALES DEL DESARENADOR DE
SAN GABÁN II.

ANEXO E: DATOS HISTÓRICOS DEL DESARENADOR DE SAN GABÁN II.

ANEXO F: PLANOS DEL DESARENADOR SAN GABÁN II

ANEXO G: VERIFICACION DE LA PENDIENTE EN NAVES DE
DESARENADOR Y CANAL DE SALIDA

ANEXO H: VERIFICACION DE DISEÑO HIDRAULICO DE DESARENADOR