

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS  
DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE  
CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR:  
ANTONY HEISEN SILVA PAREDES**

**ASESOR:  
M.Cs. Ing. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **ANTONY HEISEN SILVA PAREDES**  
DNI: 72551795  
Escuela Profesional: **INGENIERÍA HIDRÁULICA**
2. Asesor: **JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ**  
Facultad: **INGENIERÍA**
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
**"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS"**
6. Fecha de evaluación: 03/12/2024
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 15 %
9. Código Documento: oid: 3117:412234176
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/12/2024

 <hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b> Nombres y Apellidos M.Cs. ING. JOSÉ HILARIO LONGA ÁLVAREZ DNI: 26612572</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 03/12/2024 16:54:14-0500</p> <hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>
---	--



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

TITULO : "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE LOS SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS."

ASESOR : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

En la ciudad de Cajamarca, danco cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 00890-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 28 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de febrero de 2025**, siendo las nueve (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Vocal : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Secretario : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE LOS SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS", presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica **ANTONY HEISEN SILVA PAREDES**, asesorado por el M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : .....5.0..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : .....3.0..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : .....12.0..... PTS .....DOCE..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara .....APROBADO... con el calificativo de .....DOCE.....(12)..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las .....11:00... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Secretario

M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



**EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.**

Bachiller en Ingeniería Hidráulica: ANTONY HEISEN SILVA PAREDES.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	05
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	07
<b>EVALUACIÓN FINAL</b>	
EN NÚMEROS ( A + B )	12
EN LETRAS ( A + B )	DOCE
- Excelente 20 - 19	(REGULAR)
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 06 de febrero de 2025

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Secretario

M.Cs. Ing. José Hilarjo Longa Álvarez.  
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130




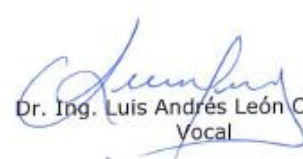
**EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

Bachiller en Ingeniería Hidráulica: ANTONY HEISEN SILVA PAREDES.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
<b>2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA</b>	
2.1. Capacidad de síntesis	2.0
2.2. Dominio del tema	2.0
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	2.0
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	1.0
<b>PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)</b>	<b>7.0</b>

Cajamarca, 06 de febrero de 2025

  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

  
Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Vocal

  
Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Secretario

  
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la salud y prestarme la vida para poder escalar cada peldaño durante mi formación académica, y en el desarrollo de la presente investigación.

Agradezco a mis queridos padres porque siempre han creído en mí, y porque sin su apoyo no habría llegado hasta esta instancia de mi vida.

A mis hermanos y amigos por apoyarme a no desistir, y enseñarme que todo se puede lograr mientras se tenga esas ganas de superación y perseverancia.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. José Hilario Longa Álvarez por su apoyo y confianza en el desarrollo de la presente investigación, además de su capacidad para guiar mis ideas lo cual ha sido un aporte invaluable. También agradezco el compromiso e implicación de los distintos profesionales pertenecientes a la escuela de Ingeniería Hidráulica, quienes aportaron con conocimientos y guiaron mi investigación.

Agradezco también al Ing. William Rodríguez, encargado del equipo de mantenimiento de la empresa Hidrotech Hacc S.A.C. quien facilitó y autorizó las intervenciones de investigación en la hidroeléctrica, trabajos de investigación como levantamiento topográfico, aforos y muestreos, es por ello que se le agradece de manera especial por su labor.

## **DEDICATORIA**

A mi madre Clemencia Paredes López y a mi padre, José Altemiro Silva Zamora quienes siempre me enseñaron que la disciplina, estudio y trabajo son el camino a seguir para lograr las metas y una superación personal, dedico este trabajo a ellos en recompensa a su sacrificio como padres y al inmenso amor y dedicación que me tienen.

A mi hermano Yordan, por apoyarme siempre en cada etapa de mi vida, y a mi querida hermana Diana por ser siempre un ejemplo a seguir.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	19
SUMARY.....	20
2    CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	23
2.1    CONTEXTUALIZACIÓN.....	23
2.2    DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
2.3    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
2.4    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
2.4.1    JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	24
2.4.2    JUSTIFICACIÓN TÉCNICA – PRÁCTICA.....	25
2.4.3    JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL – PERSONAL.....	26
2.5    ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.6    HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
2.7    LIMITACIONES.....	27
2.8    OBJETIVOS.....	27
2.8.1    OBJETIVO GENERAL.....	27
2.8.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
3    CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	29
3.1    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
3.2    BASES TEÓRICAS .....	30
3.2.1    CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	30
3.2.2    CLASIFICACIÓN DE DESARENADORES .....	35
3.2.3    PARTES DE UN DESARENADOR .....	37
3.2.4    EFICIENCIA DE DESARENADORES .....	38
3.2.5    TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE ACUERDO A ECUACIONES DE MOVIMIENTO Y SISTEMAS DE COORDINACIÓN CFD .....	49
3.2.6    HIDRÁULICA FLUVIAL .....	58



3.2.7	CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS .....	64
4	CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	67
4.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	67
4.1.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL DISTRITO DE CHUGUR. ....	67
4.1.2	CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS .....	72
4.1.3	DESARENADOR Y OBRAS DE TOMA DE LA M.C.H .....	72
4.2	MATERIALES.....	73
4.2.1	MATERIALES DE CAMPO .....	73
4.2.2	MATERIALES DE GABINETE .....	73
4.3	MÉTODOLOGÍA.....	73
4.3.1	VISITAS DE CAMPO .....	76
4.3.2	HIDRÁULICA FLUVIAL .....	76
4.3.3	ARQUITECTURA DEL DESARENADOR.....	78
4.3.4	PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....	81
4.3.5	GASTO SÓLIDO EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H. ....	85
4.3.6	GRANULOMETRÍA DEL GASTO SÓLIDO DE RETENCIÓN EN EL DESARENADOR	87
4.3.7	GASTO SÓLIDO DE RETENCIÓN EN LA CÁMARA DE CARGA.....	89
4.3.9	EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR.....	91
5	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	117
5.1	RESULTADOS CARTOGRAFÍA.....	117
5.2	RESULTADOS DE LA ARQUITECTURA .....	117
5.3	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....	117
5.4	RESULTADOS DEL GASTO SÓLIDO EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H. ....	119
5.5	RESULTADOS DE LA EFICIENCIA EN EL DESARENADOR .....	120
5.5.1	EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SOLIDOS EN EL DESARENADOR MEDIDOS EN PROTOTIPO REAL.....	120
5.5.2	EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS SEGÚN TEORÍAS DE DISEÑO .....	121
5.5.3	EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS SEGÚN MODELAMIENTO NUMÉRICO CFD EN FLOW3D .....	123

6	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	124
6.1	CONCLUSIONES.....	124
6.2	RECOMENDACIONES .....	125
7	CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	126
7.1	BIBLIOGRAFÍA.....	126
7.2	LINKOGRAFÍA.....	128
	CAPÍTULO VII: ANEXOS .....	129

### ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 1	:La relación entre el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds para partículas esféricas .....	44
Diagrama N° 2:	Velocidad de sedimentación de partículas esféricas .....	47
Diagrama N° 3:	Curvas de comportamiento y eficiencia de remoción de partículas.....	48
Diagrama N° 4	:Resumen procedimiento de trabajo en las obras de toma de la M.C.H.....	75
Diagrama N° 5:	Curva de análisis granulométrico para material que pasa entre malla N°4 y malla N°200 para muestras de agregado fino retenido en el desarenador y muestreos de entre 500g y 300g según Norma ASTM C 136-01, volumen 02.04 .....	88
Diagrama N° 6	: Curva de análisis granulométrico de material que pasa entre malla N°4 y malla N°200 para muestras de agregado fino que pasaron a la cámara de carga con muestreos de 914.17g .....	90

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:	Estructuras hidráulicas de una minicentral hidroeléctrica.....	32
Figura N° 2::	Bocatoma convencional en captación de barraje fijo .....	33
Figura N° 3:	Perfil de canal de conducción con sección trapezoidal .....	33
Figura N° 4:	Cámara de carga de central hidroeléctrica con 2 tuberías de presión y compuertas de salida. ....	34
Figura N° 5:	Perfil de tubería de presión con juntas y soportes anclado a la sala de máquinas. ....	35
Figura N° 6	: Esquema de un desarenador longitudinal en paralelo. ....	35
Figura N° 7:	Esquema de un desarenador de 1 unidad o nave, con by-pass .....	36
Figura N° 8:	Esquema de desarenador de flujo horizontal.....	37

Figura N° 9: Esquema de desarenador horizontal para micro centrales hidroeléctricas. ...	38
Figura N° 10: Curvas de las concentraciones teóricas de las arenas Rouse.....	40
Figura N° 11: Gráfico de Sudry para hallar la velocidad horizontal de sedimentación .....	46
Figura N° 12: Croquis de velocidades horizontal y vertical.....	48
Figura N° 13: Model Set Up -general, con condiciones de y números de fluidos .....	55
Figura N° 14: Tabla de ingreso para condiciones físicas del modelo numérico. ....	55
Figura N° 15: Cuadro de asignación de punto o nodo de iteración.....	56
Figura N° 16: Propiedades físicas del fluido y componentes sólido de partículas, en condiciones de variación de temperatura, es decir se asignan en un punto específico, de la cual se genera un nodo con distintas condiciones. ....	57
Figura N° 17: simulación de sedimentos en el canal de lavado basado en pruebas experimentales configurables .....	57
Figura N° 18 : Mapa de la Cuenca Hidrográfica Chancay - Lambayeque. ....	59
Figura N° 19: Mapa Hidrológico y de zonas de recarga Hídrica del distrito de Chugur. ..	59
Figura N° 20: Método Velocidad-Área: Discretización de las verticales en la sección.....	61
Figura N° 21: Formas de transporte de sedimentos.....	62
Figura N° 22: Humedad relativa (%) en el distrito de Chugur durante el periodo 2010-2015.....	66
Figura N° 23: Temperatura mínima, máxima y promedio mensual (°C) del distrito de Chugur.....	66
Figura N° 24: Bocatoma de barraje fijo en la quebrada Ramírez, con sus componentes hidráulicos y mecánicos. ....	68
Figura N° 25: Turbina tipo Pelton con principales componentes de ingreso en cámara de fuerza de la MCH. ....	69
Figura N° 26: Alternador de corriente y estabilizador de 80Kw A 220v, con tablero de distribución.....	71
Figura N° 27: Georreferenciación y distribución de estructuras y obras de toma de la micro central hidroeléctrica de Chugur. ....	72
Figura N° 28: Minera Tantahuatay en cabecera de cuenca de la Quebrada Ramírez .....	77
Figura N° 29: Morfología de quebrada y conformación de lecho móvil. ....	77
Figura N° 30: Levantamiento topográfico con estación Leyca TS06 en la zona del canal de conducción y desarenador. ....	78
Figura N° 31: Calculo de arrastre de sedimentos en estado estático para carga de agua y sedimentos con diámetros entre 0.001m y 100mm para velocidad de 2.91m/s. ....	80

Figura N° 32: Rotulado de muestras de sedimentos del desarenador. ....	85
Figura N° 33: Calificación de las arenas en función del módulo de finura.....	89
Figura N° 34: Ubicación de los 24 puntos de sondeo batimétrico en la poza de sedimentación del desarenador distribuidas cada 1m longitudinalmente y cada 0.6m a lo ancho. ....	91
Figura N° 35: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el primer eje del desarenador. .....	92
Figura N° 36: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el segundo eje del desarenador. ....	92
Figura N° 37: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el tercer eje del desarenador. .....	93
Figura N° 38: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el cuarto eje del desarenador. .....	93
Figura N° 39: Croquis de velocidades.....	98
Figura N° 40: Curvas de comportamiento y eficiencia de retención de sedimentos.....	100
Figura N° 41: Gestión de puntos y modelado arquitectónico del desarenador en el software Civil 3D, para exportación a fichero de modelamiento en Flow3D.....	101
Figura N° 42: Uniformidad de modelo en ventana de setup model, asignación de geometría de modelo. ....	101
Figura N° 43: Asignación de mallado con triangulación cartesiana triangular, y ubicación de vértices de las cells en las zonas de contacto del flujo. ....	102
Figura N° 44: Medición de velocidades en la entrada y salida del desarenador con métodos de correntómetro. ....	104
Figura N° 45: Ubicación de nodos para calibración modelo, de acuerdo a iteración de coeficientes de rugosidad de Manning. ....	105
Figura N° 46: Modelamiento de velocidades de flujo en el desarenador para flujo 1 de agua sin sedimentos.....	108
Figura N° 47: Simulación numérica para condición de flujo con sedimentos a concentración de sólidos del 20%. ....	108
Figura N° 48 : Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s. ....	109
Figura N° 49: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de	

0.048 m <sup>3</sup> /s.....	110
Figura N° 50: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 15% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	110
Figura N° 51: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	111
Figura N° 52: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	111
Figura N° 53: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	112
Figura N° 54: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.10 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	112
Figura N° 55: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	113
Figura N° 56: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	113
Figura N° 57: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para limos con diámetros menores a los 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m <sup>3</sup> /s.....	114
Figura N° 58: Velocidades de salida de partículas sólidas y flujo a lo largo del desarenador, para las 10 simulaciones de Ag, Am, Af y Li, con concentraciones al 05-10-20%...	114
Figura N° 59: Modelamiento numérico para distintas concentraciones y tiempo de llenado con material sólido al nivel 2773.9 y un volumen de poza de 11.58 m <sup>3</sup> .....	115
Figura N° 60: Caudales en la entrada del desarenador.....	118
Figura N° 61: Variación de caudales en la Quebrada Ramírez.....	119
Figura N° 62: Cantidad de sedimentos en suspensión y de fondo en la entrada del desarenador para 05 ensayos.....	119
Figura N° 63: Cantidad de sedimentos retenidos en el desarenador de acuerdo a los 05	

muestreos en la entrada y salida del desarenador.....	120
Figura N° 64: Retención de sedimentos medidos en el desarenador con una muestra de 0.650 m <sup>3</sup> de sedimentos y una concentración al 12% durante 190.1 min.....	121
Figura N° 65: Comparativas de eficiencia de retención del desarenador vs diámetro de partículas según teorías de diseño para Sudry y Mijares. ....	122
Figura N° 66: Diagrama de eficiencias según modelamiento CFD, para partículas de arenas gruesas (Ag), arenas medianas (Am), arenas finas (Af) y limos (Li) a concentraciones de 05, 10, 20% , con velocidad de entrada del flujo de 0.406 m/s..	123
Figura N° 67: Ficha de muestreos iniciales en el desarenador. ....	129
Figura N° 68: Reconocimiento de instalaciones de la mini central hidroeléctrica - sala de máquinas. ....	146
Figura N° 69 : Levantamiento topográfico de las obras de toma de la mini central hidroeléctrica de Chugur .....	146
Figura N° 70:Primeras pruebas de la implementación de la metodología de los muestreos de sedimentos en el desarenador .....	147
Figura N° 71: Muestreos de sedimentos y rotulado según formato .....	147
Figura N° 72: Transporte de muestras al laboratorio. ....	148
Figura N° 73: Secado de muestras de material sólido.....	148
Figura N° 74:Muestreos de sedimentos en suspensión en la entrada y salida del desarenador a condiciones de ensayo el 24/11/2024.....	149
Figura N° 75: Muestreos de fondo en la entrada del desarenador con bandeja de dimensiones 15cm x40cm x50cm sumergida durante 15 min en el ensayo in situ....	149
Figura N° 76: Sondeos de niveles de sedimentos almacenados posterior al ensayo, lectura cada 1m longitudinalmente y a 05m a lo ancho de la poza de sedimentación.....	150
Figura N° 77: Ensayo de granulometría para tamizado en mallas N200 hasta N4, laboratorio G&S ingenieros consultores .....	150
Figura N° 78: Pesaje de material secado, tanto de la zona de entrada y salida del desarenador. ....	151
Figura N° 79: Aforo de caudales en canal de conducción al desarenador de la MCH con correntómetro FM-100V5 de marca Shenzhen Aermanda .....	151
Figura N° 80: Aforo de velocidades en la quebrada Ramírez .....	152
Figura N° 81: Aforo de velocidades con correntómetro FM-100V5 en la sección de entrada del desarenador de la MCH. ....	152

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 : Clasificación de potencias según salto neto de la tubería de presión, para la región Latinoamericana y el Caribe. ....	32
Tabla N° 2: Velocidad de caída de partículas esféricas. ....	47
Tabla N° 3: Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo.....	62
Tabla N° 4: Volumen de muestras necesarias para medir el sedimento en suspensión. ....	63
Tabla N° 5: Precipitación mensual y anual (mm) en el distrito de Chugur.....	65
Tabla N° 6: Tabla resumen de coordenadas geográficas de las estructuras de la mini central hidroeléctrica.....	67
Tabla N° 7: Caracterización de tipo de centrales hidroeléctricas según su potencia nominal.....	68
Tabla N° 8: Caracterización de tipo de turbina en la central de acuerdo al tipo de caída y caudal de agua. ....	69
Tabla N° 9: Caracterización de la central según altura del salto bruto de la tubería de presión. ....	70
Tabla N° 10: Metodología de la investigación eficiencia de retención de sedimentos del desarenador de la M.C.H. de Chugur.....	74
Tabla N° 11: Fechas de recolección de información de aforos y muestreos en los meses febrero, marzo, abril del 2023, en días lluviosos según contrastación con precipitaciones diarias según estación meteorológica Chugur.....	81
Tabla N° 12: Velocidades de aforo en la entrada al desarenador. ....	82
Tabla N° 13: Caudales calculados en la entrada al desarenador. ....	83
Tabla N° 14: Velocidades y caudales de aforo en la Quebrada Ramírez en un tramo de +30 m de longitud y un área de sección promedio de 0.625 m <sup>2</sup> .....	84
Tabla N° 15: Cantidad de sedimentos en suspensión muestreados en el desarenador en la entrada y salida, peso de muestra seca en gramos.....	86
Tabla N° 16: Peso de muestreos de material seco almacenado en la trampa de sedimentos de fondo en la entrada del desarenador. ....	86
Tabla N° 17: Muestreo de sólidos totales en la entrada del desarenador. ....	87
Tabla N° 18: Porcentajes que pasan por cada abertura de tamiz, para muestreo total de material sólido de 9965.25 g. ....	88
Tabla N° 19: Porcentajes que pasan por cada abertura de tamiz, para muestreo total de material sólido de 914.17g en la cámara de carga de la MCH.....	90

Tabla N° 20: Niveles de sedimentos en el primer eje con lecturas en puntos del 1 al 6....	91
Tabla N° 21: Niveles de sedimentos en el segundo eje con lecturas en puntos del 7 al 12	91
Tabla N° 22: Niveles de sedimentos en el tercer eje con lecturas en puntos del 13 al 18..	92
Tabla N° 23: Niveles de sedimentos en el cuarto eje con lecturas en puntos del 18 al 24.	92
Tabla N° 24: Porcentaje de sedimentos retenidos en el desarenador determinados a partir de ensayo en el prototipo real con flujo de solidos al 12% de concentración.....	93
Tabla N° 25: Velocidad de caída de partículas esféricas. ....	97
Tabla N° 26: Condiciones de simulación por pasos en cada etapa y proceso con las condiciones iniciales de ingreso y unidades de análisis. ....	102
Tabla N° 27: Fluidos en modelamiento y condiciones físicas iniciales para cada fluido para temperatura promedio de agua promedio de 9.5°C a 2773.95 m.s.n.m. de acuerdo a Simbyotic, 2019.....	104
Tabla N° 28: Velocidades en la sección de entrada de desarenador, aforadas mediante correntómetro .....	105
Tabla N° 29: Determinación del caudal de ingreso al desarenador.....	105
Tabla N° 30: Iteraciones de rugosidad de Manning (n) para nodos N°67890, 1256122 ,09321876, 28958991, hasta determinar velocidad de modelo igual a la medida en campo. ....	106
Tabla N° 31: Comparación de velocidades finales de iteración vs velocidades medidas en cada punto de calibración.....	106
Tabla N° 32: Concentraciones de sedimentos para modelamientos de suelos de arenas y limos.....	107
Tabla N° 33: Nomenclatura de modelamiento con diámetros máximos y mínimos según tipo de suelo. ....	107
Tabla N° 34:Medición de velocidad promedio y caudal de modelamiento en la entrada del desarenador. ....	107
Tabla N° 35:Tiempo de llenado de sedimentos de la poza de sedimentación del desarenador, para a concentraciones del 05, 10 y 20 % para eficiencias mínimas según diámetros de partículas, y caudales de 0.039m <sup>3</sup> /s.....	116
Tabla N° 36: Caudales máximos, mínimos y medios en la sección de entrada de desarenador, aforadas mediante correntómetro y método del flotador. ....	118
Tabla N° 37: Caudales promedio en la quebrada Ramírez aforadas mediante correntómetro y método del flotador. ....	118
Tabla N° 38: Eficiencias según teorías de diseño para sedimentos de arenas gruesas,	



medianas, finas, para velocidad media de 0.406 m/s y caudal de 0.039 m<sup>3</sup>s, con velocidades obtenidas de sedimentación a partir de modelamiento CFD en Flow3D.

..... 122

Tabla N° 39: Determinación de eficiencias según modelamiento CFD, para partículas de arenas gruesas (Ag), arenas medianas (Am), arenas finas (Af) y limos (Li) a concentraciones de 05, 10, 20% , con velocidad de entrada del flujo de 0.406 m/s.. 123

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue evaluar la eficiencia de retención de sedimentos en la estructura del desarenador de 10.28 m de largo y 3.08 m de ancho y caudal de operación de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$  de la micro central hidroeléctrica de Chugur en periodos lluviosos, para ello se analizó el comportamiento hidráulico en toda la estructura, se determinó las eficiencias teóricas según teorías de diseño para desarenadores según metodologías de autores como Mijares 1961 y Muñoz H.M, 1997 y Surdy, quienes plantean que los asentamientos de partículas a partir de un equilibrio entre la fuerza gravitatorias y la fuerza de rozamiento correspondiente al arrastre de la partícula, para que se de esta condición la velocidad crítica de la partícula debe ser menor a la velocidad de asentamiento. Además, se determinó las eficiencias en el prototipo real a partir de muestreos en la entrada y salida del desarenador y mediciones batimétricas de material sólido almacenado en la estructura, para contrastarlas con eficiencias teóricas determinadas a partir de modelados numéricos computacionales CFD en software FLOW3D.

Para determinar estas eficiencias se requirió medir las condiciones hidráulicas iniciales y de frontera como lo sugieren (Jeny & Leidy, 2018), por ello las mediciones de caudales se realizaron siguiendo metodología del manual de aforos del SENAMHI, y muestreos según pautas de la Organización Mundial de Meteorología entre los meses de febrero y abril del 2023, además se realizó las pruebas granulométricas tanto del material retenido en la zona del desarenador como en la cámara de carga con la finalidad de caracterizar el material depositado y con ello obtener los módulos de finesa (MF) y coeficiente de uniformidad (Cu) necesarios para el modelamiento numérico con distintos grados de concentración de sedimentos y diámetros de partículas.

Los resultados muestran que la eficiencia de retención de sedimentos según teorías de diseño es de 78.34% para metodología de Mijares y de 77.6% para metodología de Sudry, además se determinó una eficiencia de 73.6% según muestreos a la entrada y salida del desarenador. La eficiencia determinada en el prototipo real, a partir de mediciones batimétricas arroja un valor de 74.92%. Por otro lado, de acuerdo al modelamiento numérico a distintas concentraciones de partículas se obtiene que, los niveles de eficiencia en retención de sedimentos del desarenador alcanzaron el 100% para arenas gruesas de diámetros mayores a 2.5 mm, sin embargo, para limos y arenas finas la eficiencia desciende hasta un 22.6%.

## SUMMARY

The purpose of this research was to evaluate the sediment retention efficiency in the sand trap structure of 10.28 m long and 3.08 m wide and average treatment rate of 0.039 m<sup>3</sup> of the Chugur micro hydroelectric plant in rainy periods, to For this reason, the hydraulic behavior of the entire structure was analyzed, the theoretical efficiencies were determined according to design theories for sand traps according to methodologies of authors such as Mijares 1961 and Muñoz H.M, 1997 and Surdy, who propose that particle settlements based on a balance between the gravitational force and the friction force corresponding to the drag of the particle, for this condition to occur the critical speed of the particle must be less than the settling speed. Additionally, they calculated in situ efficiencies from sampling and bathymetric measurements of solid material stored in the structure and contrasted them with theoretical efficiencies determined from CFD computational numerical models in FLOW3D software.

To determine these efficiencies, it was necessary to measure the initial and boundary hydraulic conditions as suggested (Jeny & Leidy, 2018), therefore the flow measurements were carried out following the methodology of the SENAMI gauging manual, and sampling according to the guidelines of the World Meteorological Organization between the months of February and April 2023. In addition, granulometric tests were carried out on both the material retained in the sand trap area and in the loading chamber in order to characterize the deposited material and thereby obtain the finesse (MF) and uniformity coefficient (Cu) necessary for numerical modeling with different degrees of sediment concentration and particle diameters.

The results show that the sediment retention efficiency according to design theories is 78.34% for the Mijares methodology and 77.6% for the Sudry methodology. In addition, an efficiency of 73.6% is determined according to in situ sampling of solid material in the sand trap. The efficiency calculated in the real prototype, from bathymetric measurements, gives a value of 74.92%. On the other hand, according to the numerical modeling at different concentrations of particles, it is obtained that the sediment retention efficiency levels of the sand trap reached 100% for coarse sands with diameters greater than 2.5 mm, however, for silts and fine sands efficiency drops to 22.6%.

## **PALABRAS CLAVE**

En la presente investigación se emplearon los siguientes términos básicos:

- **Mini central hidroeléctrica (MCH):** Se considera mini central hidroeléctrica cuando la potencia de suministro de energía está entre los 50-100 Kw de potencia y un salto bruto menor de 120 m. (Palomeque, Valdez, Jara, & Reinoso, 2020)
- **Cuenca hidrográfica:** Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un río o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. (LÓPEZ & PATRÓN, 2013)
- **Periodo de lluvias:** En la sierra peruana los eventos y periodos lluviosos inician en el mes de noviembre y culmina en mayo del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo enero - marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones, presentan sus mayores intensidades. (SENAMHI, 2018)
- **Obras de toma:** constituyen un conjunto de estructuras hidráulicas construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa. (ITDG, 2009)
- **Caudal líquido:** Volumen de agua que atraviesa la sección transversal de un curso de agua por unidad de tiempo. (BACCA, 2019)
- **Gasto sólido (sedimentos):** Masa de las materias sólidas que atraviesan una sección dada de un curso de agua por unidad de tiempo. (Mendez, Depettris, Ruberto, & Pilar, 2011)
- **Desarenador:** Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas. (Guerrero, Salazar, & Paredes, 2018)
- **Eficiencia de desarenadores:** Es la capacidad conducción, retención y eliminación de partículas sólidas que son arrastradas por el flujo de agua, mientras mayor sea el nivel de retención de sólidos se entiende que la estructura tiene una mayor eficiencia. (Jeny & Leidy,

2018)

- **Aforo:** Conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado. (SENAMHI, 2018)
- **Muestreo de sedimentos:** El muestreo es una herramienta de la investigación científica que se utiliza para determinar que parte de una realidad en estudio (sedimentos) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. (OMM, 2018)
- **HIDROTECH HACC S.A.C.:** Empresa prestadora de servicios hidro energéticos del distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca, Actualmente a cargo de la administración, operación y mantenimiento de las instalaciones de la MCH.
- **Fórmula semiempíricas:** Son fórmulas que involucran suposiciones, aproximaciones o generalizaciones diseñadas para simplificar el cálculo o para producir un resultado de acuerdo con la observación. (SEPIS, OPS, 2005)
- **Norma ASTM D422:** Método que estableció la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, para la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de suelos. (U.S. EVIROMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. ARMY ENGINEER, 2011)
- **Senamhi:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú es un organismo técnico especializado del Estado Peruano que brinda información sobre el pronóstico del tiempo, así como asesoría y estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agrometeorología y asuntos ambientales. (SENAMHI, 2018)

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

El desarenador, que comprende las obras de toma de la minicentral hidroeléctrica con 36 años de funcionamiento ubicada en Chugur, Hualgayoc, Cajamarca, evidencia incremento niveles de turbidez y de arrastre sólidos en los periodos lluviosos, comprendidos entre los meses de noviembre a mayo; Las lluvias intensas sobre la micro cuenca de la Quebrada Ramírez generan escorrentía superficial, que remueve el suelo durante las lluvias, el caudal de los ríos aumenta significativamente, lo que incrementa la capacidad del agua para transportar sedimentos. La mayor velocidad del flujo puede arrastrar partículas más grandes y aumentar la carga sedimentaria en el sistema fluvial, otros factores humanos que favorecen a la erosión de suelos presentes en esta cuenca es la actividad minera en la parte alta de la microcuenca denominada Tantahuaty que pese a tener planes de control de erosión y estabilización de laderas con cubierta vegetal herbácea influye en el incremento sedimentos en el flujo en eventos lluviosos, Con la finalidad de evitar de que los sedimentos ingresen a la sala de máquinas de la MCH, las obras de toma cuentan con un desarenador el cual alivia la carga y flujo de sedimentos y con ello evitar los problemas de abrasión , desgaste, vibraciones, y obstrucción

### **2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Las estructuras que comprenden las obras de toma en una central hidroeléctrica a filo de corriente tienen como objetivo principal captar el agua, transportarla y eliminar los materiales de suelo generado por la erosión del suelo en tramos de cause aguas arriba. Los sedimentos en movimiento causan abrasión en las paredes de las tuberías de presión, desgaste de los alabes de turbinas, es decir los sedimentos pueden afectar negativamente tanto el flujo como la integridad estructural de tuberías y turbinas, lo que resalta la importancia de un adecuado control y manejo de sedimentos en sistemas hidráulicos. (Mendez, Depettris, Ruberto, & Pilar, 2011)

### **2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El excesivo desgaste de los álabes de la turbina y las piezas mecánicas de condición en la tubería de presión, originadas por las excesivas cargas de partículas en el agua en periodos lluviosos se incrementa es por ello que se debe evaluar los niveles de eficiencia del desarenador y cámara de carga es recomendable realizarlos entre estos periodos. El desarenador convencional horizontal de una nave de la minicentral hidroeléctrica de Chugur

fue construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión del material transportado compuesto básicamente de arcillas (SC) y arenas (SP,SW,GC), siendo estas últimas el objetivo de remoción de partículas del desarenador para obras de generación de electricidad. Según (Zetina G, 2013) Los desarenadores para hidroeléctricas se diseñan para diámetros máximo de partículas de 0.25 mm, las cuales se deben tener en cuenta para periodos de retorno equivalentes a criterios de diseño de 50 años.

## **2.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

La micro central hidroeléctrica ubicada en la comunidad “Nuevo Perú” a 0.85 Km del distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca actualmente en funcionamiento, viene prestando servicio energético a 7 comunidades para finales del año 2022, con un total de 2920 habitantes (INEI, 2017), beneficiarias de dicho servicio. Es por ello que, a fin de garantizar el óptimo estado y funcionamiento de las instalaciones y quipos de la sala de máquinas, así como de las estructuras hidráulicas que componen las obras de toma de dicha central se viene realizando estudios de identificación y evaluación del estado actual.

El desarenador horizontal convencional de una nave de la mini central hidroeléctrica, cumple las funciones de azolvamiento, retención, y eliminación de material sólido; a pesar de presentar ciertas deficiencias estructurales y mecánicas, originadas por factores climatológicos o por prácticas de operación las cuales en cierto modo han afectado el óptimo funcionamiento de dicha estructura, actualmente viene cumpliendo con las mencionadas funciones; en tal sentido es de vital importancia poder evaluar la eficiencia de retención de partículas del desarenador, en periodos lluviosos en los cuales existe mayor concentración de limos, arcillas y arenas erosionadas en la cuenca.

La minicentral hidroeléctrica de Chugur, al año 2023 cumple ya los 36 años de funcionamiento, abasteciendo una potencia de 80KW a sus comunidades, de las cuales utilizan esta energía para producción económica en sectores como ganadería y producción de lácteos y sus derivados, producción textil, producción maderera y de uso diario, por lo que, contar con una hidroeléctrica con componentes estructurales en óptimo funcionamiento contribuye a la operatividad y sostenibilidad de la M.C.H. del distrito.

## 2.4.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA – PRÁCTICA

La importancia de la gestión de acumulación de sedimentos en el desarenador de centrales hidroeléctricas representa un desafío significativo para la operación eficiente y sostenible de esta MCH. La sedimentación puede afectar la producción de energía eléctrica y aumentar los costos de mantenimiento, viéndose desde el punto de vista económico implica daños de las palas de la turbina, las cuales se cambian cada 3-5 años; estos trabajos de mantenimiento de tuberías y accesorios que si bien no han requeridos cambios hasta la actualidad, requieren trabajos de mantenimiento, como cincado, granallado y curado anticorrosivo; en la turbina se realizan trabajos de limpieza en la zona anclaje del rodete causada por vibraciones generadas mayormente por desgaste del anclaje producido por la fricción de material sedimentario y presión del agua, por su parte en el desarenador los trabajos de limpieza y mantenimiento se realizan cada 15 días calendario en periodos de estiaje y cada 8 días en meses lluviosos, todos estos trabajos operativos y de mantenimiento implican interrupciones en el funcionamiento en la operación y en casos extremos causan hasta interrupciones del funcionamiento y generación de energía eléctrica, lo que impacta directamente en los costos unitarios de generación de energía eléctrica por KW/h, costos de puesta en marcha e insatisfacción del usuario. Por lo tanto, evaluar la eficiencia de los desarenadores es crucial para maximizar la vida útil de la infraestructura y garantizar un funcionamiento óptimo.

La acumulación de sedimentos no solo afecta la infraestructura, sino que también tiene implicaciones ambientales. La alteración de ecosistemas acuáticos y fluviales ya que los depósitos de arenas se almacenan en zonas aledañas del desarenador, evaluar la eficiencia de los desarenadores permite implementar medidas que mitiguen estos efectos, contribuyendo a un desarrollo sostenible y a la conservación del entorno. El cambio climático está alterando patrones hidrológicos y provocando fenómenos meteorológicos extremos. Estos cambios pueden incrementar la erosión y, por ende, la carga de sedimentos en desarenadores. Realizar una tesis que evalúe la eficiencia de los desarenadores en este nuevo contexto es vital para adaptar las estrategias de gestión de recursos hídricos.

A menudo, los estudios sobre la eficiencia de los desarenadores se basan en datos generales o en condiciones específicas que pueden no reflejar la realidad local. Esta investigación enfocada en un desarenador particular de la micro hidroeléctrica de Chugur proporcionará información valiosa y específica, que puede ser utilizada para mejorar la gestión del sedimentado en la región y servir como modelo para otras instalaciones similares.



La tesis también puede explorar metodologías avanzadas para la evaluación y monitoreo de la eficiencia en la retención de sedimentos como mediciones correntómetros de alta precisión como el modelo FM-100V5. El desarrollo y la validación de herramientas de modelado y simulación pueden proporcionar enfoques más precisos y eficientes, facilitando la toma de decisiones informadas para la operación de centrales hidroeléctricas.

### **2.4.3 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL – PERSONAL**

Realizar esta tesis sobre la evaluación de la eficiencia en la retención de sedimentos del desarenador de la micro hidroeléctrica de Chugur es un paso importante para mí, ya que combina mi interés por la sostenibilidad y la energía renovable. Este tema me permite profundizar en un área crítica que impacta tanto el rendimiento energético como el medio ambiente. Además, la posibilidad de contribuir a soluciones prácticas en un contexto real me motiva; quiero dejar una huella positiva en la gestión de recursos hídricos. A través de esta investigación, espero adquirir conocimientos valiosos y desarrollar habilidades que me ayuden a enfrentar desafíos futuros en el ámbito ambiental y energético. La iniciativa y posibilidad que me brinda la UNC para desarrollar mi trabajo de investigación en el campo de la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos me impulsó a participar en trabajos de operación y charlas sobre el mantenimiento de la central hidroeléctrica, es a partir de la cual se generó un vínculo con la empresa prestadora del servicio Hidrotech Hacc S.A.C. la cual facilitó cada visita, medición, prueba, muestreo, inspección y análisis en las instalaciones de la infraestructura a fin de colaborar con mis reportes y resultados obtenidos, y contribuir con de dicha empresa y comunidad usuaria del servicio.

### **2.5 ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La actual necesidad de conocer el grado de eficiencia de la retención de sedimentos en el desarenador de la minicentral hidroeléctrica de Chugur, nos motiva a determinar cuantitativamente el material sólido retenido en la poza de sedimentación del desarenador, para eventos de periodos lluviosos que son los cuales existe mayor erosión aguas arriba de la captación y en donde se evidencia una mayor carga de sedimentos y turbidez del flujo en dicha estructura hidráulica, es por ello que con la finalidad de poder evaluar la eficiencia del desarenador se determina la cantidades de sedimentos mediante muestreos de agua en dos puntos del desarenador, tanto en la sección de entrada y en la salida al canal de conducción; además se realizará aforos en la sección de entrada y salida del desarenador y en la sección

del río Ramírez, a fin de generar una correlación (caudal de río – cantidad de sedimentos en desarenador). Para realizar esta investigación, se realizaron previamente el requerimiento de autorizaciones y permisos de ingreso a las instalaciones de la C.H., posteriormente se realizaron visitas de campo a fin de recolectar información tanto, topográfica, hidráulica y arquitectónica. Los muestreos de sedimentos, aforos y análisis se realizaron durante 34 días con presencia de precipitaciones, en dos horarios diferentes; 9:00 am, 5:00 pm, en los cuales la información recogida en campo se procesó y analizó en el gabinete.

## **2.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

Los niveles de eficiencia de retención de sedimentos del desarenador de la minicentral hidroeléctrica de Chugur calculada a partir de muestreos in situ y procesada con fórmulas semiempíricas es menor a la calculada sobre teorías de diseño o a eficiencias de modelado numérico a distintas concentraciones de partículas en el flujo, durante eventos en periodos lluviosos debido al aumento de caudales en el curso de la Quebrada Ramírez.

## **2.7 LIMITACIONES**

El aforo del caudal realizado en la entrada del desarenador se realizó mediante el método del área velocidad y medición de velocidades con equipo correntómetro debido a la mayor precisión como al correntómetro de superior precisión al FP111 Global Water, ya que dicho equipo no supera la precisión de 0.1 m/s. Los muestreos de agua con sedimentos en el desarenador se realizaron para determinar las cantidades de sedimentos en las secciones, mas no para determinar indicadores químicos como pH, alcalinidad, turbiedad y temperatura.

## **2.8 OBJETIVOS**

### **2.8.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de retención de sedimentos del desarenador de la mini central hidroeléctrica de Chugur, para eventos en periodos lluviosos según metodologías de diseño, muestreos y mediciones en desarenador y modelamiento CFD, con condiciones variables para distintos caudales y concentraciones de sedimentos.

### **2.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar cuantitativamente el material sedimentario a partir de muestreos en la entrada y salida del desarenador.
- b) Determinar el caudal de la Quebrada Ramírez y caudal de ingreso al desarenador a partir de aforos mediante mediciones de velocidad y área de sección.

- c) Caracterizar la mini central hidroeléctrica de Chugur según fases de ejecución infraestructura, operación y mantenimiento.
- d) Determinar velocidad y tiempo de sedimentación en el desarenador según métodos de diseño para estructuras de generación eléctrica.
- e) Recopilar y procesar información topográfica de las áreas comprendidas desde la zona de entrada al desarenador hasta la salida o inicio del canal de conducción.
- f) Generar diagramas según niveles de eficiencia del desarenador de la mini central hidroeléctrica durante los eventos lluviosos y contrastar con eficiencias obtenidas según metodologías de diseño.
- g) Determinar eficiencia de retención de sedimentos según modelación numérica computacional CFD con distintas concentraciones de sedimentos y velocidades con software Flow3D
- h) Caracterizar la Quebrada Ramírez desde el punto de vista Fluvial.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen numerosos estudios y publicaciones científicas que describen la eficiencia de los desarenadores en centrales hidroeléctricas a nivel mundial. En el ámbito local hay una cierta carencia de investigaciones sobre la eficiencia de los desarenadores destinados a proyectos de generación de energía hidroeléctrica, es por ello que, con la finalidad de argumentar, fundamentar y enriquecer el desarrollo de esta investigación, se revisan algunos estudios como el “*Estudio del porcentaje de eficiencia de la remoción de arenas en desarenadores de flujo horizontal construidos respecto a teorías de diseño.*” Realizado en Colombia, en donde se utilizan 05 teorías de diseño de desarenadores de autores como Cualla 1995; Muñoz A.H 2015, Romero Corcho 1993, Muñoz H.M 1997, Mijares 1961; para 10 desarenadores de centrales hidroeléctricas, entre ellos Desarenador Fusagasugá, Melgar, Carmen de Apicalá, Girardot, Mesitas del colegio, Flandes, Guamo, Alvarado, Facatativá, Ventaquemada, para evaluar el comportamiento real de cada una de estas estructuras hidráulicas y compararlas con las eficiencias teóricas planteadas según cada una de las metodologías mencionadas, con la finalidad de determinar cuál desarenador se desempeña con mayor eficiencia en la remoción de partículas. Hallándose que, para la metodología de diseño de Cualla ningún desarenador supera la eficiencia del 50%, además se ha encontrado que en la mayoría de ríos el tipo de material que se sedimenta es arena muy fina con valores entre (0,1 mm y 0.05 mm) y arena fina con valores entre (0,1 mm y 0,25 mm) esto significa que se debe interpolar valor promedio para fines de aplicación de variables en la metodología, lo cual podría causar un alejamiento de la precisión del porcentaje de eficiencia, por lo tanto no es una metodología que al ser usada garantice que el desarenador tenga una eficiencia estimada. Se estimó que en los desarenadores de Facatativá (98,71 %) y Alvarado (78,93 %) estuvieron próximos al rango del 80% que es lo que recomienda la metodología de Corcho. (1993). Para el caso de la metodología del autor Muñoz H.M (1997) diseña bajo porcentajes de remoción entre 50%, 75% y 87,5% encontrándose con que estos valores corresponden a índices de máxima eficiencia en el periodo de remoción de las partículas en los desarenadores de flujo horizontal.

✓ La tesis titulada “Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos” busca determinar la eficiencia de dos sedimentadores, laminar y convencional; en la eliminación de sólidos en suspensión con mediciones físicas como turbiedad, temperatura, residuo seco, de muestras de agua tomadas en la entrada y salida de los sedimentadores. Los resultados muestran que la desarenador laminar tiene una eficiencia de 93.85% siendo más eficiente que el convencional con una eficiencia de 78,00 %. (Guerrero,

Salazar, & Paredes, 2018)

✓ La tesis titulada “Análisis hidráulico del flujo en un desarenador para la Central Hidroeléctrica de Huantán” Analizó el comportamiento del flujo en los desarenadores con criterios de diseño de centrales hidroeléctricas, en donde pudo evaluar la influencia de los diámetros de partículas sólidas en la eficiencia, además evaluó los parámetros de diseño hidráulico del desarenador de la C.H Huantán. Dicha investigación concluye que las partículas menores a 20um de diámetro no logran ser retenidas por el desarenador, ya que la velocidad de caída de estas está por debajo de los 0.2 m/s, por lo que recomienda aumentar la medida longitudinal de la poza. Para partículas de 50um de diámetro, el desarenador logra retener el material sólido en suspensión en un tiempo de 92.47 s.

✓ La tesis titulada “Criterios de diseño de desarenadores a filo de corriente” Evalúa los diferentes criterios de diseño de desarenadores para obras de generación eléctrica, por lo que realiza modelados físicos y experimentales a fin de recaudar la información de desazolvamiento de los desarenadores, además compara y caracteriza el funcionamiento hidráulico de cada desarenador. La metodología implementada en dicha investigación consta en modelar físicamente la estructura del desarenador en la cual utilizan material como arena bien graduada con un  $D_{50} = 0.26\text{mm}$  y una densidad de  $2.42\text{ Kg/m}^3$ , obteniendo como resultados de eficiencias entre el 58% y 64%, Por lo que se colocan muros guía en la nariz o entrada del desarenador de 40 metros y se logra aumentar la eficiencia hasta el 90.82% mostrándose muy superior a las simulaciones anteriores.

## 3.2 BASES TEÓRICAS

### 3.2.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que aprovechan la energía potencial del agua para generar electricidad. Funcionan mediante la captación del agua de un río o embalse, que se hace pasar por una turbina que hace girar un generador eléctrico que convierte la energía cinética y potencial en energía eléctrica. (ESAN, 2012)

#### ✓ *CLASIFICACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.*

Las centrales hidroeléctricas pueden ser de dos tipos según la forma de captar y recircular el agua: de embalse o de flujo continuo. Las centrales hidroeléctricas de embalse almacenan agua en una presa, creando un lago artificial, que se utiliza como fuente de energía. En cambio, las centrales hidroeléctricas de flujo continuo no almacenan agua, sino que

aprovechan el caudal del río para generar energía. Las centrales hidroeléctricas además se pueden clasificar según su potencia en los siguientes tipos: Micro-hidroeléctricas: potencia inferior a 100 kW y se utilizan principalmente para la electrificación rural o pequeñas comunidades. Mini-hidroeléctricas: potencia entre 100 kW y 1 MW y se utilizan para suministrar energía a comunidades más grandes. Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH): potencia de entre 1 MW y 30 MW. Centrales hidroeléctricas de mediana potencia: potencia de entre 30 MW y 300 MW. Grandes centrales hidroeléctricas: potencia superior a 300 MW y se utilizan para la exportación de energía entre países. (Palomeque, Valdez, Jara, & Reinoso, 2020)

Las centrales hidroeléctricas también se pueden clasificar según el tipo de turbina que utilizan para generar electricidad. A continuación, se presentan los tipos de centrales hidroeléctricas según el tipo de turbina. Centrales hidroeléctricas con turbina Pelton, este tipo de turbina es adecuada para altas caídas de agua y baja cantidad de caudal. Centrales hidroeléctricas con turbina Francis, este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua moderadas y caudales medios. Centrales hidroeléctricas con turbina Kaplan: Este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua bajas y altos caudales. Centrales hidroeléctricas con turbina de flujo axial: utilizan una turbina de flujo axial para generar electricidad. Este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua bajas y altos caudales. (ITDG, 2009)

La elección del tipo de turbina dependerá de las características del recurso hídrico disponible en la zona, incluyendo la altura de caída del agua, la cantidad de caudal, la variación estacional de caudal y la calidad del agua. También se deben considerar otros factores como la eficiencia de la turbina, el costo de inversión y el mantenimiento. (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. ARMY ENGINEER, 2011)

Además, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según la altura de caída de agua disponible entre la cámara de carga y la sala de máquinas en donde se encuentra la turbina. A continuación, se presentan los tipos de centrales hidroeléctricas según la altura de caída de agua: Centrales hidroeléctricas de alta caída, son instalaciones que aprovechan una altura de caída de agua superior a 100 metros, lo cual permite obtener una gran cantidad de energía eléctrica con una menor cantidad de agua. Estas centrales son ideales para lugares con montañas o acantilados elevados. Centrales hidroeléctricas de media caída, son instalaciones que aprovechan una altura de caída de agua de entre 30 y 100 metros. Estas centrales son más comunes que las de alta caída, ya que requieren menos altura de caída que las anteriores. Centrales hidroeléctricas de baja caída, son instalaciones que aprovechan una altura de caída

de agua de menos de 30 metros. (OLADE, ONUDI, 2021)

Tabla N° 1 : Clasificación de potencias según salto neto de la tubería de presión, para la región Latinoamericana y el Caribe.

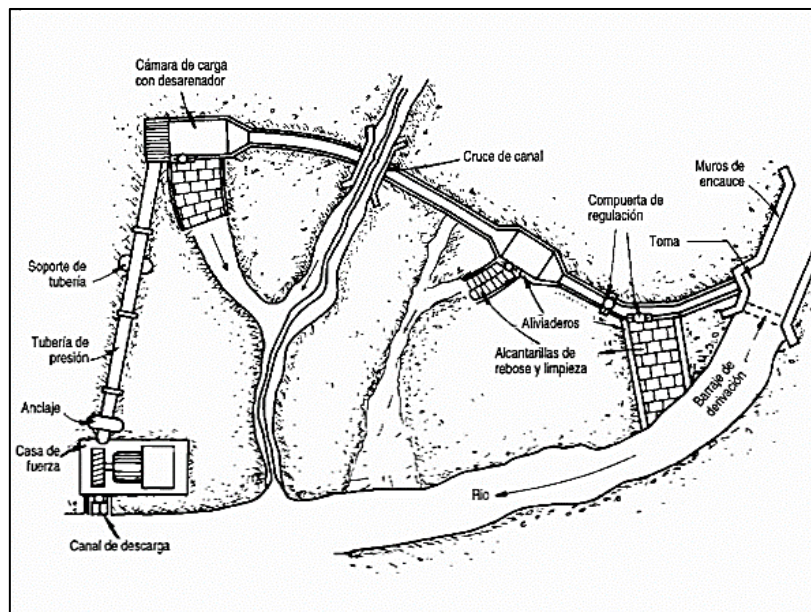
	RANGO DE POTENCIA (kW.)	SALTO ( m )		
		BAJO	MEDIO	ELEVADO
Microcentrales Hidroeléctricas	hasta 50	menos de 15	15-50	más de 50
Mini centrales hidroeléctricas	50-500	menos de 20	20-100	más de 100
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	500-5000	menos de 25	25-130	más de 130

Fuente: (OLADE, 1981)

#### ✓ OBRAS DE TOMA DE LA MCH.

Mediante Las obras de toma de una central hidroeléctrica son las estructuras que permiten captar el agua del río o embalse y conducirla hacia la central para generar energía eléctrica (Jeny & Leidy, 2018). Las partes principales de una obra de toma son las siguientes:

Figura N° 1: Estructuras hidráulicas de una minicentral hidroeléctrica

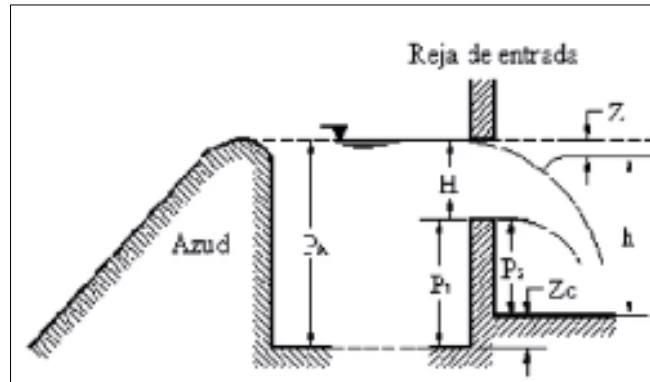


Fuente: (Sanchez et al., 1995 Pag.)

**Presa de toma o captación:** Una presa de toma o captación de un río es una estructura diseñada para desviar parte del caudal del río hacia un sistema de conducción, como una

tubería o canal, para su uso en riego, generación de energía hidroeléctrica o abastecimiento de agua. Su función principal es regular el flujo de agua y garantizar un suministro constante para diversas aplicaciones, minimizando el impacto ambiental y optimizando el uso del recurso hídrico (Marcelo E. 2010)

Figura N° 2:: Bocatoma convencional en captación de barrage fijo

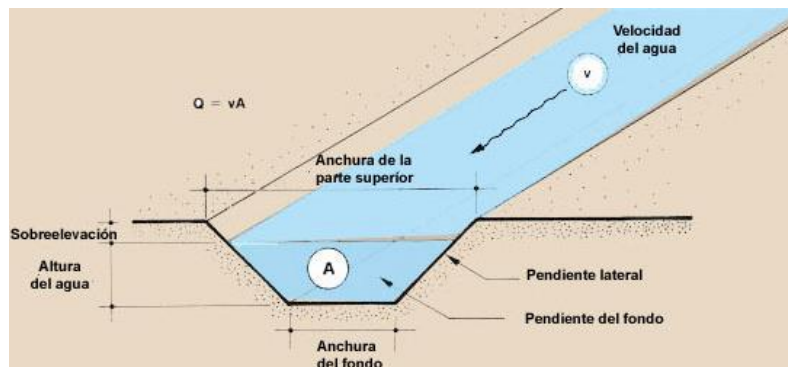


Fuente: (Moreno R. 2013)

**Compuertas:** son las estructuras que permiten la regulación del caudal que se dirige hacia la central hidroeléctrica.

**Canal de conducción:** Es una estructura que transporta el agua desviada del río hacia la casa de máquinas, donde se encuentran las turbinas. Su diseño puede variar, pudiendo ser un canal abierto o un sistema de tuberías. Este canal es crucial para garantizar un flujo eficiente y controlado de agua, optimizando así la generación de energía. Además, se considera la protección contra sedimentación y erosión, asegurando la durabilidad de la infraestructura y la eficiencia operativa de la planta. (Asareh, Ali ,2018)

Figura N° 3: Perfil de canal de conducción con sección trapezoidal



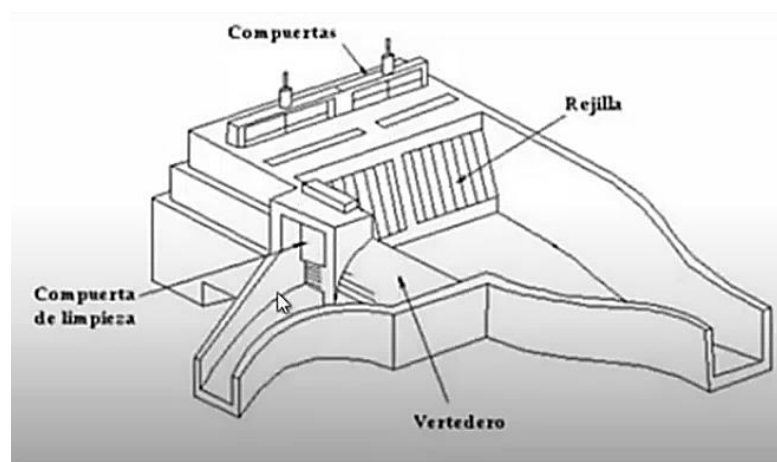
FUENTE: (Asareh, Ali ,2018)



**Desarenador:** Un desarenador en las obras de toma de una planta hidroeléctrica es una estructura diseñada para eliminar sedimentos y partículas sólidas del agua que se desvía del río. Su función principal es retener arenas y otros sedimentos, evitando que lleguen a las turbinas y sistemas de generación, lo que puede causar desgaste y reducir la eficiencia. Al mantener el agua más limpia, el desarenador ayuda a prolongar la vida útil de la infraestructura y a mejorar el rendimiento general de la planta. (Naquiche G, 2020)

**Cámara de carga:** Es una estructura que se utiliza para regular y estabilizar el flujo de agua antes de que ingrese al sistema de conducción, como las tuberías o canales. Su función principal es permitir que el agua se acumule, reduciendo la velocidad del flujo y garantizando que el caudal sea uniforme y constante. Esto ayuda a minimizar las turbulencias y facilita la operación eficiente de las turbinas, además de permitir la medición precisa del caudal. La cámara de carga también puede servir como un punto de acceso para el mantenimiento y la inspección del sistema. (Choque, D, 2015)

*Figura N° 4: Cámara de carga de central hidroeléctrica con 2 tuberías de presión y compuertas de salida.*



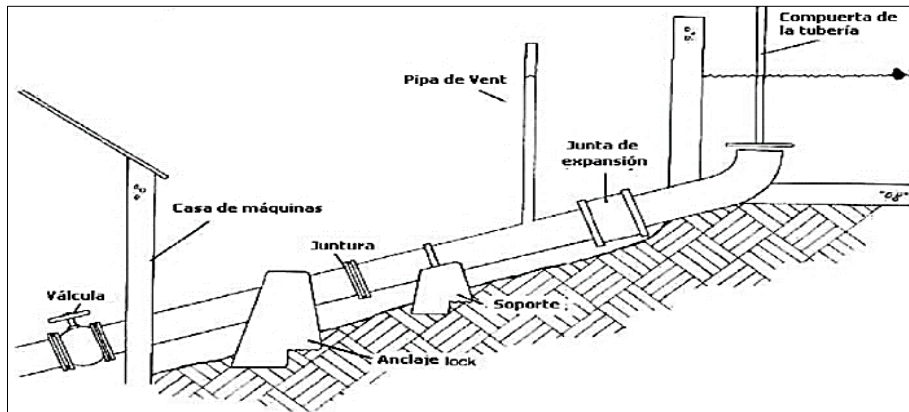
Fuente: Choque, D. (2015)

**Rejillas de limpieza:** Son estructuras que se colocan en la entrada de la obra de toma para evitar que objetos grandes o restos vegetales entren en el sistema.

**Conductos forzados:** Es un conducto diseñado para transportar agua desde la cámara de carga hasta las turbinas bajo presión. Su principal función es conducir el agua de manera eficiente, aprovechando la energía potencial del flujo para generar electricidad. Estas tuberías están diseñadas para soportar altas presiones y se fabrican con materiales resistentes

para prevenir rupturas o fugas.

Figura N° 5: Perfil de tubería de presión con juntas y soportes anclado a la sala de máquinas.



Fuente: (Palomeque V, 2020)

### 3.2.2 CLASIFICACIÓN DE DESARENADORES

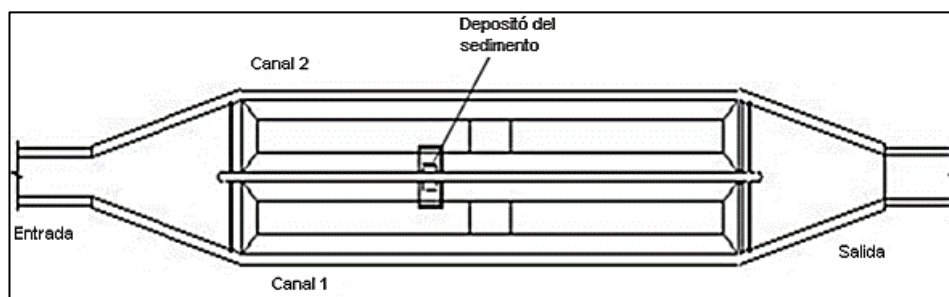
Los desarenadores pueden ser clasificados por diferentes aspectos en las distintas etapas que comprende planear un proyecto de generación de energía eléctrica, tanto en fase de diseño, ejecución y operación.

#### ✓ FASE DEL DISEÑO Y EJECUCIÓN

Según la velocidad del flujo, mientras menor sea la velocidad con la que atraviesa la sección (0,20 m/s y 0,60 m/s) garantiza una mayor remoción de partículas finas entre 0.10 mm y 0.25 mm. Para velocidades de (0,60 m/s y 1,50 m/s) asegura retención de partículas de diámetros entre los 0.25 mm y 0.50 mm. (Jeny & Leidy, 2018, p. 34)

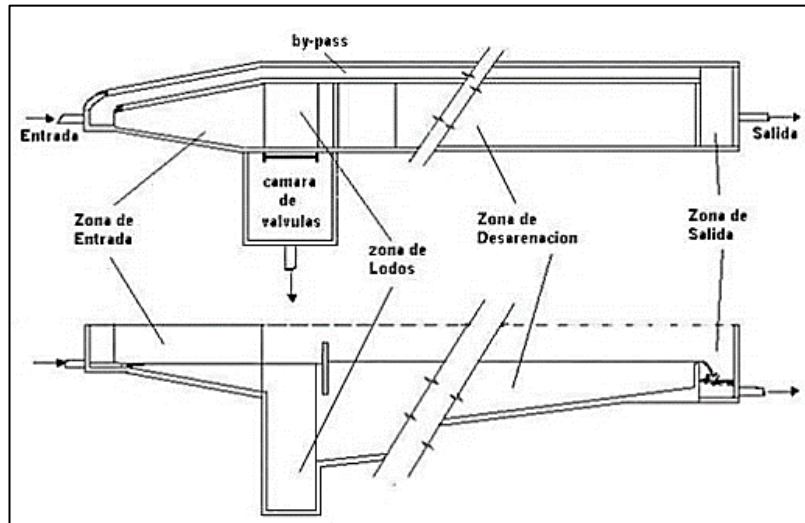
Según la disposición y ubicación de cabinas de arenación, esto dependerá de la cantidad de flujo que se desea desarenar, ya que para ello se pueden plantear cabinas de arenación en paralelo o en serie y diseñado para que cada una de las naves trabaje con una proporción de caudal. (Sánchez J., Jerez L., 2018)

Figura N° 6 : Esquema de un desarenador longitudinal en paralelo.



Fuente: (Zetina, 2013, p. 39)

Figura N° 7: Esquema de un desarenador de 1 unidad o nave, con by-pass



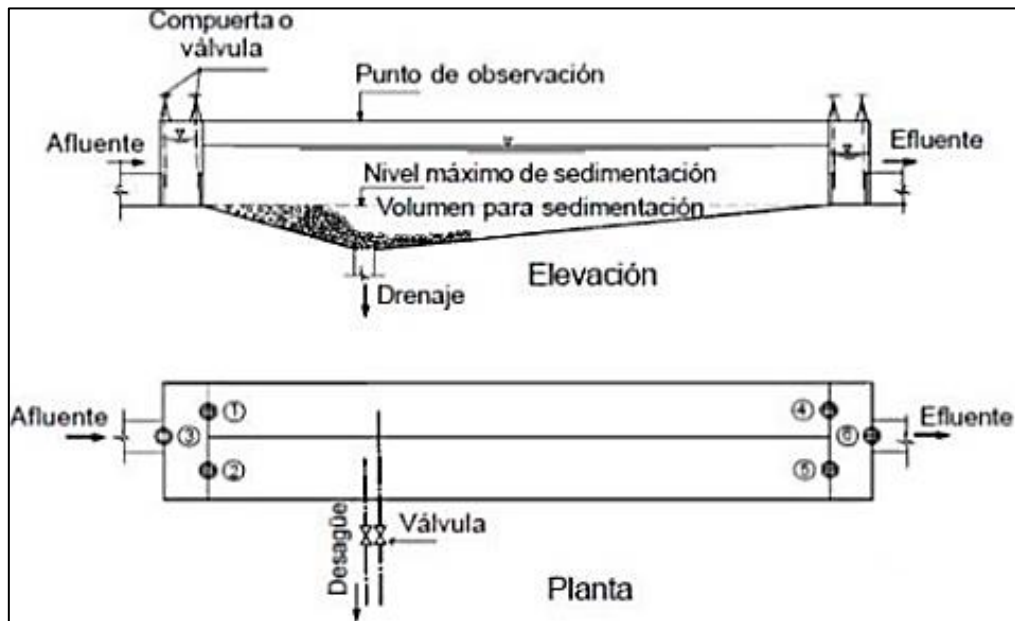
Fuente: (Zetina, 2013, p 14)

#### ✓ FASE DE OPERACIÓN

Los trabajos de operación definen el tipo de desarenador, ya que es diferente la operación para una planta de tratamiento de aguas residuales, que para una central hidroeléctrica. Desarenadores de purga continua, son aquellos en que las partículas decantadas son inmediatamente removidas y evacuadas permanentemente. Desarenadores de purga discontinuos o intermitente, e donde los sedimentos decantados se almacenan temporalmente en las cabinas de desordenación, para luego ser removidas, y evacuados mediante operaciones de purga que se efectúan periódicamente. (Zetina, 2013, p 42)

Según la dirección de flujo: Existen desarenadores de flujo horizontal, y vertical. El funcionamiento de un desarenador de flujo horizontal se basa en el principio de la sedimentación gravitacional. El agua entra en el desarenador a través de una entrada y fluye horizontalmente a través de un canal con una velocidad constante, lo que permite que las partículas pesadas se depositen en el fondo del canal. La velocidad del agua se reduce en la nave, lo que provoca que las partículas pesadas se separen del agua y se depositen en el fondo. El agua tratada sale del desarenador por una salida ubicada en la parte superior del canal. La arena y otros materiales sedimentables se acumulan en el fondo del canal y se eliminan periódicamente mediante un sistema de limpieza, que puede ser manual o automatizado. (SEDECAP, 2010)

Figura N° 8: Esquema de desarenador de flujo horizontal



Fuente: (SEPIS, OPS, 2005)

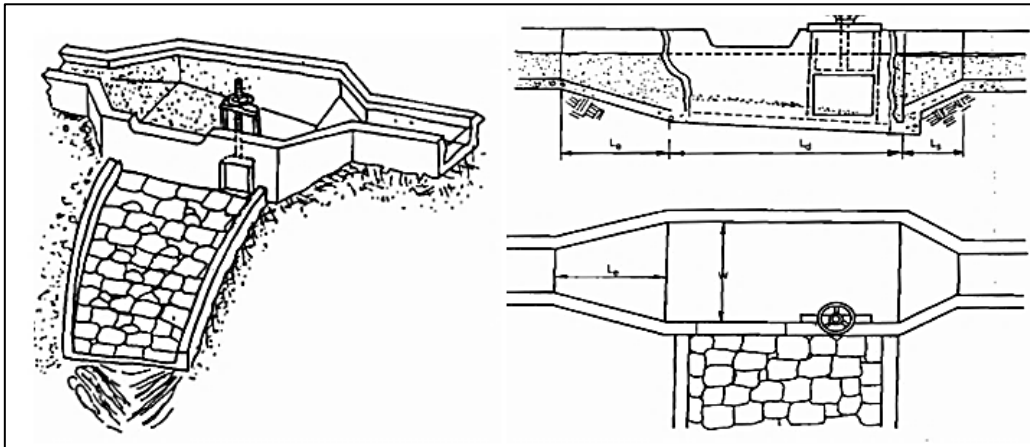
El funcionamiento de un desarenador de flujo vertical en cambio se basa en el principio de la sedimentación gravitacional ascendente. El agua entra en la parte superior del desarenador y fluye hacia abajo a través de una torre con un flujo ascendente de aire, lo que provoca que las partículas pesadas se depositen en el fondo de la torre. La velocidad del agua se reduce en la torre, lo que provoca que las partículas pesadas se separen del agua y se depositen en el fondo. Sin embargo, su eficacia puede verse afectada por la variación del caudal de agua y la presencia de materiales flotantes o partículas ligeras que no se sedimentan fácilmente. Además, requieren de una mayor altura que los desarenadores de flujo horizontal. (Zetina, 2013)

### 3.2.3 PARTES DE UN DESARENADOR

Según (SEPIS & OPS, 2005) Los desarenadores se pueden dividir en cuatro zonas. La zona de entrada, tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad. La zona de desarenación, parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad. La zona de salida, conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada, además constituida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección. Se recomienda estar totalmente cubierta para evitar posible contaminación externa. Londoño (2008). La zona de

depósito y eliminación de arena sedimentada, constituida por una tolva con pendiente mínima de 10% permite el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos, tal como se puede identificar en las figuras N° 5

Figura N° 9: Esquema de desarenador horizontal para micro centrales hidroeléctricas.



Fuente: (ITDG, 1995, p. 75)

### 3.2.4 EFICIENCIA DE DESARENADORES

La eficiencia de un desarenador en una central hidroeléctrica se refiere a la capacidad de la estructura para separar las partículas sedimentables, como arena y grava, del agua que se utiliza en el proceso de generación de energía eléctrica. La eficiencia del desarenador se expresa generalmente en términos de porcentaje de partículas sedimentables removidas del agua. (Winkler, 2022)

La eficiencia del desarenador en una central hidroeléctrica es importante porque las partículas sedimentables pueden causar problemas en las turbinas y otros equipos de la central hidroeléctrica. Por ejemplo, las partículas pueden acumularse en las turbinas y reducir su eficiencia, o pueden causar daños en las tuberías y otros equipos. Además, las partículas sedimentables pueden afectar la calidad del agua y, en casos extremos, pueden obstruir los canales de derivación y las obras de toma. (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. ARMY ENGINEER, 2011)

Por lo tanto, es importante que la eficiencia del desarenador sea alta para garantizar un funcionamiento óptimo de la central hidroeléctrica y evitar daños en los equipos. La eficiencia del desarenador puede verse afectada por varios factores, como la velocidad del

agua, el caudal, la concentración de partículas sólidas del flujo, el tamaño de las partículas sedimentables y la forma y tamaño de la estructura del desarenador. Por lo tanto, es importante seleccionar un desarenador adecuado y diseñarlo correctamente para garantizar una alta eficiencia y un funcionamiento óptimo de la central hidroeléctrica.

Si bien los factores que afectan la eficiencia del desarenador se correlacionan entre sí, los que dependen principalmente de las condiciones meteorológicas son el caudal y la concentración de sedimentos del flujo. Una fórmula empírica para el cálculo de la eficiencia en el desarenador sería como se muestra en la siguiente fórmula:

$$EFICIENCIA = \left( \frac{W_E - W_S}{W_E} \right) \times 100\% \quad (01)$$

Donde:

WE: Masa de recipiente con material sólido seco muestreado en la entrada.

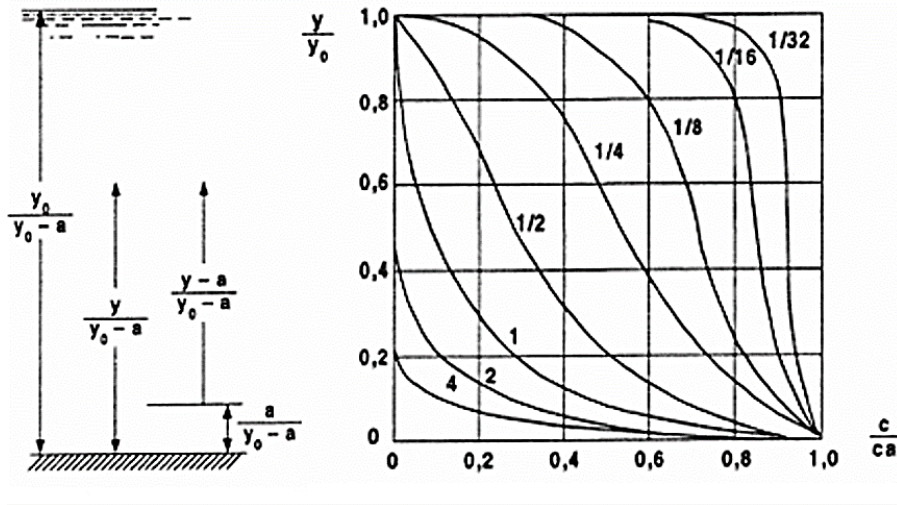
WS: Masa de recipiente con material sólido seco muestreado en la salida.

Pero las condiciones de eficiencia varían constantemente debido a la variabilidad de las condiciones en función del tiempo entre estas tenemos a las condiciones de granulometría de material, velocidad, caudales, pendientes de fondo de la poza de sedimentación, concentraciones y pesos específicos del sedimento.

La eficiencia de un desarenador en una central hidroeléctrica puede variar dependiendo de diversos factores, anteriormente mencionados, para autores como Corcho, (1993) espera que los desarenadores tengan una eficiencia de remoción de sedimentos del 79.05%. Sin embargo, en algunos casos la eficiencia puede ser menor debido a factores como la sedimentación en el fondo del desarenador, la reducción de la velocidad del agua en la zona de sedimentación, o la acumulación de sedimentos en la entrada del desarenador por lo que la eficiencia disminuye hasta valores de 75%. (Guerrero, Salazar, & Paredes, 2018)

Hunter Rouse da la relación entre la concentración a cada elevación “y” una concentración conocida a la elevación “a”

Figura N° 10: Curvas de las concentraciones teóricas de las arenas Rouse



Fuente: (Coronado, 2004)

Llamando “w” a la velocidad de caída de una partícula, “wc” la velocidad a la que cada sedimento decanta por unidad horizontal de área que depende sobre todo de la concentración “c” que puede representar el número, peso o cada volumen de las partículas por unidad de volumen de la mezcla agua sedimento.

Si se obtiene un estado de equilibrio la velocidad de sedimentación “wc” debe ser exactamente igual a la velocidad a la cual el material es levantado por la turbulencia, así si  $\epsilon$  es el factor de turbulencia cinemática.

$$\epsilon = \frac{n}{p} \quad (02)$$

Donde:

n: es una viscosidad molar dimensional

p: viscosidad dinámica dimensionalmente igual a “n” en la dirección x.

$$|\overline{v' y}| = I \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right| \quad (02)$$

$$wc = -\epsilon |\overline{v' y}| = \epsilon I \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right| \quad (03)$$

Integrando la ecuación se obtiene:

$$\ln \frac{c}{c_a} = -w \int_a^y \frac{dy}{\varepsilon} \quad (04)$$

Que relaciona la concentración a una elevación “y” con otra concentración conocida a una elevación “a”

La evaluación final de la distribución de los sedimentos se basa en el conocimiento de la variación de “ε” con “y” aunque la validez de la expresión ha sido comprobada con valores de “ε” independientes de “y” haciendo variar regular y constantemente la turbulencia desde abajo a lo alto y determinando las concentraciones con muestreos de varios niveles.

En canales abiertos “ε” varía necesariamente con y escribiendo en términos de gradiente de velocidad y combinado:

$$\bar{\tau} = \rho |\overline{v'} y| I \frac{\partial v_x}{\partial y} = \rho I^2 \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right| \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right| \quad (05)$$

$$\tau = \tau_0 \left( 1 - \frac{y}{y_0} \right) \quad (06)$$

En donde  $\tau_0$  es la fuerza tractiva en el fondo; se obtiene:

$$\frac{dy}{\varepsilon} = \frac{\rho dv/dy}{\tau_0(1-y/y_0)} dy \quad (07)$$

Con lo que resulta:

$$\ln \frac{c}{c_a} = \frac{wy_0}{\tau_0/\rho} \int_a^y \frac{dv/dy}{y_0-y} dy \quad (08)$$

Si se conoce el tirante, la pendiente (mientras  $\tau_0 = \gamma \cdot Y_0 \cdot S$ ) y la distribución de velocidad, esta ecuación se puede resolver por integración gráfica de la curva de distribución de sedimentos, referidos a una concentración a un nivel arbitrario “a”

Asumiendo una distribución logarítmica de las velocidades.

$$\frac{dv}{dy} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \frac{1}{y} \quad (09)$$



Sustituyendo en la ecuación de distribución de concentraciones resulta.

$$\frac{C}{C_a} = \left[ \frac{1-\frac{y}{y_0}}{\frac{y}{y_0}} * \frac{\frac{a}{y_0}}{1-\frac{a}{y_0}} \right]^Z = \left[ \frac{1-\frac{n}{n_0}}{1+\frac{n}{a}} \right]^Z \quad (10)$$

En la cual  $n = y - a$

$$Z = \frac{w}{k\sqrt{\tau_0/\rho}} = \frac{w}{k*V\sqrt{f/8}} = \frac{w}{0.4V} \quad (11)$$

Siendo “k” la expresión lineal de la rugosidad que adquiere un valor de 0,40 para la región central, coeficiente que disminuye con la carga de sedimentos; “f” es un coeficiente de resistencia al flujo.

#### ✓ **CÁLCULO DEL % DE REMOCIÓN DE PARTÍCULAS SEGÚN CRITERIO DE DISEÑO**

Según (Aurelio M, 2015) los desarenadores cumplen la función de retener, separar y eliminar los materiales sólidos en suspensión como arenas, arcillas y limos del de agua, mediante la disminución de la velocidad del flujo, utilizando el remanso y aumento de sección de paso. Garantizar la desarenación en obras de generación de energía hidroeléctrica atenúa el desgaste y abrasión de componentes mecánicos de la sala de máquinas como turbina, rodetes, bombas y válvulas; además provoca la disminución de la capacidad hidráulica de estructuras, como tubería de presión, canales y cámara de carga.

La eficacia del desarenador depende fundamentalmente de su superficie horizontal y de la velocidad de caída de las partículas en suspensión. la velocidad de circulación “v” del flujo horizontal es un inconveniente debido a la variación de caudal efluente.

La velocidad crítica es aquella velocidad inferior antes de la cual se inicia el arrastre de la partícula, el autor Bloodgood ya estudió una expresión analítica para la velocidad crítica “V<sub>c</sub>”.

$$V_c = \sqrt{230 (s - 1) * d} \quad (12)$$

Donde:

$V_c$ : Velocidad crítica

$s$ : Peso específico de la partícula en  $Kg/dm^3$

$d$ = diámetro de la particular en m

las partículas de sedimentación discreta comparten características que dependerán de dimensiones definidas como el volumen y la densidad. Por lo que se puede entender que las fuerzas que actúan en la partícula se encuentran en equilibrio. Tanto la fuerza gravitatoria “F” como la fuerza de rozamiento de la partícula “R”.

$$F = R \quad (13)$$

Donde:

F= Fuerza gravitatoria.

R= Fuerza de rozamiento generada por el deslizamiento de la partícula.

$$F = (\rho_p - \rho_f)g * V \quad (14)$$

$$R = (1/2Cd) * A_p * \rho_f * v^2 \quad (15)$$

Donde:

$\rho_p$ : densidad de la partícula

$\rho_f$ : densidad del fluido

$g$ : aceleración de la gravedad

$V$ : Volumen de la partícula

$Cd$ : Coeficiente de rozamiento.

$A_p$ : Superficie de la partícula en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento de la partícula.

$v$ : velocidad de caída de la partícula.

Reemplazando Ecu. 14, 15 en la Ecu. 13

$$(\rho_p - \rho_f)g * V = (1/2Cd) * A_p * \rho_f * v^2 \quad (16)$$

De la igualdad anterior se obtiene que la velocidad de caída de las partículas se puede determinar mediante la expresión:

$$v = \left( 2 \frac{V}{A_p} * \frac{g}{C_d} * \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Para partículas esféricas la expresión podría reducirse a:

$$v = \left( \frac{4d}{3} * \frac{g}{C_d} * \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Siendo “d” el diámetro de la partícula.

El coeficiente de rozamiento depende del régimen del flujo, por lo que se determina inicialmente el Número de Reynolds.

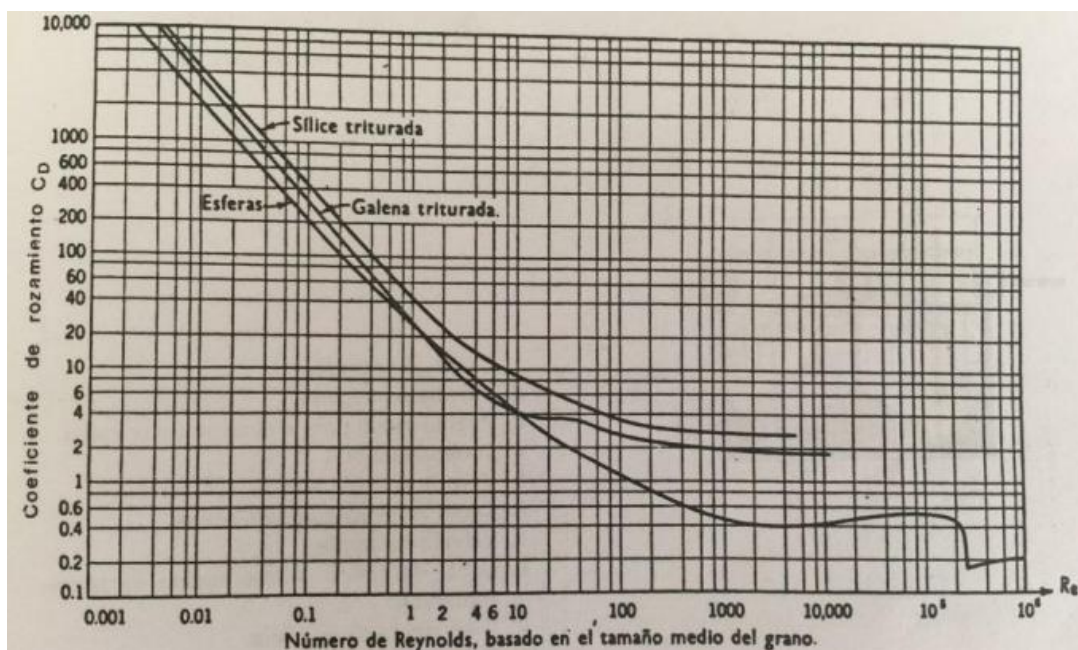
$$Re = \frac{v * R}{u} \quad (19)$$

Donde:

R: Radio hidráulico

u: Viscosidad cinemática del líquido

*Diagrama N° 1 :La relación entre el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds para partículas esféricas*



Fuente: Muñoz A. H (2015) depuración de aguas residuales, pág. 351

Los regímenes de flujo que se distinguen según el Número de Reynolds están entre los siguientes valores.

$$10^{-4} < Re < 10^{-1}, \text{régimen laminar}$$

$$5 \times 10^{-1} < Re < 2 \times 10^3, \text{zona de transición}$$

$$Re > 2 \times 10^3, \text{régimen turbulento}$$

El efecto de sedimentación en un desarenador y el cálculo de la velocidad horizontal varían según la clasificación del sedimento: arena fina, arena gruesa y grava. Así, se aplica una ley distinta para calcular la velocidad de sedimentación en cada caso. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

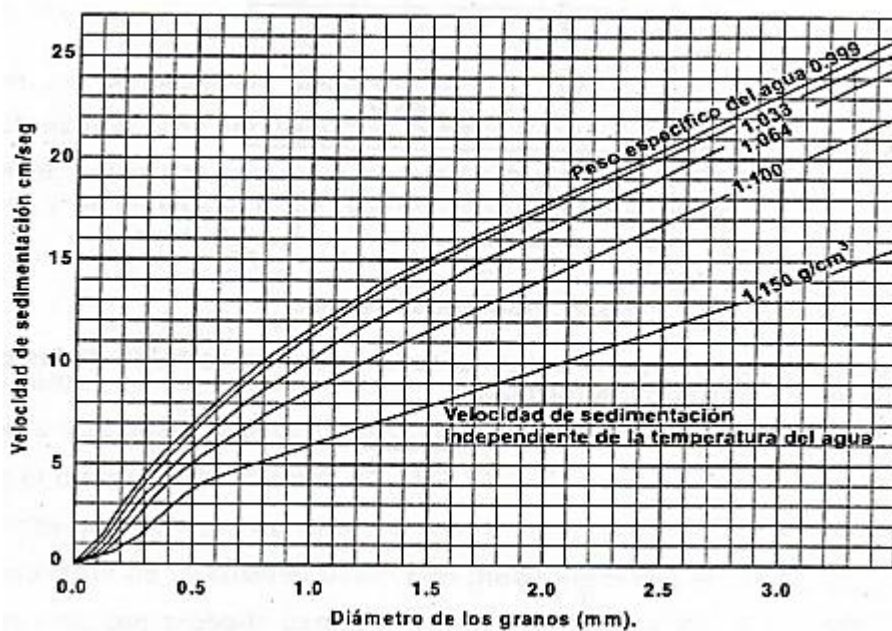
Material	Diámetro límite de las partículas (cm)	Número de Reynold s	Vs (cm/s)	Régimen	Ley aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{\frac{dg(\rho_a - \rho)}{\rho}}$ Newton
	0.1	1000	10		
	0.08	600	8.3		
	0.05	180	6.4		
Arena gruesa	0.05	27	5.3	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{1/3}} \right]$ Allen
	0.04	17	4.2		
	0.03	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
	0.015	2	1.5		

Arena	0.005	1.0	0.3	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho_f}{\mu} \right) d^2$ <p>Stokes</p>
Fina	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
	0.001	1.0	0.015		

Fuente: Adaptación de Organización Panamericana de la Salud (2005)

(Coronado, 2004) Entre las metodologías que presenta para hallar la velocidad de sedimentación incorpora el método de Surdy, en el cual se requiere conocer la densidad del agua y el diámetro de los granos (mm).

Figura N° 11: Gráfico de Sudry para hallar la velocidad horizontal de sedimentación



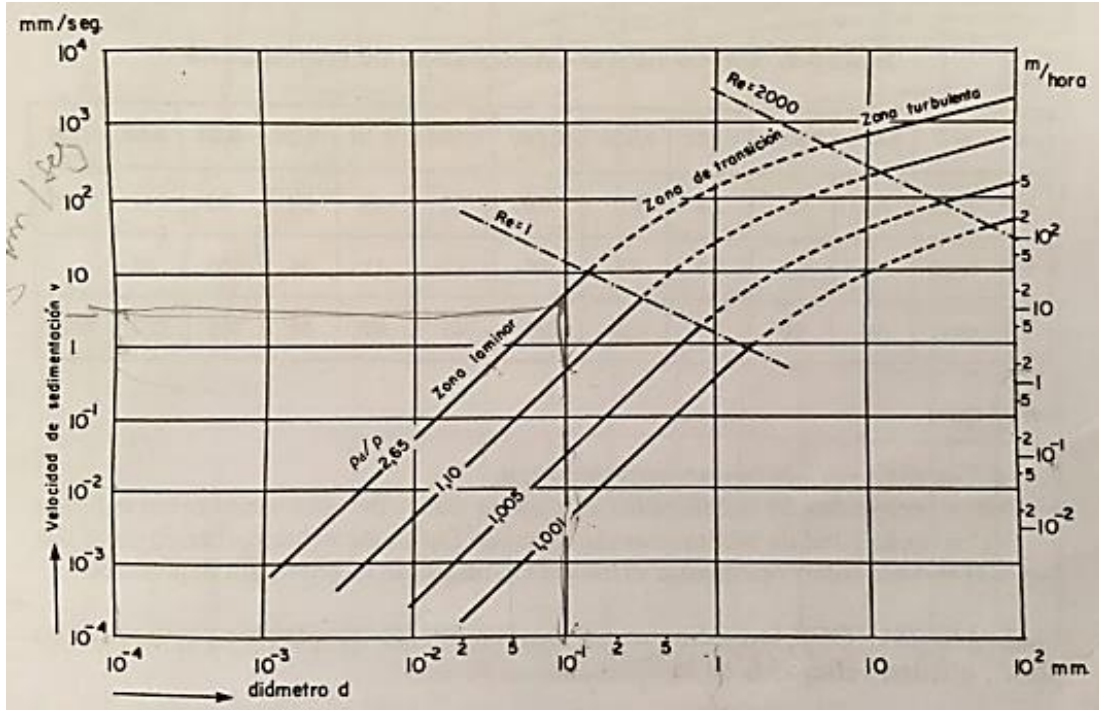
Fuente: (Coronado, 2004)

Se sabe que el proceso de sedimentación de las partículas discretas se da en el régimen de flujo laminar, por lo que el valor de  $C_d = 24/Re$ , por lo que al sustituir en la expresión de velocidad de caída de partículas esféricas tenemos:

$$v = \left( \frac{1}{18} * \frac{g}{\mu} * \frac{\rho p - \rho f}{\rho f} \right) * d^2 \quad (20)$$

La velocidad de sedimentación de partículas esféricas en función del diámetro, velocidad y de la densidad específica como se muestra en el gráfico.

Diagrama N° 2: Velocidad de sedimentación de partículas esféricas



Fuente: Muñoz A. H (2015), depuración de aguas residuales, pag 353

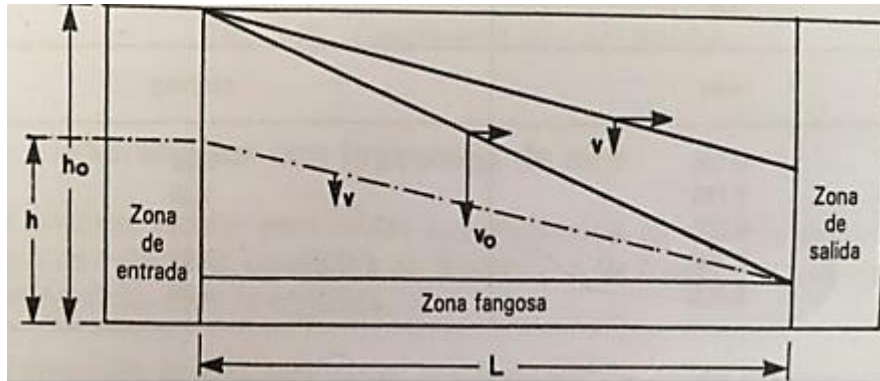
Tabla N° 2: Velocidad de caída de partículas esféricas.

Velocidad de caída de partículas esféricas en cm/seg				
Diámetro en mm	Agua de río		Agua de mar	
	10°C	20°C	10°C	20°C
2,00	28,15	29,20	27,46	28,42
1,50	22,80	23,90	22,20	23,18
1,00	16,40	17,50	15,86	16,82
0,80	13,40	14,60	12,81	13,81
0,60	9,75	10,95	9,47	10,48
0,50	8,05	9,00	7,65	8,59
0,40	6,20	7,00	5,75	6,62
0,30	4,05	5,00	3,73	4,52
0,25	3,10	3,75	2,80	3,45
0,20	2,21	2,65	2,02	2,45
0,18	1,85	2,17	1,68	2,05
0,16	1,51	1,76	1,38	1,68
0,14	1,20	1,43	1,09	1,35
0,12	1,00	1,10	0,82	1,02
0,10	0,67	0,80	0,60	0,75
0,08	0,44	0,58	0,39	0,51
0,06	0,25	0,32	0,22	0,29
0,05	0,18	0,23	0,15	0,20
0,04	0,11	0,14	0,098	0,128
0,02	0,028	0,036	0,025	0,033
0,01	0,007	0,009	0,006	0,008

Fuente: Muñoz A. H (2015), depuración de aguas residuales, pag 353

“Todas las partículas que tengan una velocidad de sedimentación superior a  $V_s$  quedaran completamente eliminadas. Aquellas cuya velocidad  $V_{s1}$  sea inferior a  $V_s$  se eliminarán en la relación  $V_{s1}/ V_s$ .” (Jeny & Leidy, 2018)

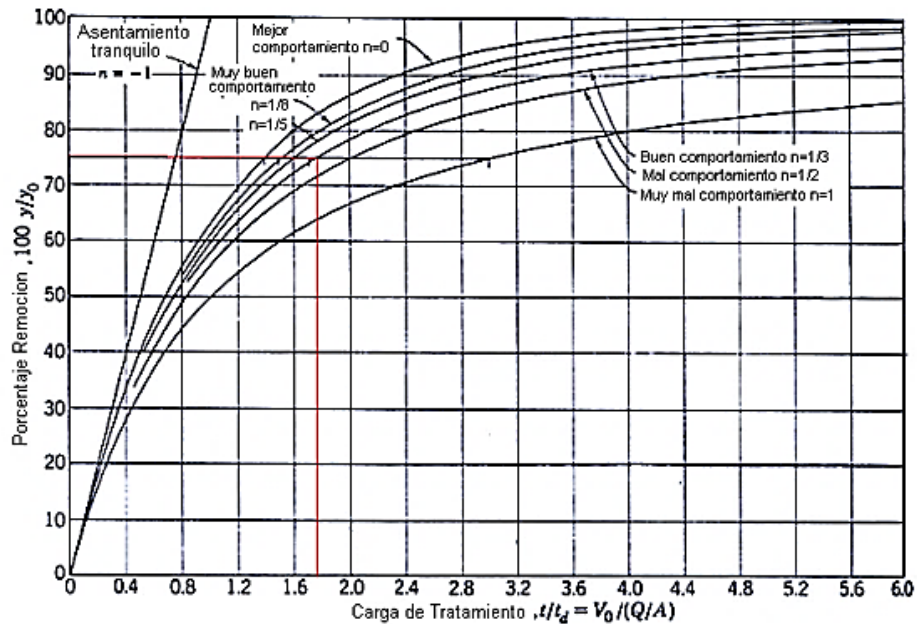
Figura N° 12: Croquis de velocidades horizontal y vertical.



Fuente: (Jeny & Leidy, 2018)

La determinación del porcentaje de remoción de partículas utiliza la teoría de HAZEN para distintas curvas de rendimiento y distintos tiempos de sedimentación se muestran a continuación:

Diagrama N° 3: Curvas de comportamiento y eficiencia de remoción de partículas.



Fuente: G. Rivas Mijares, 1978

Donde:

y/yo: porción de partículas sedimentadas (%)

$t_0 = h/V_s$ : tiempo de sedimentación para una velocidad de sedimentación determinada y altura de tanque.

t: tiempo preciso para atravesar el tanque de desarenado por una partícula dada con una probabilidad de sedimentar y/yo.

t: Volumen del tanque / caudal.

t/to : tasa de tratamiento.

y: cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  sedimentadas.

yo: cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  entrante en el tanque

yo-y: cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  que permanecen en suspensión en un tiempo t.

530 condiciones de operacó

196 pishics

### **3.2.5 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE ACUERDO A ECUACIONES DE MOVIMIENTO Y SISTEMAS DE COORDINACIÓN CFD**

Según Science, F. 2008 El movimiento de los fluidos se describe con ecuaciones diferenciales de segundo orden, transitorias y no lineales. Las ecuaciones de fluidos se deben emplear en el movimiento del dinámico para resolver estas metodologías con distintas ecuaciones. Estos métodos se llaman dinámica de fluidos computacional. Una solución numérica de estas ecuaciones implica aproximar los distintos términos con expresiones algebraicas. Las ecuaciones resultantes luego se resuelven para obtener una solución aproximada al problema original. El proceso se llama simulación representada en un esbozo de lo numérico.

#### **✓ SISTEMAS DE COORDINACIÓN DE ECUACIONES DEL MOVIMIENTO**

Las ecuaciones diferenciales a resolver se escriben en términos de coordenadas cartesianas (x, y, z). Para cilíndrico coordenadas (r,  $\theta$ , z) la coordenada x se interpreta como la dirección radial, la coordenada y se transforma a la coordenada azimutal,  $\theta$ , y z es la coordenada axial. Para geometría cilíndrica, se deben especificar términos adicionales. añadido a las ecuaciones cartesianas de movimiento. Estos términos se incluyen con un coeficiente  $\xi$ , tal que  $\xi=0$  corresponde a la geometría cartesiana, mientras que  $\xi=1$  corresponde a la geometría



cilíndrica. (Flow Science, 2008)

### ✓ ECUACIÓN DE CONTINUIDAD DE MASAS Y SUS VARIACIONES

La ecuación general de continuidad de masa es:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (21)$$

Donde VF es la fracción de volumen abierto al flujo,  $\rho$  es la densidad del fluido, R es un término de difusión turbulenta y R es una fuente masiva. Los componentes de la velocidad (u, v, w) están en las direcciones de coordenadas (x, y, z) o (r,  $\theta$ , z). A es el área fraccional abierta al flujo en la dirección x, A y A son fracciones de área similares para el flujo en la dirección y y z direcciones, respectivamente. El coeficiente R depende de la elección del sistema de coordenadas de la siguiente manera. Cuando se utilizan coordenadas cilíndricas, las derivadas y deben convertirse en derivadas acimutales, esta transformación se logra usando la forma equivalente (FlowScience, 2008)

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r_m}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad (22)$$

Donde  $y = r_m \theta$  y  $r_m$  es un radio de referencia fijo. La transformación dada por la ecuación (3.3) es particularmente conveniente porque su implementación solo requiere el multiplicador  $R = r_m/r$  en cada derivada y en las ecuaciones de coordenadas cartesianas originales. Cuando se van a utilizar coordenadas cartesianas, R se establece en la unidad y  $\xi$  es puesto a cero

El primer término en el lado derecho de la ecuación anterior es un término de difusión turbulenta.

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left( u_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left( v_\rho A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( w_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho u_\rho A_x}{x} \quad (23)$$

Donde el coeficiente  $u_\rho$  es igual a  $cp\mu/\rho$ , en el que  $\mu$  es el coeficiente de difusión de momento (es decir, la viscosidad) y  $cp$  es una constante cuyo recíproco generalmente se conoce como número de Schmidt turbulento. (FlowScience, 2008)

donde  $c^2$  es el cuadrado de la velocidad del sonido y p es la presión. Esta aproximación es

válida en el rango.

$$\left| \frac{\delta\rho}{\rho} \right| < 0.1. \quad (24)$$

Con esta aproximación, la ecuación de continuidad modificada se convierte en:

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (25)$$

### ✓ **MODELO GENERAL DEL MOVIMIENTO DE OBJETOS**

Un objeto en movimiento general (OGM) es un cuerpo rígido que puede moverse con seis grados de libertad, acoplándose dinámicamente con un flujo de fluido o siguiendo un movimiento prescrito. Cada OGM puede tener diferentes tipos de movimiento, combinando traslación y rotación. Se utilizan dos sistemas de referencia: el "sistema corporal" para el objeto y el "sistema espacial". En cada paso de tiempo, se calculan fuerzas y pares hidráulicos, y se resuelven las ecuaciones de movimiento, considerando efectos como la gravedad y fuerzas no inerciales. Además, se actualizan las fracciones de área y volumen según la posición de los objetos. Existen dos métodos para acoplar el movimiento del OGM con el flujo de fluido: el método explícito, que funciona mejor con objetos pesados, y el implícito, recomendado para objetos ligeros o problemas de gran masa. (FlowScience, 2008)

Para facilitar el cálculo, se configura un sistema corporal ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) para cada objeto en movimiento con su coordenada ejes paralelos a los del sistema espacial en el tiempo  $t=0$ . Si el movimiento de un objeto tiene seis grados de libertad, el origen del cuerpo. El sistema se establece en el centro de masa del objeto  $G$ . Transformación de coordenadas entre el sistema espacial ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) y el sistema corporal ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) es:

$$\mathbf{x}_s = [\mathbf{R}] \cdot \mathbf{x}_b + \mathbf{x}_G \quad (26)$$

Donde  $X_s$  y  $X_b$  son vectores de posición de un punto en el espacio y sistemas corporales, respectivamente,  $X_g$  es el vector de posición del centro de masa en el sistema espacial, y  $[\mathbf{R}]$  es un tensor de transformación de coordenadas ortogonales.

$$[R] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Donde  $R_{ij}R_{jk} = \delta_{ik}$ , y  $\delta_{ik}$  es el símbolo  $\delta$  de Kronecker. Es una propiedad de [R] que es inversa y transpuesta las matrices son idénticas. Para un vector espacial A, la transformación entre los sistemas espacial y corporal es:

$$\mathbf{A}_s = [R] \cdot \mathbf{A}_b \quad (28)$$

donde  $A_s$  y  $A_b$  denotan expresiones de A en sistemas espaciales y corporales, respectivamente. [R] se calcula resolviendo

$$\frac{d[R]}{dt} = [\Omega] \cdot [R] \quad (29)$$

Donde:

$$[\Omega] = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_z & \Omega_y \\ \Omega_z & 0 & -\Omega_x \\ -\Omega_y & \Omega_x & 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$\Omega_x$ ,  $\Omega_y$  y  $\Omega_z$  son componentes x, y y z, respectivamente, de la velocidad angular del objeto en el sistema espacial. Además

$$\mathbf{T}_G = [J] \cdot \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times ([J] \cdot \boldsymbol{\omega}) \quad (31)$$

Respectivamente, donde F es la fuerza total, m es la masa del cuerpo rígido, TG es el par total alrededor de G, [J] es el momento de tensor de inercia en el sistema corporal ("tensor de inercia")

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} \cdot \quad (32)$$

Los elementos  $J_{11}$ ,  $J_{22}$ ,  $J_{33}$  son momentos de inercia mientras que los demás elementos son productos de inercia.

$$J_{11} = \int (y'^2 + z'^2) dm, J_{22} = \int (x'^2 + z'^2) dm, J_{33} = \int (x'^2 + y'^2) dm \quad (33)$$

$$J_{12} = J_{21} = -\int x' y' dm, J_{13} = J_{31} = -\int x' z' dm, J_{23} = J_{32} = -\int y' z' dm \quad (34)$$

Si los ejes de coordenadas  $x'$ ,  $y'$  y  $z'$  coinciden con los ejes principales del objeto, los productos de inercia desaparecen.

### ✓ *DINÁMICA DE PARTÍCULAS DISCRETAS EN FLOW-3D*

La idea detrás del incremento de difusión es considerar la partícula como fuente puntual. Después de un intervalo de tiempo,  $\delta t$ , esta fuente puntual debería difundirse en todas direcciones, formando una pequeña nube con una distribución de masa gaussiana en cada dirección (es decir, es una "bocanada gaussiana"). Sin embargo, la partícula es seguir siendo un punto discreto. Entonces, en lugar de reemplazarla con una distribución, la nube gaussiana se interpreta como mapa de probabilidad para mover la partícula. (FlowScience, 2008)

Usando un generador de números aleatorios, una nueva ubicación para la partícula se selecciona con una probabilidad correspondiente a la distribución de masa dentro de la nube. De esta manera un Se genera una aproximación de Monte Carlo para la difusión local de cada partícula. Tres números aleatorios son seleccionados para cada partícula para calcular cambios aleatorios en cada una de las tres direcciones de coordenadas. repetición de Este proceso a lo largo de muchos pasos de tiempo, junto con la advección del flujo medio, producirá una solución para la ecuación de transporte escalar. (FlowScience, 2008)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial C}{\partial x} + v A_y \frac{\partial C}{\partial y} + w A_z \frac{\partial C}{\partial z} \right] = \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( A_x D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left( A_y D R \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( A_z D \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right] \quad (35)$$

En la que  $C$  es la concentración de partículas marcadoras. Por supuesto, la precisión de la solución mejorará a medida que aumenta el número de partículas por unidad de volumen.

Se pueden incluir múltiples especies de partículas de masa en la simulación de fluidos en FLOW-3D. La dinámica de la masa de partículas se rige por la ecuación

$$\frac{d\mathbf{u}_p}{dt} = -\frac{1}{\rho_p} \nabla P + \mathbf{g} + \alpha(\mathbf{u} - \mathbf{u}') + \beta(\mathbf{u} - \mathbf{u}')|\mathbf{u} - \mathbf{u}'| \cdot \frac{\rho}{\rho_p} \quad (36)$$

donde  $u^1 = u_p + u_{diff}$ ,  $u_p$  y  $\rho_p$  son la velocidad y densidad media de las partículas, respectivamente,  $g$  incluye la gravedad y otras fuerzas corporales,  $\mathbf{u}$  y  $P$  son la velocidad y presión del fluido y  $\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes de arrastre divididos por masa de partículas (variables de entrada PDRG1 y PDRG2, respectivamente)

El usuario puede especificar los coeficientes de resistencia constante,  $\alpha$  y  $\beta$ . Alternativamente, un coeficiente de resistencia variable se puede emplear, que es función del número de Reynolds del flujo de fluido alrededor de las partículas,  $Re = d\rho U/\mu$  donde  $d$  es el diámetro de la partícula,  $U=|\mathbf{u}-\mathbf{u}'|$  y  $\mu$  es la viscosidad del fluido. Para partículas esféricas este arrastre El coeficiente está dado por la relación empírica. (FlowScience, 2008)

$$C_D = \frac{4d}{3} \beta = \left( \frac{24}{Re} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re}} + 0.4 \right) \quad (37)$$

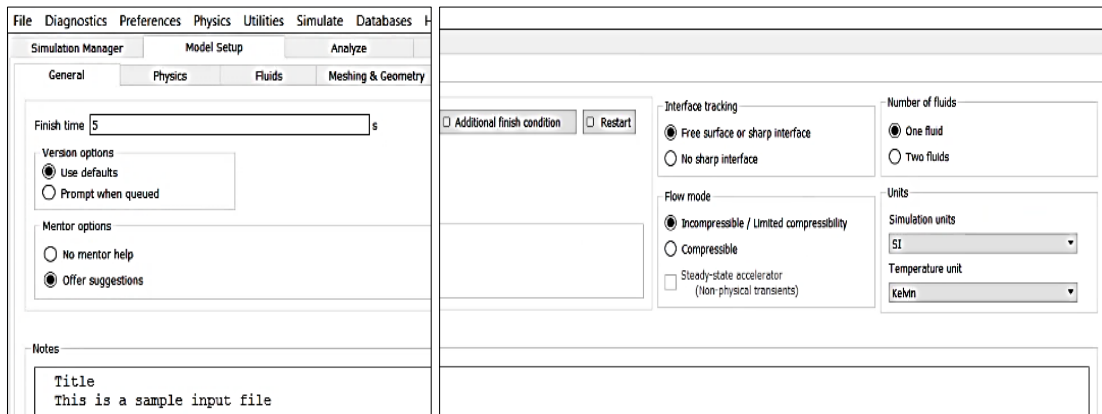
Se puede aplicar un modelo de partículas de múltiples especies para simular partículas de tamaños variables o de densidad variable. Por ejemplo, este modelo podría usarse para modelar inclusiones extrañas en metales líquidos o partículas de polvo en el aire.

#### ✓ **CALIBRACIÓN Y INGRESO DE FÍSICAS Y CONDICIONES DE MODELAMIENTO EN FLOW-3D**

En la subpestaña General, el usuario establece ciertas opciones fundamentales para una simulación FLOW-3D, que incluyen parámetros tales como modo de flujo (compresible versus incompresible), condición de acabado (tiempo versus llenado fracción), número de fluidos, unidades de simulación y más. La subpestaña General es también donde el usuario establece el parámetro para una simulación de reinicio.

En el cuadro desplegable *Unidades de simulación* en la sección *Unidades*, el usuario puede seleccionar las unidades que se utilizarán en la configuración. plantear un problema. Se utiliza un sistema unitario para especificar las propiedades de fluidos y componentes. hay cuatro opciones para unidades de simulación: SI, CGS (selección predeterminada), Ingeniería y Personalizado. (FlowScience, 2008)

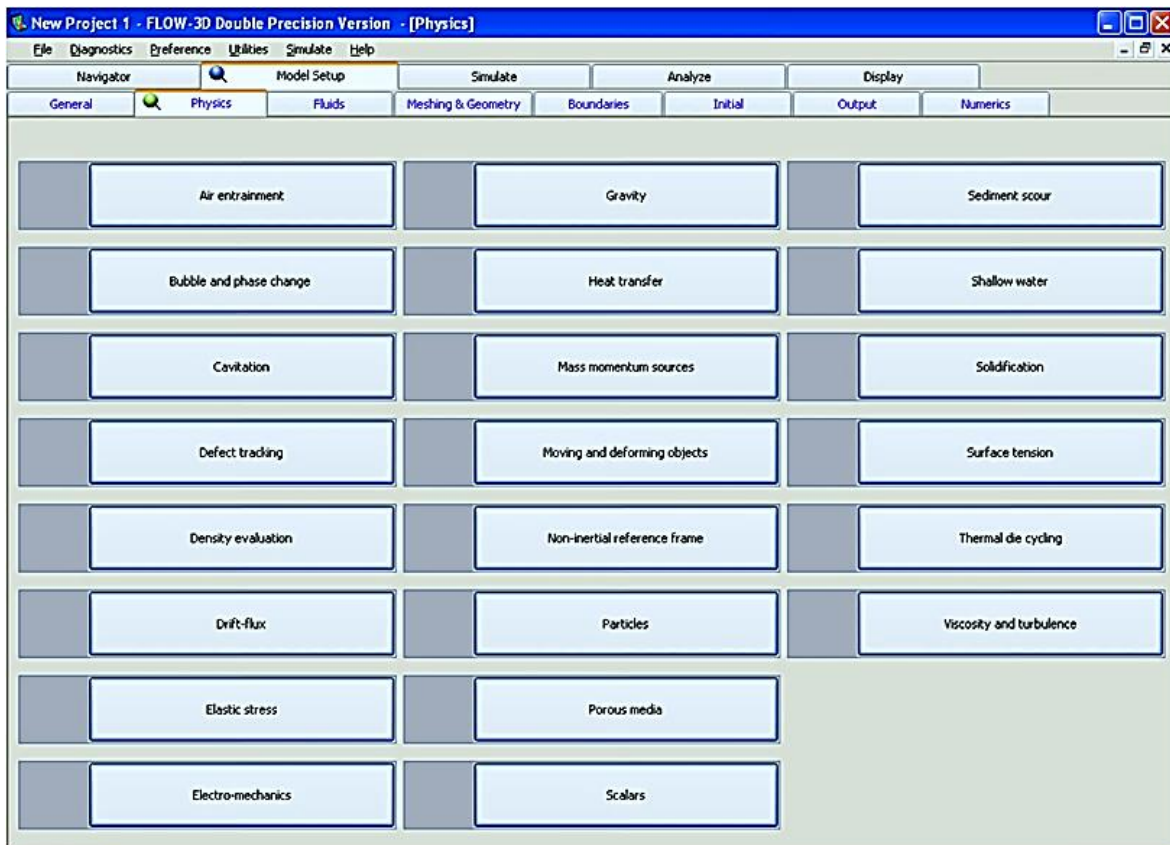
Figura N° 13: Model Set Up -general, con condiciones de y números de fluidos



Fuente: (FlowScience, 2008)

La subpestaña *Física* es donde el usuario selecciona los modelos físicos que se utilizarán en su simulación. Cada botón proporciona acceso a un cuadro de diálogo o cuadros donde el usuario enciende el modelo e ingresa información o cambios opciones asociadas al modelo físico seleccionado. El usuario debe especificar los modelos físicos apropiados a través de la subpestaña Física antes de pasar a la subpestaña Fluidos.

Figura N° 14: Tabla de ingreso para condiciones físicas del modelo numérico.



Fuente: (FlowScience, 2008)

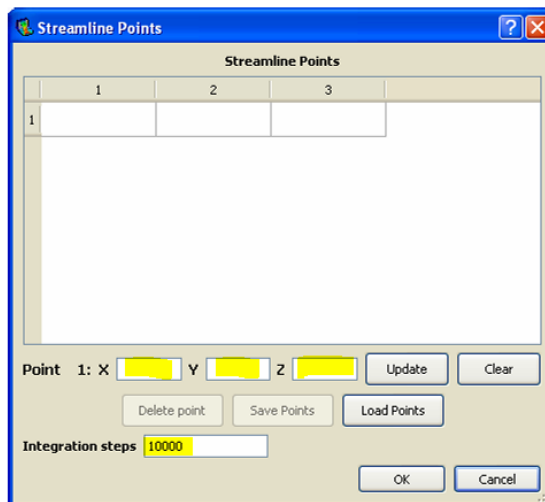
- **Calibración en Flow 3D con Multi Block Mesh.**

La cuadrícula de bloques múltiples en FLOW-3D permite a los usuarios modelar fenómenos de flujo complejos para ejecutar sus simulaciones utilizar los recursos del ordenador de forma más rápida y, al mismo tiempo, más eficiente. Se puede anidar un bloque de malla (contenidos enteramente dentro de otro bloque) o vinculados (unidos a otro bloque en sus límites). Cada malla El bloque puede tener un conjunto de condiciones de contorno estándar en sus límites externos.

- **Streamline Contour Points**

Si el usuario ha seleccionado agregar líneas de corriente simples o de colores en el menú Opciones, los puntos de partida en el botón de puntos. Ingrese una ubicación en los cuadros de edición X, Y y Z, en el cual se mostrará el número de iteración que realizara el software para guardar en el fichero de puntos límite de contorno, luego haga clic en Actualizar para agregar un punto. Los puntos optimizados se pueden guardar (haga clic en Guardar puntos para guardarlos como un archivo \*.spts en el directorio deseado). Archivos guardados La configuración de puntos de aerodinámica se puede abrir haciendo clic en el botón Cargar puntos.

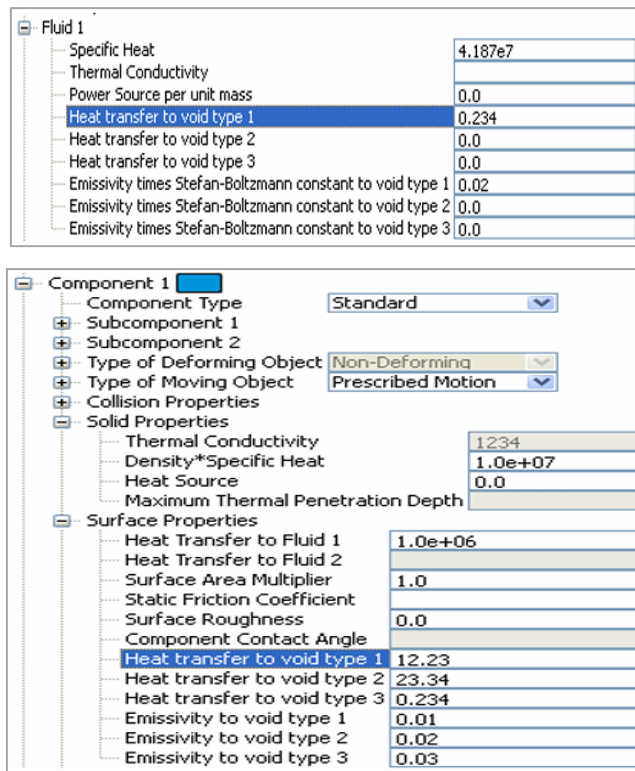
Figura N° 15: Cuadro de asignación de punto o nodo de iteración.



Fuente: User Interface-Flow 3D, 2016

Los datos también se muestran en una ventana de datos y se pueden guardar como un archivo ASCII con otro nombre. La salida de archivo neutral requiere un archivo *transf.in* que define los puntos a datos de salida, los principales parámetros ajustables que podemos iterar en el modelamiento tanto para el fluido líquido como para los sólidos son los siguientes.

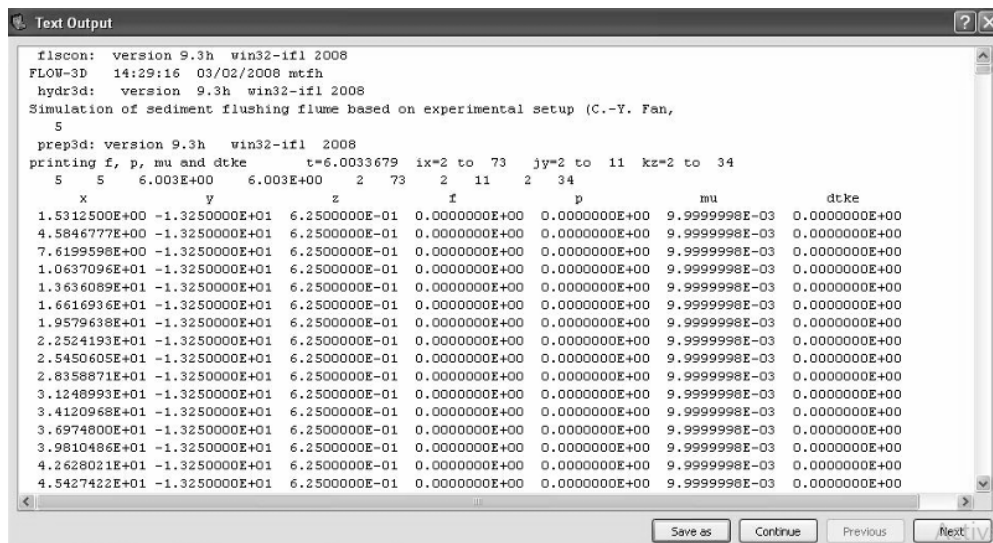
Figura N° 16: Propiedades físicas del fluido y componentes sólido de partículas, en condiciones de variación de temperatura, es decir se asignan en un punto específico, de la cual se genera un nodo con distintas condiciones.



Fuente: User Interface-Flow 3D, 2016

Al final del cargado de todos los datos en cada punto las matrices con elementos finitos de contorno se mostrarán en una tabla general de salida, la cual utilizará el modelo con distintas condiciones calculadas y calibradas.

Figura N° 17: simulación de sedimentos en el canal de lavado basado en pruebas experimentales configurables



Fuente: User Interface-Flow 3D, 2016



### **3.2.6 HIDRÁULICA FLUVIAL**

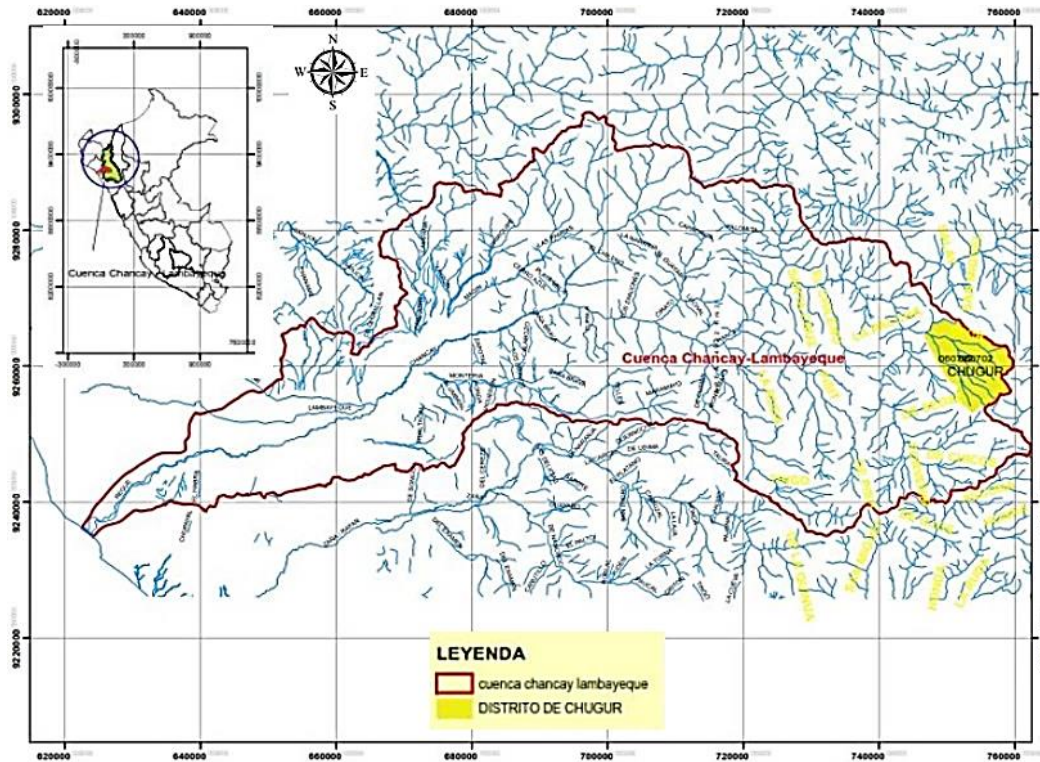
Estudiar el comportamiento de los ríos y las corrientes de agua naturales o con presente intervención del hombre, es de suma importancia en proyectos de ingeniería, y en planes de manejo de recursos hídricos, es ahí donde interviene la hidráulica fluvial. Su objetivo es entender la dinámica de los flujos de agua en los ríos, incluyendo la velocidad del agua, la profundidad, la forma de la superficie del agua, la erosión y la sedimentación. (Rocha F. 2001)

#### **✓ QUEBRADA RAMÍREZ**

Ubicada al sur – este del Distrito de Chugur, la cual confluye con el Río Tacamache, tributarios que recogen las aguas de la parte alta del distrito, y de las faldas de los cerros Cashunga, Potrerillo, para formar el Río San Juan, afluente de la Cuenca Chancay-Lambayeque, vertiente del Pacífico, según el Ordenamiento Territorial de la Región Cajamarca Zonificación Económica y Ecológica, Mapa Hidrográfico UTM-WGS 1984, Zona 17sur. Impulsado por el ANA 2009, datos de ZEE-OT 2012, elaborado por el Gobierno Regional de Cajamarca.

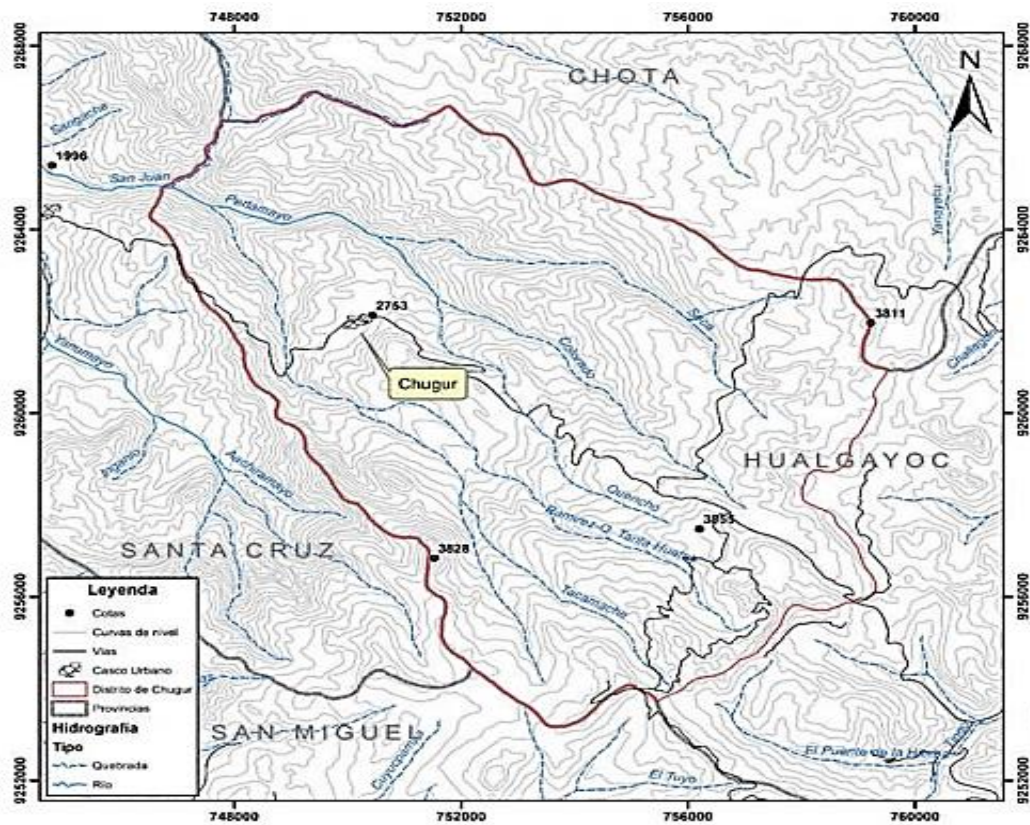
Las quebradas además se abastecen de aguas de las zonas altoandinas de la provincia de Hualgayoc, Quebrada Tanta Huatay, lugar con abundante recurso y oferta hídrica, permanente durante todo el año, aunque en temporadas de estiaje mengüe su caudal. Esta fuente de agua es un afluente importante para abastecer al reservorio de Tinajones en Chongoyape, Lambayeque. (CIMBIOTYC, 2019)

Figura N° 18 : Mapa de la Cuenca Hidrográfica Chancay - Lambayeque.



Fuente: (CIMBIOTYC, 2019)

Figura N° 19: Mapa Hidrológico y de zonas de recarga Hídrica del distrito de Chugur.



Fuente: (CIMBIOTYC, 2019)

### ✓ **CAUDAL**

“Es la descarga líquida en un río, representa el volumen de agua que pasa por una sección transversal o sección de control en un intervalo de tiempo. Generalmente sus unidades de medición se expresan en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) o litros por segundo (l/s). (SENAMHI, 2018)

#### **Aforos de Ríos y Canales**

La alta demanda de los recursos hídricos actualmente, requiere de una planificación, manejo, uso y consumo eficiente, cuando el agua es escasa su costo de oportunidad es alto, de modo que el valor intrínseco por unidad volumétrica de agua aumenta día a día, consecuentemente a esto es necesario conocer la oferta hídrica de la subcuenca en las diferentes estaciones del año, del mismo modo, los usos que se viene dando al agua. (IMTA, 2018)

“En 2018, el 29,3% correspondió a usos consuntivos, mayoritariamente agrícola (74,8%), y el 70,7% a usos no consuntivos, principalmente energía (97,7% de la demanda total no consuntiva), dado que 81% de la electricidad en Perú proviene de fuentes hidráulicas” (ESAN, 2012)

Aforar un río o canal, nos permite conocer la oferta de agua disponible (caudal), a partir del cual se puede generar un plan de extracción y conducción según sea el gasto requerido.

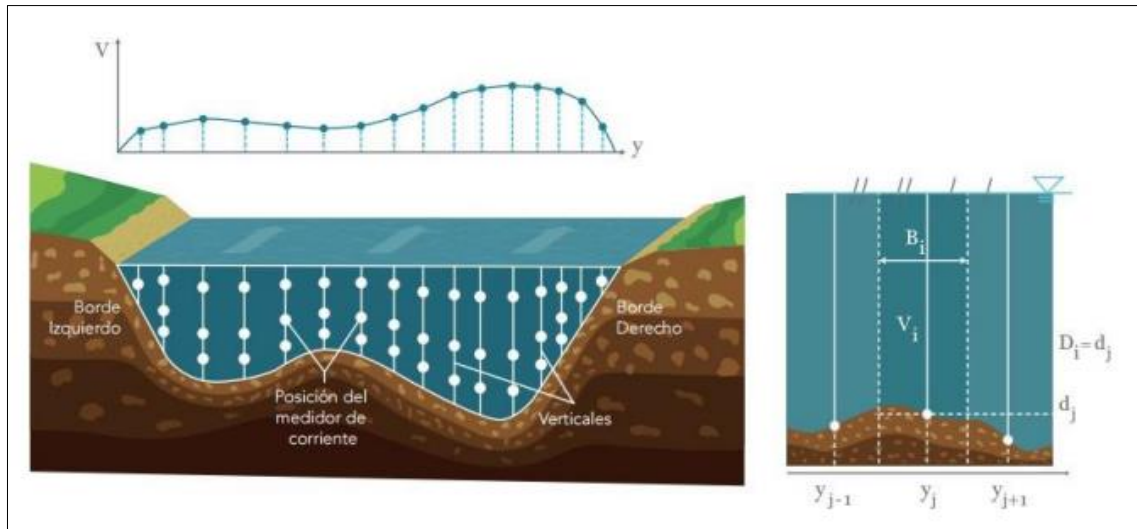
#### **Aforo con correntómetro**

Este tipo de correntómetro utiliza como elemento de rotación una hélice que gira alrededor de un eje horizontal y opera bajo el mismo principio del correntómetro de copas. (IMTA, 2018)

El principio de funcionamiento del correntómetro se basa en una conexión entre un rotor y una hélice diseñada aerodinámicamente y su rotación se realiza con el mínimo de rozamiento. Actualmente existen hélices de metal y de material sintético, siendo las primeras, las más recomendables para el caso de nuestros ríos. (OMM, 2018)

La medición de velocidades, con el correntómetro, en un número suficiente de puntos de la sección transversal de la estación de aforos, nos permite calcular la velocidad promedio con que se desplaza la corriente de agua. Este valor calculado se multiplicará por el área de la referida sección y obtener el caudal correspondiente al nivel de agua, en el momento que se realiza el aforo (AMVA , 2018)

Figura N° 20: Método Velocidad-Área: Discretización de las verticales en la sección transversal y su perfil de velocidad media.



Fuente: (SENAMHI, 2018)

Finalmente, el gasto se obtiene mediante

$$Q = 0.9 * A * V \quad (38)$$

Donde:

Q: Gasto ( $m^3/s$ )

A: Área de sección transversal ( $m^2$ )

V: Velocidad en el tramo (m/s)

0.9: Factor de reducción (corrección superficial)

### **Cantidad y frecuencia mínima de aforos basado en criterios estadísticos**

Para muestreos en ríos y estaciones limnimétricas se debe realizar entre 2 a 5 muestreos diarios entre las horas 6 am y 6 pm, de donde se obtiene un caudal promedio diario. (SENAMHI, 2018)

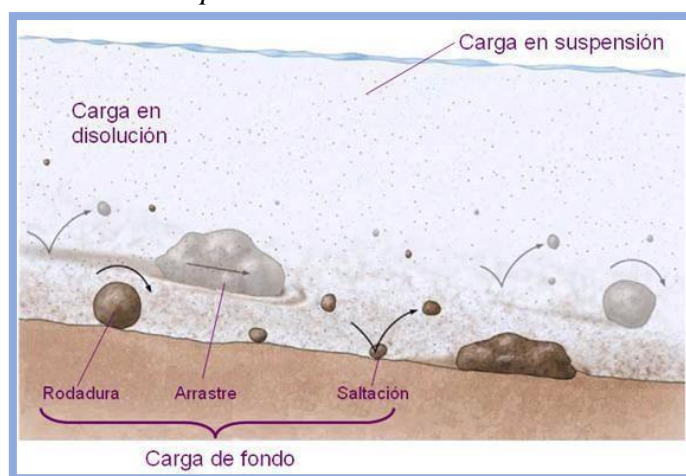
### **✓ CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS**

#### **Muestreo de Sedimentos.**

El material sólido granular que se encuentra en el lecho de un río, el cual ha sido transportado y depositado por el mismo río a lo largo de su evolución morfológica, es denominado sedimentaluvial. Las partículas granulares que constituyen el sedimento se pueden trasladar por saltos, rodadura, deslizamiento, sobre el fondo o cerca de él o pueden ser arrastrados fuera de su lugar y quedar en suspensión, es decir el tipo de movimiento dependerá de condiciones físicas como tamaño, forma, peso específico, etc.) además de características externas como la morfología fluvial en donde predomina condiciones como, pendientes de cauce, rugosidad, profundidad.

Por metodología se ha convenido dividir a el arrastre de sedimentos en dos tipos, caudal de sedimentos de fondo y caudal de sedimentos en suspensión.

Figura N° 21: Formas de transporte de sedimentos



Fuente: (CHARLTON, R. 2007)

### Tamaño de partículas

Las partículas de suelo son de diferente tamaño, y varían entre muchos ordenes de magnitud, muchos han realizado diversas clasificaciones para establecer el tipo de materiales que contiene un suelo. Los suelos generalmente son llamados, grava, arena, limo, arcilla o mezcla de ellos. En la Tabla 3 se muestra algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

Tabla N° 3: Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo.

Nombre de organización	Grava (Haddadchi,omid, & Dehghani)	Arena (Haddadchi et al.)	Limo (Haddadchi et al.)	Arcilla (Haddadchi et al.)
Instituto tecnológico de Massachusetts (Smith & Owens)	> 2 mm	2 a 0.06 mm	0.06 a 0.002 mm	<0.002 mm
Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2 mm	2 a 0.05 mm	0.05 a 0.002 mm	<0.002 mm
Asociación Americana de funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2 mm	2 a 0.075 mm	0.075 a 0.002 mm	<0.002 mm

Sistema Unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75 mm	4.75 a 0.075 mm	Finos (es decir, limos y arcillas <0.075 mm)	
American Society for Testing and Materials (ASTM)	> 2 mm	2 - 0.075 mm	0.075 - 0.005 mm	<0.005 mm

Fuente: (U.S. Army Corps, 2006)

### Métodos de muestreo de caudal de sedimentos en suspensión *in situ*

“Se utilizan muchos tipos de muestreadores de sedimentos en suspensión, por ejemplo: instantáneos, de botella, de bombeo, integradores, etc. Sin embargo, sólo algunos de ellos están diseñados para que la velocidad en la toma del muestreador sea igual a la velocidad de la corriente circundante...” (OMM, 1994, p. 183). Para que el muestreador desempeñe un óptimo desempeño en la medición se debe colocar con la zona de entrada hacia arriba o mínimamente con inclinación según pendiente del curso, evitando que el objeto muestreador genere disturbio por la presencia e interrupción del flujo normal.

El simple muestreador de botella, bastante sencillo, puede ser tapado o tener una entrada de diámetro variable, hasta su abertura total. Tan pronto como la botella se abre y el aire dentro de ella es desplazado por la muestra, se producen burbujas en la entrada, haciendo lento el proceso de llenado. Por lo tanto, el muestreador de botella no es realmente instantáneo.

La normalización de muestreos se realiza según la cantidad de sedimentos ( $g \cdot m^{-3}$ ) y volumen de muestra en litros, para determinar la cantidad de repeticiones del proceso según la tabla N° 4.

Tabla N° 4: Volumen de muestras necesarias para medir el sedimento en suspensión.

Concentración prevista de sedimentos en suspensión, $g \cdot m^{-3}$	Volumen de la muestra, en litros
> 100	1
50 - 100	2
20 - 30	5
< 20	10

Fuente: (OMM, 1994, p. 186)

Realizar numerosos registros y muestreos permite la conocer de manera sistemática la

concentración de sedimentos en suspensión en los ríos, las muestras se toman en las diferentes estaciones climatológicas, en donde los registros máximos inicialmente se muestran en periodos o eventos de crecida.

Según Sánchez J, (2018)” para hacer muestreos de solidos suspendidos en desarenadores se utiliza depósitos de vidrio ámbar de 1 litro los cuales se sumergen completamente en dos puntos, tanto en la obra de bocatoma y otra en la salida del desarenador durante 30 min, repitiendo esta practicas durante dos días”. (SEPIS, OPS, 2005) Sugiere realizar esta metodología por periodos de entre 30 - 120 minutos. Los muestreos debidamente rotulados serán almacenados y llevados al laboratorio para su pesaje en seco.

### **Determinación de la concentración de sedimentos.**

“Las muestras de los sedimentos en suspensión en general se procesan y analizan en laboratorios especiales, donde después de un tiempo de sedimentación de uno a dos días, el agua es cuidadosamente drenada fuera del recipiente, el sedimento que queda se seca en una estufa a una temperatura de más o menos 110°C y luego se pesa” (OMM, 2018).

Cálculo de la concentración media ponderada de sedimentos en  $C_S$  en  $Kg\ m^3$  con la expresión:

$$C_S = \frac{\sum C_q q_p}{q_p} \quad (39)$$

Donde:

$C_S$ : Concentración de sedimentos media

$C_q$ : caudal ponderado en la sección vertical de la sección.

### **3.2.7 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS**

El clima característico del distrito de Chugur es el típico y predominante clima presente a lo largo de la sierra del norte peruano, en donde las temporadas lluviosas se presentan entre los meses de octubre y abril, en cambio la temporada en las que hay baja cantidad de precipitaciones dura entre los meses de mayo a septiembre.

#### **✓ PRECIPITACIONES**

La estación meteorológica del distrito ubicado a una altura de los 2700 m.s.n.m. registró información de poca historia pluviométrica, comprendida entre los años 2010 y 2015, pero brinda una clara idea de cómo fluctúan los parámetros durante todo el año, las

precipitaciones oscilan entre los 732.1 mm a 1452.3 mm anualmente. (Linares J, 2018)

*Tabla N° 5: Precipitación mensual y anual (mm) en el distrito de Chugur*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Enero</b>	S/D	62.6	188.7	109.1	99.9	138.2
<b>Febrero</b>	S/D	221	295.8	155	324.5	18.2
<b>Marzo</b>	S/D	174.3	97	306.3	315.1	310.9
<b>Abril</b>	S/D	123.7	123.7	21.4	110.1	101.5
<b>Mayo</b>	S/D	9.7	36.9	213.7	132.7	136.1
<b>Junio</b>	S/D	10.8	13.2	3.1	6.7	0.4
<b>Julio</b>	S/D	4.9	0.3	19.8	32.9	4.1
<b>Agosto</b>	S/D	5.6	22.5	32.6	42.4	0.2
<b>Septiembre</b>	S/D	35.5	19.8	14.2	110.4	0
<b>Octubre</b>	S/D	11.6	180.8	235.7	72.1	65.1
<b>Noviembre</b>	S/D	1.5	219.8	40.9	90.2	S/D
<b>Diciembre</b>	65.8	70.9	66.5	40.8	115.3	S/D
<b>TOTAL</b>	65.8	732.1	1265	1192.6	1452.3	774.7

Fuente: SENAMHI, 2015

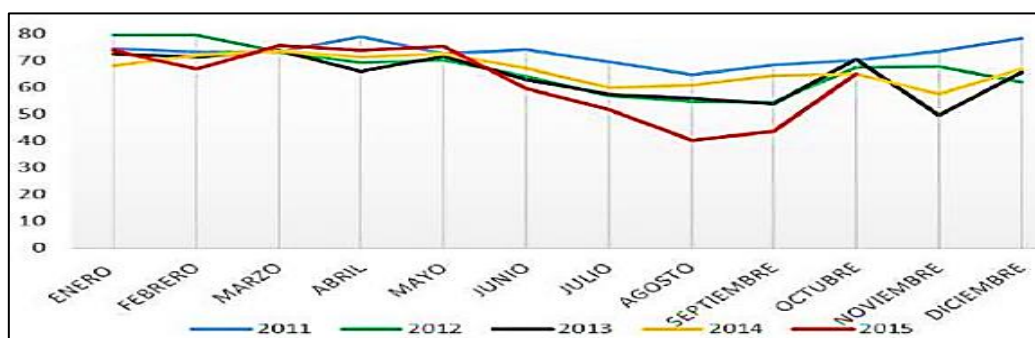
La precipitación es evidentemente más elevada respecto a zonas de la sierra peruana, debido a que estas zonas están más expuestas a la condensación de masas de aire más húmedo provenientes del océano Pacífico y de la evapotranspiración de esta parte occidental de la cordillera de los Andes. (CIMBIOTYC, 2019)

#### ✓ **HUMEDAD**

Los promedios mensuales de humedad relativa expresadas en porcentaje presente en el distrito de Chugur presentan variaciones según la estación climatológica y época del año según se han registrado en la estación meteorológica de SENAMHI; en temporada de estiaje donde el clima es seco se ha llegado a registrar como promedio mensual 40.3% y en la temporada lluviosa se ha registrado 79.59 %. (CIMBIOTYC, 2019)



Figura N° 22: Humedad relativa (%) en el distrito de Chugur durante el periodo 2010-2015

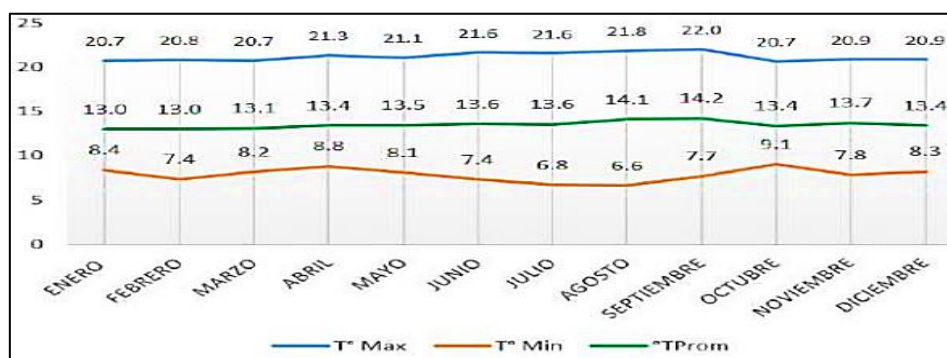


Fuente: (CIMBIOTYC, 2019)

### ✓ TEMPERATURA

Las bajas temperaturas son características en el distrito, sobre todo en la temporada de estiaje, llegando a registrarse valores mínimos de 6.76°C y máximos de 21.84 °C, es necesario indicar que estos datos son referenciales para el lugar donde se encuentra la estación meteorológica, no teniendo registro para las zonas altas donde las temperaturas pueden llegar a ser mucho más bajas. (CIMBIOTYC, 2019)

Figura N° 23: Temperatura mínima, máxima y promedio mensual (°C) del distrito de Chugur.



Fuente: (CIMBIOTYC, 2019)

La temperatura del agua varía gradualmente en cada uno de los ríos y quebradas del distrito dependientemente de la altitud de la estación control y según la estación en la que fueron registradas las temperaturas del agua, entre las alturas de las partes altas a 3869 m.s.n.m. y bajas a 2208 m.s.n.m. El promedio de temperaturas en periodos de lluvia es de 10.94 °C y de 13.23 °C.

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La captación de las obras de toma de la mini central hidroeléctrica construida el año 1987, se ubica en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca, exactamente en las coordenadas UTM (WGS 84) Este: 751870.00 Norte: 9260445.00 Altitud: 3028.95, en el caserío de Ramírez.

Desde este punto se capta y deriva el agua destinada para la utilización del funcionamiento de la mini central. Desde la captación de río, el flujo atraviesa las estructuras de canal de conducción, desarenador, cámara de carga, tubería de presión, sala de máquinas (planta hidroeléctrica) emplazadas en las coordenadas geográficas que se muestran en la tabla N° 6

Tabla N° 6: Tabla resumen de coordenadas geográficas de las estructuras de la mini central hidroeléctrica

<i>Estructura</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Altura (m.s.n.m.)</i>
<i>Captación</i>	751870.00	9260445.00	3028.95
<i>Canal de conducción</i>	Ver plano	Ver plano	Ver plano
<i>Desarenador</i>	750885.82	9261437.87	2773.95
<i>Cámara de carga</i>	750827.41	9261530.69	2772.68
<i>Sala de maquinas</i>	750907.21	9261716.20	2650.18

La investigación se realizó con la información cartográfica de la zona 17Sur, y levantamiento topográfico.

#### 4.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL DISTRITO DE CHUGUR.

La mini central hidroeléctrica (MCH) ubicada en el distrito de Chugur, posee ciertas cualidades en cuanto a infraestructura y mantenimiento, por lo que cuenta con una particular caracterización con respecto a la numerosa gama de hidroeléctricas a nivel mundial, con la finalidad de posicionar e identificar a esta MCH según sus condiciones arquitectónicas operativas plasmaremos las principales.

##### ✓ *Según la forma de captar y recircular el agua*

La captación de la MCH de Chugur, integra un embalse, diseñado para almacenar y regular el flujo de agua en un cuerpo de agua. Este proceso implica la construcción de estructuras como baraje, dique, compuertas, vertederos máximas excedencias, aliviaderos, canales de

derivación; el conjunto de estas estructuras conforma una captación destinada para la gestión y administración del recurso hídrico de la micro cuenca de la quebrada Ramírez.

Figura N° 24: Bocatoma de barrage fijo en la quebrada Ramírez, con sus componentes hidráulicos y mecánicos.



Fuente: Elaboración propia

✓ *Según su potencia eléctrica*

Micro-hidroeléctricas: potencia inferior a 100 kW y se utilizan principalmente para la electrificación rural o pequeñas comunidades. Mini-hidroeléctricas: potencia entre 100 kW y 1 MW y se utilizan para suministrar energía a comunidades más grandes. Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH): potencia de entre 1 MW y 30 MW. Centrales hidroeléctricas de mediana potencia: potencia de entre 30 MW y 300 MW. Grandes centrales hidroeléctricas: potencia superior a 300 MW y se utilizan para la exportación de energía entre países.

La central hidroeléctrica de Chugur cuenta con una potencia nominal de 80 kW por lo que se ubica en el primer tipo, por lo que se considera una Micro central hidroeléctrica.

Tabla N° 7: Caracterización de tipo de centrales hidroeléctricas según su potencia nominal.

TIPO DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA	POTENCIA NOMINAL
Micro central hidroeléctrica	Inferior a 100kW
Mini central hidroeléctrica	100kW – 1MW

Pequeña central hidroeléctrica	1MW- 30 MW
Medianas centrales hidroeléctricas	30MW – 300 MW
Grandes centrales hidroeléctricas	Superiores a los 300MW

✓ *Según el tipo de turbina*

La central MCH de Chugur posee una turbina tipo Pelton, este sistema de posee además una válvula de corte o interrupción, acoplado a un manómetro analógico, tubería de distribución de 6 Pulg de acero tipo B, Aguja de distribución y carcasa de protección de las 24 palas ancladas a un rodete de 17 Pulg, Esta turbina esta acoplada a un motor generador de 120HP.

Figura N° 25: Turbina tipo Pelton con principales componentes de ingreso en cámara de fuerza de la MCH.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Caracterización de tipo de turbina en la central de acuerdo al tipo de caída y caudal de agua.

TIPO DE TURBINA	CONDICIONES DE USO
Turbina Pelton	Este tipo de turbina es adecuada para altas caídas de agua y baja cantidad de caudal
Turbina Francis	Este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua moderadas y caudales medios
Turbina Kaplan	Este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua bajas y

	altos caudales
Turbina de flujo axial	Este tipo de turbina es adecuada para caídas de agua bajas y altos caudales.

Fuente: Elaboración propia

✓ *Según salto neto de altura de presión.*

La micro central hidroeléctrica de Chugur tiene un salto bruto menor de 120 m. por lo que genera una potencia nominal de 80KW en el generador. Existe una caracterización de estas centrales según su altura la que se relaciona directamente con la potencia de la central, estos rangos van según el siguiente cuadro.

Tabla N° 9: Caracterización de la central según altura del salto bruto de la tubería de presión.

TIPO DE CENTRAL	SALTO BRUTO			POTENCIA ( KW )
	BAJO	MEDIO	ELEVADO	
Micro central Hidroeléctrica	-15 m	(15 - 20) m	+ de 50 m	0 -50
Mini central Hidroeléctrica	-20 m	(20 - 100)m	+ de 100 m	50 - 500
Pequeña central Hidroeléctrica	-25 m	(25 - 100)m	+ de 130 m	500 - 5000

Fuente: Elaboración propia

✓ *Según al sistema de interconexión eléctrica*

Debido a que el sistema de fluido eléctrico de dicha central no presenta una interconexión con redes de mayor voltaje o redes nacionales se considera como una central aislada, La turbina está conectada a un generador eléctrico. Al girar, la turbina hace rotar el rotor del generador, que está compuesto por imanes y bobinas de alambre.

Este movimiento induce una corriente eléctrica en las bobinas, generando electricidad, esta electricidad pasa al transformador en donde se hace regulación de potencia de energía eléctrica de 80Kw a voltaje convencional de 220 voltios, esta fuente de energía es regulada en el estabilizador y distribuida desde el tablero swicher de alimentación, a las 07 comunidades usuarias.

Figura N° 26: Alternador de corriente y estabilizador de 80Kw A 220v, con tablero de distribución.



Fuente: Elaboración propia

✓ *Según su concepción tecnológica*

Dicha central se encuentra en el rubro de centrales con tecnologías no convencionales, debido a el tipo de obras de toma como captación lateral a filo de agua, cámara de carga y desarenador y construidos sobre la línea de conducción. Ver Planos e

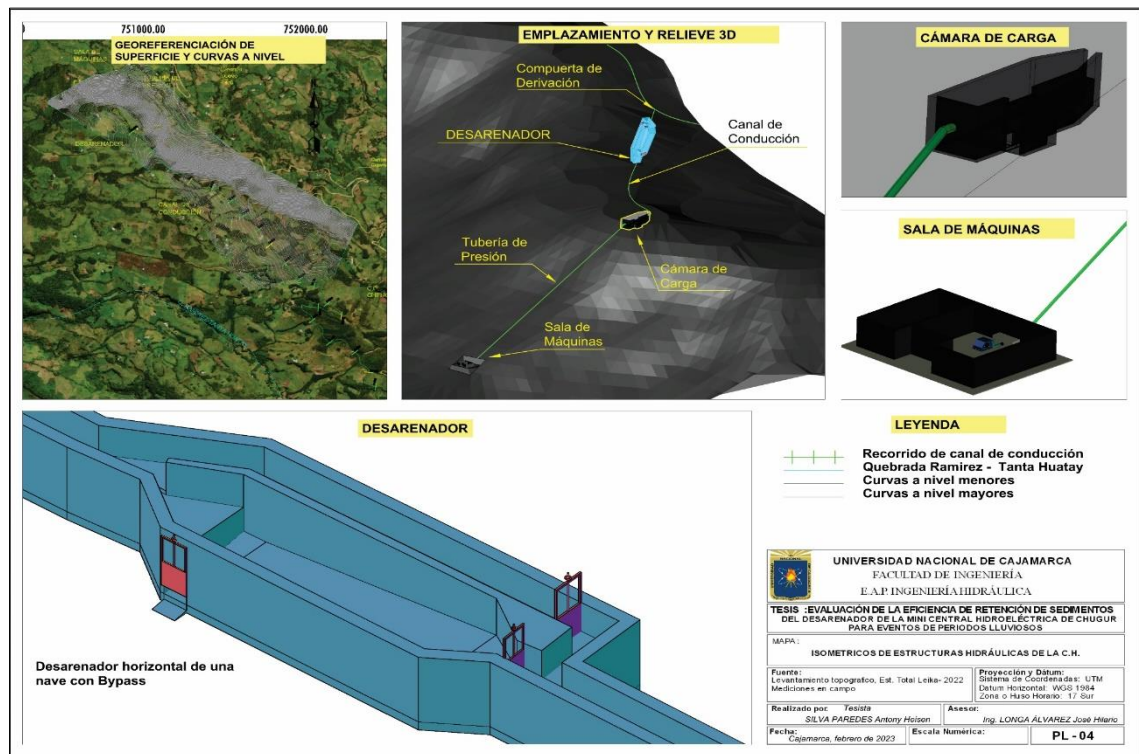
#### 4.1.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

La microcuenca de la quebrada Ramírez - Tanta Huatay de  $7,22 \text{ Km}^2$  de área, ubicada al sur – este del Distrito de Chugur recoge las aguas que confluyen de las cumbres de la parte alta del distrito, y de las faldas de los cerros Cashunga, Potrerillo, según el Ordenamiento Territorial de la Región Cajamarca ZEE, Mapa Hidrográfico UTM-WGS 1984, Zona 17sur. La captación que comprende las obras de toma de la C.H. emplazada en la quebrada, deriva el agua mediante un canal de conducción de 5.56 Km de recorrido hasta la compuerta de derivación y desarenador como se muestra en el Figura 17 y 18.

#### 4.1.3 DESARENADOR Y OBRAS DE TOMA DE LA M.C.H

El desarenador horizontal de una nave con bypass de la M.C.H. forma parte de las obras de toma, las obras de toma están ubicadas como se muestra en el la figura 24 y representadas gráficamente en una modelación 3D tanto de las estructuras como el relieve del terreno, ver anexos de Planos 05 y 06.

Figura N° 27: Georreferenciación y distribución de estructuras y obras de toma de la micro central hidroeléctrica de Chugur.



## **4.2 MATERIALES**

### **4.2.1 MATERIALES DE CAMPO**

- Correntómetro FM-100V5
- Traje especial para aforos
- Wincha de 30 m
- Cuerda para subdivisión de tramos
- Envases de muestreo de 1 litro
- Ficha de registros de aforos y muestreos
- Estación total Leyca TS06
- Trípode
- Bastón y prisma topográfico
- Radios de comunicación Bf888s Motorola
- Cámara fotográfica PANASONIC
- Listón de madera
- EPP
- Tamices de laboratorio de suelos N°4 – N°200

### **4.2.2 MATERIALES DE GABINETE**

- Libreta de apuntes
- Registros de los aforos realizados durante los meses lluviosos.
- Registros de muestreos de sedimentos realizados durante los meses lluviosos
- Mapa de la carta nacional Escala 1:100000 (IGN, 1986)
- Laptop ASUS CORE I7
- Software Flow3D
- Balanza analítica

## **4.3 MÉTODOLÓGÍA**

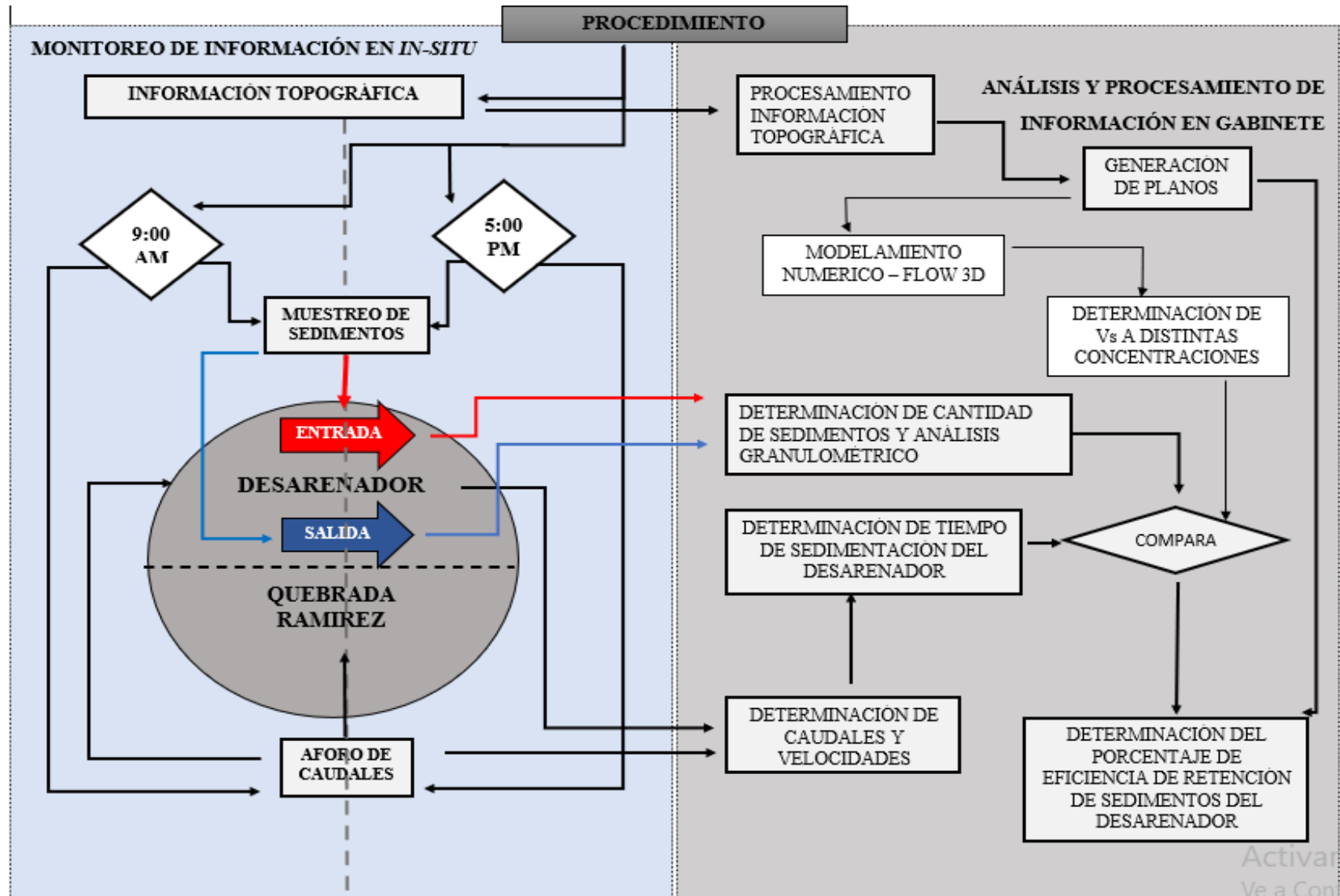
Para determinar la eficiencia de retención de sedimentos del desarenador se considera una secuencia de pasos y procedimientos para organizar y sistematizar el esquema metodológico de la investigación.



Tabla N° 10: Metodología de la investigación eficiencia de retención de sedimentos del desarenador de la M.C.H. de Chugur

<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>INVESTIGACIÓN APLICADA</b> Porque se aplicaron conocimientos básicos para conocer la eficiencia de retención de sedimentos en el desarenador de la M.C.H. de Chugur
<b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>DESCRIPTIVA</b> Porque existe una creación de preguntas y hay un análisis de datos que se llevarán a cabo sobre la eficiencia de retención de sedimentos en el desarenador de la M.C.H. de Chugur
<b>TÉCNICAS PARA RECOGER INFORMACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN, MUESTREOS IN SITU, AFOROS, LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.</b> Porque todas estas técnicas nos permiten encontrar datos que luego nos permiten conocer la eficiencia de retención de sedimentos en el desarenador.
<b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	<b>CORRENTÓMETRO, WINCHA, ESTACION TOTAL CALIBRADA, GPS, BALANZA ANALÍTICA, ENVASE ACRILÍCO ROTULADO.</b>
<b>TÉCNICAS PARA PROCESAR INFORMACIÓN</b>	<b>FLOW 3D, EXCEL, AUTOCAD CIVIL 3D, ARC GIS.</b> Mediante estos programas podemos procesar la información de manera más exacta.
<b>POBLACIÓN</b>	<b>FLUJO DE SEDIMENTOS QUE INGRESAN AL DESARENADOR.</b> Porque es el conjunto de muestras disponibles a analizar en la infraestructura de desarenador.
<b>MUESTRA</b>	<b>SEDIMENTOS RETENIDOS EN EL DESARENADOR</b> Es la selección específica de una cantidad de sedimentos de un evento determinado, medidos y tomados en el desarenador.
<b>DISEÑO</b>	<b>EXPERIMENTAL</b> Porque inicialmente se observó los fenómenos tal cual como son en su contexto natural, y luego se replican estos eventos con distintas condiciones, tanto en velocidades, caudales y concentraciones de sedimentos.

Diagrama N° 4 :Resumen procedimiento lógico de procesos del trabajo de investigación en campo y gabinete parra el desarrollo de sus objetivos.



Fuente: Elaboración propia

#### **4.3.1 VISITAS DE CAMPO**

- Primera visita a campo, se realizó el 11 de febrero del 2022 con la finalidad de reconocer el área de estudio, observar la infraestructura, gestión de permisos y autorizaciones, para futuras visitas a la M.C.H. durante labores de operación y tareas de mantenimiento.
- Las visitas 02 y 03 (02/04/2022 - 24/04/2022) están relacionadas con el reconocimiento de obras de toma, específicamente del desarenador, en donde se observaron características actuales de la estructura, se realizaron también las primeras mediciones de la arquitectura del desarenador. Además, se realizó el levantamiento topográfico en los tramos del canal de conducción, desarenador y cámara de carga.
- Mediante la observación en la visita 04 se pudo establecer los puntos de aforo de caudales y muestreos de sedimentos en el desarenador y el punto de aforo en el lecho de la Quebrada Ramírez.
- Las posteriores visitas se realizaron sistemáticamente para la recolección de información de aforos y muestreos de sedimentos, como se muestra en el la Tabla N° 11.

#### **4.3.2 HIDRÁULICA FLUVIAL**

Cada proceso geomórfico deja su sello característico sobre la superficie terrestre. Es conocido que las terrazas fluviales, un abanico fluvial o un delta, para mencionar algunos ejemplos, son producidos por la acción del agua. El ciclo geomórfico se refiere a los distintos cambios que experimenta una masa terrestre en su forma superficial debido a agentes externos. Así, existe una secuencia lógica y predecible de estas formas, en lugar de su aparición al azar. Por ello, se emplean términos, a menudo metafóricos, como río joven, maduro o viejo, en el contexto de la Hidráulica Fluvial.

La microcuenca de la quebrada Ramírez - Tanta Huatay de  $7,22 \text{ Km}^2$  de área, ubicada al sur – este del Distrito de Chugur recoge las aguas que confluyen de las cumbres de la parte alta del distrito, y de las faldas de los cerros Cashunga, Potrerillo. La quebrada por encontrarse en zona de alta montaña pertenece se considerado río joven ya que son muy irregulares y presentan una forma de V y cuenta con material facturado en el lecho, y río fangoso en la parte superior de la microcuenca, ya que el flujo de agua está cargado de agua y residuos, es decir la masa fluyente es espesa y viscosa. Además, se debe agregar que en la parte alta existen trabajos de explotación minera por parte de la minera Tantahuatay ubicado en la divisoria de aguas de la micro cuenca la cual cuenta con zona de aguas lénticas.

*Figura N° 28: Minera Tantahuatay en cabecera de cuenca de la Quebrada Ramírez*



Fuente: Energiminas, 2022, <https://energiminas.com/2024/06/01/senace-aprobo-proyecto>.

Se caracteriza además como un río encajonado ya que ha excavado su cauce en un lecho muy cerrado, pese a esto si se presentan meandros poco pronunciados en el transcurso de la quebrada, por ello el lecho es móvil en la zona cercana a la captación, esto origina los depósitos de sedimentos a las riveras y zonas de erosión generando que los anchos de cauce sean variables.

*Figura N° 29: Morfología de quebrada y conformación de lecho móvil.*



Fuente: Elaboración propia.

Para el aprovechamiento del recurso hídrico en esta MCH se construyó una captación en la cota 3028.95 m.s.n.m. sobre el lecho del río, este tipo de estructura introduce cambio en el comportamiento fluvial, aguas arriba se produce sedimentación, y aguas abajo hay tendencia a la erosión.

### 4.3.3 ARQUITECTURA DEL DESARENADOR

#### ✓ *LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL DESARENADOR.*

Se realizó el levantamiento topográfico, en un tramo del canal de conducción que hace un total de 323 m entre los cuales se encuentra el desarenador. Mediante este levantamiento podemos calcular la pendiente de la poza de sedimentación las pendientes del canal de entrada y salida, como las cotas de la compuerta de limpieza. Para dicho levantamiento se utilizó una estación total Leyca TS06, juntamente con sus instrumentos de medición (prisma, wincha, GPS, Radios de comunicación). En los Planos 05 y 06, se muestra el resultado del levantamiento topográfico, como los detalles arquitectónicos de la estructura en estudio.

*Figura N° 30: Levantamiento topográfico con estación Leyca TS06 en la zona del canal de conducción y desarenador.*



Fuente: Elaboración propia

#### ✓ *CANAL DE LIMPIEZA DEL DESARENADOR*

El dimensionamiento de la pendiente del canal de limpieza y compuerta de descarga de sedimentos se realizan hidráulicamente considerándola como un orificio de purga ya que se encuentra totalmente sumergido, por lo que se utiliza la siguiente expresión.

$$Q = C_D * A_o \sqrt{2gH}$$

Donde:

Q: caudal de descarga del orificio

$C_D$ : Coeficiente de descarga = 0.6 para orificios rectangulares

$A_o$ : Área del orificio

H: altura de carga sobre el orificio

g: aceleración de la gravedad

$$Q = 0.6 * 0.21m \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.33m}$$

$$Q = 0.62 \frac{m^3}{s}$$

Por continuidad podemos obtener la velocidad de salida del flujo por la compuerta de purga por lo que tenemos

$$V = Q/A_o$$

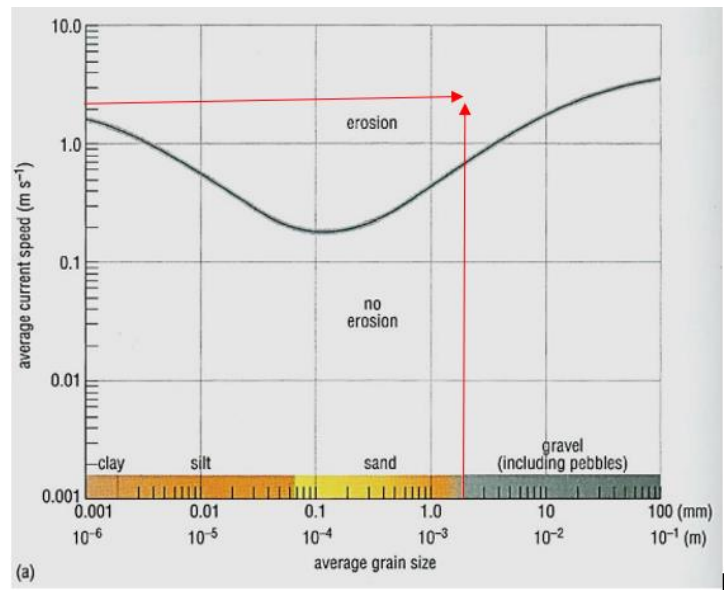
$$V = 0.62 \frac{m^3}{s} / 0.21m$$

$$V = 2.91m/s$$

Con esta velocidad aseguramos que las partículas como arenas gruesas son removidas, ya que la velocidad horizontal mínima para remover una partícula de  $D=2.5$  mm en un flujo que normalmente es turbulento ya que se expone a un cambio brusco de sus condiciones iniciales.

Para la remoción las partículas la pendiente de canal de limpieza  $S=22\%$  influye en cuanto a la variación de velocidad, para ello se calcula el Numero de Froude donde, Fr siempre es  $>1$  y velocidad de 2.91 m/s todas las partículas son removidas por erosión según gráfico.

Figura N° 31: Calculo de arrastre de sedimentos en estado estático para carga de agua y sedimentos con diámetros entre 0.001m y 100mm para velocidad de 2.91m/s.



Fuente: (Kenneth A. 2009)

#### 4.3.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

##### ✓ *DESARENADOR*

- Las mediciones de los caudales en el desarenador se realizaron en la sección de aforo, ubicada aguas arriba de la estructura, en el canal de conducción aplicando el método de área – velocidad con mediciones de velocidades. El cronograma de aforos se realizó en las fechas registradas en la Tabla N° 11, durante los meses lluviosos de febrero, marzo y abril del 2023.
- Los horarios se especifican en cada ficha de sesión de aforo y muestreo, ver fichas anexas

*Tabla N° 11: Fechas de recolección de información de aforos y muestreos en los meses febrero, marzo, abril del 2023, en días lluviosos según contrastación con precipitaciones diarias según estación meteorológica Chugur.*

AÑO	MES	DIA	PP (mm)
2023	2	2	11.2
2023	2	3	16.8
2023	2	4	13.7
2023	2	7	9.8
2023	2	8	12.5
2023	2	12	16.5
2023	2	14	11.3
2023	2	15	17
2023	2	22	21.4
2023	2	23	7.8
2023	3	1	13.1
2023	3	2	12.1
2023	3	3	22.9
2023	3	4	17.4
2023	3	5	11.6
2023	3	10	12.7
2023	3	11	16.8
2023	3	13	14.8
2023	3	14	11.9
2023	3	15	13.9
2023	3	16	24.8
2023	3	24	8.4
2023	3	25	17.6
2023	3	26	13.2
2023	3	30	9.1
2023	4	2	19.5
2023	4	3	10.8
2023	4	7	17.9
2023	4	9	15
2023	4	12	18.9
2023	4	14	13.9
2023	4	18	8.9
2023	4	19	14.1
2023	4	20	8.8

FEBRERO						
L	M	M	J	V	S	D
	01	02	03	04	05	06
07	08	09	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28						
MARZO						
L	M	M	J	V	S	D
	01	02	03	04	05	06
07	08	09	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			
ABRIL						
L	M	M	J	V	S	D
				01	02	03
04	05	06	07	08	09	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Fuente: Estación Meteorológica de Chugur - SENAMHI ,2023.



- **Caudal de desarenador:** los caudales calculados pertenecen a aforos en la sección de entrada del desarenador utilizando la velocidad y área según Ec N°38.

Tabla N° 12: Velocidades de aforo en la entrada al desarenador.

N°	FECHA	HORA	MAÑANA		TARDE	
			Velocidades m/s		Velocidades m/s	
			DESARENADOR	HORA	DESARENADOR	
1	02/02/2023	9:10 a.m.	0.387			
2	03/02/2023			5:00 p.m.	0.420	
3	04/02/2023	9:05 a.m.	0.392			
4	07/02/2023	8:50 a.m.	0.396			
5	08/02/2023			4:30 p.m.	0.433	
6	12/02/2023			4:50 p.m.	0.422	
7	14/02/2023			5:10 p.m.	0.438	
8	15/02/2023	9:08 a.m.	0.386			
9	22/02/2023	9:00 a.m.	0.397			
10	23/02/2023			4:45 p.m.	0.429	
11	01/03/2023			5:07 p.m.	0.420	
12	02/03/2023			5:00 p.m.	0.433	
13	03/03/2023			5:00 p.m.	0.437	
14	04/03/2023	9:05 a.m.	0.401			
15	05/03/2023			4:58 p.m.	0.397	
16	10/03/2023	9:00 a.m.	0.371			
17	11/03/2023			4:50 p.m.	0.452	
18	13/03/2023	9:15 a.m.	0.406			
19	14/03/2023	9:08 a.m.	0.388			
20	15/03/2023			4:55 p.m.	0.421	
21	16/03/2023			4:45 p.m.	0.423	
22	24/03/2023	8:58 a.m.	0.396			
23	25/03/2023			5:00 p.m.	0.434	
24	26/03/2023	9:12 a.m.	0.382			
25	30/03/2023	9:05 a.m.	0.383			
26	02/04/2023			4:58 p.m.	0.398	
27	03/04/2023			4:30 p.m.	0.376	
28	07/04/2023			4:50 p.m.	0.418	
29	09/04/2023	9:15 a.m.	0.376			
30	12/04/2023			5:15 p.m.	0.400	
31	14/04/2023			4:55 p.m.	0.397	
32	18/04/2023	8:45 a.m.	0.378			
33	19/04/2023	8:58 a.m.	0.379			
34	20/04/2023			5:30 p.m.	0.439	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Caudales calculados en la entrada al desarenador.

N°	FECHA	m2 AREA	MAÑANA	TARDE
			m3/s CAUDAL	m3/s CAUDAL
1	02/02/2023	0.091	0.035	
2	03/02/2023	0.099		0.042
3	04/02/2023	0.092	0.036	
4	07/02/2023	0.093	0.037	
5	08/02/2023	0.102		0.044
6	12/02/2023	0.099		0.042
7	14/02/2023	0.103		0.045
8	15/02/2023	0.091	0.035	
9	22/02/2023	0.094	0.037	
10	23/02/2023	0.101		0.043
11	01/03/2023	0.099		0.042
12	02/03/2023	0.102		0.044
13	03/03/2023	0.103		0.045
14	04/03/2023	0.094	0.038	
15	05/03/2023	0.094		0.037
16	10/03/2023	0.087	0.032	
17	11/03/2023	0.106		0.048
18	13/03/2023	0.096	0.039	
19	14/03/2023	0.091	0.035	
20	15/03/2023	0.099		0.042
21	16/03/2023	0.100		0.042
22	24/03/2023	0.093	0.037	
23	25/03/2023	0.102		0.044
24	26/03/2023	0.090	0.034	
25	30/03/2023	0.090	0.035	
26	02/04/2023	0.094		0.037
27	03/04/2023	0.089		0.033
28	07/04/2023	0.098		0.041
29	09/04/2023	0.089	0.033	
30	12/04/2023	0.094		0.038
31	14/04/2023	0.094		0.037
32	18/04/2023	0.089	0.034	
33	19/04/2023	0.089	0.034	
34	20/04/2023	0.103		0.045

Fuente: Elaboración propia

#### ✓ **QUEBRADA RAMÍREZ**

Los aforos de caudales en la quebrada se realizaron de manera simultánea con las fechas y horarios de aforos en el desarenador. Se utilizó el método del área velocidad en una sección y tramo de 30 m aguas arriba de la captación, además se tomaron niveles batimétricos cada 0.5 m en la sección de la quebrada para el correspondiente cálculo del área.

Tabla N° 14: Velocidades y caudales de aforo en la Quebrada Ramírez en un tramo de +30 m de longitud y un área de sección promedio de 0.625 m<sup>2</sup>

N°	FECHA	m/s VELOCIDAD	MAÑANA	TARDE
			m <sup>3</sup> /s CAUDAL	m <sup>3</sup> /s CAUDAL
1	02/02/2023	2.586	1.558	
2	03/02/2023	2.206		1.381
3	04/02/2023	2.857	1.624	
4	07/02/2023	2.013	1.044	
5	08/02/2023	2.616		1.616
6	12/02/2023	2.390		1.435
7	14/02/2023	2.970		2.012
8	15/02/2023	2.055	1.286	
9	22/02/2023	2.970	2.011	
10	23/02/2023	1.786		1.259
11	01/03/2023	2.400		1.528
12	02/03/2023	2.069		1.253
13	03/03/2023	3.030		1.900
14	04/03/2023	2.190	1.331	
15	05/03/2023	1.935		1.348
16	10/03/2023	1.744	1.135	
17	11/03/2023	2.419		1.748
18	13/03/2023	2.190	1.569	
19	14/03/2023	1.923	1.278	
20	15/03/2023	2.069		1.283
21	16/03/2023	2.190		1.136
22	24/03/2023	1.911	1.181	
23	25/03/2023	2.344		1.407
24	26/03/2023	2.055	1.392	
25	30/03/2023	1.840	1.152	
26	02/04/2023	2.504		1.695
27	03/04/2023	2.113		1.490
28	07/04/2023	2.400		1.528
29	09/04/2023	1.987	1.203	
30	12/04/2023	2.459		1.542
31	14/04/2023	2.190		1.331
32	18/04/2023	1.935	1.348	
33	19/04/2023	2.113	1.375	
34	20/04/2023	1.829		1.276

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.5 GASTO SÓLIDO EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H.

##### ✓ *MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN*

Los sedimentos fueron muestreados en dos zonas del desarenador, de manera simultánea durante 15 min tanto en la entrada como en la salida del desarenador (Ver figura 21-22), los depósitos de acrílico transparente de 1 L se fijaron en las secciones con estructuras de hierro soportando el volcamiento del depósito por las fuerzas cinéticas del agua. Los envases se posicionaron inclinados 45° en contra de la corriente de agua. Los depósitos fueron sumergidos a una profundidad suficiente para cubrir todo el orificio, estos se posicionaron 10 cm por arriba de fondo del cauce.

Pasados los 15 minutos se retiran los depósitos y se procede a realizar el rotulado el cual indica el número de muestreo, zona de muestreo, fecha y hora. Según la figura N°32.

Figura N° 32: Rotulado de muestras de sedimentos del desarenador.



El registro de información y condiciones de los muestreos fueron anotadas en las fichas de muestreo. Ver Figura N°67.

##### ✓ *CANTIDAD DE SEDIMENTOS*

- Una vez realizados las 05 sesiones de muestreos se procedió a transportar los 10 envases acrílicos con contenido de agua y sedimentos, en las cuales se evidencia sedimentos de los cuales predominan las arenas, arcillas y limos.
- Se dejó reposar las muestras por 24 horas esto, con la finalidad de decantar todo el material sólido y verter el agua de la parte superior del depósito que no cuenta con materiales

sólidos.

- La parte sólida no vertida se dejó secar en los mismos envases, por lo que fueron expuestos a condiciones de sol y aireación para acelerar el proceso. Ver Figura N°73.
- Después del proceso de secado, se llevaron las muestras secas al correspondiente pesado, tanto de la muestra de la zona de entrada como la de la zona de salida del desarenador, en una balanza analítica de precisión de 0.0001 Kg. Ver Figura N°78.
- Finalmente se realizó el pesaje de muestras de cada sesión, tales medidas se utilizan en la Ec. 01.

$$EFICIENCIA = \left( \frac{W_E - W_S}{W_E} \right) \times 100\% \quad (40)$$

Tabla N° 15: Cantidad de sedimentos en suspensión muestreados en el desarenador en la entrada y salida, peso de muestra seca en gramos.

N°	Muestras en la Entrada	Muestras en la salida	Diferencia
1	20.2	6.40	13.80
2	17.5	4.70	12.80
3	20.7	5.20	15.50
4	16.2	5.00	11.20
5	19.3	4.80	14.50

#### ✓ MUESTREOS DE SEDIMENTOS DE FONDO

Para la medición de los sedimentos de fondo se utilizó una trampa de sedimentos de 20 cm de altura, sumergidos durante 15 minutos, con la finalidad de medir la cantidad del material que se transporta por arrastre hacia el desarenador.

Se realizaron 05 sesiones de muestreos en donde se determinaron las cantidades de sedimentos como se muestran en la tabla a continuación.

Tabla N° 16: Peso de muestreos de material seco almacenado en la trampa de sedimentos de fondo en la entrada del desarenador.

N°	Gasto sólido de fondo (g)
1	295.80
2	389.30
3	412.80
4	340.10
5	349.80
Prom.	357.56

### ✓ **GASTO SÓLIDO TOTAL MUESTREADO EN EL DESARENADOR**

El gasto sólido total que se midió en el desarenador corresponde a la sumatoria del material de fondo y en suspensión para cada uno de los 05 muestreos realizados el sábado 24 de noviembre del 2024 donde se evidenciaron presencia de precipitaciones, se determinó las siguientes cantidades de sedimentos totales.

Tabla N° 17: Muestreo de sólidos totales en la entrada del desarenador.

N°	Sólidos en suspensión (g)	Sólidos de fondo (g)	Sólidos totales (g)
1	20.2	295.80	316.0
2	17.5	389.30	406.8
3	20.7	412.80	433.5
4	16.2	340.10	356.3
5	19.3	349.80	369.1
Prom			376.34

El promedio de cantidad de sedimentos entrantes al desarenador es de 376.34 g, estas cantidades fueron almacenadas en un tiempo de 15 minutos, y un caudal de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que la concentración promedio de material sólido y agua es de 12%.

#### **4.3.6 GRANULOMETRÍA DEL GASTO SÓLIDO DE RETENCIÓN EN EL DESARENADOR**

El desarenador presenta acumulación de sedimentos durante el funcionamiento, por lo que estas partículas van modificando la pendiente y relieve del fondo de la zona de sedimentación, esto impacta en las condiciones hidráulicas del flujo del agua y directamente en el asentamiento de nuevas partículas que ingresan al desarenador. Para determinar las cantidad y clasificación de sedimentos que se almacenan se realizaron los respectivos muestreos y estudios de análisis granulométrico del material que se retienen en la poza de sedimentación.

#### ✓ **Análisis granulométrico del material de retención**

El análisis granulométrico es un procedimiento técnico que permite determinar la distribución de tamaños de partículas en un material granular, como suelos, arenas (SP, SM) gravas (GM) polvos y otros sólidos. Las partículas se clasifican según su tamaño, utilizando mallas o tamices con aperturas específicas, se pesan las fracciones obtenidas en cada tamiz o separación,

permitiendo calcular la masa de partículas en cada rango de tamaño, se determina el porcentaje de masa que representa cada fracción respecto al total, así como el porcentaje acumulado.

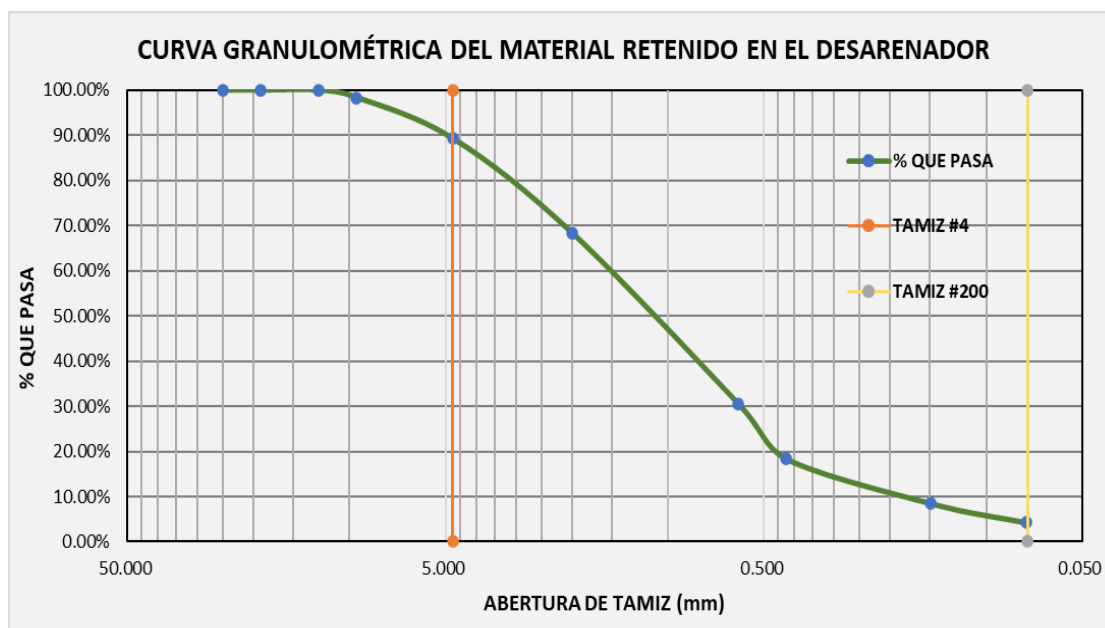
Las curvas granulométricas muestran la distribución porcentual acumulada de las partículas en función de su tamaño.

Tabla N° 18: Porcentajes que pasan por cada abertura de tamiz, para muestreo total de material sólido de 9965.25 g.

DENOMINACIÓN	ABERTURA (mm)	Norma ASTM C 136-01		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACC	% QUE PASA
1"	25.000			0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000			0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	100.00%	100.00%	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	100.00%	100.00%	165.69	1.66%	1.66%	98.34%
#04	4.750	95.00%	100.00%	901.11	9.04%	10.71%	89.29%
#10	2.000	60.00%	90.00%	2086.55	20.94%	31.64%	68.36%
#30	0.600	20.00%	60.00%	3773.82	37.87%	69.51%	30.49%
#40	0.425	15.00%	35.00%	1208.37	12.13%	81.64%	18.36%
#100	0.149	10.00%	15.00%	989.21	9.93%	91.57%	8.43%
#200	0.075	2.00%	10.00%	423.00	4.24%	95.81%	4.19%
BASE			2.00%	417.50	4.19%	100.00%	
				9965.25	100.00%		

Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 5: Curva de análisis granulométrico para material que pasa entre malla N°4 y malla N°200 para muestras de agregado fino retenido en el desarenador y muestreos de entre 500g y 300g.



Fuente: Elaboración propia

Un indicador de la variación del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad (Cu) definido como:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (41)$$

$$Cu = \frac{2.0}{0.149} \quad (42)$$

$$Cu = 13.42 \quad (43)$$

También existe otro parámetro y es el coeficiente de concavidad (Cc), el cual es una medida de la forma de la curva entre D60 y el D10 y se define:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (44)$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (45)$$

$$Cc = \frac{0.6^2}{0.149 * 2} \quad (46)$$

$$Cc = 1.2 \quad (47)$$

Otro indicador importante es el Módulo de finura, que describe los tamaños de los agregados finos (arenas). El cálculo del módulo de finura (MF) de una arena se realiza sumando los porcentajes retenidos acumulados por las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100, y dividiendo esta suma entre 100

$$MF = \frac{10.71+31.64+69.51+81.64+91.57}{100} \quad (48)$$

$$MF = 2.85$$

Por lo que se considera una arena gruesa ya que se encuentra entre los valores de 2.5 y 3.5 según la clasificación de arenas en función a su finura.

Figura N° 33: Calificación de las arenas en función del módulo de finura.

Arena gruesa	2.5 a 3.5
Arena fina	1.5 a 2.5
Arena muy fina	0.5 a 1.5

Fuente: Departamento de Mecánica Estructural San Salvador. 2018

#### 4.3.7 GASTO SÓLIDO DE RETENCIÓN EN LA CÁMARA DE CARGA.

Las partículas no retenidas en el desarenador llegan hasta la cámara de carga y posteriormente a la tubería de presión y turbina, según el análisis granulométrico de las partículas que logran atravesar el desarenador se clasifican según se la siguiente gráfica.

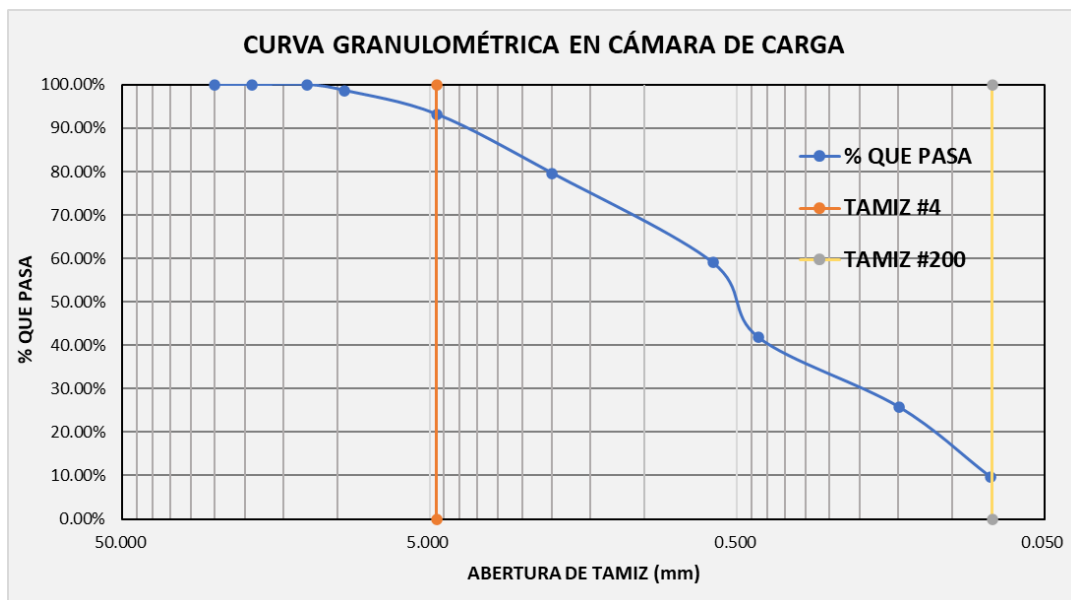


Tabla N° 19: Porcentajes que pasan por cada abertura de tamiz, para muestreo total de material sólido de 914.17g en la cámara de carga de la MCH.

DENOMINACIÓN	ABERTURA (mm)	Norma ASTM C 136-01		MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENDO ACC	% QUE PASA
1"	25.000			0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000			0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	100.00%	100.00%	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	100.00%	100.00%	12.00	1.31%	1.31%	98.69%
#04	4.750	95.00%	100.00%	50.15	5.49%	6.80%	93.20%
#10	2.000	80.00%	100.00%	124.00	13.56%	20.36%	79.64%
#30	0.600	50.00%	85.00%	188.29	20.60%	40.96%	59.04%
#40	0.425	25.00%	60.00%	158.00	17.28%	58.24%	41.76%
#100	0.149	5.00%	30.00%	145.28	15.89%	74.14%	25.86%
#200	0.075	0.00%	10.00%	147.25	16.11%	90.24%	9.76%
BASE				89.20	9.76%	100.00%	
				914.17	100.00%		

Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 6 : Curva de análisis granulométrico de material que pasa entre malla N°4 y malla N°200 para muestras de agregado fino que pasaron a la cámara de carga con muestreos de 914.17g



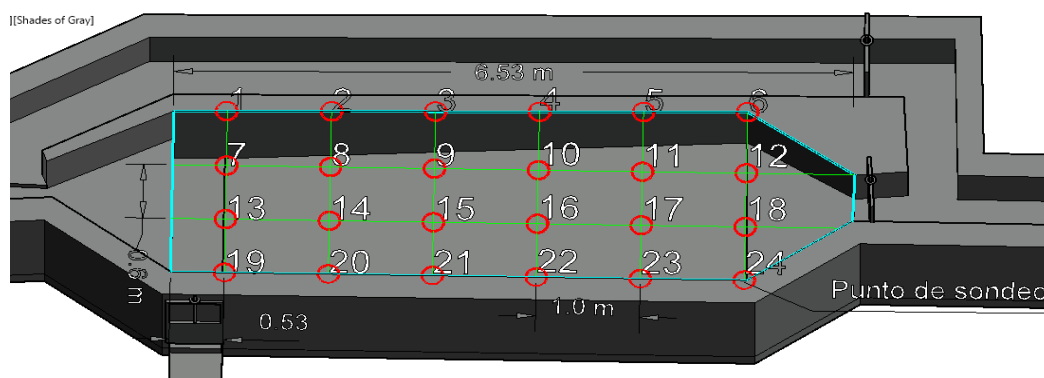
Esto nos indica que el porcentaje retenido de partículas que se depositan en la cámara de carga pertenecen a partículas que con diámetros de 2mm y 0,1mm predominando las arenas gruesas, media y finas y equivalen a un 90.24%, y el 9.76% pasan a la tubería de fuerza y alabes de turbinas, entre estas partículas predominan las arenas finas, arcillas y limos.

### 4.3.9 EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR

#### ✓ EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIEMTOS MEDIDA EN EL PROTOTIPO

Para medir el porcentaje de sedimentos retenidos in situ se utilizó la EC.40 en donde se preestablecieron ciertas condiciones por lo que, antes de iniciar con el ensayo, el desarenador debe estar libre de material sólido, para realizar dicho ensayo se utilizó  $0.650 \text{ m}^3$  de sedimentos, los cuales fueron incorporados en el flujo de agua de caudal medio de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , en un lapso de tiempo de 190.1 min, las características granulométricas del material se muestran en el diagrama N°5. Posteriormente se realizaron mediciones batimétricas de los niveles de sedimentos en la poza de sedimentación, con la finalidad de determinar el volumen de sedimentos retenidos en la estructura.

Figura N° 34: Ubicación de los 24 puntos de sondeo batimétrico en la poza de sedimentación del desarenador distribuidas cada 1m longitudinalmente y cada 0.6m a lo ancho.



Las mediciones de niveles de sedimentos en el desarenador según la batimetría se realizaron en 4 ejes con 6 sondeos por cada eje, en donde se midieron niveles tal como se muestran en las tablas 20-23.

Tabla N° 20: Niveles de sedimentos en el primer eje con lecturas en puntos del 1 al 6

Punto de sondeo	Distancia desde la entrada (m)	Profundidad de sondeo (m)	Tipo de sedimentos	Grado de resistencia al sondeo en los sedimentos
1	6.0	0.73	Limos	Baja resistencia
2	5.0	0.66	Limos	Baja resistencia
3	4.0	0.56	Limos	Baja resistencia
4	3.0	0.51	Arenas, Limos	Baja resistencia
5	2.0	0.39	Arenas, Limos	Mediana resistencia
6	1.0	0.27	Arenas, Limos	Mediana resistencia

Tabla N° 21: Niveles de sedimentos en el segundo eje con lecturas en puntos del 7 al 12

Punto de sondeo	Distancia desde la entrada (m)	Profundidad de sondeo (m)	Tipo de sedimentos	Grado de resistencia al sondeo en los sedimentos
7	6.0	0.70	Limos	Baja resistencia
8	5.0	0.65	Limos	Baja resistencia
9	4.0	0.54	Limos	Baja resistencia
10	3.0	0.51	Arenas, Limos	Baja resistencia
11	2.0	0.36	Arenas, Limos	Mediana resistencia
12	1.0	0.27	Arenas, Limos	Mediana resistencia

Tabla N° 22: Niveles de sedimentos en el tercer eje con lecturas en puntos del 13 al 18

Punto de sondeo	Distancia desde la entrada (m)	Profundidad de sondeo (m)	Tipo de sedimentos	Grado de resistencia al sondeo en los sedimentos
13	6.0	0.70	Limos	Baja resistencia
14	5.0	0.61	Limos	Baja resistencia
15	4.0	0.59	Limos	Baja resistencia
16	3.0	0.49	Arenas, Limos	Baja resistencia
17	2.0	0.34	Arenas, Limos	Mediana resistencia
18	1.0	0.27	Arenas, Limos	Mediana resistencia

Tabla N° 23: Niveles de sedimentos en el cuarto eje con lecturas en puntos del 18 al 24

Punto de sondeo	Distancia desde la entrada (m)	Profundidad de sondeo (m)	Tipo de sedimentos	Grado de resistencia al sondeo en los sedimentos
19	6.0	0.78	Limos	Baja resistencia
20	5.0	0.66	Limos	Baja resistencia
21	4.0	0.60	Limos	Baja resistencia
22	3.0	0.51	Arenas, Limos	Baja resistencia
23	2.0	0.34	Arenas, Limos	Mediana resistencia
24	1.0	0.27	Arenas, Limos	Mediana resistencia

El volumen de sedimentos se determina a partir de ancho del desarenador y el área de cada uno de los perfiles generados con los sondeos tal como se muestran.

Figura N° 35: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el primer eje del desarenador.

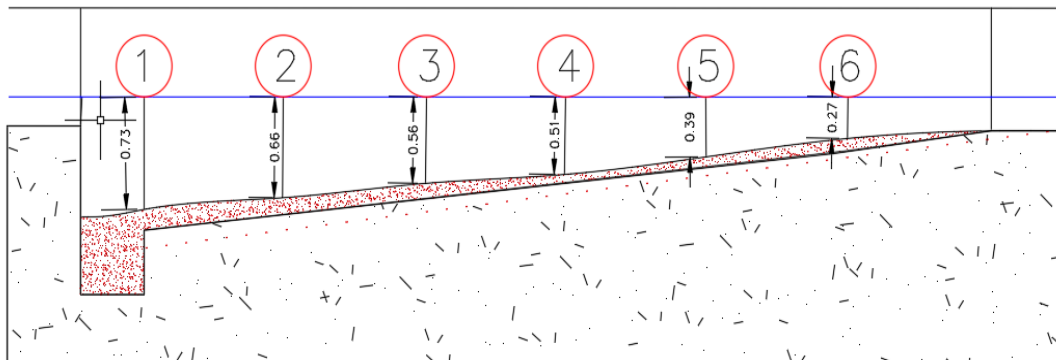


Figura N° 36: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el segundo eje del desarenador.

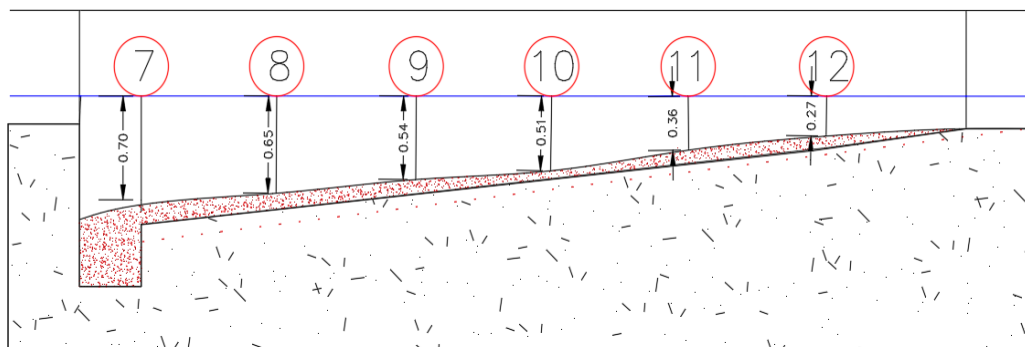


Figura N° 37: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el tercer eje del desarenador.

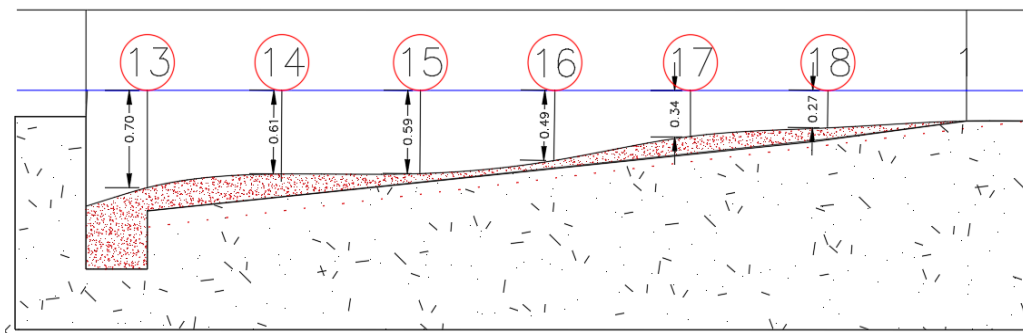
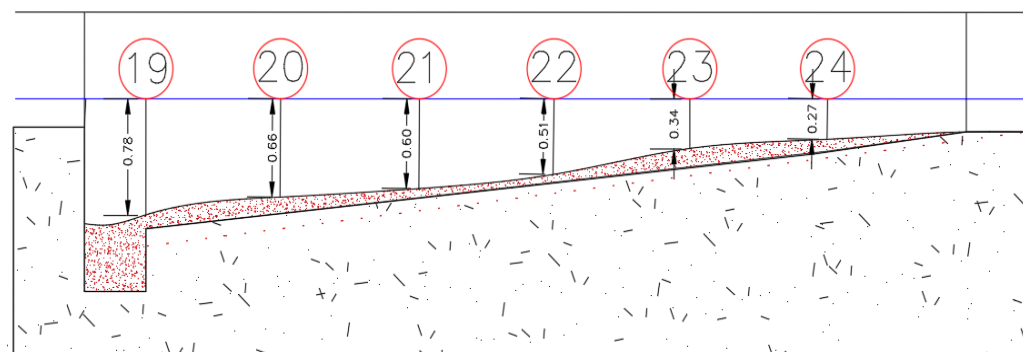


Figura N° 38: Perfil de sedimentos retenidos y sondeados en el cuarto eje del desarenador.



El volumen de sedimentos almacenado en el fondo de la poza del desarenador en el ensayo es de  $0.487 \text{ m}^3$ , es decir que  $0.163 \text{ m}^3$  de material fino logra pasar a la cámara de carga donde se encuentra una distribución granulométrica como se muestra en el Diagrama N° 06. Los tiempos de almacenamiento y eficiencias del desarenador para  $0.650 \text{ (m}^3\text{)}$  y  $11.58 \text{ (m}^3\text{)}$  de sedimentos.

Tabla N° 24: Porcentaje de sedimentos retenidos en el desarenador determinados a partir de ensayo en el prototipo real con flujo de solidos al 12% de concentración.

Volumen de sedimentos en la entrada ( $\text{m}^3$ )	Volumen de sedimentos retenidos ( $\text{m}^3$ )	Duración de ensayo (min)	Volumen de sedimentos que pasan ( $\text{m}^3$ )	Porcentaje de sedimentos retenidos
0.650	0.487	190.14	0.163	74.92%
11.58	8.67	3387.4	2.86	74.92%

Esto nos indica que la poza de sedimentación se llena de material solido por completo en 3387.4 minutos o 56 horas con 21 min, siempre y cuando las condiciones de concentración sean altas como de 12% correspondiente a un día lluvioso.

✓ **EFICIENCIA EN EL DESAREANADOR SEGÚN TEORÍAS DE DISEÑO.**

Las partículas de sedimentación discreta comparten características que dependerán de dimensiones definidas como el volumen y la densidad. Por lo que se puede entender que las fuerzas que actúan en la partícula se encuentran en equilibrio. Tanto la fuerza gravitatoria “F” como la fuerza de rozamiento de la partícula “R”.

$$F = R \quad (49)$$

Donde:

F= Fuerza gravitatoria.

R= Fuerza de rozamiento generada por el deslizamiento de la partícula.

$$F = (\rho_p - \rho_f)g * V \quad (50)$$

$$R = (1/2Cd) * A_p * \rho_f * v^2 \quad (51)$$

Donde:

$\rho_p$ : densidad de la partícula

$\rho_f$ : densidad del fluido

$g$ : aceleración de la gravedad

$V$ : Volumen de la partícula

$Cd$ : Coeficiente de rozamiento

$A_p$ : Superficie de la partícula en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento de la partícula.

$v$ : velocidad de caída de la partícula.

Reemplazando Eq. 51, 52 en la Eq.53

$$(\rho_p - \rho_f)g * V = (1/2Cd) * A_p * \rho_f * v^2 \quad (52)$$

Para diseño de desarenadores se considera material de arenas esféricas saturadas de  $\rho_p = 2.65 \text{ g/cm}^3$  y la  $\rho_f = 0.999 \text{ g/cm}^3$

$$(2.65 \text{ g/cm}^3 - 0.999 \text{ g/cm}^3)g * V = (1/2Cd) * A_p * \rho_f * v^2 \quad (53)$$

De la igualdad anterior se obtiene que la velocidad de caída de las partículas se puede determinar mediante la expresión:

$$v = \left( 2 \frac{V}{A_p} * \frac{9.81 m/s^2}{Cd} * \frac{2.65 g/cm^3 - 0.999 g/cm^3}{0.999 g/cm^3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (54)$$

Para partículas esféricas la expresión podría reducirse a:

$$v = \left( \frac{4d}{3} * \frac{9.81 m/s^2}{Cd} * \frac{2.65 g/cm^3 - 0.999 g/cm^3}{0.999 g/cm^3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (55)$$

Siendo “d” el diámetro de la partícula.

El coeficiente de rozamiento depende del régimen del flujo, por lo que se determina inicialmente el Número de Reynolds. A una temperatura de agua de 10 °C.

$$Re = \frac{v_f * R}{u} \quad (56)$$

La velocidad ponderada al ingreso del desarenador medida in situ es de  $v_f = 0.406 m/s$  y el radio hidráulico de  $R = 0.107$

$$Re = \frac{0.406 \frac{m}{s} * 0.107 m}{1.3 \times 10^{-6} \left( \frac{m^2}{s} \right)} \quad (57)$$

$$Re = 0.21 \quad (58)$$

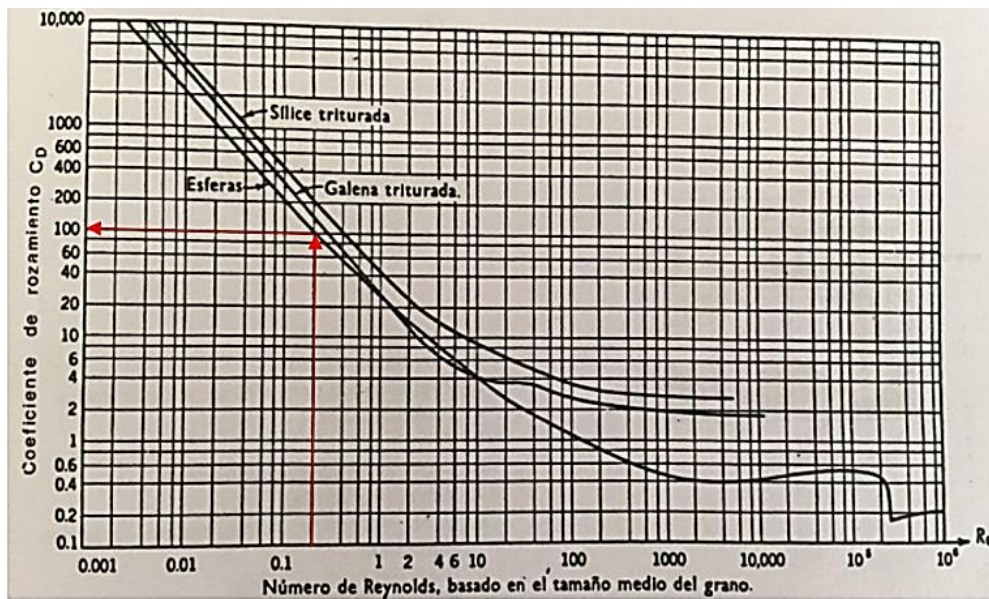
Donde:

R: Radio hidráulico

u: Viscosidad cinemática del líquido

$v_f$ : Velocidad de flujo

Diagrama N° 1: La relación entre el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds para partículas esféricas



Fuente: Muñoz A. H (2015) depuración de aguas residuales, pág. 351

Los regímenes de flujo que se distinguen según el Número de Reynolds están entre los siguientes valores. En la entrada al desarenador se determina un flujo de transición.

$$10^{-4} < Re < 10^{-1}, \text{ régimen laminar}$$

$$5 \times 10^{-1} < Re < 2 \times 10^3, \text{ zona de transición}$$

$$Re > 2 \times 10^3, \text{ régimen turbulento}$$

Se sabe que el proceso de sedimentación de las partículas discretas se da en el régimen de flujo de transición, por lo que el valor de  $C_d = 100$ , al sustituir en la expresión de velocidad de caída de partículas esféricas tenemos:

$$v = \left( \frac{4d}{3} * \frac{9.81 \text{ m/s}^2}{100} * \frac{2.65 \text{ g/cm}^3 - 0.999 \text{ g/cm}^3}{0.999 \text{ g/cm}^3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (59)$$

Los diámetros de partículas de arena para los cuales se determinó las velocidades van entre los diámetros  $d = 0.01$  y  $d = 0.50$ .

Tabla N° 25: Velocidad de caída de partículas esféricas.

Velocidades de caída de partículas esféricas en cm/s	
Diámetro en mm	v = cm/s
2.00	20.79
1.50	18.01
1.00	14.70
0.80	13.15
0.60	11.39
0.50	10.40
0.40	9.30
0.30	8.05
0.25	7.35
0.20	6.58
0.18	6.24
0.16	5.88
0.14	5.50
0.12	5.09
0.10	4.65

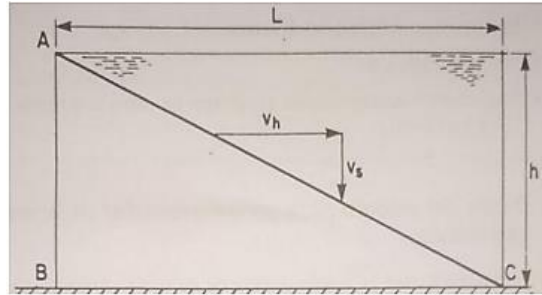
Fuente: Elaboración propia

Cuando el proceso de sedimentación en un desarenador se ve alterado por una cierta gama de dimensiones el total eliminado estará dado por:

Donde  $C_0$  es la fracción de partículas que tienen una velocidad de sedimentación igual o inferior a  $V_s$ .  $V_s$  viene a ser la velocidad de sedimentación de diseño ideal cuando una partícula viaja a lo largo del desarenador, ver Figura N° 15 pero se sabe que a bajas velocidades se generan turbulencias en la poza de sedimentación, debido a este fenómeno se determina que las partículas que tengan una  $v$  mayor a  $V_s$  serán las que queden eliminadas en el proceso.



Figura N° 39: Croquis de velocidades



Fuente: Muñoz A. H (2015)

Para determinar  $V_s$  se utiliza la igualdad:

$$\frac{L}{h} = \frac{V_h}{V_s}; \quad V_s = \frac{V_h}{L} * h \quad (60)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación del desarenador

$V_h$  = Velocidad horizontal a la entrada

$L$  = Longitud del desarenador

$h$  = Tirante de agua al final de la poza

$$V_s = \frac{0.406 \text{ m/s}}{7.05 \text{ m}} * 1.0 \text{ m} \quad (61)$$

$$V_s = 5.76 \text{ cm/s} \quad (62)$$

Por la teoría de HAZEN para distintas curvas de rendimiento y distintos tiempos de sedimentación se determina según la tasa de tratamiento, como se muestran a continuación:

Donde:

$y/y_0$ : porción de partículas sedimentadas (%)

$t_0 = h/V_s$ : tiempo de sedimentación para una velocidad de sedimentación determinada y altura de tanque.

$t$ : tiempo preciso para atravesar el tanque de desarenador por una partícula dada con una probabilidad de sedimentar  $y/y_0$ .

$t$ : Volumen del tanque / caudal.

$t/t_o$  : tasa de tratamiento.

$y$ : cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  sedimentadas.

$y_o$ : cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  entrante en el tanque

$y_o - y$ : cantidad de partículas de velocidad  $V_s$  que permanecen en suspensión en un tiempo

$t$ .

$$t_o = h/V_s \quad (63)$$

$$t_o = 100 \text{ cm} / 5.76 \text{ cm/s} \quad (64)$$

$$t_o = 17.36 \text{ s} \quad (65)$$

El tiempo preciso para atravesar el tanque de desarenador por una partícula según el volumen del pozo sedimentador y caudal de ingreso sería:

$$t = \frac{\text{Volumen de desarenador}}{\text{Caudal de ingreso}} \quad (66)$$

$$t = \frac{5.368 \text{ m}^3}{0.058 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (67)$$

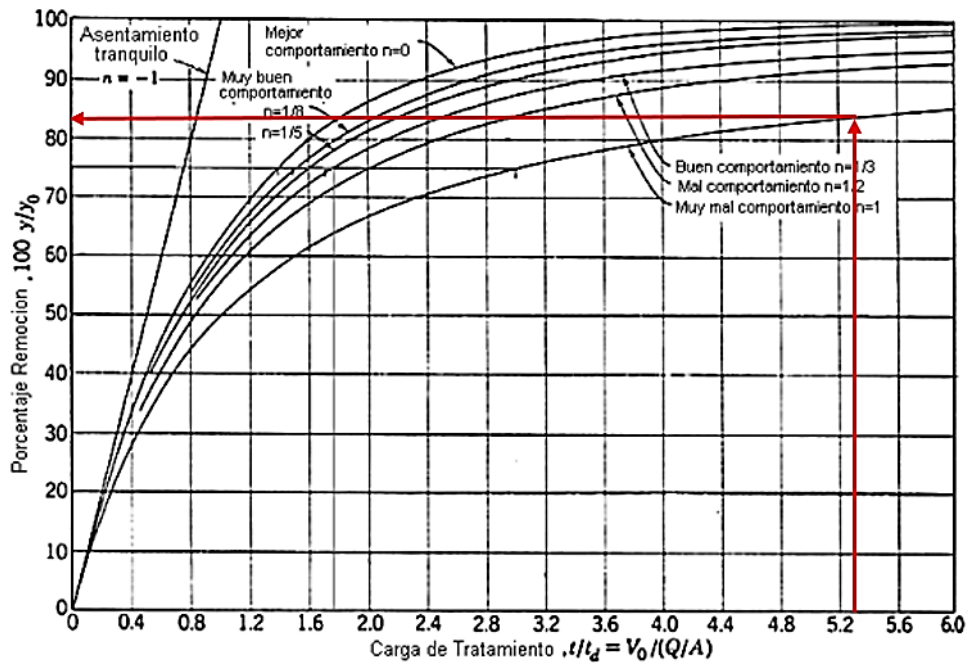
$$t = 93 \text{ s} \quad (68)$$

Por lo que la tasa de tratamiento del desarenador es:

$$\frac{t}{t_o} = \frac{93 \text{ s}}{17.36 \text{ s}} \quad (69)$$

$$\frac{t}{t_o} = 5.33 \quad (70)$$

Figura N° 40: Curvas de comportamiento y eficiencia de retención de sedimentos.



Fuente: G. Rivas Mijares, 1978

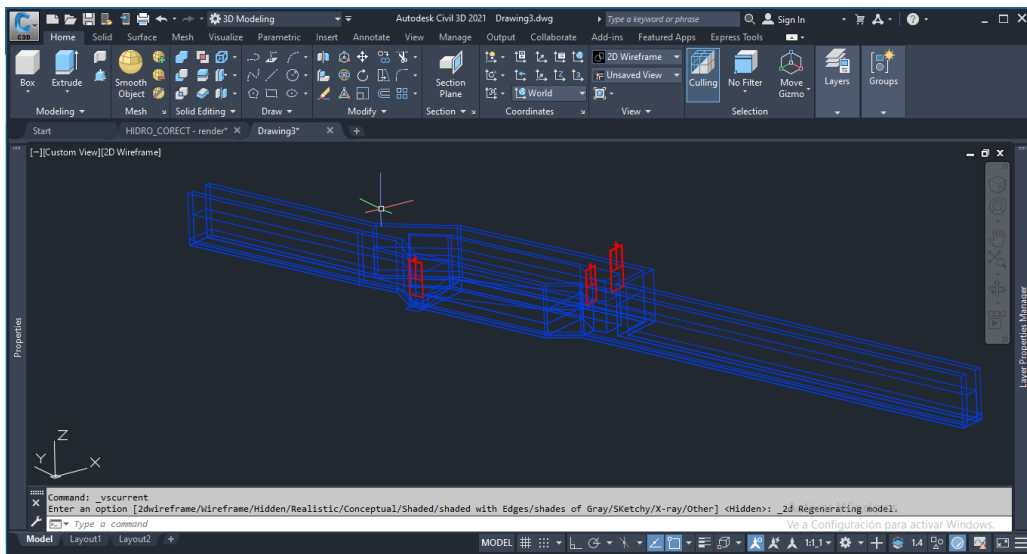
El comportamiento elegido para el desarenador se basa por el ángulo de divergencia del canal de llegada, y por las turbulencias en la zona, por estar ubicada en captación de alta montaña por arriba de los 3000 m.s.n.m.

Por lo que la eficiencia de remoción de partículas de la curva de mal comportamiento es de 83 % según teorías de diseño.

#### ✓ EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS SEGÚN MODELO CFD EN FLOW 3D

Luego de la obtención de los puntos realizado en el levantamiento topográfico, se procedió a exportarlos a AutoCAD Civil 3D con el fin de comenzar a dibujar la estructura.

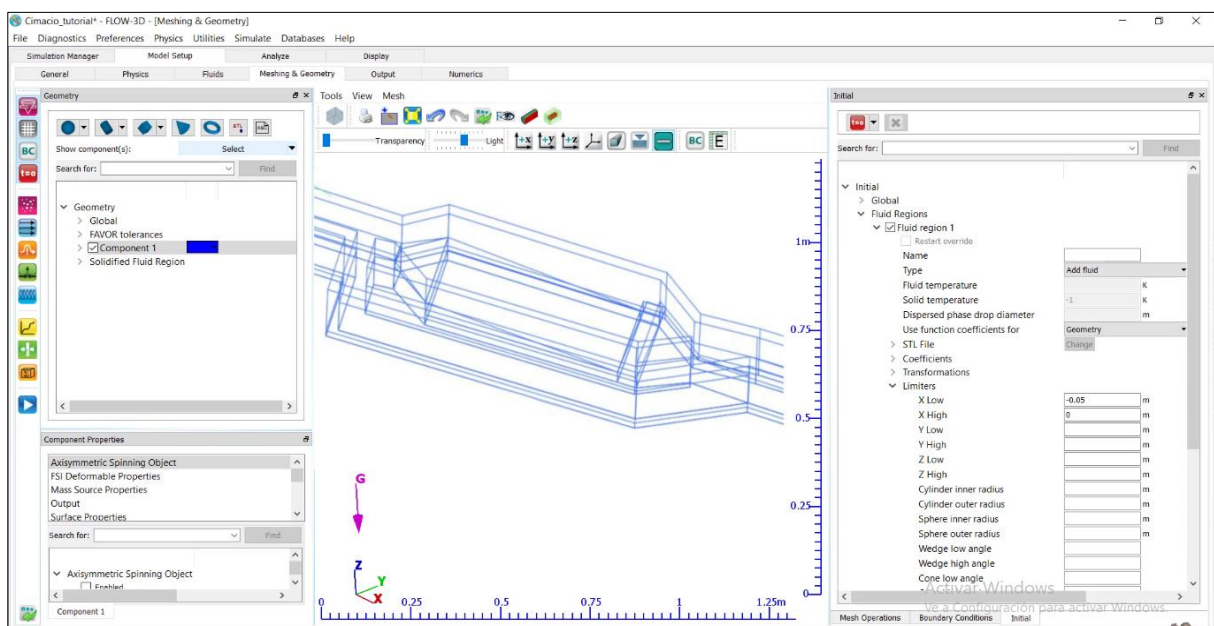
Figura N° 41: Gestión de puntos y modelado arquitectónico del desarenador en el software Civil 3D, para exportación a fichero de modelamiento en Flow3D.



Fuente: Elaboración propia

Después de generar la arquitectura en el programa civil 3D, se ajusta las condiciones de formato .DXF compatible con el cargado de modelos en Flow 3D, para ello se procede a uniformizar el modelo en cuanto a compuerta de limpieza y cerrado de by pass, además se remueven las compuertas metálicas para compatibilizar el mallado y asignación de condiciones iniciales.

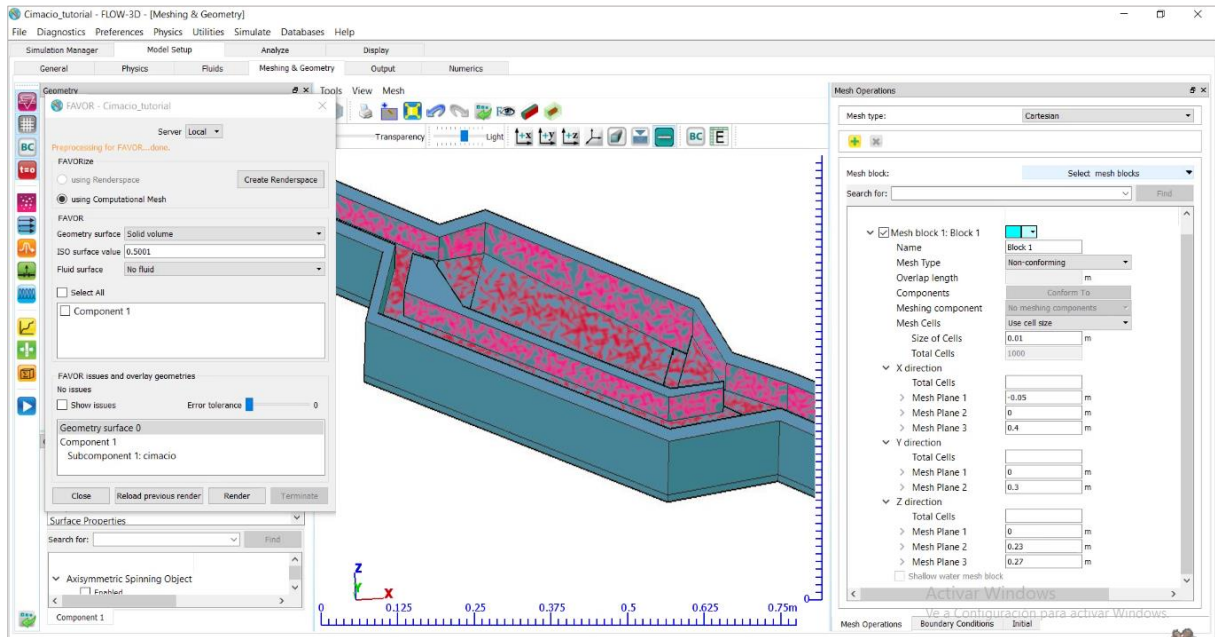
Figura N° 42: Uniformidad de modelo en ventana de setup model, asignación de geometría de modelo.



Fuente: Elaboración propia

La precisión del modelado dependerá de las condiciones de mallado y distancia de interpolado, es por ello que con la finalidad de determinar parámetros cada 0.1 m se limita a triangulación cartesiana minia de 10 cm. Con lo que en me (Mesh cartesian) en el eje X, cuenta con 978 cells, 149 cells en el eje Z, y 259 cells en Y, con lo que el mallado superficial en contacto a las condiciones de flujo es de 37,780,589 cells.

Figura N° 43: Asignación de mallado con triangulación cartesiana triangular, y ubicación de vértices de las cells en las zonas de contacto del flujo.



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de contorno para el modelo serían según las condiciones definidas en las siguientes características de la tabla.

Tabla N° 26: Condiciones de simulación por pasos en cada etapa y proceso con las condiciones iniciales de ingreso y unidades de análisis.

<b>Etap</b>	<b>Proceso</b>	<b>Sub proceso</b>	<b>Contorno</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidad</b>
<b>Simulator</b>	Stability	Simulation input	input	Portafolio	-
	limite & time step	& file		summary	
<b>Manager</b>	Post processor	*Data catalog	OutPut	-	-
	Starting	*Time edit index			

<b>Model Setup</b>	General	Finish time	Val Input	Tiempo de simulación	s
	Physics	Gravedad, viscosity, turbulence, particles, density, temperature, granular flow	Inlet,Fixed	Descripción específica de cada sub proceso y tipo en la tabla siguiente.	-
	Fluids	Number Fluids	Input	Properties of Fluids	-
	Meshing & Geometry	Geometry Global	ExportValEXE.	Coordinates boundaries	m
		Favor Tolerance	Input	Geometry cells of cartesians	m
		Fluid Región	InputWalls	Cells	-
	Output	Basis of output	OutputVals	Controls and intervals outputs	s
Numerics	Márgenes y límites	input	Tolerance factors	-	
<b>Analyze</b>	Iso	Surfaces & colors	Input	Display options	-
	Limits	Minimuns & Maximun	ValNumDouble	X, Y, Z	m
	Time frames	Data source	Input	-	-
		Surface options	InputWalls	-	-
		Countor value	InputWalls	-	-

Las propiedades físicas de modelamiento de los fluidos utilizadas para calibración en los nodos de contorno fueron para temperatura promedio de agua promedio de 9.5°C a 2773.95 m.s.n.m. de acuerdo a Simbyotic, 2019.

Tabla N° 27: Fluidos en modelamiento y condiciones físicas iniciales para cada fluido para temperatura promedio de agua promedio de 9.5°C a 2773.95 m.s.n.m. de acuerdo a Simbyotic, 2019

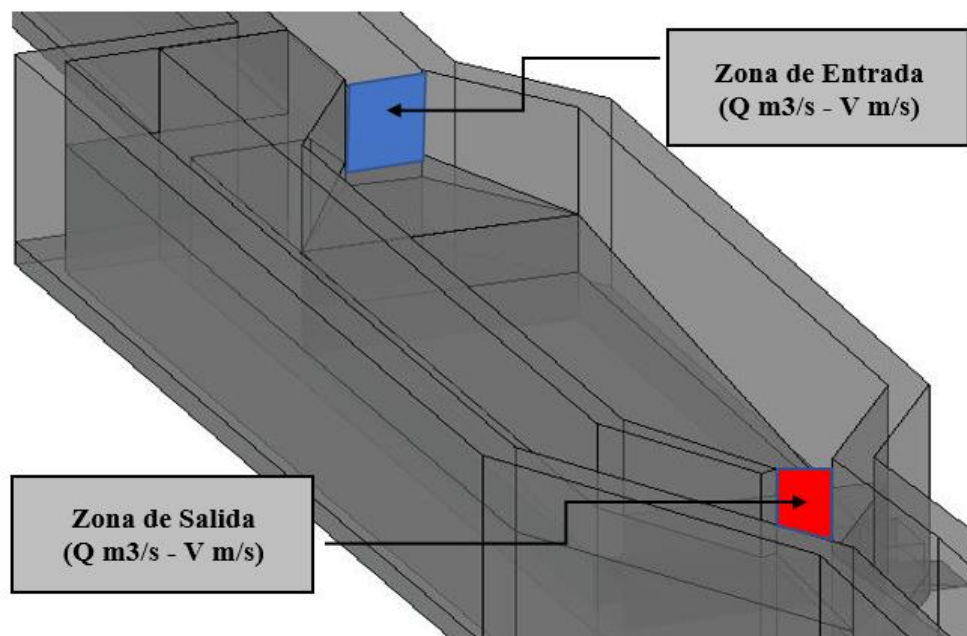
Fluido	Parámetro	Unidad	Valor
Agua	Rho spearman	$Kg/m^3$	999.77
Sedimentos	Rho spearman	$Kg/m^3$	2654.45
Aire	Con Coef. Entalphia (Kcal/kg) de 6.70	$Kg/m^3$	1.24
Agua y aire	Rho Kendall	$Kg/s^3$	0.078
Concentración Agua y sedimentos	Rho Kendall	$\frac{Kg_{solidos}}{m^3_{mezcla}}$	Variables según tabla N° 25

Fuente: Elaboración propia

- **Calibración del modelo**

Para la calibración del modelo se realizaron 05 mediciones de velocidades de entrada y salida del desarenador con el correntómetro, Las velocidades medidas arrojaron resultados según la tabla N°21. Con dicha información inicial podemos calibrar el modelo matemático según caudal de entrada utilizado para la simulación en Flow3D.

Figura N° 44: Medición de velocidades en la entrada y salida del desarenador con métodos de correntómetro.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28: Velocidades en la sección de entrada de desarenador, aforadas mediante correntómetro

N° Aforo	Correntómetro m/s
Medición 1	0.387
Medición 2	0.420
Medición 3	0.392
Medición 4	0.396
Medición 5	0.433
<b>Promedio</b>	<b>0.409</b>

Para determinar el caudal utilizaremos la arquitectura del levantamiento topográfico y las dimensiones de canal rectangular, datos para los que se tiene lo siguiente:

Tabla N° 29: Determinación del caudal de ingreso al desarenador.

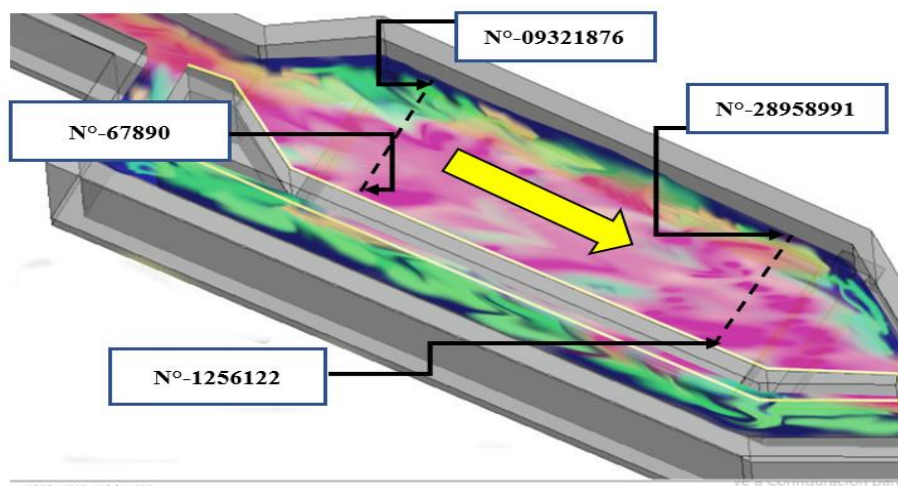
Tirante (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vel. Prom (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0.18	0.53	0.096	0.409	0.039

La simulación inicial en Flow3D utilizará el caudal anteriormente calculado para calibrar las velocidades de contorno en ambos muros laterales en el interior de la poza de sedimentación con un tiempo de simulación de 180 s.

- **Calibración de modelo con iteración en Mesh-Block.**

Para la calibración del modelo, se toman los nodos N°67890, 1256122, 09321876, 28958991 en donde se debe ingresar diferentes valores de rugosidades  $n$  de Manning, hasta encontrar la velocidad correspondiente. La ubicación de cada nodo está a 1m y 06 desde la entrada del desarenador tal como se muestra en la figura.

Figura N° 45: Ubicación de nodos para calibración modelo, de acuerdo a iteración de coeficientes de rugosidad de Manning.





Obteniendo para cada nodo las siguientes iteraciones.

Tabla N° 30: Iteraciones de rugosidad de Manning ( $n$ ) para nodos N°67890, 1256122, 09321876, 28958991, hasta determinar velocidad de modelo igual a la medida en campo.

<i>Correction</i>	<i>Node</i>	<i>T*</i>	<i>n</i>	<i>u</i>	$\rho$	<i>v</i>	<i>y</i>	<i>g</i>	<i>Vel.</i>
<b>1</b>	N°-67890	9.5	0.01500	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	0.29568
<b>2</b>	N°-67890	9.5	0.01550	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	0.21959
<b>3</b>	N°-67890	9.5	0.01590	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	0.20524
<b>4</b>	N°-67890	9.5	0.01610	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	<b>0.20508</b>
<b>5</b>	N°-1256122	9.5	0.01500	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.24863
<b>6</b>	N°-1256122	9.5	0.01568	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.18038
<b>7</b>	N°-1256122	9.5	0.01570	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.15871
<b>8</b>	N°-1256122	9.5	0.01610	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.14349
<b>9</b>	N°-1256122	9.5	0.01620	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	<b>0.14311</b>
<b>10</b>	N°-09321876	9.5	0.01500	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	0.35478
<b>11</b>	N°-09321876	9.5	0.01550	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	0.25364
<b>12</b>	N°-09321876	9.5	0.01590	0.00134	999.85	1.30E-06	0.670	9.81	<b>0.26948</b>
<b>13</b>	N°-28958991	9.5	0.01500	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.21572
<b>14</b>	N°-28958991	9.5	0.01559	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.17358
<b>15</b>	N°-28958991	9.5	0.01585	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	0.13457
<b>16</b>	N°-28958991	9.5	0.01615	0.00134	999.85	1.30E-06	1.400	9.81	<b>0.13507</b>

Fuente: Elaboración propia.

Velocidades medidas vs calculadas en los nodos de calibración del modelo.

Tabla N° 31: Comparación de velocidades finales de iteración vs velocidades medidas en cada punto de calibración.

<b>N° Nodo</b>	<b>Velocidad de modelo</b>	<b>Velocidad medida</b>
<b>N°-67890</b>	0.20508 <i>m/s</i>	0.20 <i>m/s</i>
<b>N°-1256122</b>	0.14311 <i>m/s</i>	0.14 <i>m/s</i>
<b>N°-09321876</b>	0.26948 <i>m/s</i>	0.26 <i>m/s</i>
<b>N°-28958991</b>	0.13507 <i>m/s</i>	0.13 <i>m/s</i>

Fuente: Elaboración propia.

- **Concentraciones de sedimentos en el flujo**

El modelamiento se realizó con distintas concentraciones de sedimentos, según distribución de diámetros de la curva granulométrica del diagrama N°05. Se trabajó con concentración de sólidos de 5, 10, 20 por ciento para cada una de las arenas y una concentración al 20 % para los limos.

Tabla N° 32: Concentraciones de sedimentos para modelamientos de suelos de arenas y limos.

Tipo de suelo	Concentración (masa/volumen) de sólidos en el flujo de agua		
	05 %	10 %	20%
<b>Arenas gruesas</b>	5.17 kg/m <sup>3</sup>	10.35 kg/m <sup>3</sup>	20.75 kg/m <sup>3</sup>
<b>Arenas medianas</b>	5.17 kg/m <sup>3</sup>	10.35 kg/m <sup>3</sup>	20.75 kg/m <sup>3</sup>
<b>Arenas finas</b>	5.17 kg/m <sup>3</sup>	10.35 kg/m <sup>3</sup>	20.75 kg/m <sup>3</sup>
<b>Limos</b>	-	-	20.75 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 33: Nomenclatura de modelamiento con diámetros máximos y mínimos según tipo de suelo.

Tipo de suelo	Abreviatura	Diámetros (mm)	Concentraciones sólidos y agua (kg/m <sup>3</sup> )	N° Modelamiento
<b>Arenas</b>	Ag (Arena gruesa)	Entre	05 % - 10% - 20%	M N° 01-Ag 05%
		2.0 -1.0		M N° 02-Ag 10%
				M N° 03-Ag 20%
	Am (Arena media)	Entre	0.80 - 0.25	M N° 04-Am 05%
				M N° 05-Am 10%
				M N° 06-Am 20%
	Af (Arena fina)	Entre	0.20 - 0.1	M N° 07-Af 05%
				M N° 08-Af 10%
				M N° 09-Af 20%
<b>Limos</b>	Li (Limos)	0.05>	05 % - 10% - 20%	M N° 10-Li 20%

Fuente: Elaboración propia

Luego de medir las velocidades aforadas para el modelamiento, se procedió medir el canal rectangular de ingreso a la estructura por lo que también se usó el sensor y se tomaron las medidas de tirante y geometría del canal para el cálculo de caudal tal como se muestra:

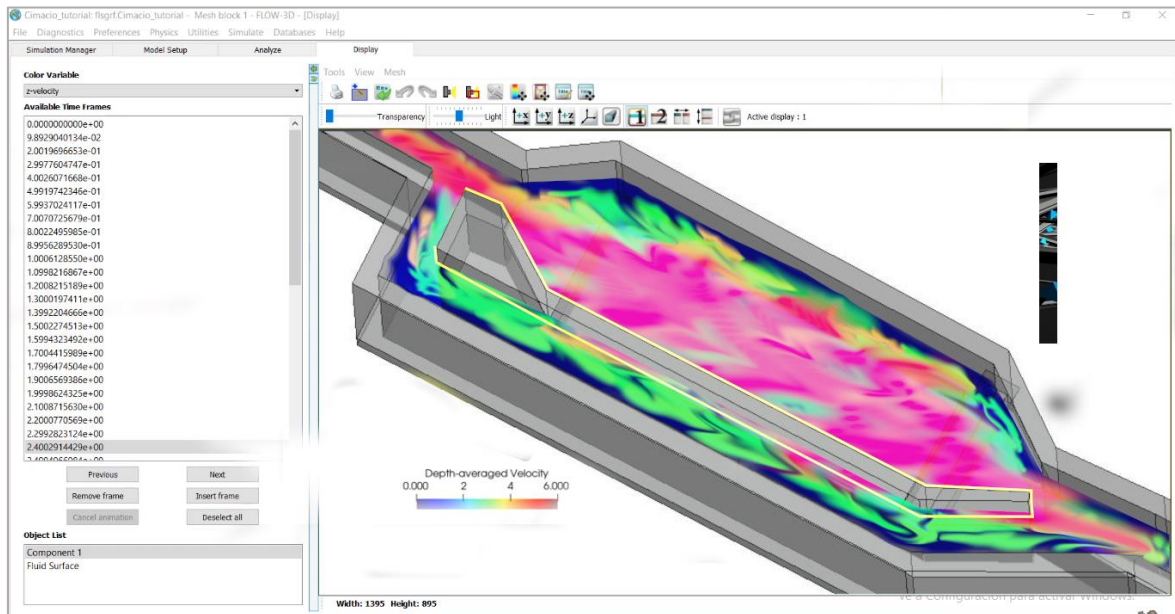
Tabla N° 34: Medición de velocidad promedio y caudal de modelamiento en la entrada del desarenador.

Ancho (m)	Tirante (m)	Área ( m <sup>2</sup> )	Vel prom (m/s)	Caudal ( m <sup>3</sup> /s)
<b>0.53</b>	0.201	0.106	0.406	0.048

Fuente: Elaboración propia

El modelamiento para el fluido de agua a condiciones sin sedimentos se vería dado por las velocidades a través de la sección de la poza de sedimentación entre 0.0 m/s y 0.6 m/s.

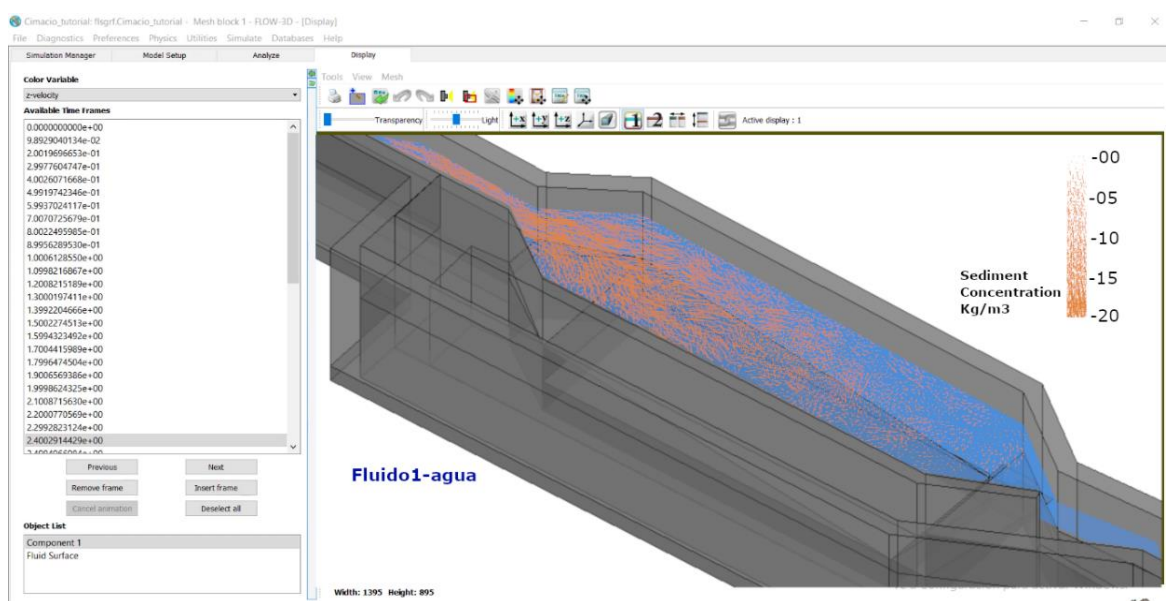
Figura N° 46: Modelamiento de velocidades de flujo en el desarenador para flujo 1 de agua sin sedimentos.



Fuente: Elaboración propia

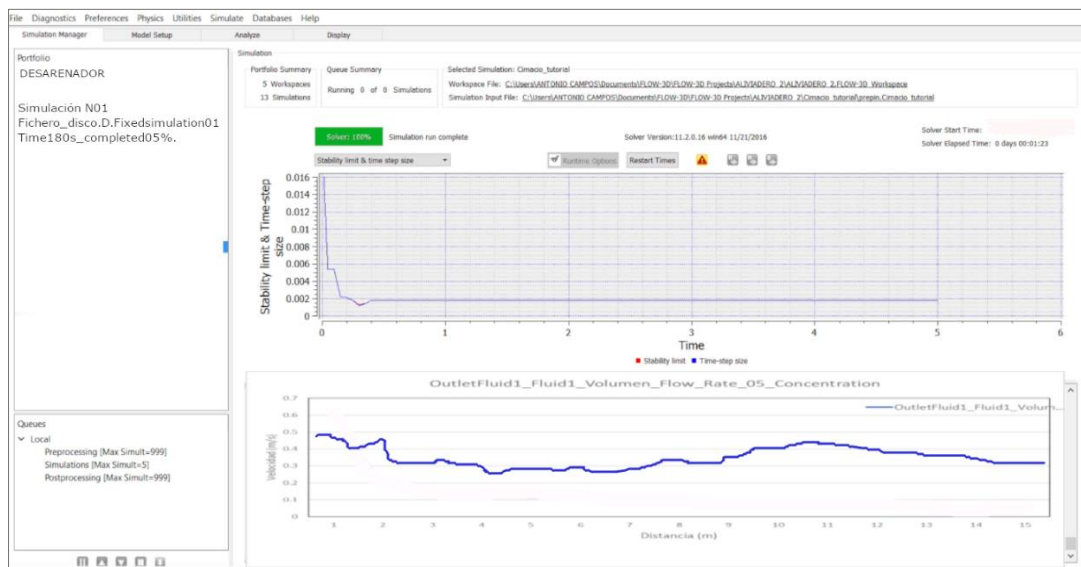
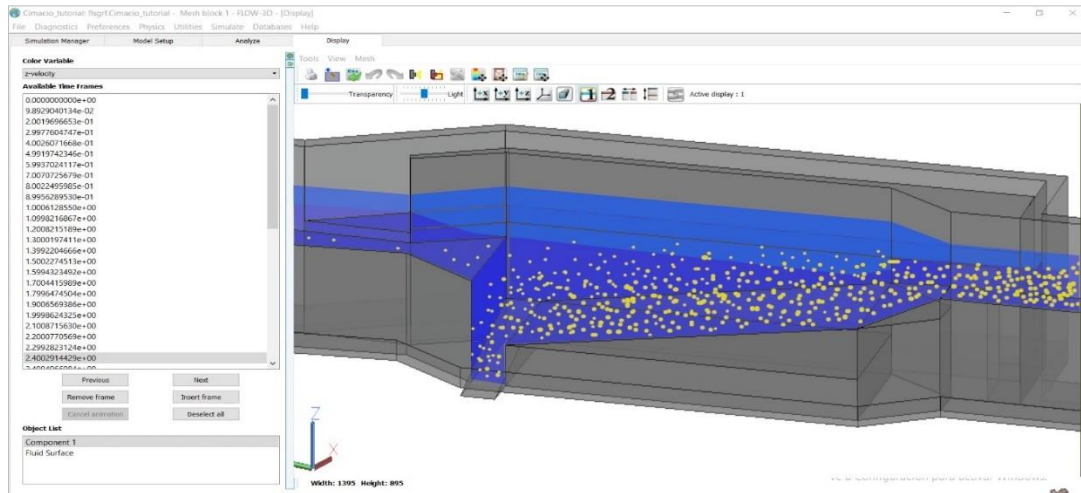
Por ello se agrega las condiciones de fluido1 con sedimentos a distintas concentraciones para iniciar simulación con distintos diámetros y calcular las velocidades de sedimentación para cada una de estas condiciones de modelamiento según la tabla N°22.

Figura N° 47: Simulación numérica para condición de flujo con sedimentos a concentración de sólidos del 20%.



a) **Modelado (M N° 01-Ag 05%)** Modelamiento inicial con 05% de concentración de sedimentos para arenas gruesas (Ag).

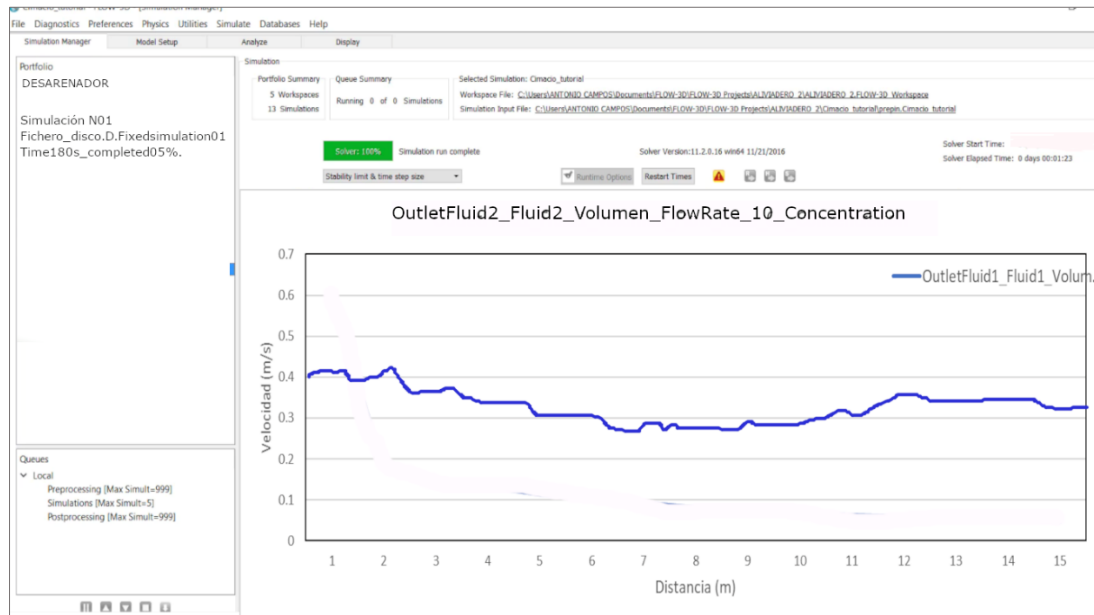
Figura N° 48 : Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



Fuente: elaboración propia.

b) **Modelado (M N° 02-Ag 10%)** Modelamiento numero 02 al 10% de concentración de sedimentos para arenas gruesas (Ag).

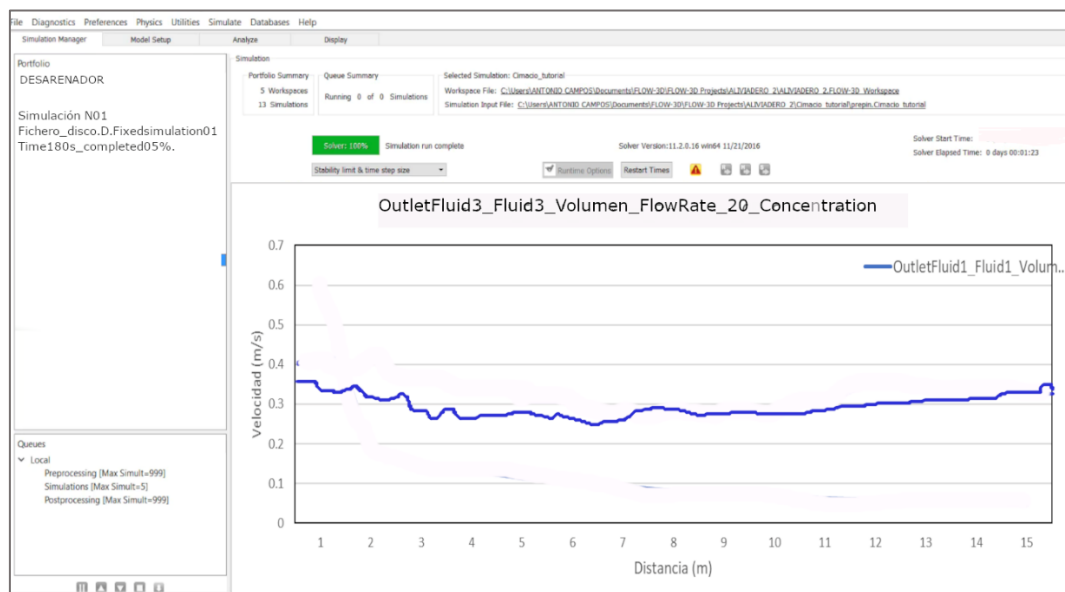
Figura N° 49: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



Fuente: elaboración propia.

- c) **Modelado (M N° 03-Ag 20%)** Modelamiento numérico al 20% de concentración de sedimentos para arenas gruesas (Ag).

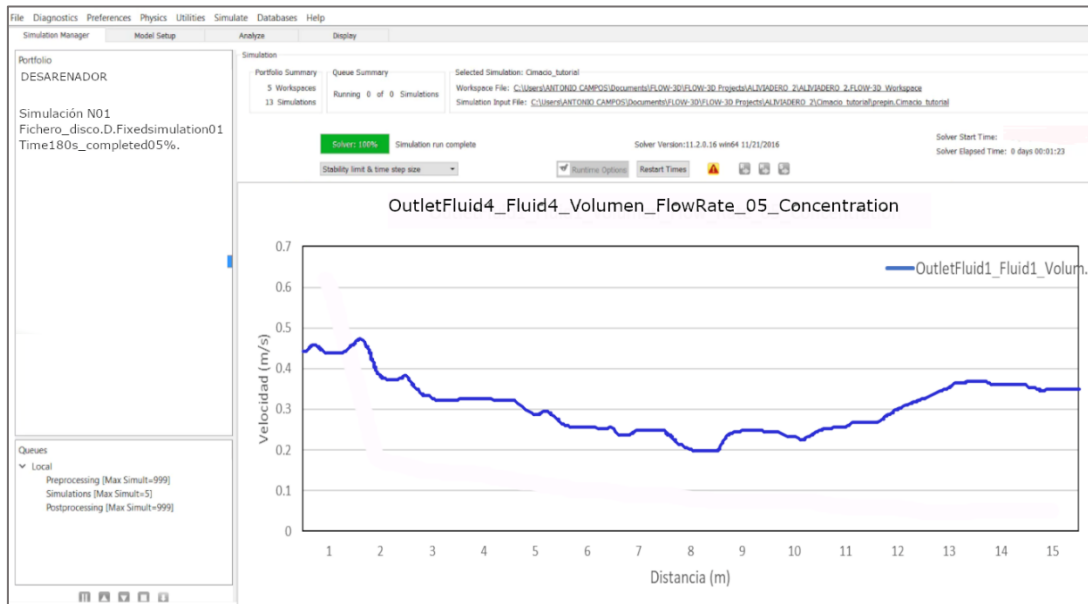
Figura N° 50: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 15% para arenas gruesas con diámetros entre los 2mm -1mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



Fuente: elaboración propia.

**d) Modelado (M N° 04-Am 05%)** Modelamiento numérico al 05% de concentración de sedimentos para arenas medianas (Am).

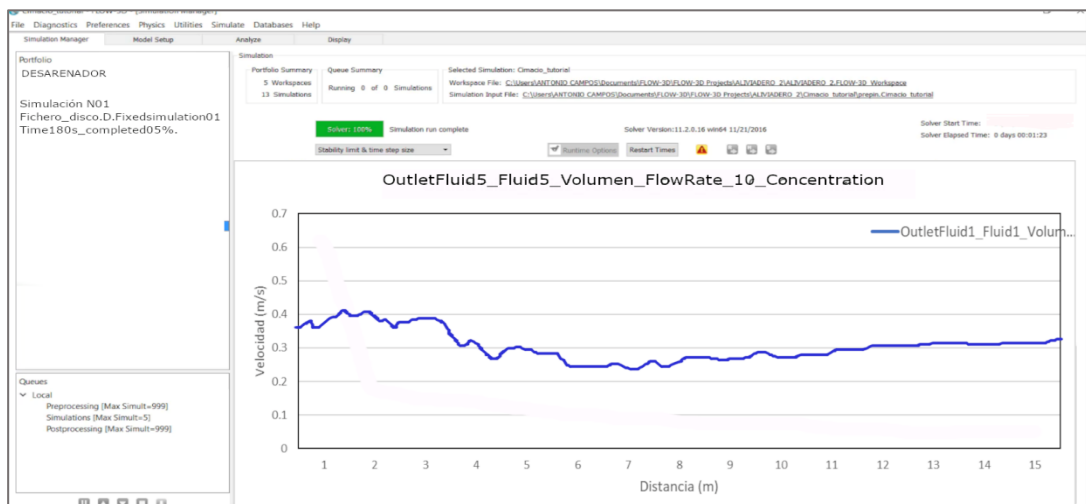
*Figura N° 51: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.*



Fuente: elaboración propia.

**e) Modelado (M N° 05-Am 10%)** Modelamiento numérico al 10% de concentración de sedimentos para arenas medianas (Am).

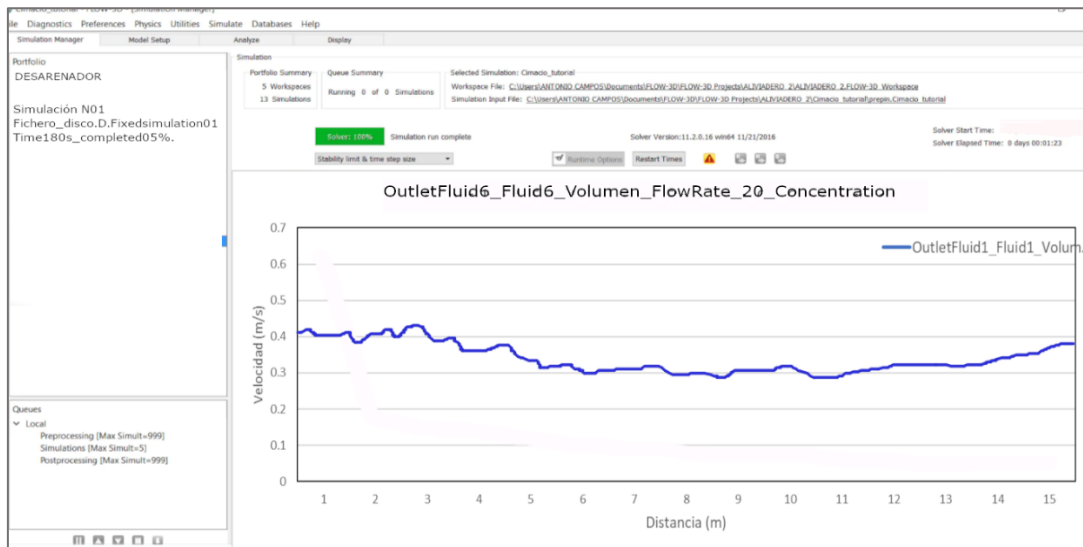
*Figura N° 52: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.*



Fuente: elaboración propia.

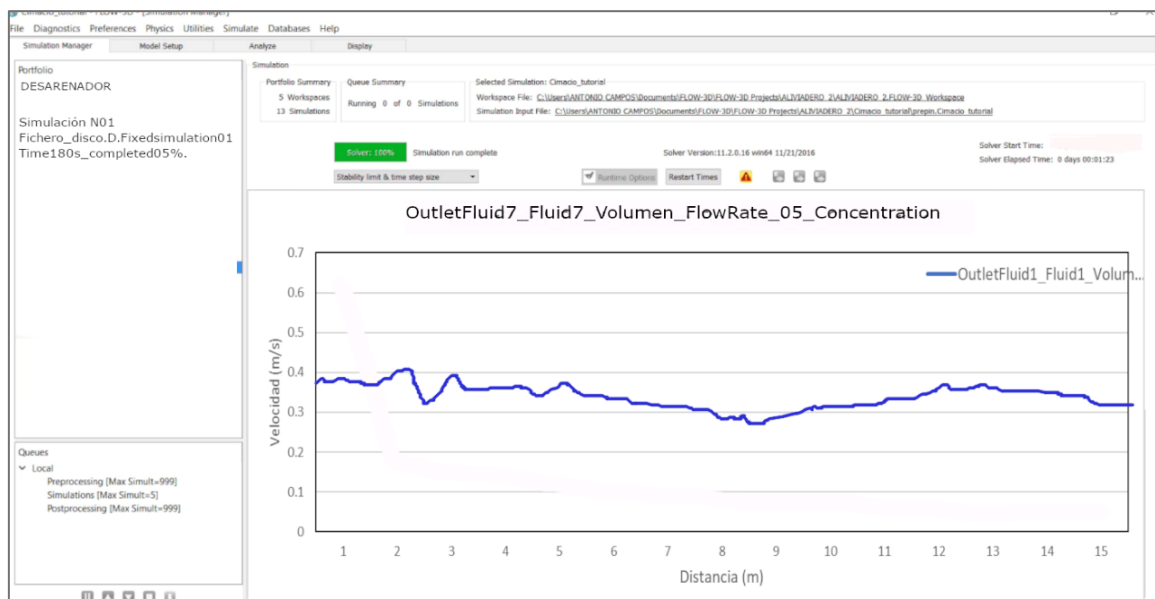
- f) **Modelado (M N° 06-Am 20%)** Modelamiento numérico al 20% de concentración de sedimentos para arenas medianas (Am).

Figura N° 53: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para arenas medianas con diámetros entre los 0.8 mm y 0.25 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



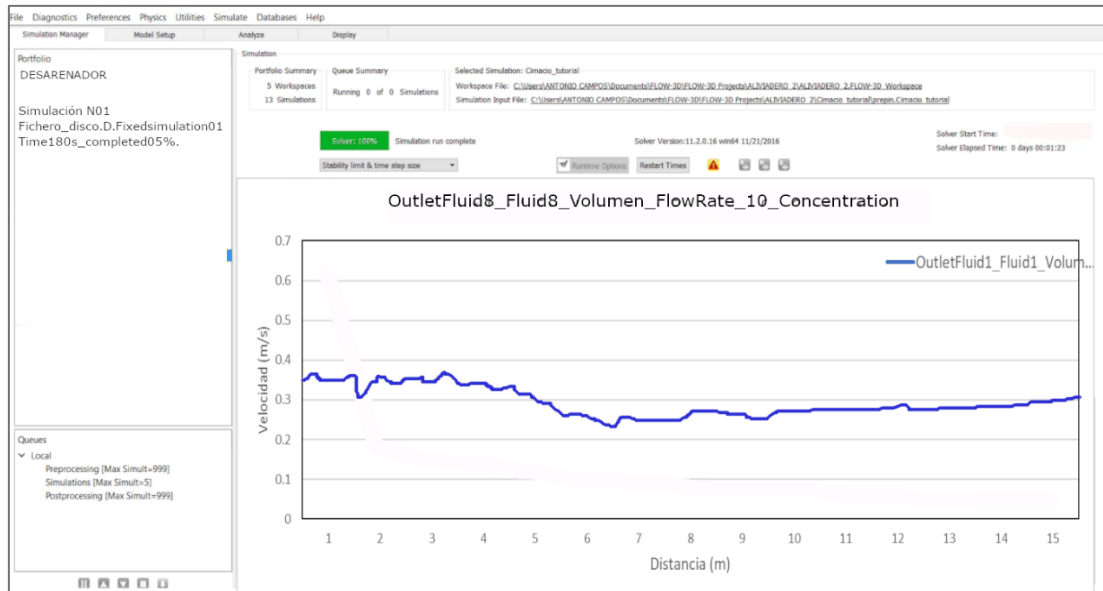
- g) **Modelado (M N° 07 - Af 05%)** Modelamiento numérico al 05% de concentración de sedimentos para arenas finas (Af).

Figura N° 54: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 05% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.10 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



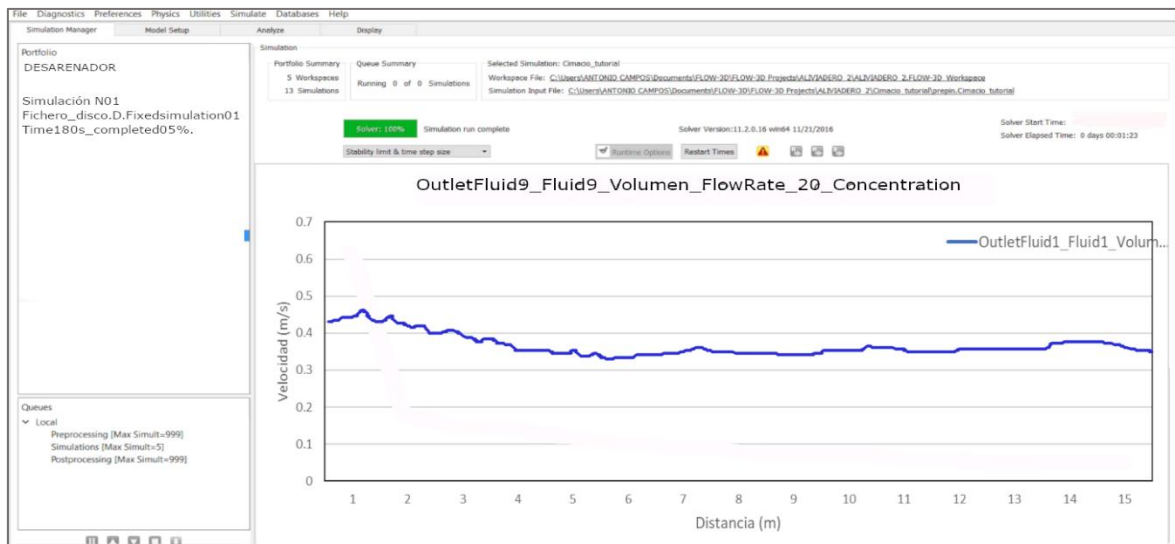
**h) Modelado (M N° 08 - Af 10%)** Modelamiento numérico al 10% de concentración de sedimentos para arenas finas (Af).

*Figura N° 55: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 10% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.*



**i) Modelado (M N° 09 - Af 20%)** Modelamiento numérico al 20% de concentración de sedimentos para arenas finas (Af).

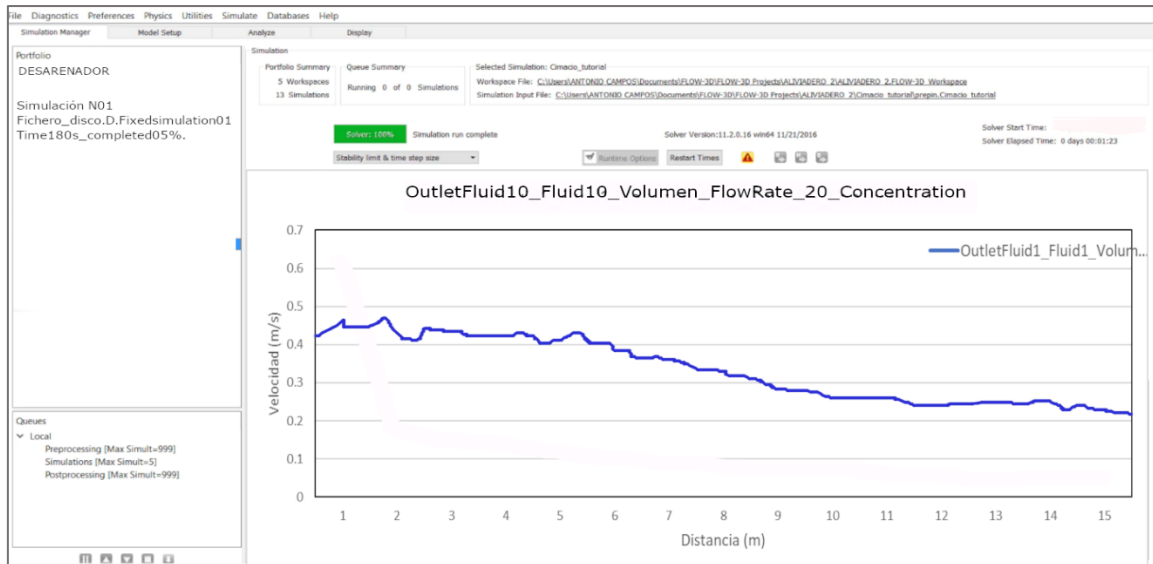
*Figura N° 56: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para arenas finas con diámetros entre los 0.2 mm y 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.*





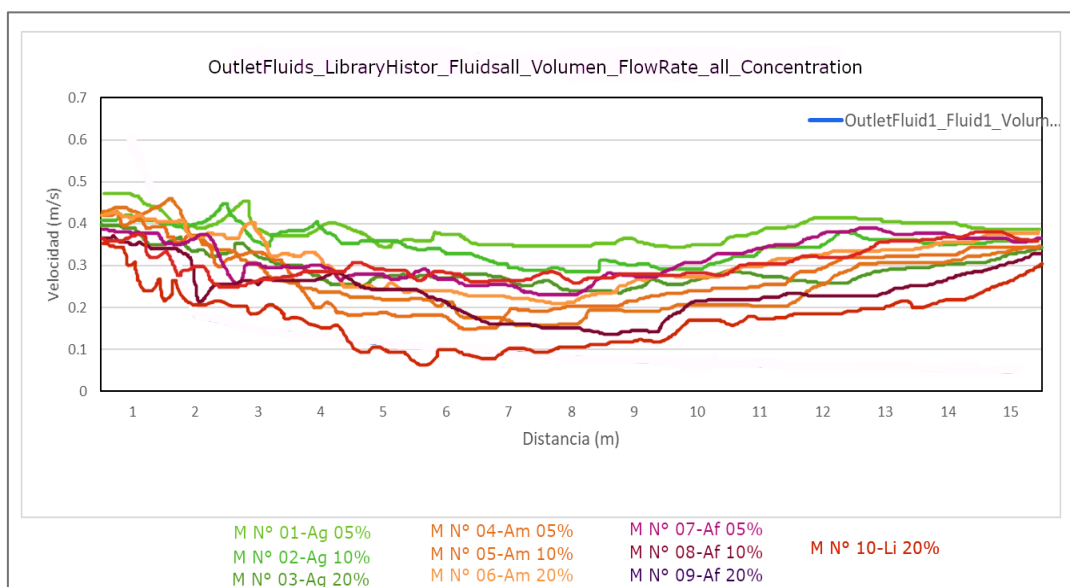
**j) Modelado (M N° 10 - Li 20%)** Modelamiento numérico al 20% de concentración de sedimentos para limos (Li).

Figura N° 57: Modelamiento de flujo en condiciones de concentración de sedimentos al 20% para limos con diámetros menores a los 0.1 mm, con caudal de ingreso de 0.048 m<sup>3</sup>/s.



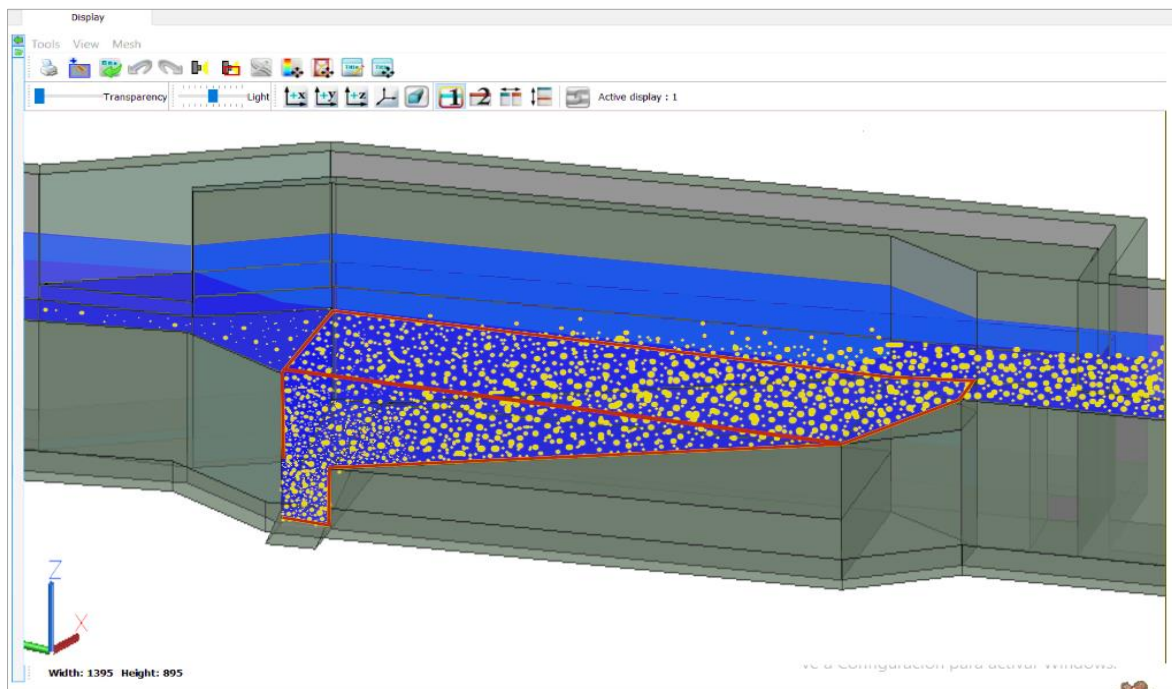
Los ficheros almacenados en la carpeta de simulaciones, nos permiten interpolar las curvas de desempeño de velocidades a lo largo del desarenador, cada una de las simulaciones se ve alterada por las características del flujo y su concentración de sólido, tal como se muestra en el siguiente gráfico N°52.

Figura N° 58: Velocidades de salida de partículas sólidas y flujo a lo largo del desarenador, para las 10 simulaciones de Ag, Am, Af y Li, con concentraciones al 05-10-20%.



Las velocidades en el desarenador además varían según el continuo almacenamiento de material en la poza, por lo que la altura de recorrido de caída de la partícula se reduce y el tiempo de sedimentación se reduce, esta altura máxima de sedimentos se encuentra al nivel del canal de la salida del desarenador, en la cota 2773.90 m.s.n.m. Por lo que es el límite máximo para realizar la limpieza alcanzando un volumen de  $11.58 \text{ m}^3$

*Figura N° 59: Modelamiento numérico para distintas concentraciones y tiempo de llenado con material sólido al nivel 2773.9 y un volumen de poza de  $11.58 \text{ m}^3$ .*



Fuente: Elaboración propia

Los periodos de limpieza están determinados por el tiempo de llenado de la poza con material en periodos de lluviosos en donde se presenta una sobre carga de materiales, es decir dependerá de las intensidades de las precipitaciones las cuales originan una mayor concentración de sedimentos entrantes al desarenador.

Tabla N° 35: Tiempo de llenado de sedimentos de la poza de sedimentación del desarenador, para a concentraciones del 05, 10 y 20 % para eficiencias mínimas según diámetros de partículas, y caudales de  $0.039\text{m}^3/\text{s}$

Material	Tiempos de acumulación de sedimentos en horas (h)		
	Concentración 05% $\text{Kg}/\text{m}^3$	Concentración 10% $\text{Kg}/\text{m}^3$	Concentración 20% $\text{Kg}/\text{m}^3$
Arenas Gruesas con Eficiencia = 92.4%	17.62	8.81	4.41
Arenas Medianas con Eficiencia = 73.1%	22.21	11.10	5.55
Arenas Finas con Eficiencia = 22.7%	73.69	36.84	18.42
Limos con Eficiencia = 20.6%	78.69	39.35	19.67

Fuente: Elaboración propia

Según la curva granulométrica del desarenador el mayor % de material retenido pertenece a arenas finas, por lo que el tiempo de limpieza y llenado del desarenador es cada 73 horas de lluvia y en eventos excepcionales cada 18 horas de lluvia acumulada.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1 RESULTADOS CARTOGRAFÍA**

La captación ubicada en la quebrada Ramírez a una altitud de 3028.95 m.s.n.m. la cual capta el agua de la microcuenca de 3,59 Km<sup>2</sup> de área, deriva sus aguas a la mini central hidroeléctrica durante más de 35 años. El flujo de agua captado llega al desarenador ubicado a una altitud de 2773.95 m.s.n.m. mediante el canal de conducción, con pendiente media  $S_m = 4.58\%$  y una pendiente de entrada al desarenador de  $s=1\%$ . El agua parcialmente libre de sedimentos se conduce a la cámara de carga ubicada a 2772.68 m.s.n.m. y por consiguiente mediante la tubería de presión a la sala de máquinas emplazada a una altura de 2650.18 m.s.n.m. en el caserío de Nuevo Perú.

### **5.2 RESULTADOS DE LA ARQUITECTURA**

El desarenador de tipo convencional horizontal de una nave y bypass incorporado tiene una longitud total de 10.48 m por 2.90 m de ancho, y una poza de sedimentación de 6.36 m, una cota de 2773.23 en el extremo más profundo y de 2773.90 en la zona de entrada del flujo. Dicha poza cuenta con tres pendientes distintas en el fondo de la estructura, la pendiente en la zona de entrada  $S_e=20\%$ , pendiente  $S_d=10\%$  en la zona de decantación y pendiente de zona de limpieza  $S_l=22\%$ . La estructura además cuenta con la zona de entrada al desarenador, la cual tiene una sección rectangular con dimensiones de altura  $h=0.730$  m por 0.53 m de ancho, la zona de salida por su parte comparte la altura, pero tiene un ancho de 0.41 m, con una cota de 0.1 m por debajo a la zona de entrada. El bypass por su parte une la zona de entrada y salida de manera externa a la poza de sedimentación, mediante un canal rectangular de ancho 0.63 m por 0.73 m de altura. 2 de las 3 compuertas metálicas de accionamiento mecánico presentan averías, de corrosión como de maniobrabilidad.

### **5.3 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS**

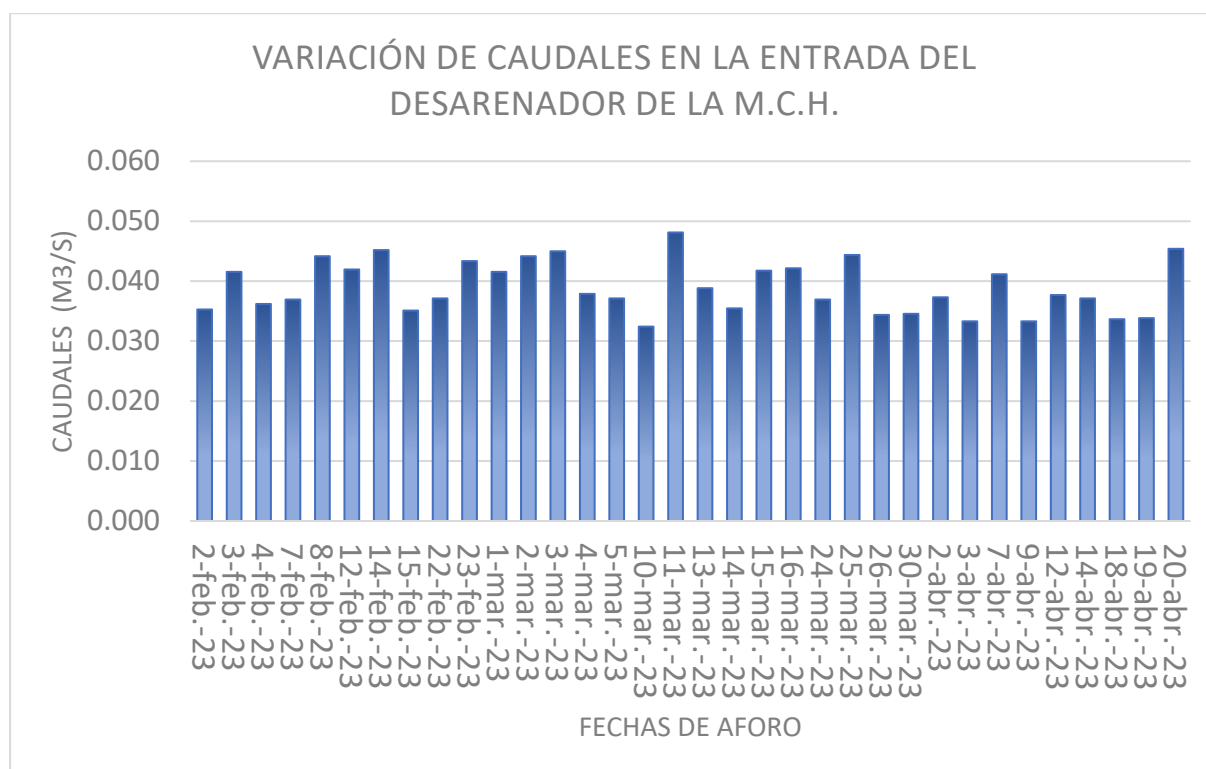
Las variaciones de caudales en el desarenador se obtuvieron a partir de los aforos en la sección de entrada, según las fechas que se muestran en la tabla N° 11. El caudal promedio es de 0.039 m<sup>3</sup>/s, y el máximo registrado pertenece a la tarde del 11 de marzo del 2023 en donde el caudal fue de 0.048 m<sup>3</sup>/s, y el mínimo de 0.032 m<sup>3</sup>/s registrado el 10/03/2023.

Tabla N° 36: Caudales máximos, mínimos y medios en la sección de entrada de desarenador, aforadas mediante correntómetro y método del flotador.

Métodos de aforo	Caudal máximo	Caudal mínimo	Caudal promedio
Correntómetro	0.048 m <sup>3</sup> /s	0.032 m <sup>3</sup> /s	0.039 m <sup>3</sup> /s
Método del flotador	0.055 m <sup>3</sup> /s	0.029 m <sup>3</sup> /s	0.041 m <sup>3</sup> /s

Elaboración propia.

Figura N° 60: Caudales en la entrada del desarenador



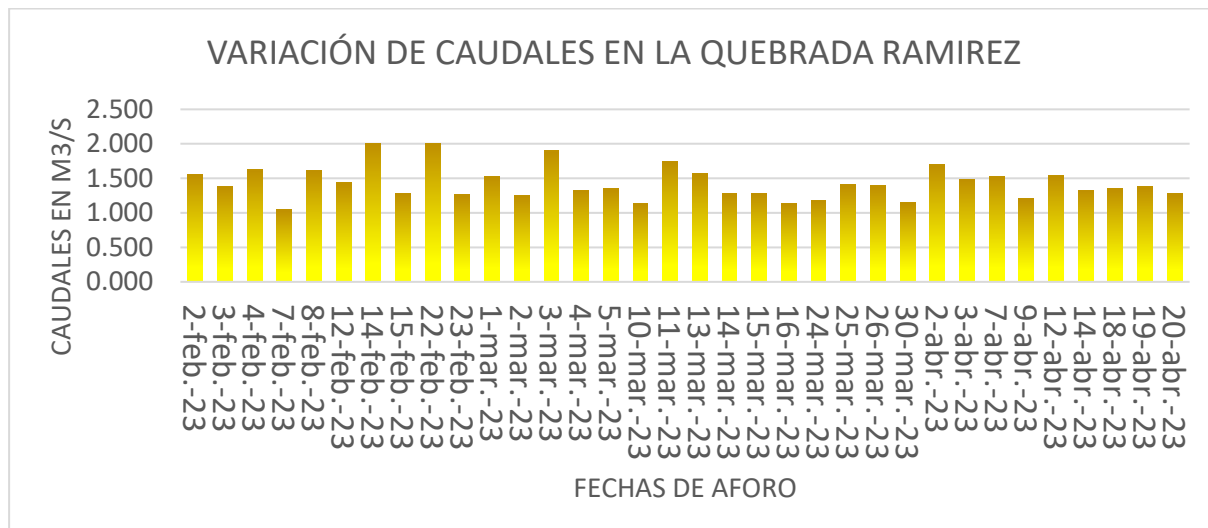
En la quebrada Ramírez, +30 m aguas arriba de la captación, se realizaron 34 aforos, con el método de área y velocidades medidas mediante correntómetro y se utilizaron para calibrar y compatibilizar las mediciones según la medición con flotador, mediante los cuales se pudo determinar la variación de caudales, de los cuales se obtuvo un caudal promedio de 1.431 m<sup>3</sup>/s, caudal máximo de 2.012 m<sup>3</sup>/s y mínimo de 1.044 m<sup>3</sup>/s.

Tabla N° 37: Caudales promedio en la quebrada Ramírez aforadas mediante correntómetro y método del flotador.

Métodos de aforo	Caudal máximo	Caudal mínimo	Caudal promedio
Correntómetro	2.012 m <sup>3</sup> /s	1.044 m <sup>3</sup> /s	1.431 m <sup>3</sup> /s
Método del flotador	2.309 m <sup>3</sup> /s	0.976 m <sup>3</sup> /s	1.389 m <sup>3</sup> /s

Fuente: Elaboración propia

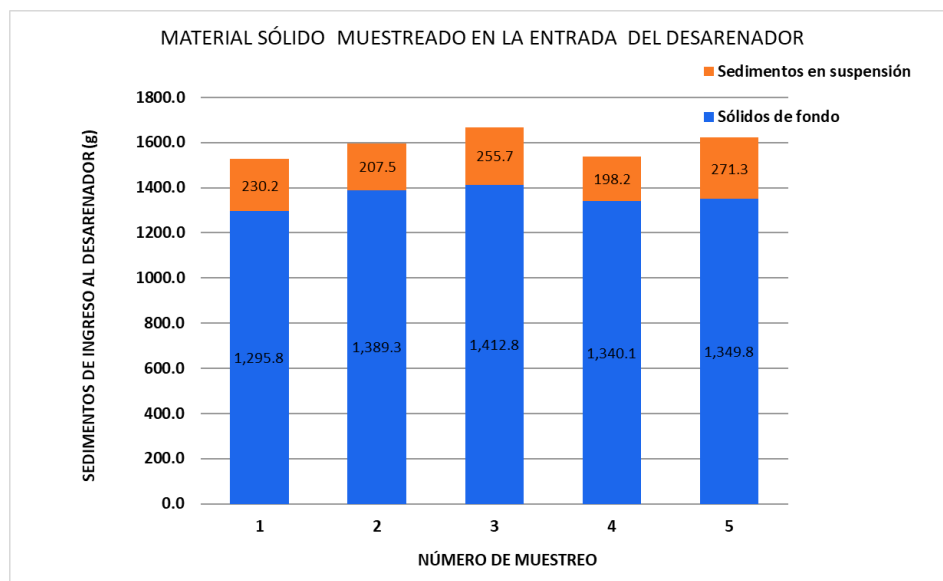
Figura N° 61: Variación de caudales en la Quebrada Ramírez



#### 5.4 RESULTADOS DEL GASTO SÓLIDO EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H.

Las cantidades de sedimentos en suspensión representan un 17% respecto a los sedimentos de fondo, mientras que promedio de material sólido muestreado para las 05 pruebas es de 1590.1 g, además la concentración de sedimentos en el flujo de agua es de 12%.

Figura N° 62: Cantidad de sedimentos en suspensión y de fondo en la entrada del desarenador para 05 ensayos.



El material sedimentado y muestreado arrojó una curva granulométrica en donde claramente se evidenció la presencia de arenas medias, finas y limos de diámetros entre los 5 mm y 0.075 mm, solo el 4.19 % de material corresponde a las arcillas y partículas menores que atraviesan el tamiz N#200. El módulo de fineza de los sedimentos es de 2.85 por lo que se considera un material perteneciente a arenas gruesas.

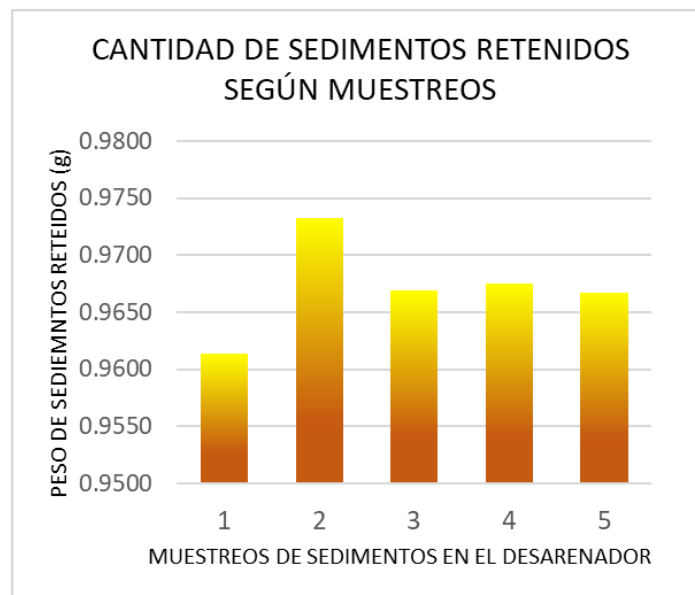
## 5.5 RESULTADOS DE LA EFICIENCIA EN EL DESARENADOR

### 5.5.1 EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS EN EL DESARENADOR MEDIDOS EN PROTOTIPO REAL.

✓ *Eficiencias de retención de sedimentos de fondo y en suspensión según muestreos*

Las muestras extraídas en la zona de entrada contienen mayor peso de sedimentos que en las muestras extraídas en la zona de salida. La mayor cantidad de sedimentos retenidos en el desarenador según las mediciones in situ fue de 1613.3 g y la mínima de 1467 g. La media de retención de material sólido fue de 1539.9 g para los 05 eventos medidos.

*Figura N° 63: Cantidad de sedimentos retenidos en el desarenador de acuerdo a los 05 muestreos en la entrada y salida del desarenador*

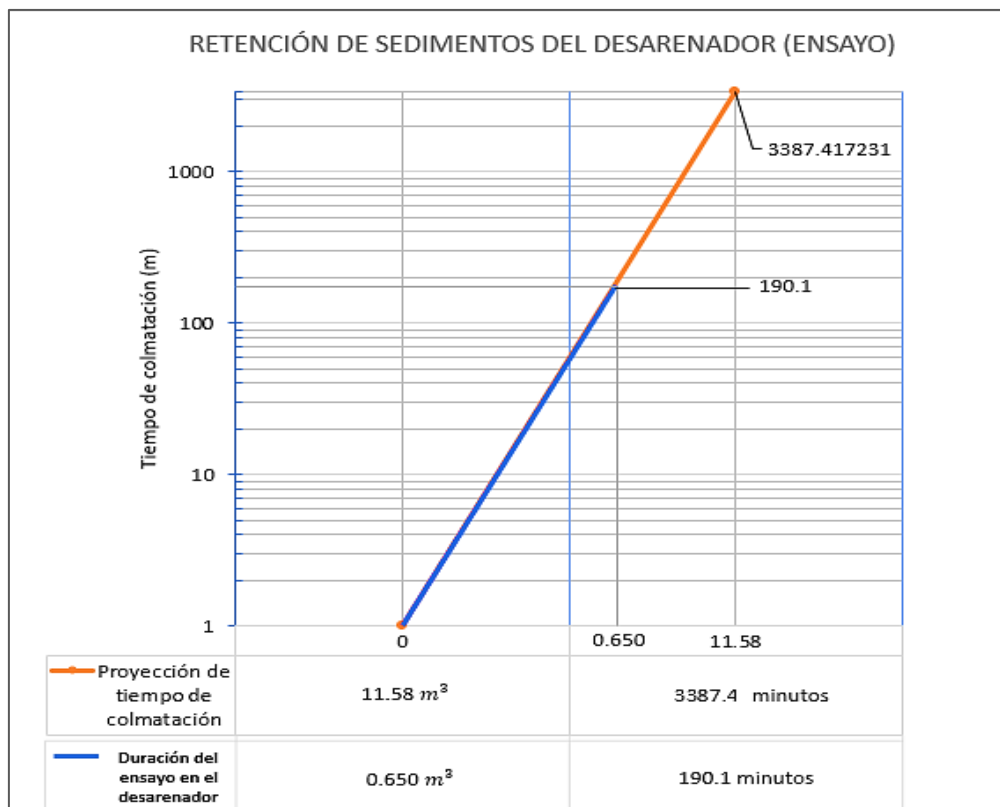


Según el ensayo realizado durante un tiempo de 190 min, con un volumen de sedimentos de  $0.650 m^3$  extraídos de la zona de limpieza del desarenador, caudal de  $0.039 m^3/s$  y concentración de sedimentos al 12%, se determina que se retienen  $0.487 m^3$ , es decir el desarenador posee una eficiencia del 74% frente a la retención de sedimentos.

✓ *Eficiencias de retención de sedimentos según ensayo en prototipo real.*

El desarenador alcanzó un nivel de eficiencia de 74.92% en el ensayo de 190.1 min, en el prototipo real en donde se utilizaron sedimentos de arenas gruesas (Ag), arenas medianas (Am), arenas finas (Af), Limos (Li), con un caudal de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , utilizando una concentración de sedimentos del 12%, para un volumen total de sedimentos utilizados de  $0.650 \text{ m}^3$ . También se determinó que el tiempo de colmatación a capacidad máxima de  $11.58 \text{ m}^3$  del desarenador es de 3387.4 minutos o 56 horas con 21 min para las condiciones del ensayo antes mencionadas.

Figura N° 64: Retención de sedimentos medidos en el desarenador con una muestra de  $0.650 \text{ m}^3$  de sedimentos y una concentración al 12% durante 190.1 min



De los  $0.650 \text{ m}^3$  de material el desarenador retuvo  $0.487 \text{ m}^3$  es decir  $0.163 \text{ m}^3$  logran atravesar la posa de sedimentación y se dirigen a la cámara de carga y tubería de presión, estos volúmenes nos arrojan un nivel de eficiencia de retención de sedimentos del 74.92%.

### 5.5.2 EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS SEGÚN TEORÍAS DE DISEÑO

Las eficiencias varían de acuerdo a la metodología de diseño aplicada, estas fueron calculadas a partir de las velocidades de flujo medidas en las secciones de entrada y velocidades de caída

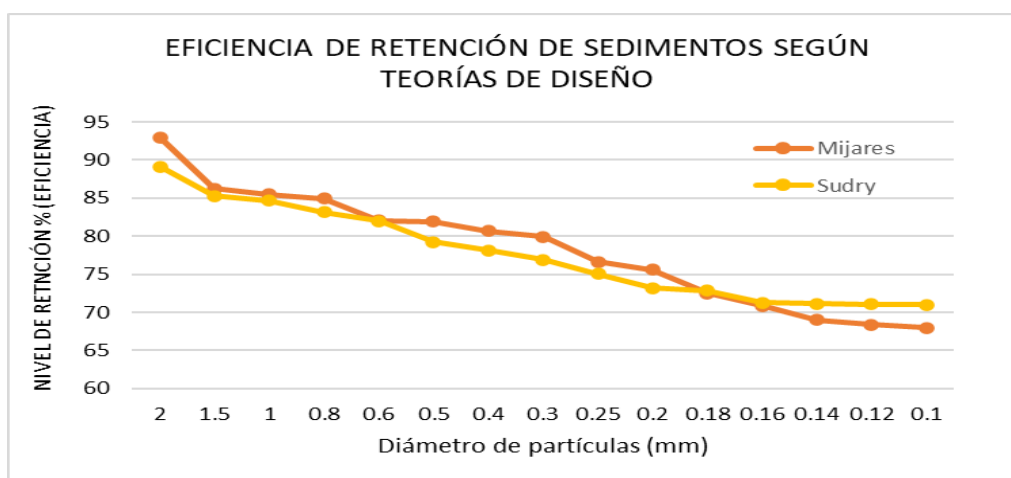


de la partícula en la poza del desarenador, los factores que determinan la variación de estas velocidades varían según el diámetro de partículas, es por ello que para las velocidades aforadas se tiene determina las siguientes eficiencias.

Tabla N° 38: Eficiencias según teorías de diseño para sedimentos de arenas gruesas, medianas, finas, para velocidad media de 0.406 m/s y caudal de 0.039 m<sup>3</sup> /s, con velocidades obtenidas de sedimentación a partir de modelamiento CFD en Flow3D.

Diámetro mm	Velocidad de sedimentación cm/s	Eficiencia de retención según autor (%)	
		Mijares	Sudry
2.00	20.79	93.00	89.10
1.50	18.01	86.27	85.25
1.00	14.70	85.46	84.69
0.80	13.15	84.93	83.14
0.60	11.39	82.07	81.99
0.50	10.40	81.90	79.25
0.40	9.30	80.65	78.15
0.30	8.05	79.92	76.87
0.25	7.35	76.60	75.02
0.20	6.58	75.58	73.18
0.18	6.24	72.51	72.86
0.16	5.88	70.87	71.28
0.14	5.50	69.01	71.11
0.12	5.09	68.40	71.09
0.10	4.65	68.00	71.00

Figura N° 65: Comparativas de eficiencia de retención del desarenador vs diámetro de partículas según teorías de diseño para Sudry y Mijares.



Fuente: Elaboración propia.

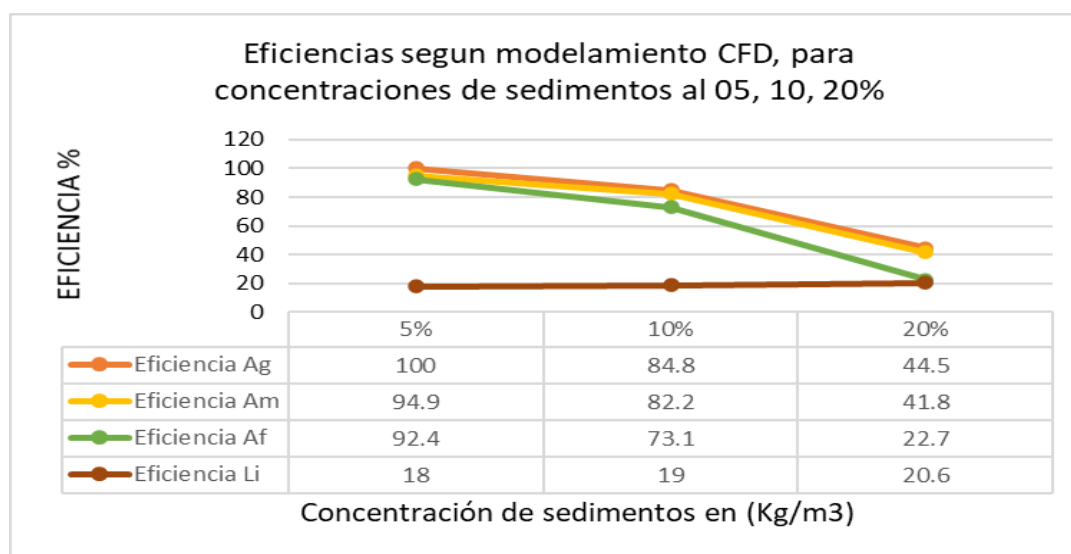
### 5.5.3 EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS SEGÚN MODELAMIENTO NUMÉRICO CFD EN FLOW3D

Las velocidades del flujo de partículas en el desarenador se ven alteradas por las concentraciones de los sedimentos y por las características de las partículas. De acuerdo a cada modelamiento se determinó las siguientes características de eficiencia.

Tabla N° 39: Determinación de eficiencias según modelamiento CFD, para partículas de arenas gruesas (Ag), arenas medianas (Am), arenas finas (Af) y limos (Li) a concentraciones de 05, 10, 20%, con velocidad de entrada del flujo de 0.406 m/s.

Tipo de suelo	Abreviatura	N° Modelamiento	Eficiencia de retención según CFD
Arenas	Ag (Arena gruesa)	M N° 01-Ag 05%	100
		M N° 02-Ag 10%	94.9
		M N° 03-Ag 20%	92.4
	Am (Arena media)	M N° 04-Am 05%	84.8
		M N° 05-Am 10%	82.2
		M N° 06-Am 20%	73.1
	Af (Arena fina)	M N° 07-Af 05%	44.5
		M N° 08-Af 10%	41.8
		M N° 09-Af 20%	22.7
Limos	Li (Limos)	M N° 10-Li 20%	20.6

Figura N° 66: Diagrama de eficiencias según modelamiento CFD, para partículas de arenas gruesas (Ag), arenas medianas (Am), arenas finas (Af) y limos (Li) a concentraciones de 05, 10, 20% , con velocidad de entrada del flujo de 0.406 m/s.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- La captación ubicada a 5.56 Km aguas arriba del desarenador en la cota 3028.95 m.s.n.m. deriva el agua de la Quebrada Ramirez, en la cual se realizaron aforos en 34 oportunidades en días lluviosos, registrando un caudal máximo de  $2.012 \text{ m}^3/\text{s}$  el día 14 de febrero de 2023 y un caudal mínimo de  $1.044 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sin embargo, el caudal máximo de llegada al desarenador se midió el 11 de marzo alcanzando los  $0.048 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el mínimo de  $0.032 \text{ m}^3/\text{s}$  registrado el 10 de marzo, el caudal promedio de llegada al desarenador es de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- En la entrada al desarenador el canal rectangular posee una pendiente de 1% la cual genera en el agua una velocidad medida de  $0.406 \text{ m/s}$ , calibrada con el correntómetro, además se determinó un caudal de  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , datos con los cuales se determinó las velocidades de sedimentación según teorías de diseño para sedimentos de arenas gruesas ( $V_{S_{Ag}}$ ) de  $20.79 \text{ cm/s}$ ; arenas medianas ( $V_{S_{Am}}$ ) de  $13.17 \text{ cm/s}$ ; arenas finas ( $V_{S_{Af}}$ ) de  $7.35 \text{ cm/s}$
- El nivel de eficiencia en retención de sedimentos del desarenador a partir de muestreos in situ y ensayo alcanzó un pico de 74.92% para partículas con diámetros entre los 5 mm y 0.25mm, y módulo de fineza MF de 2.85, se concluye además que esta eficiencia está por debajo a los niveles de eficiencia según teorías de diseño del 78.34% según Mijares y 77.6% según Sudry.
- La eficiencia de retención de sedimentos según modelamiento numérico (CFD) arroja valores superiores al 92.4% de eficiencia para concentraciones del 05% para partículas de Ag, Am, Af, ; sin embargo cuando la concentración de sólidos en agua se la aumenta a 10% la capacidad de eficiencia cae hasta el 73.1% Siendo las Af, las partículas menos eliminadas en el desarenador después de los limos con una eficiencia de 19.1%, Para una concentración de sólidos al 20% los valores de eficiencia decaen hasta 22.7% para las arenas más finas y un 20.6% para limos, esto indica que las eficiencias se ven alteradas exponencialmente a medida que la concentración aumenta.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mediciones de velocidades en el canal de entrada al desarenador con método del área velocidad con correntómetros de alta precisión como el modelo FM-100V5 de marca Shenzhen Aermanda tomando distancias rectas grandes e ininterrumpidas, o en su defecto correntómetros superiores al FP111 Global Water, ya que el margen de error es de 0.01 decimales por lo que a bajas velocidades es significativo en dichos equipos.
- Se recomienda, además, realizar los muestreos como mínimo durante 15 min para tener una longitud de muestreo más confiable, la instalación del envase muestreador de 1L en la entrada y salida del desarenador, debe instalarse y retirarse simultáneamente, evitando mover partículas en reposo del fondo del desarenador, además se recomienda realizar un análisis granulométrico con material de la cámara de carga como en el desarenador.
- Las fechas de los muestreos de preferencia se deben realizar en las fechas posteriores lo más próximas posibles al mantenimiento de limpieza del desarenador ya que los periodos de limpieza en meses lluviosos son cada 5-7 días y cada 1 mes en estiaje, esto con la finalidad de tener una medición más cercana a la eficiencia de teoría de diseño, ya que la capacidad de almacenamiento de solidos que saturan la poza de sedimentación es de  $11.58 m^3$ .

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 7.1 BIBLIOGRAFÍA

- Aurelio, H. M. (2015). *Depuración y desinfección de aguas residuales* Ingeniería Ambiental - Ecología, GARCETA grupo editorial, 6ta Edición.
- BACCA, J. B. (2019). *Aplicación del sistema de pearson en el modelado estocastico de los procesos de precipitacion, evaporacion y escorrentia superficial (caudales medios) en el rio fonce (SANTANDER)*. Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo. 1ra Edición.
- CIMBIOTYC. (2019). *Chugur, biodiversidad, economía, amenazas y oportunidades*. Gabinete de Recursos Naturales, EAPIAC Editorial.
- ESAN. (2012). *Proyectos de generación eléctrica del Perú*. Lima: Serie Gerencia para el Desarrollo Editorial Ada Ampuero.
- Guerrero, T., Salazar, J., & Paredes, J. (2018). *Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos*. Tingo María.
- IMTA. (2018). *Manual de aforos "Medición de volúmenes de aguas nacionales usados, explotados o aprovechados" NMX-AA-179-SCFI-2018*. Ciudad de Mexico: IMTA Editorial, Vol I.
- ITDG. (2009). *Manual de mini y micro centrales hidráulicas*. Lima: ITDG Editorial . 2da Edición.
- Jeny, S., & Leidy, J. (2018). *Estudio del porcentaje de eficiencia de la remoción de arenas en desarenadores de flujo horizontal construidos y otros construidos respecto a teorías de diseño*. Bogotá.
- LÓPEZ, R. F., & PATRÓN, E. R. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Sitio Argentino de producción animal.
- Mendez, G. J., Depettris, C. A., Ruberto, A. R., & Pilar, J. V. (2011). *Relación caudal líquido – caudal sólido en una microcuenca de la ciudad de Resistencia (Prov. del Chaco, Argentina)*. Resistencia, Argentina.: Marsa Editorial.
- OLADE, ONUDI. (2021). *Minicentrales hidroeléctricas (Manual para toma de decisiones)*. Quito, Santascrib Editorial. Vol 2.
- OMM. (2018). *Guía de prácticas hidrológicas*. Quinta edición N°168.
- Palomeque, V., Valdez, I., Jara, N., & Reinoso, F. (2020). *Diseño de una mini central hidroeléctrica* .

Quito: resti.

Schürch, S. (2014). *Efficient desanders for high-head hydroelectric power plants*. -Swiza.

SEDECAP. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones prácticas.

SENAMHI. (2018). *Manual de hidrometría*. Lima Perú, 3ra Actualización del foro Hirológico.

SEPIS, OPS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima, Perú.

U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Army Engineer. (2011). *Draft environmental impact statement george neal steam electric generating station*. Washington DC: US Army Corps of Engineers Editorial, VOL 2.

Winkler, K. (2022). *Hydro-abrasive erosion: Problems and solutions*. Zwitterland: IOP Publish.

Zetina, G. (2013). *Criterios de diseño de desarenadores a filo de corriente*. Morelos Juitepec, México, Universidadn nacional Autónoma de Mexico, UNAM.

Universidad centroamericana, 2018. *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 (75  $\mu$ m)* - Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168- Salvador, El Salvador.

ASTM C 136 – 01 (2021). “*Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*” Wisconsin US, Editorial AGENCY, Vol I.

Gonzales Naquiche, S. S. (2020). *Verificación del comportamiento hidráulico del Desarenador de la Central Hidroeléctrica Quiroz mediante Ansys CFX*.

Maque Choque, D. (2015). *Diseno y construccion de camara de carga subterran ea proyecto central hidroelectrica santa teresa urubamba-cusco*. Peru.

Sevilla Becerra, C (2014). *Modelación numérica de la cámara de carga y rápida hidráulica de la Central Hidroeléctrica de Curumuy*. Cataluña, España, Universidad Des Sants.

## 7.2 LINKOGRAFÍA

ANA. (05 de MAYO de 2021). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/ana-peru/ana-peru-inspecciona-autorizacion-uso-agua-proyecto-hidroenergetico-chanchamayo>

[https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA03 %20 Manual %20 para%20la%20realizaci%C3%B3n%20aforos%20caudal%20fuentes%20superficiales.pdf](https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA03%20Manual%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20aforos%20caudal%20fuentes%20superficiales.pdf)

[https://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayo Agregados/GRANULOMETRIA.pdf](https://www.uca.edu.sv/mecanicaestructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf)

<https://www.nrc.gov/docs/ML1104/ML11049A001.pdf>

<http://imta.edu.mx/index.php/edu-continua/33-cursos/937-hidraulica-basica-y-aforo-en-canales-a-superficie-libre-2023>

<https://www.iagua.es/noticias/ana-peru/ana-peru-inspecciona-autorizacion-uso-agua-proyecto-hidroenergetico-chanchamayo>

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222010000300002&lang=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000300002&lang=es)

## CAPÍTULO VII: ANEXOS

Figura N° 67: Ficha de muestreos iniciales en el desarenador.

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
02/02/2023	9:10 a.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		1		2		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.84		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		11.60		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.210	0.143		
2	0.500	1.000	0.360	0.190		
3	0.500	1.500	0.398	0.163		
4	0.500	2.000	0.252	0.088		
5	0.400	2.400	0.100	0.020		
Margen inzq	0.000	2.400	0.000	0.000		
			Área Total	0.603		

Fuente: Elaboración propia.

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
03/02/2023	5:00 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		3		4		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.81		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		13.60		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.230	0.140		
2	0.500	1.000	0.330	0.183		
3	0.500	1.500	0.402	0.171		
4	0.500	2.000	0.282	0.103		
5	0.450	2.450	0.130	0.029		
Margen inzq	0.000	2.450	0.000	0.000		
			Área Total	0.626		



MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA				
04/02/2023	9:05 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		5	6			
OPERADOR	CLIMA	AGUA				
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso	Turbia				
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )				
10	25.51	0.53				
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ					COORDENADAS	
Longitud (m)	Tiempo (s)	N	E	ALTURA		
30	10.50	9260445	751870	3028.95		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.180	0.120		
2	0.500	1.000	0.300	0.175		
3	0.500	1.500	0.399	0.165		
4	0.500	2.000	0.262	0.091		
5	0.360	2.360	0.100	0.018		
Margen inqz	0.000	2.360	0.000	0.000		
			Área Total	0.569		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA				
07/02/2023	8:50 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		7	8			
OPERADOR	CLIMA	AGUA				
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso	Turbia				
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )				
10	25.25	0.53				
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ					COORDENADAS	
Longitud (m)	Tiempo (s)	N	E	ALTURA		
30	14.90	9260445	751870	3028.95		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.160	0.110		
2	0.500	1.000	0.280	0.165		
3	0.500	1.500	0.379	0.155		
4	0.500	2.000	0.240	0.080		
5	0.220	2.220	0.081	0.009		
Margen inqz	0.000	2.220	0.000	0.000		
			Área Total	0.519		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
08/02/2023	4:30 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		9		10		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.09		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		11.47		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.211	0.134		
2	0.500	1.000	0.323	0.186		
3	0.500	1.500	0.419	0.175		
4	0.500	2.000	0.281	0.101		
5	0.380	2.380	0.122	0.023		
Margen inzq	0.000	2.380	0.000	0.000		
			Área Total	0.618		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
12/02/2023	4:50 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		11		12		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.70		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		12.55		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.206	0.131		
2	0.500	1.000	0.318	0.183		
3	0.500	1.500	0.412	0.171		
4	0.500	2.000	0.271	0.096		
5	0.365	2.365	0.112	0.020		
Margen inzq	0.000	2.365	0.000	0.000		
			Área Total	0.600		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
14/02/2023	5:10 p.m.	Entrada Salida				
		MUESTRA MUESTRA				
		13 14				
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		22.83		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		10.10		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.267	0.161		
2	0.500	1.000	0.378	0.187		
3	0.500	1.500	0.371	0.175		
4	0.500	2.000	0.330	0.123		
5	0.377	2.377	0.162	0.031		
Margen inzq	0.000	2.377	0.000	0.000		
			<b>Área Total</b>	0.677		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
15/02/2023	9:08 a.m.	Entrada Salida				
		MUESTRA MUESTRA				
		15 16				
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.91		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		14.60		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.232	0.144		
2	0.500	1.000	0.343	0.170		
3	0.500	1.500	0.338	0.167		
4	0.500	2.000	0.330	0.123		
5	0.272	2.272	0.162	0.022		
Margen inzq	0.000	2.272	0.000	0.000		
			<b>Área Total</b>	0.626		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
22/02/2023	0.397	Entrada	Salida			
		MUESTRA MUESTRA				
		17 18				
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.19		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		10.10		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.257	0.155		
2	0.500	1.000	0.361	0.177		
3	0.500	1.500	0.347	0.173		
4	0.500	2.000	0.345	0.132		
5	0.452	2.452	0.181	0.041		
Margen inzq	0.000	2.452	0.000	0.000		
			Área Total	0.677		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
23/02/2023	4:45 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA MUESTRA				
		19 20				
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.31		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		16.80		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.266	0.159		
2	0.500	1.000	0.371	0.182		
3	0.500	1.500	0.358	0.179		
4	0.500	2.000	0.357	0.138		
5	0.490	2.490	0.193	0.047		
Margen inzq	0.000	2.490	0.000	0.000		
			Área Total	0.705		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
01/03/2023	5:07 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		21	22			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	23.81			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	12.50			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.246	0.149		
2	0.500	1.000	0.351	0.172		
3	0.500	1.500	0.338	0.169		
4	0.500	2.000	0.336	0.127		
5	0.236	2.236	0.170	0.020		
Margen inzq	0.000	2.236	0.000	0.000		
<b>Área Total</b>				0.637		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
02/03/2023	5:00 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		23	24			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	23.09			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	14.50			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.229	0.140		
2	0.500	1.000	0.332	0.170		
3	0.500	1.500	0.348	0.166		
4	0.500	2.000	0.316	0.119		
5	0.136	2.136	0.158	0.011		
Margen inzq	0.000	2.136	0.000	0.000		
<b>Área Total</b>				0.605		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
03/03/2023	5:00 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		25		26		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		22.88		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ					COORDENADAS	
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		9.90		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.229	0.160		
2	0.500	1.000	0.412	0.203		
3	0.500	1.500	0.401	0.154		
4	0.500	2.000	0.216	0.094		
5	0.198	2.198	0.158	0.016		
Margen inzq	0.000	2.198	0.000	0.000		
			Área Total	0.627		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
04/03/2023	9:05 a.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		27		28		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		24.94		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ					COORDENADAS	
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		13.70		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.211	0.134		
2	0.500	1.000	0.323	0.186		
3	0.500	1.500	0.419	0.175		
4	0.500	2.000	0.281	0.101		
5	0.211	2.211	0.122	0.013		
Margen inzq	0.000	2.211	0.000	0.000		
			Área Total	0.608		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
05/03/2023	4:58 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		29	30			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.19		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		15.50		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.210	0.133		
2	0.500	1.000	0.323	0.180		
3	0.500	1.500	0.398	0.212		
4	0.500	2.000	0.450	0.143		
5	0.455	2.455	0.122	0.028		
Margen inzq	0.000	2.455	0.000	0.000		
Área Total				0.696		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
10/03/2023	9:00 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		31	32			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		26.95		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		17.20		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.156	0.129		
2	0.500	1.000	0.358	0.181		
3	0.500	1.500	0.367	0.192		
4	0.500	2.000	0.399	0.129		
5	0.341	2.341	0.118	0.020		
Margen inzq	0.000	2.341	0.000	0.000		
Área Total				0.651		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
11/03/2023	4:50 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		33	34			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	22.12			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	12.40			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.167	0.134		
2	0.500	1.000	0.368	0.204		
3	0.500	1.500	0.447	0.217		
4	0.500	2.000	0.421	0.138		
5	0.458	2.458	0.131	0.030		
Margen inzq	0.000	2.458	0.000	0.000		
			Área Total	0.722		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
13/03/2023	9:15 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		35	36			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	24.63			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	13.70			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.210	0.145		
2	0.500	1.000	0.368	0.192		
3	0.500	1.500	0.398	0.212		
4	0.500	2.000	0.451	0.146		
5	0.348	2.348	0.131	0.023		
Margen inzq	0.000	2.348	0.000	0.000		
			Área Total	0.717		



MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
14/03/2023	9:08 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		37	38			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		24.63		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		15.60		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.196	0.123		
2	0.500	1.000	0.296	0.180		
3	0.500	1.500	0.425	0.202		
4	0.500	2.000	0.382	0.138		
5	0.252	2.252	0.170	0.021		
Margen inzq	0.000	2.252	0.000	0.000		
			Área Total	0.664		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
15/03/2023	4:55 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		39	40			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.75		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		14.50		9260445	751870	3028.95
(m)		(m)		(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.180	0.131		
2	0.500	1.000	0.345	0.201		
3	0.500	1.500	0.457	0.180		
4	0.500	2.000	0.262	0.091		
5	0.360	2.360	0.100	0.018		
Margen inzq	0.000	2.360	0.000	0.000		
			Área Total	0.620		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
16/03/2023	4:45 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		41		42		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.64		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		13.70		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.160	0.110		
2	0.500	1.000	0.280	0.165		
3	0.500	1.500	0.379	0.155		
4	0.500	2.000	0.240	0.080		
5	0.220	2.220	0.081	0.009		
Margen inzq	0.000	2.220	0.000	0.000		
			Área Total	0.519		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
24/03/2023	8:58 a.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		43		44		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.25		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		15.70		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.211	0.134		
2	0.500	1.000	0.323	0.186		
3	0.500	1.500	0.419	0.175		
4	0.500	2.000	0.281	0.101		
5	0.380	2.380	0.122	0.023		
Margen inzq	0.000	2.380	0.000	0.000		
			Área Total	0.618		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
25/03/2023	5:00 p.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		45		46		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )			
10		23.04	0.53			
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		12.80		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.206	0.131		
2	0.500	1.000	0.318	0.183		
3	0.500	1.500	0.412	0.171		
4	0.500	2.000	0.271	0.096		
5	0.365	2.365	0.112	0.020		
Margen inzq	0.000	2.365	0.000	0.000		
			Área Total	0.600		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
26/03/2023	9:12 a.m.	Entrada		Salida		
		MUESTRA		MUESTRA		
		47		48		
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )			
10		26.18	0.53			
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		14.60		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.267	0.161		
2	0.500	1.000	0.378	0.187		
3	0.500	1.500	0.371	0.175		
4	0.500	2.000	0.330	0.123		
5	0.377	2.377	0.162	0.031		
Margen inzq	0.000	2.377	0.000	0.000		
			Área Total	0.677		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserío "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
30/03/2023	9:12 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		49	50			
OPERADOR	CLIMA	AGUA				
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso	Turbia				
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )				
10	26.18	0.53				
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)	N	E	ALTURA		
30	16.30	9260445	751870	3028.95		
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.232	0.144		
2	0.500	1.000	0.343	0.170		
3	0.500	1.500	0.338	0.167		
4	0.500	2.000	0.330	0.123		
5	0.272	2.272	0.162	0.022		
Margen inzq	0.000	2.272	0.000	0.000		
			Área Total	0.626		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserío "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA	ZONA			
02/04/2023	4:58 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		51	52			
OPERADOR	CLIMA	AGUA				
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso	Turbia				
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)	Ancho de solera ( m )				
10	25.13	0.53				
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)	N	E	ALTURA		
30	11.98	9260445	751870	3028.95		
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.257	0.155		
2	0.500	1.000	0.361	0.177		
3	0.500	1.500	0.347	0.173		
4	0.500	2.000	0.345	0.132		
5	0.452	2.452	0.181	0.041		
Margen inzq	0.000	2.452	0.000	0.000		
			Área Total	0.677		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
03/04/2023	4:30 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		53	54			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		26.60		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		14.20		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.266	0.159		
2	0.500	1.000	0.371	0.182		
3	0.500	1.500	0.358	0.179		
4	0.500	2.000	0.357	0.138		
5	0.490	2.490	0.193	0.047		
Margen inzq	0.000	2.490	0.000	0.000		
			Área Total	0.705		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA				
07/04/2023	4:50 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		55	56			
OPERADOR		CLIMA		AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso		Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		23.92		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		12.50		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.246	0.149		
2	0.500	1.000	0.351	0.172		
3	0.500	1.500	0.338	0.169		
4	0.500	2.000	0.336	0.127		
5	0.236	2.236	0.170	0.020		
Margen inzq	0.000	2.236	0.000	0.000		
			Área Total	0.637		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
09/04/2023	9:15 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA		MUESTRA		
		57		58		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		26.60		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		15.10		9260445	751870	3028.95
		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.229	0.140		
2	0.500	1.000	0.332	0.170		
3	0.500	1.500	0.348	0.166		
4	0.500	2.000	0.316	0.119		
5	0.136	2.136	0.158	0.011		
Margen inzq	0.000	2.136	0.000	0.000		
Área Total				0.605		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
12/04/2023	5:15 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA		MUESTRA		
		59		60		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)		Ancho de solera ( m )		
10		25.00		0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		12.20		9260445	751870	3028.95
		(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.229	0.160		
2	0.500	1.000	0.412	0.203		
3	0.500	1.500	0.401	0.154		
4	0.500	2.000	0.216	0.094		
5	0.198	2.198	0.158	0.016		
Margen inzq	0.000	2.198	0.000	0.000		
Área Total				0.627		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
14/04/2023	4:55 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA		MUESTRA		
		61		62		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )	
10		25.19			0.53	
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		13.70		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.211	0.134		
2	0.500	1.000	0.323	0.186		
3	0.500	1.500	0.419	0.175		
4	0.500	2.000	0.281	0.101		
5	0.211	2.211	0.122	0.013		
Margen inzq	0.000	2.211	0.000	0.000		
			Área Total	0.608		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR		COORDENADAS				
Caserio "Nuevo Perú"		N	E	ALTURA		
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca		9261438	750886	2773.95		
FECHA	HORA	ZONA		ZONA		
18/04/2023	8:45 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA		MUESTRA		
		63		64		
OPERADOR		CLIMA			AGUA	
Silva Paredes Antony Heisen		Lluvioso			Turbia	
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)		Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )	
10		26.46			0.53	
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)		Tiempo (s)		N	E	ALTURA
30		15.50		9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.210	0.133		
2	0.500	1.000	0.323	0.180		
3	0.500	1.500	0.398	0.212		
4	0.500	2.000	0.450	0.143		
5	0.455	2.455	0.122	0.028		
Margen inzq	0.000	2.455	0.000	0.000		
			Área Total	0.696		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA				
19/04/2023	8:58 a.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		65	66			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	26.39			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	14.20			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.156	0.129		
2	0.500	1.000	0.358	0.181		
3	0.500	1.500	0.367	0.192		
4	0.500	2.000	0.399	0.129		
5	0.341	2.341	0.118	0.020		
Margen inzq	0.000	2.341	0.000	0.000		
			Área Total	0.651		

MUESTREOS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN EL DESARENADOR DE LA M.C.H						
LUGAR	COORDENADAS					
Caserio "Nuevo Perú"	N	E	ALTURA			
Chugur - Hualgayoc - Cajamarca	9261438	750886	2773.95			
FECHA	HORA	ZONA				
20/04/2023	5:30 p.m.	Entrada	Salida			
		MUESTRA	MUESTRA			
		67	68			
OPERADOR	CLIMA			AGUA		
Silva Paredes Antony Heisen	Lluvioso			Turbia		
AFORO DE CAUDALES EN DESARENADOR						
Longitud (m)	Tiempo (s)			Ancho de solera ( m )		
10	22.78			0.53		
AFORO DE CAUDALES EN QUEBRADA RAMIREZ				COORDENADAS		
Longitud (m)	Tiempo (s)			N	E	ALTURA
30	16.40			9260445	751870	3028.95
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )		
Tramo	Equidist.	Dist. Acum.	Tirante	Área		
Margen der.	0.000	0.000	0.010	0.000		
1	0.500	0.500	0.167	0.134		
2	0.500	1.000	0.368	0.196		
3	0.500	1.500	0.417	0.205		
4	0.500	2.000	0.401	0.133		
5	0.458	2.458	0.131	0.030		
Margen inzq	0.000	2.458	0.000	0.000		
			Área Total	0.697		

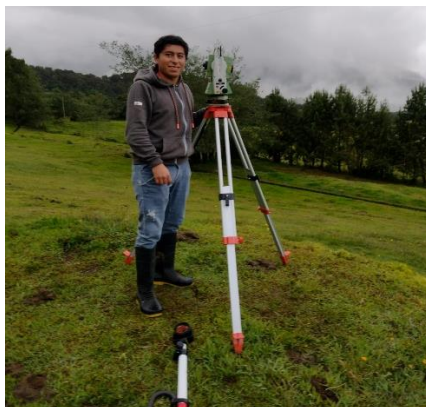


## ANEXO DE FIGURAS

*Figura N° 68: Reconocimiento de instalaciones de la mini central hidroeléctrica - sala de máquinas.*



*Figura N° 69 : Levantamiento topográfico de las obras de toma de la mini central hidroeléctrica de Chugur*



*Figura N° 70: Primeras pruebas de la implementación de la metodología de los muestreos de sedimentos en el desarenador*



*Figura N° 71: Muestreos de sedimentos y rotulado según formato*



*Figura N° 72: Transporte de muestras al laboratorio.*



*Figura N° 73: Secado de muestras de material sólido.*



*Figura N° 74: Muestras de sedimentos en suspensión en la entrada y salida del desarenador a condiciones de ensayo el 24/11/2024*



*Figura N° 75: Muestras de fondo en la entrada del desarenador con bandeja de dimensiones 15cm x40cm x50cm sumergida durante 15 min en el ensayo in situ.*



*Figura N° 76: Sondeos de niveles de sedimentos almacenados posterior al ensayo, lectura cada 1m longitudinalmente y a 05m a lo ancho de la poza de sedimentación.*



*Figura N° 77: Ensayo de granulometría para tamizado en mallas N200 hasta N4, laboratorio G&S ingenieros consultores*



Figura N° 78: Pesaje de material secado, tanto de la zona de entrada y salida del desarenador.



Figura N° 79: Aforo de caudales en canal de conducción al desarenador de la MCH con correntómetro FM-100V5 de marca Shenzhen Aermada



*Figura N° 80: Aforo de velocidades en la quebrada Ramírez*

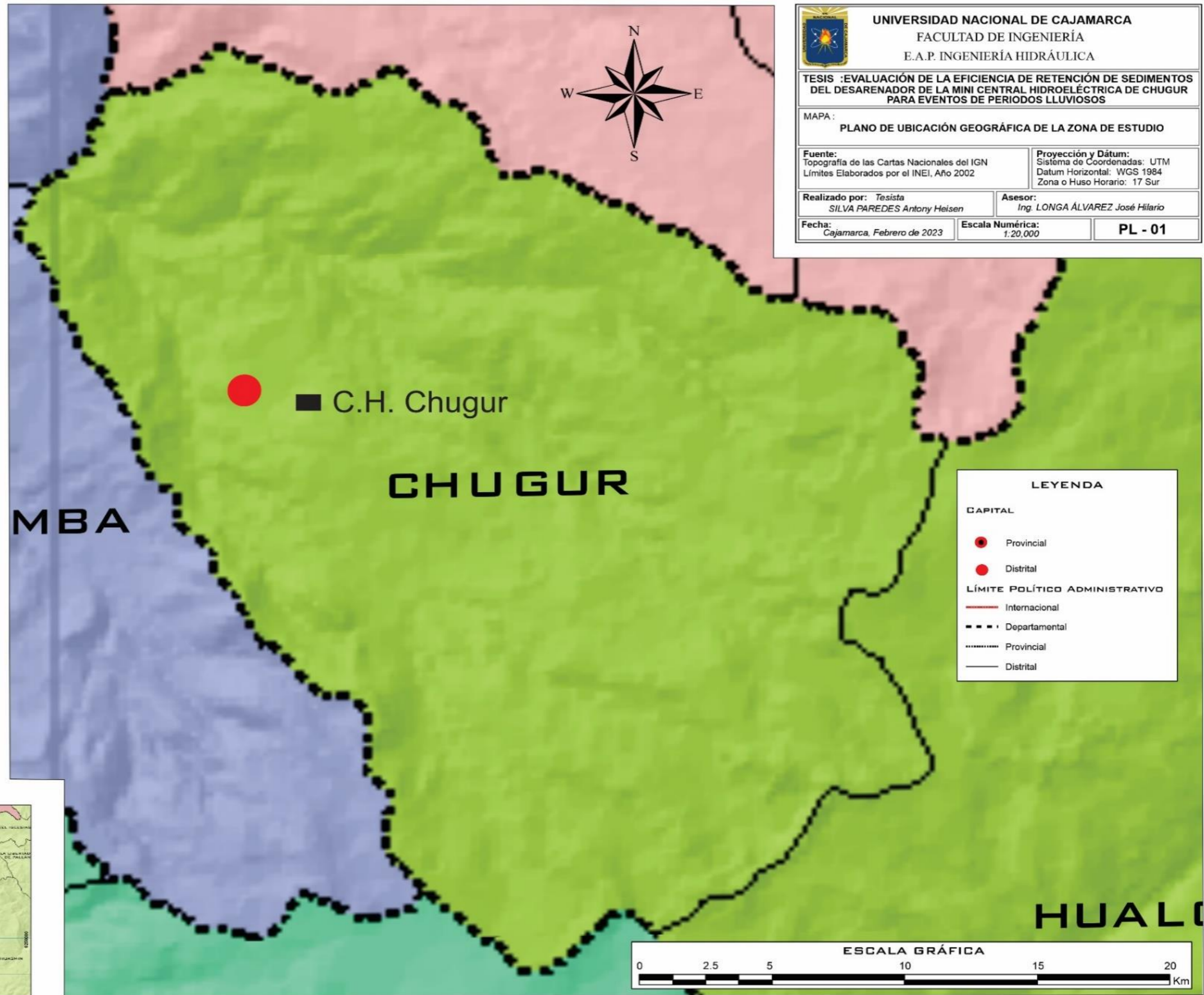
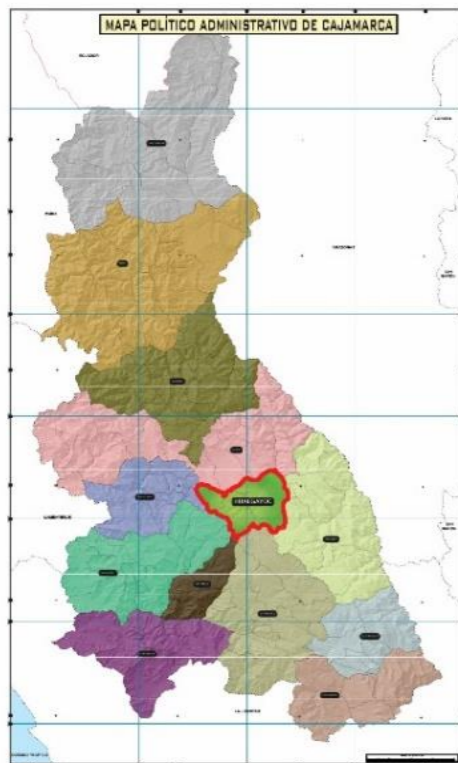


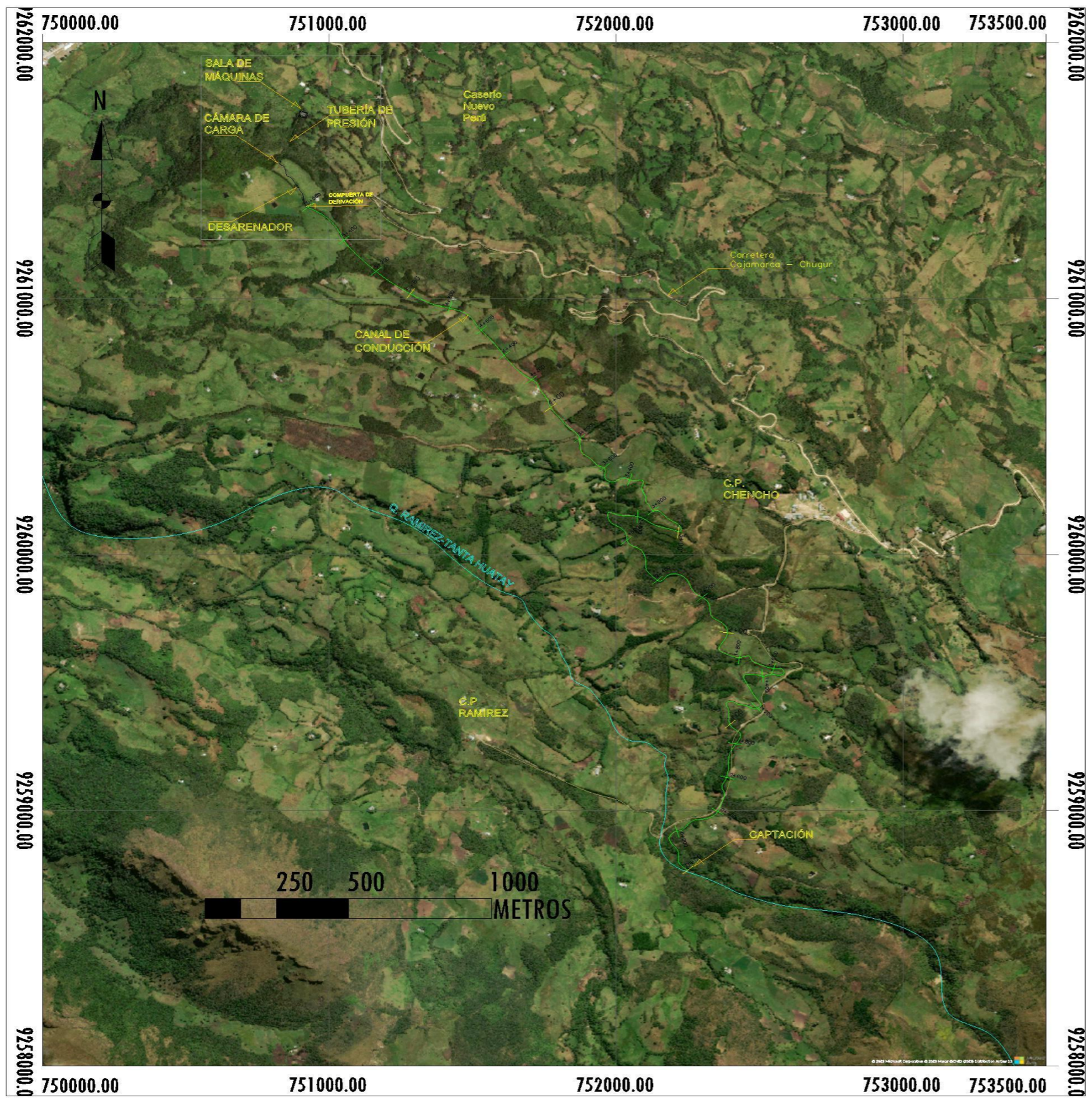
*Figura N° 81: Aforo de velocidades con correntómetro FM-100V5 en la sección de entrada del desarenador de la MCH.*



**ANEXO DE PLANOS:**



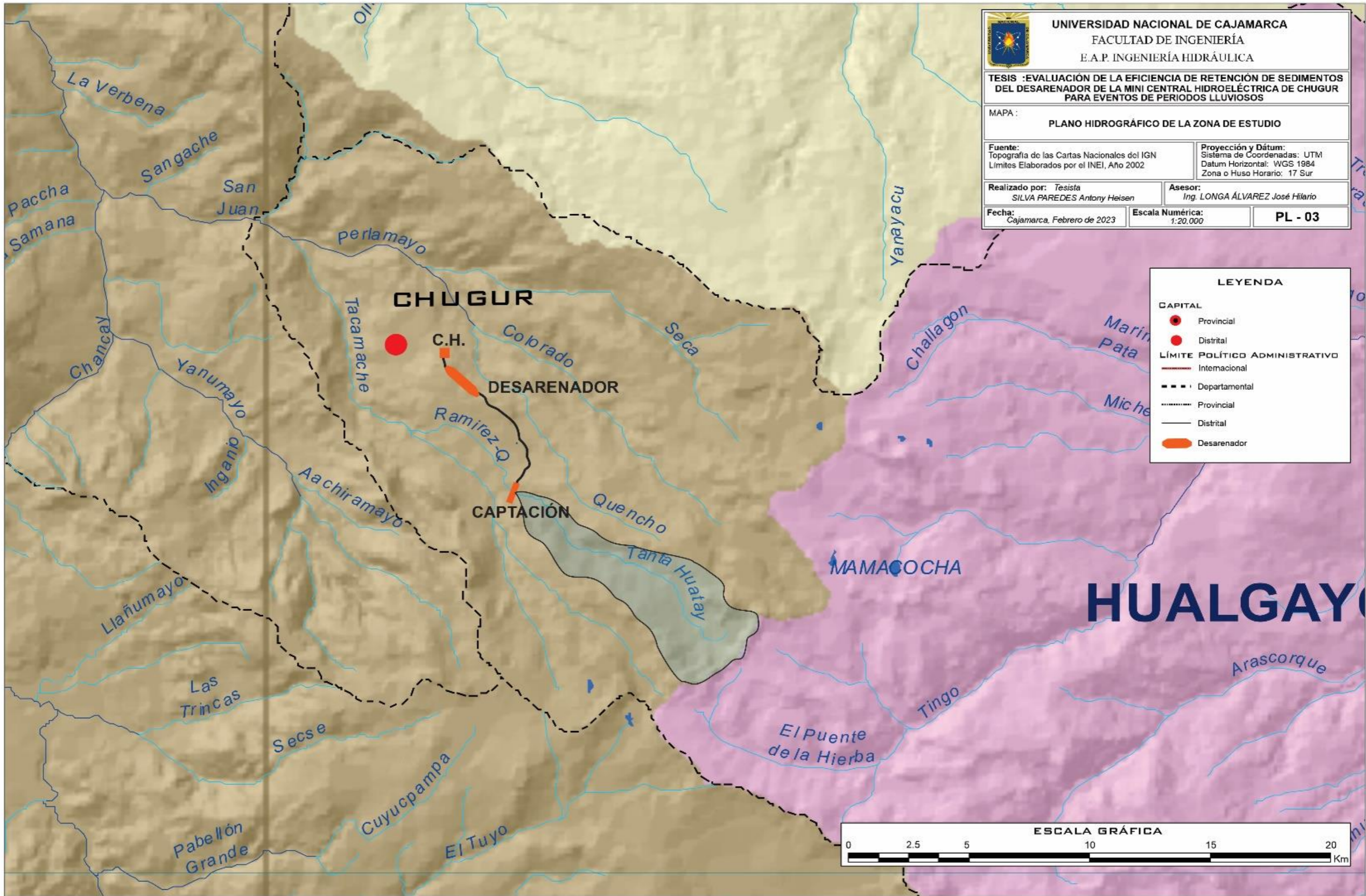


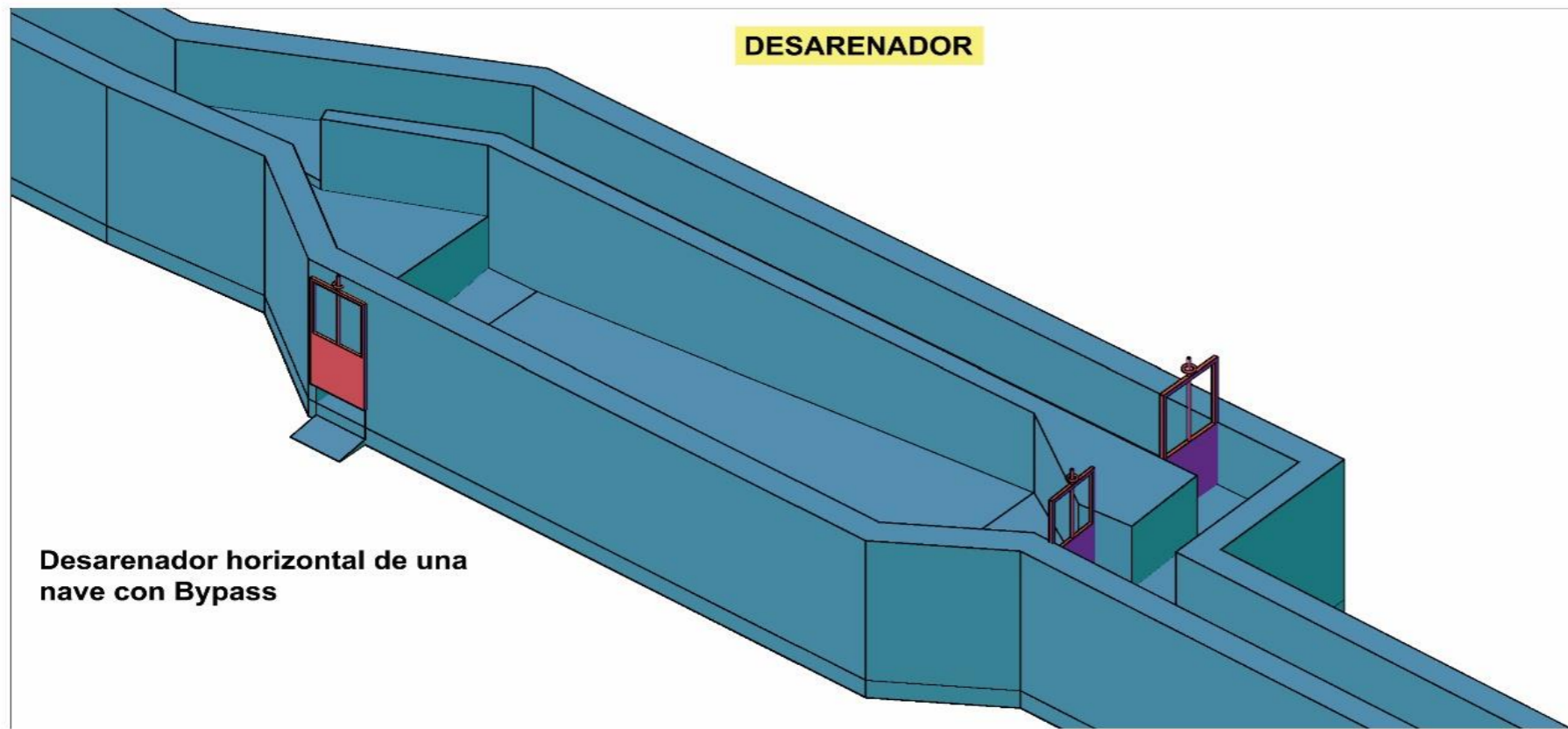
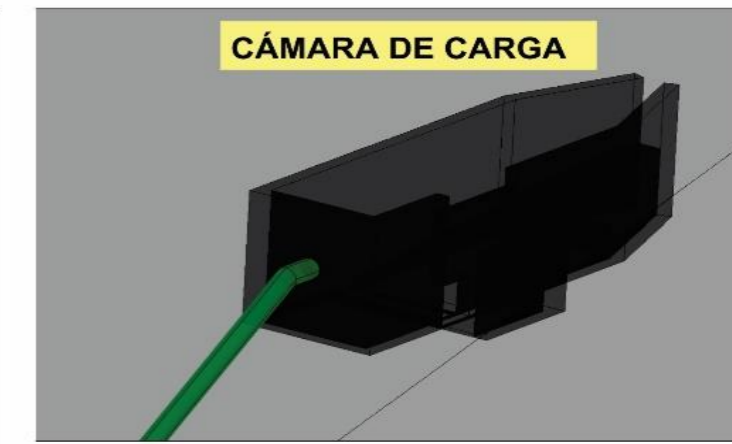
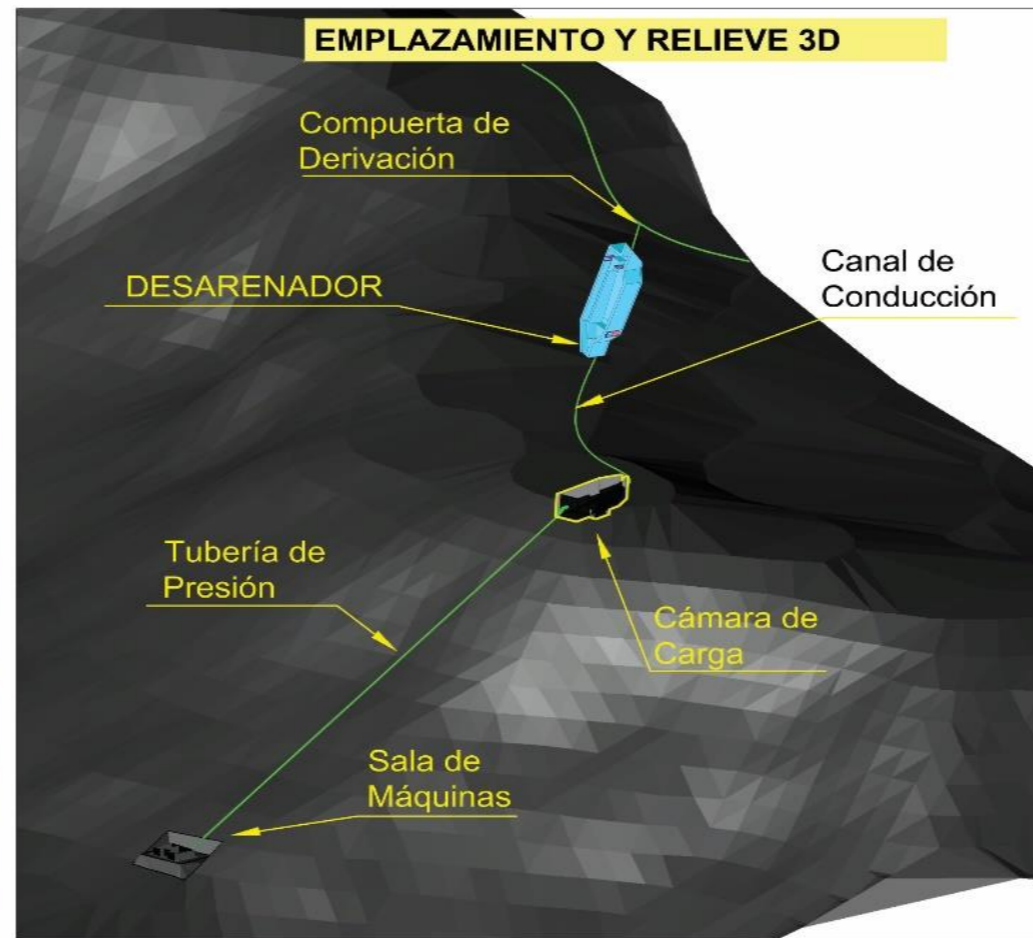
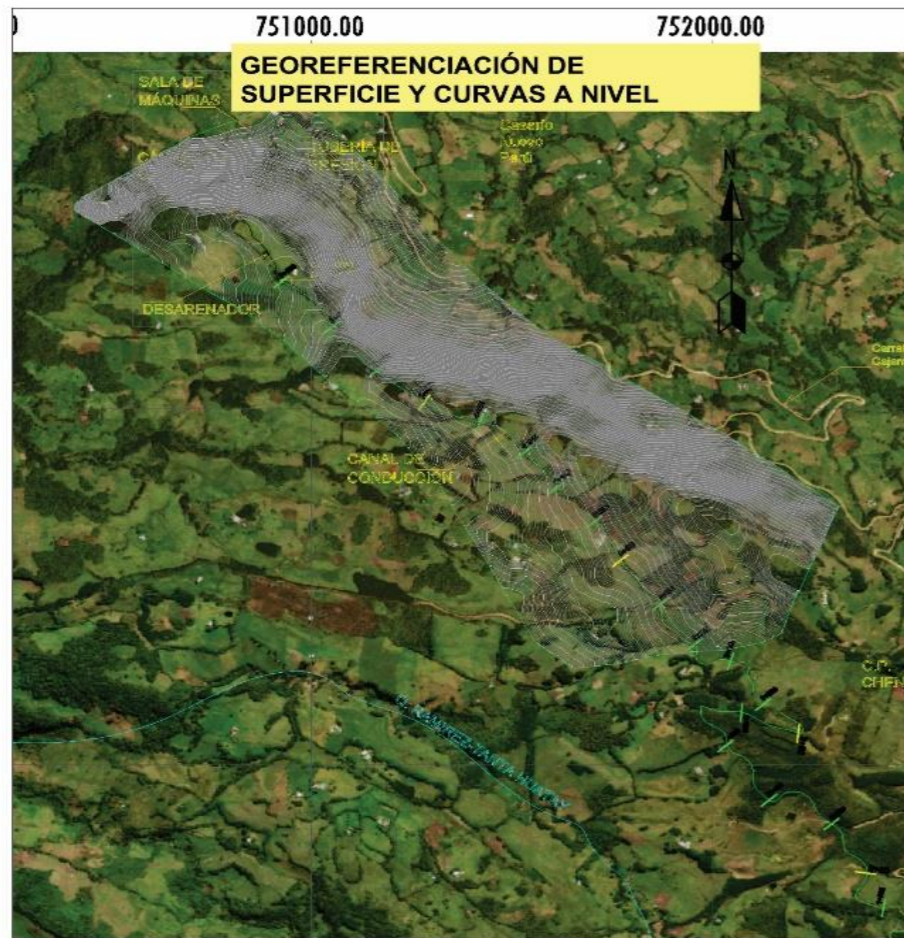


**LEYENDA**

	Carretera Chugur- Cajamarca
	Quebrada Ramirez.- Tanta Huatay
	Canal de conducción
	Tubería de presión

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA		
<b>TESIS :EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS</b>		
MAPA: <b>PLANO DE UBICACIÓN Y GEOREFERENCIACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>		
<b>Fuente:</b> Imagen Satelital- Microsoft ,Maxar CNES 2023Coorp Distribution Airbus DS.	<b>Proyección y Datum:</b> Sistema de Coordenadas: UTM Datum Horizontal: WGS 1984 Zona o Huso Horario: 17 Sur	
<b>Realizado por</b> Tesista SILVA PAREDES Antony Heisen	<b>Asesor:</b> Ing. LONGA ÁLVAREZ José Hilario	
<b>Fecha:</b> Cajamarca, febrero de 2023	<b>Escala Numérica:</b> 1 : 10000	<b>PL - 02</b>

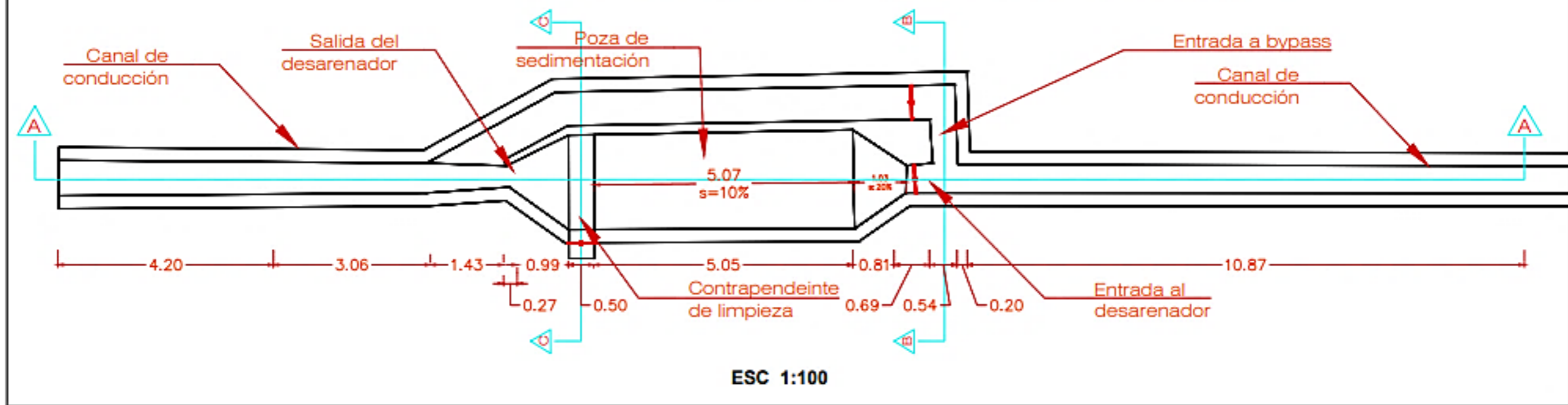




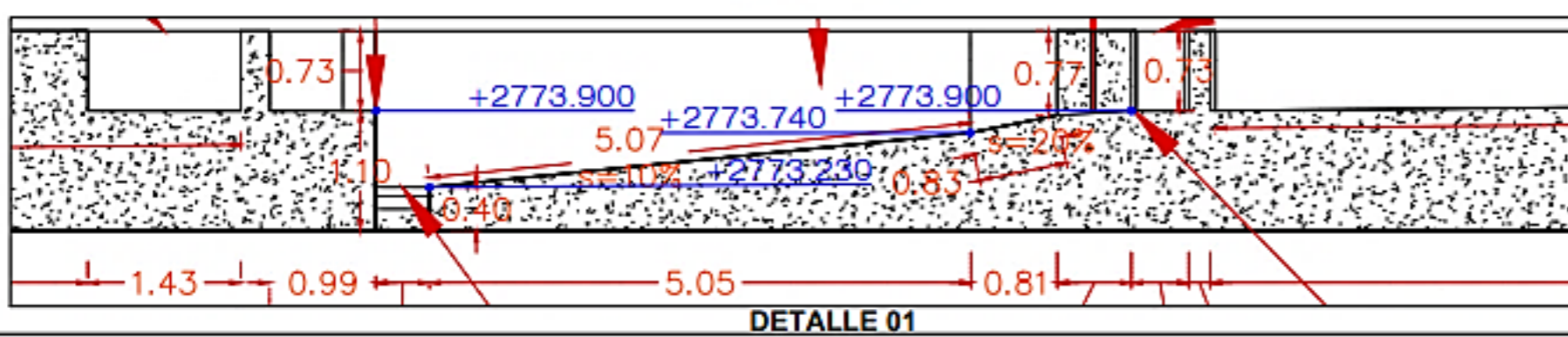
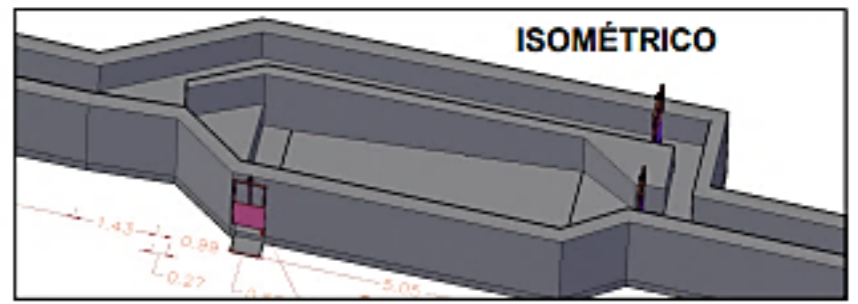
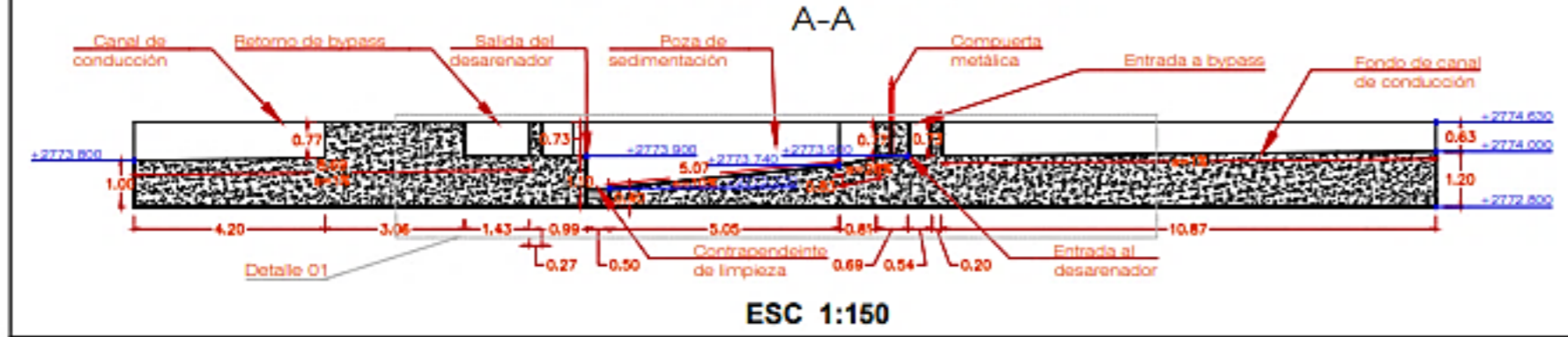
- LEYENDA**
- Recorrido de canal de conducción Quebrada Ramirez - Tanta Huatay
  - Curvas a nivel menores
  - Curvas a nivel mayores

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA	
<b>TESIS :EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS</b>		
MAPA : ISOMETRICOS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA C.H.		
Fuente: Levantamiento topografico, Est. Total Leika- 2022 Mediciones en campo	Proyección y Datum: Sistema de Coordenadas: UTM Datum Horizontal: WGS 1984 Zona o Huso Horario: 17 Sur	
Realizado por: <i>Tesista</i> SILVA PAREDES Antony Heisen	Asesor: Ing. LONGA ÁLVAREZ José Hilario	
Fecha: Cajamarca, febrero de 2023	Escala Numérica:	<b>PL - 04</b>

# PLANO EN PLANTA DE DESARENADOR



## SECCIÓN DEL DESARENADOR A-A



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**TESIS :EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS**

MAPA:  
 PLANO DE ARQUITECTURA HIDRÁULICA DEL DESARENADOR DE LA C.H

Fuente:  
 Levantamiento topográfico, Est. Total Leika- 2022  
 Mediciones en campo

Proyección y Datum:  
 Sistema de Coordenadas: UTM  
 Datum Horizontal: WGS 1984  
 Zona o Huso Horario: 17 Sur

Realizado por: Tesisista  
 SILVA PAREDES Antony Heisen

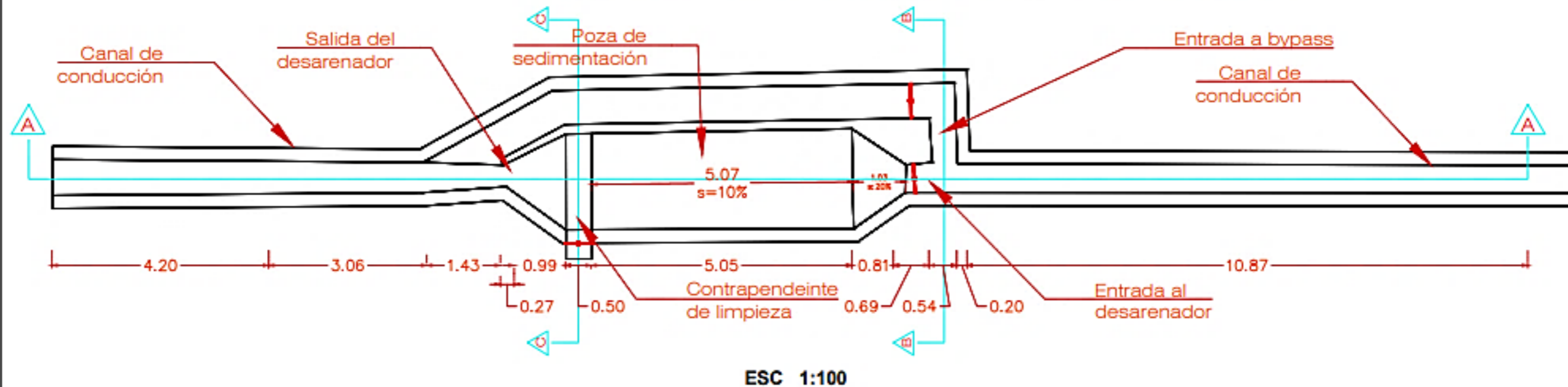
Asesor:  
 Ing. LONGA ÁLVAREZ José Hilario

Fecha:  
 Cajamarca, febrero de 2023

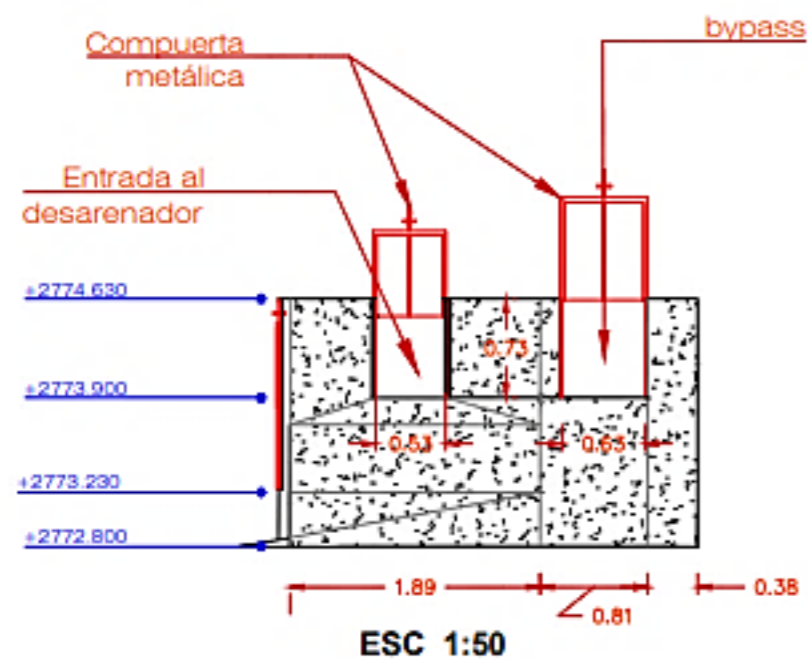
Escala Numérica:  
 1 : 100

PL - 05

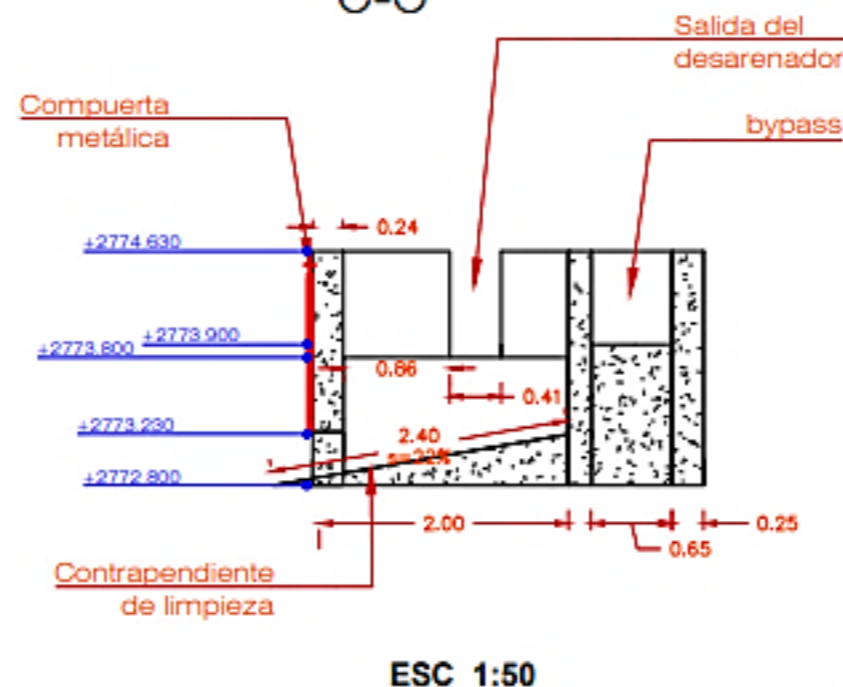
## PLANO EN PLANTA DE DESARENADOR



### SECCIÓN DEL DESARENADOR B-B



### SECCIÓN DEL DESARENADOR C-C



#### NOTA:

- La estructura está construida en concreto armado, actualmente afectado por la meteorización y las condiciones climáticas presentes durante los años de funcionamiento.
- Las compuertas metálicas presentan averías principalmente en la de zona de entrada al desarenador.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA

TESIS :EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS DEL DESARENADOR DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUGUR PARA EVENTOS DE PERIODOS LLUVIOSOS

MAPA:

PLANO DE ARQUITECTURA HIDRÁULICA DEL DESARENADOR DE LA C.H

Fuente:  
Levantamiento topográfico, Est. Total Leika- 2022  
Mediciones en campo

Proyección y Datum:  
Sistema de Coordenadas: UTM  
Datum Horizontal: WGS 1984  
Zona o Huso Horario: 17 Sur

Realizado por: Tesista  
SILVA PAREDES Antony Heisen

Asesor:  
Ing. LONGA ÁLVAREZ José Hilario

Fecha:  
Cajamarca, febrero de 2023

Escala Numérica:  
1 : 100

PL - 06

