



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO TÉCNICO

TEMA:

**DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA
AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÁULICO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL**

ELABORADO POR:

CÓRDOVA SALAZAR RONALD JAVIER
PAZMIÑO MIRANDA DARIA ITZIAR

TUTOR

ING. RAMÓN PEREZ LEIRA, Ph.D.

MANTA- MANABÍ – ECUADOR

2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

Como tutor académico de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

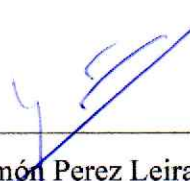
He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto Técnico**. El tema del proyecto se titula "**DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÁULICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**". Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Ronald Javier Córdova Salazar y Daria Itziar Pazmiño Miranda, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025 (3), quienes se encuentran aptos para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Manta, 8 de mayo de 2026.

Lo certifico,


Ing. Ramón Perez Leira, Ph.D.

C.C. 095975906-9

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Ronald Javier Córdova Salazar con CC: 235047766-3, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema **"DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÁULICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL"**, el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Ramón Perez Leira, Ph.D.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 8 días del mes de mayo de dos mil veinte y seis.



Ronald Javier Córdova Salazar

C.C. 235047766-3

Autor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Daria Itziar Pazmiño Miranda con CC: 050317702-4, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema **"DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÁULICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL"**, el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Ramón Perez Leira, Ph.D.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 8 días del mes de mayo de dos mil veinte y seis.



Daria Itziar Pazmiño Miranda

C.C. 050317702-4

Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto Técnico, cuyo tema es " **DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÁULICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**" internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo **APRUEBO**, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario.

En la ciudad de Manta, a los 8 días del mes de mayo de dos mil veinte y seis.



Ing. Eric Cabrera Estupiñán, PhD.

C.C. 095961983-4

Tribunal 1



Ing. Horacio Antonio Cedeño Muñoz, Mg

C.C. 131099966-7

Tribunal 2

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mi pareja y compañera de tesis Daria, por haber caminado a mi lado durante todo el trayecto de mi vida universitaria y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mi padre, Juan Córdova, por estar siempre pendiente de mí y de cada uno de mis pasos.

A mis hermanas, Johana por haber sido un gran soporte en este camino, y a mi hermana menor Karelys.

A mi tía, Bélgica Córdova, por ser un pilar de apoyo a lo largo de toda mi vida universitaria.

Y a mi madre, Glini Salazar, con profundo agradecimiento.



Ronald Javier Córdova Salazar

C.I.: 235047766-3

Autor

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi pareja, Ronald Córdova, por ser mi compañero constante y un soporte fundamental a lo largo de toda la carrera.

A mis padres, Luisa Pazmiño y Hugo Palma, cuyo apoyo incondicional ha sido el motor de mi camino.

Y a mis hermanas, Dasha y Ágata, por compartir conmigo este y todos mis pasos con el anhelo de verlas crecer y alcanzar sus propias metas.



Daria Itziar Pazmiño Miranda

C.I.: 050317702-4

Autor

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres, a la tía Beca y a Johana, cuyo apoyo incondicional y confianza a lo largo de toda nuestra carrera universitaria fueron los pilares fundamentales para alcanzar esta meta.

De igual manera, manifestamos nuestra profunda gratitud a nuestro tutor, el Dr. Ramón, por su paciencia, dedicación y valiosa guía en el desarrollo de este proyecto. Asimismo, agradecemos al Ing. Junqui por su valiosa colaboración y acompañamiento durante esta etapa.

Por último, pero no menos importante, un agradecimiento especial a "los muchachos": Alexis, Mathews, Anahí y Erick. Gracias por los buenos recuerdos, las experiencias compartidas y por hacer del camino universitario una etapa inolvidable.



Ronald Javier Córdova Salazar

C.I.: 235047766-3

Autor



Daria Itziar Pazmiño Miranda

C.I.: 050317702-4

Autor

Resumen

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo principal diseñar las estructuras hidráulicas y desarrollar un modelo numérico de simulación para la propuesta de ampliación del Laboratorio Hidráulico de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Ante la carencia de un espacio funcional para prácticas experimentales, se proyectó un circuito de recirculación que aprovechó la infraestructura física existente. La metodología aplicada abarcó el cálculo y diseño estructural bajo normativas vigentes para los componentes del sistema los cuales fueron proyectados para operar con un caudal de diseño de $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$. Posteriormente, se elaboró una memoria gráfica documentada con planos técnicos y detalles del acero de refuerzo. Para validar la propuesta, se implementó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) mediante los programas de código abierto Salome y OpenFOAM, lo que permitió consolidar un modelo numérico predictivo que simuló y verificó el comportamiento hidrodinámico del flujo a través de las estructuras. Finalmente, se estructuró la planificación de la obra mediante un presupuesto detallado, pliegos de condiciones y un cronograma de ejecución. Se concluyó que el diseño propuesto resultó técnica y económicamente factible, demostrando que la modelación CFD garantizó el correcto funcionamiento del sistema previo a su edificación, dotando a la facultad de un proyecto integral listo para su futura implementación.

Palabras clave: Estructuras hidráulicas, CFD, Diseño estructural

Abstract

The main objective of this degree project was to design the hydraulic structures and develop a numerical simulation model for the proposed expansion of the Hydraulic Laboratory of the Civil Engineering program at the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Given the lack of a functional space for experimental practices, a closed recirculation circuit was designed, taking advantage of the existing physical infrastructure. The applied methodology encompassed the structural calculation and design under current regulations for the system components, which were projected to operate with a design flow rate of $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$. Subsequently, graphical documentation was developed, supported by technical drawings and reinforcing steel details. To validate the proposal, Computational Fluid Dynamics (CFD) was implemented using the open-source software Salome and OpenFOAM, which allowed the consolidation of a predictive numerical model that simulated and verified the hydrodynamic behavior of the flow through the structures. Finally, the construction planning was structured through a detailed budget, technical specifications, and an execution schedule. It was concluded that the proposed design was technically and economically feasible, demonstrating that the CFD modeling guaranteed the correct operation of the system prior to its construction, providing the faculty with a comprehensive project ready for its future implementation.

Keywords: Hydraulic structures, CFD, Structural design.

Índice

Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. Introducción	19
2. Antecedentes.....	20
3. Objetivos.....	21
3.1. Objetivo General	21
3.2. Objetivos Específicos.....	21
4. Justificación	22
5. Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual.....	23
5.1. Modelos Hidráulicos Físicos.....	23
5.1.1. Modelos Hidráulicos en Universidades	23
5.1.2. Sistema de Recirculación.....	23
5.2. Mecánica de Fluidos	24
5.2.1. Propiedades de los Fluidos	24
5.2.2. Hidrostática	25
5.2.3. Hidrodinámica	26
5.3. Conducción de Fluidos a Presión.....	27
5.3.1. Pérdidas de energía en el Sistema.....	28
5.4. Geometría de un Canal Rectangular	30
5.5. Estructuras de Control: Vertederos	30
5.5.1. Componentes de los Vertederos	31
5.6. Flujo en Canales Abiertos	31
5.6.1. Número de Froude	31
5.6.2. Tirante Crítico.....	32
5.6.3. Ecuación de Manning	32
5.6.4. Cambios de Dirección en Canales	33
5.6.5. Radios Mínimos.....	33
5.7. Caídas Inclinas	34
5.7.1. Velocidad en el Plano Inclinado	34
5.7.2. Poza de Disipación.....	35

5.7.3.	Resalto Hidráulico	35
5.7.4.	Tirante Conjugado Mayor.....	36
5.7.5.	Diseño Geométrico de la Poza.....	36
5.8.	Desarenadores	37
5.8.1.	Sedimentación.....	37
5.8.2.	Velocidad de Esgurrimiento.....	37
5.8.3.	Velocidad de Sedimentación	38
5.8.4.	Velocidad por Arkhangelski	38
5.8.5.	Velocidad por Scotti - Foglieni.....	39
5.8.6.	Criterios de Diseño para Desarenador	39
5.9.	Diseño Estructural En Hormigón Armado.....	39
5.9.1.	Normativas y Códigos de Diseño Aplicables	39
5.9.2.	Cargas de Diseño	40
5.9.3.	Diseño a Flexión y Momentos Resistentes	42
5.9.4.	Control de Deflexión	42
5.9.5.	Diseño A Compresión.....	44
5.9.6.	Cuantía de Acero	46
5.9.7.	Losa de Cimentación	48
5.10.	Modelación numérica	51
5.10.1.	Dinámica De Fluidos Computacional (CFD)	51
5.10.2.	Ecuaciones de Navier-Stokes.....	52
5.10.3.	Software Salome	53
5.10.4.	Condiciones de frontera	54
5.10.5.	Software OpenFOAM.....	55
6.	Capítulo 2. Memoria de Cálculo.....	56
6.1.	Línea de Abastecimiento.....	56
6.1.1.	Componentes de Conducción	56
6.1.2.	Análisis de Pérdidas de Energía.....	56

6.2.	Caja De Almacenamiento	57
6.2.1.	Geometría y Propiedades de los Materiales.....	58
6.2.2.	Análisis de Empuje Hidrostático en Muros	58
6.2.3.	Diseño del Acero de Refuerzo en Muros.....	58
6.2.4.	Análisis de Cargas de la Losa de Fondo	60
6.2.5.	Diseño del Acero de Refuerzo	62
6.2.6.	Verificación de la deflexión.....	63
6.3.	Diseño De Las Columnas.....	64
6.3.1.	Parámetros de Diseño	64
6.3.2.	Análisis de Cargas	64
6.3.3.	Predimensionamiento del Área de Columna	64
6.3.4.	Diseño del Acero de Refuerzo	65
6.4.	Diseño de la Cimentación	65
6.4.1.	Parámetros de Diseño y Propiedades de los Materiales	65
6.4.2.	Capacidad Portante	65
6.4.3.	Cálculo de Momentos	66
6.4.4.	Diseño de la Armadura	66
6.5.	Diseño Del Canal	68
6.5.1.	Geometría y Parámetros de Diseño	68
6.5.2.	Capacidad de Conducción	68
6.5.3.	Verificación de Velocidad y Régimen de Flujo.....	69
6.5.4.	Diseño del Cambio De Dirección	69
6.6.	Diseño Hidráulico de la Caída Inclinada	70
6.6.1.	Geometría.....	70
6.6.2.	Caracterización Hidráulica en la Sección de Control	70
6.6.3.	Análisis Hidrodinámico en la Rampa	71
6.6.4.	Dimensionamiento del Colchón Disipador.....	71
6.7.	Diseño Estructural de la Caída	72
6.7.1.	Geometría y Propiedades de los Materiales.....	72

6.7.2.	Análisis de Cargas	72
6.7.3.	Diseño del Acero de Refuerzo	73
6.7.4.	Verificación de la resistencia	75
6.8.	Diseño Del Desarenador	75
6.8.1.	Parámetros de Diseño y Datos de Entrada.....	75
6.8.2.	Velocidad de Escurrimiento Horizontal	75
6.8.3.	Velocidad de Sedimentación	76
6.8.4.	Dimensionamiento Geométrico Del Tanque	76
6.8.5.	Transición de Entrada y Salida	77
6.9.	Diseño Estructural del Desarenador	77
6.9.1.	Geometría y Propiedades de los Materiales.....	78
6.9.2.	Análisis de Cargas Actuantes	78
6.9.3.	Cálculo de Momentos	78
6.9.4.	Diseño del Acero de Refuerzo	79
6.9.5.	Verificación de la Resistencia.....	80
6.10.	Tubería Soterrada	80
7.	Capítulo 3. Modelo Computacional.....	82
7.1.	Creación de Modelo en Salome	82
7.1.1.	Modelado Geométrico	82
7.1.2.	Definición de Grupos.....	85
7.1.3.	Mallado del Modelo.....	87
7.2.	Simulación en OpenFOAM.....	88
7.2.1.	Estructura	88
7.2.2.	Procesamiento.....	89
8.	Capítulo 4. Memoria Gráfica	90
9.	Capítulo 5. Gestión y Planificación de Obra	99
9.1.	Pliego de Condiciones.....	99
9.1.1.	Trabajos Preliminares	99
9.1.2.	Encofrado de Elementos Estructurales	99

9.1.3.	Caja de Almacenamiento	99
9.1.4.	Caída Inclínada	100
9.1.5.	Canal Rectangular	101
9.1.6.	Desarenador	101
9.1.7.	Tubería Soterrada.....	101
9.1.8.	Línea de Abastecimiento	101
9.1.9.	Acabados.....	102
9.2.	Presupuesto	103
9.3.	Programación	104
10.	Conclusiones	106
11.	Recomendaciones	107
12.	Bibliografía	108
13.	ANEXOS	111

Índice de Figuras

Figura 1. Triángulo de presiones	25
Figura 2. Sección transversal de un canal rectangular.....	30
Figura 3. Vertedero rectangular y sus componentes.....	31
Figura 4. Presión lateral del suelo.....	41
Figura 5. Representación de áreas tributarias	45
Figura 6. Parámetros geométricos para el cálculo de la longitud del voladizo	49
Figura 7. Representación del momento en el voladizo	49
Figura 8. Representación del momento interno de la losa.....	50
Figura 9. Espacio de trabajo del módulo GEOM en Salome.....	53
Figura 10. Espacio de trabajo del módulo SMESH en Salome	54
Figura 11. Ventana de visualización de OpenFOAM.....	55
Figura 12. Área tributaria de las columnas	64
Figura 13. Modelo geométrico delimitado por los vértices y curvas.....	84
Figura 14. Modelo del volumen que ocupa el agua.....	85
Figura 15. Grupo inlet.....	85
Figura 16. Grupo outlet.....	86
Figura 17. Grupo atmosphere	86
Figura 18. Grupo walls	87
Figura 19. Elementos que componen la malla.....	87
Figura 20. Mallado del dominio	88
Figura 21. Información en la terminal	88
Figura 22. Visualización del modelo	89
Figura 23. Visualización de la simulación.....	89
Figura 24. Plano del esquema general	90
Figura 25. Plano del armado de la caja de almacenamiento	91
Figura 26. Plano del armado de cimentación y columnas	92
Figura 27. Plano del armado de la caída inclinada	93
Figura 28. Detalle de la compuerta de la caja de almacenamiento.....	94
Figura 29. Plano con detalles del canal.....	95
Figura 30. Plano con detalles del desarenador.....	96
Figura 31. Plano con detalles de la estructura de descarga.....	97
Figura 32. Plano con las cotas de nivel.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1. Valores de la rugosidad absoluta dependiendo del material.....	29
Tabla 2. Fórmulas para un canal rectangular	30
Tabla 3. Radio mínimo en función al caudal	33
Tabla 4. Valores del coeficiente empírico (a) en función del diámetro de la partícula ..	38
Tabla 5. Velocidades de sedimentación calculado por Arkhangelski	38
Tabla 6. Módulo de elasticidad de agregados.....	44
Tabla 7. Valores de β_1 para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto.....	47
Tabla 8. Coeficiente de pérdidas locales	56
Tabla 9. Iteración para determinar el tirante hidráulico.....	68
Tabla 10. Radio mínimo para un canal con caudal de $0.025\text{m}^3/\text{s}$	69
Tabla 11. Valor de coeficiente empírico (a) para una partícula de diámetro de 0.20mm	75
Tabla 12. Valor de la velocidad para una partícula con diámetro de 0.20mm	76
Tabla 13. Coordenadas para la definición geométrica.....	82
Tabla 14. Presupuesto	103
Tabla 15. Cronograma de actividades.....	104
Tabla 16. Porcentaje de avances de obra	105

Índice de Anexos

Anexo 1. APU de replanteo y nivelación	111
Anexo 2. APU de corte de contrapiso de hormigón existente con cortadora de disco.	111
Anexo 3. APU de excavación manual para cimientos.....	112
Anexo 4. APU de excavación manual para desarenador	112
Anexo 5. APU de excavación manual de zanja	113
Anexo 6. APU de desalojo de materiales	113
Anexo 7. APU de encofrado de madera	114
Anexo 8. APU de hormigón de replantillo	114
Anexo 9. APU de hormigón para losa de cimentación.....	115
Anexo 10. APU de acero de refuerzo para losa de cimentación.....	115
Anexo 11. APU de acero de refuerzo para las columnas.....	116
Anexo 12. APU de hormigón para las columnas.....	116
Anexo 13. APU de hormigón para la caja de almacenamiento	117
Anexo 14. APU de acero de refuerzo para la caja de almacenamiento	117
Anexo 15. APU de compuerta par el control del flujo	118
Anexo 16. APU de hormigón para la caída inclinada.....	118
Anexo 17. APU de malla electrosoldada para caída.....	119
Anexo 18. APU del canal con mampostería	119
Anexo 19. APU del plástico polietileno	120
Anexo 20. APU de hormigón para el desarenador	120
Anexo 21. APU de malla electrosoldada para el desarenador	121
Anexo 22. APU del sistema de purga de lodos.....	121
Anexo 23. APU de tubería soterrada	122
Anexo 24. APU de enlucido	122
Anexo 25. APU de contrapiso y resane	123
Anexo 26. APU de impermeabilizante	123
Anexo 27. APU de tubería y anclaje.....	124

1. Introducción

La hidráulica es una rama fundamental en la formación de un ingeniero civil, se dedica al estudio del comportamiento de los fluidos, analizando tanto sus condiciones de reposo como de movimiento. Su importancia está en que permite diseñar infraestructura que garantiza el suministro de agua potable, el riego agrícola, la generación de energía e incluso la protección contra inundaciones. Por la tanto, el dominio de la mecánica de fluidos es esencial para que el diseño garantice estabilidad y funcionalidad.

Sin embargo, la complejidad de estos fenómenos requiere que lo aprendido teóricamente se complemente con experimentación física, lo que permite visualizar y comprender directamente la dinámica del agua. Para ello, los laboratorios hidráulicos son una herramienta crucial al permitir por medio de prácticas experimentales analizar el comportamiento del agua de forma directa.

La dinámica de fluidos (CFD) utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas que involucran el flujo de los fluidos, básicamente transforma las ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento en problemas algebraicos que una computadora puede resolver mediante iteraciones, de esta manera permite visualizar el comportamiento del agua a través de una estructura antes de que sea construida, validando su diseño y funcionamiento.

A lo largo del documento, se presenta el desarrollo de la propuesta presentando una memoria de cálculo de las estructuras, su validación por medio de una simulación, la elaboración detallada de la memoria gráfica y la planificación económica a través del presupuesto y cronograma de obra, consolidando una propuesta comprobada y viable para su futura ejecución.

2. Antecedentes

En la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, matriz Manta, se ha evidenciado una carencia importante en cuanto a la infraestructura destinada al aprendizaje práctico de la hidráulica. A pesar de que la universidad cuenta con un área física designada para el laboratorio de hidráulica, los equipos e infraestructura ha permanecido fuera de uso durante varios años, en su lugar se ha estado utilizando como bodega.

Esta situación impide el desarrollo de prácticas experimentales de varias asignaturas, tales como Hidráulica u Obras Hidráulicas, generando una brecha entre la teoría que es impartida en las aulas y la práctica, lo cual limita la comprensión de fenómenos físicos hidráulicos por parte de los estudiantes.

Sin embargo, el espacio asignado para la ampliación cuenta con elementos estructurales rescatables y útiles para una futura implementación, tales como una cisterna de almacenamiento y un tanque elevado metálico con una capacidad aproximada de $1m^3$. Ante la necesidad de reactivar esta área, resulta necesario formular un proyecto con estructuras que permita el aprovechamiento tanto del espacio y de la infraestructura existente.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar la propuesta de ampliación del laboratorio hidráulico de la carrera de Ingeniería Civil.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño hidráulico y estructural de los componentes del circuito de recirculación.
- Generar un modelo de simulación numérica (CFD) aplicando softwares especializados para predecir, analizar y validar el comportamiento hidrodinámico del flujo de agua a través de las estructuras propuestas.
- Desarrollar la memoria gráfica del proyecto mediante planos técnicos detallados de cada objeto de obra.
- Elaborar el presupuesto detallado, el pliego de condiciones y el cronograma de ejecución para planificar la ampliación del laboratorio hidráulico.

4. Justificación

El presente trabajo de titulación se justifica por la necesidad de proporcionar a los estudiantes de Ingeniería Civil e incluso la nueva carrera de Ingeniería en Gestión Integral de Recursos Hídricos en un entorno validado y debidamente planificado para el estudio del comportamiento de los fluidos. La relevancia de esta obra para la facultad radica en la posibilidad de realizar prácticas en asignaturas como Hidráulica I y II, Obras Hidráulicas, Tratamiento de agua y Alcantarillado. A través del modelo físico diseñado, será posible ejecutar prácticas esenciales como la medición de caudales, el análisis del resalto hidráulico, la observación de pérdidas de energía y procesos de sedimentación.

El proyecto ofrece una propuesta técnica sólida que optimiza recursos, asegurando su viabilidad y eficiencia de las obras antes de una futura construcción. La implementación de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) como herramienta complementaria aporta un valor significativo ya que permite simular condiciones reales, observar el tirante hidráulico y visualizar el tránsito del agua través de sistema, esto garantiza que los diseños propuestos funcionan correctamente bajo el caudal de diseño.

En definitiva, esta propuesta de ampliación fortalecerá la calidad de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, dejando a la facultad un proyecto integral, multidisciplinario, presupuestado y numéricamente comprobado para una ejecución la cual mejorará la formación técnica de los futuros ingenieros.

5. Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual

5.1. Modelos Hidráulicos Físicos

La modelación hidráulica es la reproducción, a escala reducida, de fenómenos, estados o procesos relevantes del flujo del agua. Las magnitudes físicas o hidrodinámicas en el modelo deben corresponder a las magnitudes en la naturaleza, bajo determinadas leyes, que reciben el nombre de “escalas” (Calero, 2012).

Por lo tanto, cuando se requieren dar soluciones a problemas más complejos, los modelos físicos ayudan a estudiar el comportamiento del agua en estructuras específicas, simulando así un fenómeno real, pero de manera simplificada.

5.1.1. Modelos Hidráulicos en Universidades

La relevancia de estos espacios se evidencia en diversas instituciones de educación superior, a nivel nacional se encuentran la Escuela Politécnica Nacional o la Universidad Central del Ecuador. Estas instituciones cuentan con equipamiento que incluye canales de ensayo y sistemas de recirculación, los cuales permiten simular fenómenos de flujo en condiciones controladas. Esta capacidad operativa es crucial para el análisis del comportamiento de fluidos y la formación de profesionales en el área de la ingeniería civil.

Los modelos hidráulicos físicos permiten una observación directa del flujo del agua, por ello, se convierte en una gran herramienta de estudio, al permitir que los estudiantes complementen los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas con experiencias prácticas facilitando así una mejor comprensión de la hidráulica.

5.1.2. Sistema de Recirculación

Un sistema de recirculación consiste en una configuración diseñada para optimizar y reutilizar el volumen de agua empleado en los ensayos del laboratorio, garantizando de esta manera que el flujo se mantenga constante.

En el esquema diseñado, para la ampliación del laboratorio de hidráulica, el ciclo empieza en una caja de hormigón armado, desde el cual el agua fluye a través de las diferentes estructuras para la experimentación (caída inclinada, canal rectangular, desarenador). Al finalizar el recorrido el flujo es captado por una tubería que lo lleva hasta una cisterna donde es almacenado temporalmente. Posteriormente, el volumen almacenado es impulsado por medio de tuberías y un equipo de bombeo hacia una caja

metálica de almacenamiento elevada, la cual abastece a la caja inicial de hormigón armado, así provee la carga hidráulica necesaria para repetir el ciclo de manera continua.

5.2. Mecánica de Fluidos

Guachún y Guñay (2020) expresan que la “Mecánica de Fluidos es la parte de la Física encargada de analizar el comportamiento de los fluidos, ya sea en condiciones estáticas o dinámicas, y cómo interactúan con los cuerpos sólidos”. A partir de esta premisa, para el análisis de las estructuras que conforman el sistema, se requiere comprender ambas condiciones del agua para garantizar la estabilidad y funcionalidad del modelo.

5.2.1. Propiedades de los Fluidos

Los fluidos son aquellos que constituyen un estado de la materia donde no se definen por una morfología propia, sino que su geometría está dada por las fronteras físicas que lo confinan, teniendo así una absoluta capacidad de adaptación geométrica, esto se debe a que “los fluidos son medios materiales continuos formados por sustancias en las que existe una atracción débil entre sus partículas. Por eso, cambian de forma sin que se produzcan en su interior fuerzas que tiendan a restituir su configuración original” (Leskow, 2025)

Cruz (2025) indica que algunas de las propiedades más importantes de un fluido son:

- **Densidad:** Relación que hay entre la masa y el volumen, define que tan compacto es un material y determina su capacidad de flotación.
- **Viscosidad:** Resistencia interna que presenta un fluido al moverse o deformarse, a mayor viscosidad, el flujo es más lento.
- **Presión:** Fuerza que ejerce un fluido sobre una unidad de área, la fuerza se distribuye uniformemente en todas las direcciones y aumenta de forma proporcional con la profundidad.
- **Temperatura:** Medida del nivel de energía térmica del fluido. Sus variaciones alteran de manera directa otras propiedades como la densidad y la viscosidad.
- **Compresibilidad:** Capacidad de un fluido para reducir su volumen al someterse a presión. Mientras los gases son altamente compresibles, los líquidos se consideran incompresibles bajo condiciones normales.

- **Tensión Superficial:** Fuerza que actúa en la superficie libre de un líquido, tendiendo a contraerla para minimizar su área expuesta. Este fenómeno genera una barrera elástica en la interfaz entre el agua y el aire.

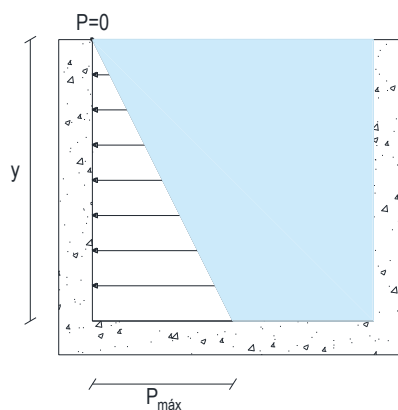
5.2.2. Hidrostática

Para el análisis estructural de elementos de contención como lo es la caja de almacenamiento inicial de hormigón armado, es necesario comprender cómo interactúa el agua confinada contra los muros verticales. “La hidrostática se ocupa del estudio de los fluidos en reposo y de las fuerzas que actúan sobre ellos” (Aude, 2025). Este comportamiento es fundamental para el diseño, ya que permite determinar la magnitud del empuje horizontal y la ubicación del centro de presiones.

- Distribución de presiones

Como se ha dicho, en los fluidos la presión hidrostática aumenta de forma lineal y directamente proporcional a la profundidad. De modo que en la superficie libre del líquido la presión relativa es nula, mientras que en el fondo del recipiente alcanza su valor máximo, dando como resultado que al graficar esta variación de presiones sobre una pared vertical se forme un triángulo donde la base es la presión máxima y la altura el tirante de agua.

Figura 1. Triángulo de presiones



- Fuerza resultante y centro de presiones

La fuerza hidrostática total que empuja el muro equivale al volumen de dicho prisma de presiones. La fuerza resultante se calcula integrando la presión sobre área de contacto, para una distribución triangular se expresa como:

$$F = \frac{\gamma_w * h^2 * L}{2} \quad (5-1)$$

Donde:

F = Fuerza hidrostática resultante (kN)

γ_w = Peso específico del agua (kN/m³)

h = Tirante de agua (m)

L = Longitud de la caja (m)

Físicamente, esta fuerza resultante no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra y aplica en un punto específico conocido como centro de presiones, el cual es “el punto en un plano en el que se puede decir que el empuje total de fluido actúa normalmente en ese plano” (Ortiz, et al., 2021).

Debido a la geometría triangular, este centroide se ubica a un tercio de la altura medido desde la base de la estructura. Al conocer la magnitud de la fuerza hidrostática y el punto de aplicación es posible determinar el momento flector máximo:

$$M_A = F * \left(\frac{h}{3}\right) \quad (5-2)$$

Donde:

M_A = Momento flector en la base (kN * m)

F = Fuerza hidrostática resultante (kN)

h = Tirante de agua (m)

5.2.3. *Hidrodinámica*

Una vez que el agua abandona su estado de reposo y adquiere movimiento, su análisis pasa al campo de la hidrodinámica la cual busca comprender la dinámica de los líquidos, examinando la interacción entre presión, velocidad y fuerzas externas que rigen su comportamiento y movimiento (Hulatt, 2024). El tránsito del agua a través de las diferentes estructuras se rige por principios físicos de conservación que permiten predecir su comportamiento a lo largo del recorrido.

- Ecuación de continuidad

Según Cornejo et al. (2023) “la ecuación de continuidad establece que, en un flujo estable y sin pérdidas, la masa total de un fluido que ingresa en una sección debe ser igual a la masa total que sale de esa sección”. Por ende, esta ecuación plantea una relación directa entre el área de la sección transversal que ocupa el flujo y la velocidad media del flujo en dicho punto.

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad (5-3)$$

Donde:

v = Velocidad del flujo (m/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

- Ecuación de Bernoulli

El principio de Bernoulli constituye una aplicación directa de la ley de conservación de la energía al estudio de los fluidos en movimiento, este teorema establece que, en un flujo constante e ideal, la energía total a lo largo de una línea de corriente permanece inalterada. Por ende, se puede predecir y calcular las variaciones de velocidad, la distribución de los tirantes hidráulicos y las pérdidas de energía a lo largo del recorrido.

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = constante \quad (5-4)$$

Donde:

P = Presión (N/m²)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

V = Velocidad (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

h = Altura o elevación del fluido (m)

5.3. Conducción de Fluidos a Presión

La conducción por tuberías se define como el transporte de fluidos a través de conductos cerrados que trabajan a sección llena. En las tuberías el flujo se desplaza debido a gradientes de presión y energía potencial. Para el diseño de la línea de

abastecimiento del laboratorio, se aplican los principios de la mecánica de fluidos que rigen el comportamiento del flujo bajo presión.

5.3.1. Pérdidas de energía en el Sistema

Las pérdidas de energía se dividen en dos categorías: pérdidas mayores (por fricción) y pérdidas menores (por accesorios). La suma de ambas determina la pérdida de energía total que el sistema debe compensar mediante la diferencia de cota entre la caja metálica y la de hormigón. Este cálculo asegura que la energía potencial disponible sea suficiente para vencer la resistencia al movimiento y garantizar el suministro del caudal de diseño.

- Pérdidas mayores

Se producen por el rozamiento del fluido con las paredes internas de la tubería. Se utiliza comúnmente la ecuación de Darcy-Weisbach, la cual es válida para cualquier fluido y régimen de flujo:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (5-5)$$

Donde:

h_f = Pérdida por fricción (m)

f = Factor de fricción de Darcy (*adimensional*)

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

- Factor de fricción de Darcy

$$f = \frac{1.325}{\left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7*D} + \frac{5.74}{N_R}\right)\right)^2} \quad (5-6)$$

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy (*adimensional*)

ε = Rugosidad absoluta (m)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

N_R = Número de Reynolds (*adimensional*)

Tabla 1. Valores de la rugosidad absoluta dependiendo del material

Material	Rugosidad absoluta ϵ (mm)
Acero bridado	0.9 – 9
Acero comercial	0.45
Acero galvanizado	0.15
Concreto	0.3 – 3
Concreto bituminoso	0.25
CCP	0.12
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Hierro galvanizado	0.12
Hierro dulce asfaltado	0.12
GRP	0.030
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

Número de Reynolds

Donde:

N_R = Número de Reynolds (*adimensional*)

$$N_R = \frac{V * D}{\nu} \quad (5-7)$$

V = Velocidad (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinemática del agua (m^2/s)

- Pérdidas menores

Estas pérdidas ocurren debido a cambios de dirección, sección o presencia de dispositivos de control (válvulas, codos, entradas). Se calculan mediante coeficientes de resistencia específicos para cada accesorio:

$$h_m = K * \frac{V^2}{2g} \quad (5-8)$$

Donde:

h_m = Pérdida local (m)

K = Coeficiente de resistencia (*adimensional*)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

5.4. Geometría de un Canal Rectangular

Se define como canal rectangular a aquella conducción hidráulica donde su sección transversal tiene una geometría rectangular, además, opera bajo condiciones de flujo a superficie libre. En la práctica de la ingeniería civil, estas estructuras son fundamentales para el transporte de caudales moderados, aplicándose de manera recurrente en sistemas de irrigación, redes de drenaje y montajes experimentales en laboratorios de hidráulica.

Tabla 2. Fórmulas para un canal rectangular

Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
$b * y$	$b + 2y$	$\frac{b * y}{b + 2y}$	b

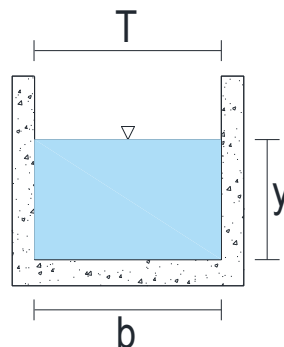
Donde:

b = Ancho interno del canal (m)

y = Tirante hidráulico (m)

T = Espejo de agua (m)

Figura 2. Sección transversal de un canal rectangular



5.5. Estructuras de Control: Vertederos

Un vertedero se define como un obstáculo o barrera física colocada de manera transversal al flujo, lo que provoca que el mismo pase por encima de la cresta o por medio de una abertura con geometría definida.

El fundamento hidrodinámico de estas estructuras consiste en la formación de un remanso en la sección de aproximación aguas arriba. Esta alteración del flujo permite establecer una relación, donde el caudal evacuado está en función directa de la altura que alcanza el agua retenida (Cajas y Rojas, 2023). Debido a esta relación los vertederos pueden ser utilizados como instrumentos de medición, siendo los vertederos

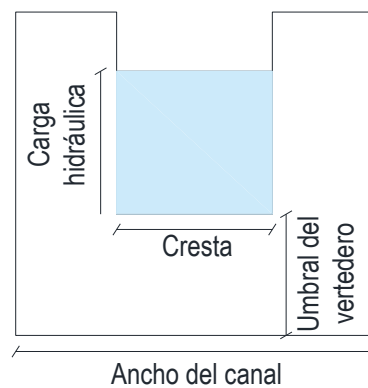
de pared delgada los más precisos, triangulares para caudales bajos y rectangulares para caudales mayores.

5.5.1. Componentes de los Vertederos

Un vertedero está conformado de diversas partes que interactúan para modificar el régimen del flujo, elevar el tirante y permitir la evacuación. Sus componentes principales son los siguientes:

- **Cresta:** Se refiere a la parte superior sobre el cuál escurre el fluido
- **Carga hidráulica:** Es la altura de la superficie libre del fluido medio perpendicularmente desde la base de la cresta.
- **Umbral del vertedero:** Es la dimensión vertical medida desde el fondo del canal hasta la altura de la cresta.

Figura 3. Vertedero rectangular y sus componentes



5.6. Flujo en Canales Abiertos

El flujo en canales abiertos se caracteriza por tener una superficie libre expuesta a la presión atmosférica, donde la gravedad es quien impulsa el movimiento del fluido. El análisis de este régimen es fundamental para el diseño y dimensionamiento de infraestructuras hidráulicas.

5.6.1. Número de Froude

El comportamiento del flujo se evalúa mediante el número de Froude, el cual “define el umbral en el que la velocidad media del flujo es igual a la velocidad relativa, es decir, la celeridad relativa, de una pequeña perturbación superficial” (Ponce, 2025).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * y}} \quad (5-9)$$

Donde:

Fr = Número de Froude (adimensional)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad(m/s²)

y = Tirante hidráulico (m)

La magnitud de este valor es el que define la clasificación del régimen del flujo en tres estados fundamentales, los cuales son:

- Flujo Subcrítico ($Fr < 1$): Se caracteriza por tener velocidades bajas y tirantes profundos, representa una condición de flujo tranquilo.
- Flujo Crítico ($Fr = 1$): Representa un estado de transición inestable donde la energía específica del sistema alcanza su valor mínimo.
- Flujo Supercrítico ($Fr > 1$): Se caracteriza por tener grandes velocidades y tirantes reducidos, generando un flujo rápido y turbulento.

5.6.2. *Tirante Crítico*

El tirante crítico es “el tirante que existe cuando el caudal es máximo, para una energía específica determinada, o el tirante al que ocurre un caudal determinado con la energía específica mínima” (Baca, 2019). Este concepto es relevante en el diseño de caídas ya que marca la transición de un flujo subcrítico a un flujo supercrítico.

Para hallar el tirante crítico en canales de sección rectangular se emplea:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (5-10)$$

Donde:

y_c = Tirante crítico (m)

q = Caudal unitario (m²/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

5.6.3. *Ecuación de Manning*

Se considera que un flujo es uniforme cuando sus parámetros geométricos e hidráulicos como el tirante hidráulico, área de la sección transversal y velocidad, permanecen constantes a lo largo del canal. Para determinar la capacidad de conducción bajo estas condiciones, se emplea la ecuación empírica de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (5-11)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

n = Coeficiente de rugosidad del material (s/m^{1/3})

A = Área hidráulica (m²)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente longitudinal (adimensional)

5.6.4. Cambios de Dirección en Canales

Cuando el trazado de un canal incluye cambios de dirección o curvas, la dinámica del flujo experimenta alteraciones significativas debido a la acción de la fuerza centrífuga la cual impulsa el flujo hacia la pared exterior de la curva, generando un aumento en el nivel del tirante y sufriendo una depresión en la pared interior.

5.6.5. Radios Mínimos

En el diseño de canales donde se presentan estos cambios bruscos de dirección, es necesario definir un radio de curvatura mínimo, puesto que emplear radios mayores no representa una mejora en la eficiencia, por el contrario, incrementan los costos al tener mayor longitud y desarrollo del canal (Herrera, 2024).

Tabla 3. Radio mínimo en función al caudal

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m ³ /s	3* ancho de la base del canal
De 10 a 14 m ³ /s	4* ancho de la base del canal
De 14 a 17 m ³ /s	5* ancho de la base del canal
De 17 a 20 m ³ /s	6* ancho de la base del canal
De 20 m ³ /s a mayor	7* ancho de la base del canal

Nota. Adaptado de "International Institute For Land Reclamation And Improvement" ILRI, Principios y Aplicaciones del Drenaje, Tomo IV, Wageningen The Netherlands 1978. Citado en análisis hidrodinámico y estabilidad del flujo en canales curvos con fondo fijo por Herrera, 2024

- **Sobreelevación del tirante**

Para garantizar un diseño seguro y establecer un borde libre adecuado, es necesario cuantificar esta sobreelevación, para ello se aplica la siguiente relación teórica:

$$\Delta h = \frac{v^2 * b}{gR} \quad (5-12)$$

Donde:

Δh = Sobreelevación del tirante (m)

v = Velocidad del flujo (m/s)

b = Ancho del canal (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

R = Radio de giro de la curva (m)

5.7. Caídas Inclınadas

Una caída inclinada es una estructura de conducción diseñada para transportar el flujo desde una elevación hacia una cota inferior a lo largo de una pendiente pronunciada, su función es la de salvar los desniveles significativos en distancias relativamente cortas. Al rebasar la cresta aguas arriba, el flujo pasa a un estado supercrítico impulsado por la aceleración de la gravedad, aumentando su velocidad a medida que se acerca al pie de la estructura. En el diseño de una caída se distinguen dos elementos los cuales son:

- **Plano Inclınado:** Tramo de pendiente pronunciada encargado de transportar el flujo, su geometría está delimitada por una relación de inclinación máxima de 1:1.5 y mínima de 1:3.
- **Colchón de Disipación:** Estructura ubicada el pie de la rampa, diseñada para disipar la energía, donde se producirá un resalto hidráulico.

5.7.1. Velocidad en el Plano Inclınado

Durante el descenso, se produce una transformación directa de la energía del sistema. Al despreciar teóricamente las pérdidas por fricción para analizar la condición más crítica, la energía potencial acumulada en la cresta debido a la carga hidráulica total se convierte en energía cinética al pie de la rampa.

Bajo el supuesto de conservación de energía, la altura total de caída se traduce directamente en un incremento de velocidad al pie de la estructura, relación que se expresa en la siguiente manera:

$$V_1 = \sqrt{2g * H_{Total}} \quad (5-13)$$

Donde:

V_1 = Velocidad al pie de la estructura (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

H_{Total} = Carga hidráulica (m)

$$H_{Total} = H + 1.5y_c \quad (5-14)$$

Donde:

H_{Total} = Carga hidráulica (m)

H = Desnivel de la caída

y_c = Tirante crítico (m)

5.7.2. Poza de Disipación

Es una estructura hidráulica ubicada al pie de una caída o vertedero la cual permite disipar la energía cinética adquirida, su configuración cumple con el propósito de contener, formar y estabilizar un resalto hidráulico, lo que permite reducir la velocidad del flujo.

5.7.3. Resalto Hidráulico

En el diseño de obras hidráulicas que involucran caídas inclinadas, el agua adquiere velocidades elevadas y una gran energía cinética, para que este flujo pueda incorporarse de manera segura al canal, es necesario disipar el exceso de energía, por lo que se provoca un resalto hidráulico.

El resalto hidráulico consiste en la transición abrupta del régimen supercrítico al subcrítico. Se caracteriza por un incremento repentino del tirante, generalmente provocado por obstáculos en el cauce o cambios drásticos en la pendiente (Toribio & Toribio, 2021).

5.7.4. *Tirante Conjugado Mayor*

Para poder dimensionar la estructura al pie de la rápida es necesario conocer la altura del agua después del resalto, para ello se debe calcular el tirante conjugado mayor, el cual es la profundidad del agua aguas abajo de un resalto hidráulico, se caracteriza por estar en un régimen subcrítico y en este se establece una relación entre el tirante inicial aguas arriba (y_1) y el tirante aguas abajo (y_2). El cálculo se determina en función del número de Froude del flujo entrante mediante la siguiente expresión conocida como la ecuación de Belanger:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8F^2} - 1) \quad (5-15)$$

Donde:

y_2 = Conjugado mayor, tirante del flujo una vez disipada la energía cinética excedente (m)

y_1 = Tirante del flujo al pie de la caída inclinada, justo antes de que se produzca el resalto (m)

F = Número de Froude (adimensional)

5.7.5. *Diseño Geométrico de la Poza*

Definidos los parámetros del régimen supercrítico y subcrítico, se procede con el cálculo de las dimensiones geométricas de la poza disipadora. Este proceso permite estabilizar el flujo y proteger la integridad estructural de la obra mediante el ajuste de la profundidad de la plantilla y la longitud del cuenco, utilizando las fórmulas que se detallan a continuación:

$$h_p = 1.15 * y_2 - y \quad (5-16)$$

Donde:

h_p = Profundidad de la poza (m)

y_2 = Tirante conjugado mayor (m)

y = Tirante hidráulico después de la poza (m)

$$L_p = 5(y_2 - y_1) \quad (5-17)$$

Donde:

L_p = Longitud de la poza (m)

y_2 = Tirante conjugado mayor (m)

y_1 = Tirante aguas bajo de la caída inclinada (m)

5.8. Desarenadores

Un desarenador es una infraestructura hidráulica diseñada para la separación, decantación y evacuación de los sólidos transportados por el flujo. Ubicada inmediatamente después de la captación superficial, su función principal es retener las partículas en suspensión mediante el proceso de sedimentación (Alvarez, 2024). Por lo tanto, la operatividad de esta unidad depende de un dimensionamiento hidráulico preciso que garantice el tiempo de retención necesario para la decantación efectiva de las partículas de diseño.

5.8.1. Sedimentación

La sedimentación es un proceso de separación física dada por la gravedad, en el cual las partículas en suspensión con mayor densidad que el fluido decantan hacia el fondo del sistema. (Zamora, 2025). En ingeniería hidráulica, este fenómeno se aplica mediante el diseño de desarenadores o tanques sedimentadores. Estas estructuras operan ampliando el área de la sección transversal para reducir la velocidad de flujo, garantizando así el tiempo de retención necesario para que los sólidos se depositen antes de que el agua abandone la unidad.

5.8.2. Velocidad de Ecurrimiento

Para que el desarenador sea eficiente, la velocidad horizontal del flujo, siendo esta la velocidad de escurrimiento, debe ser lo suficientemente baja para permitir la caída de las partículas y que no genere turbulencia con el fin de que no se vuelva a suspender el material que yace en el fondo. Esta velocidad es la relación empírica en función del diámetro de la partícula de diseño y un coeficiente empírico, dando como resultado la fórmula de Camp:

$$v = a\sqrt{d} \quad (5-18)$$

Donde:

v = Velocidad de escurrimiento (cm/s)

a = Coeficiente empírico

d = Diámetro de la partícula (mm)

Tabla 4. Valores del coeficiente empírico (a) en función del diámetro de la partícula

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

5.8.3. Velocidad de Sedimentación

Uno de los parámetros que influye en el diseño de un desarenador es la velocidad vertical o velocidad de sedimentación, la cual “describe la velocidad a la que las partículas de un líquido se hunden por gravedad ... la velocidad de sedimentación varía en función de la densidad y el tamaño de las partículas” (Almawatech, 2024).

Debido a la complejidad teórica de evaluar todas estas variables de forma exacta, la ingeniería hidráulica recurre a fórmulas empíricas obtenidas experimentalmente. Para obtener un valor representativo y seguro en el diseño, es práctica común promediar los resultados de estas formulaciones.

5.8.4. Velocidad por Arkhangelski

Define la velocidad estableciendo una relación directa entre el diámetro nominal de la partícula y su velocidad de caída, integrando los efectos de la gravedad y la resistencia viscosa del fluido. Dando como resultado la siguiente tabla de valores:

Tabla 5. Velocidades de sedimentación calculado por Arkhangelski

d (mm)	w (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.45	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.440
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

5.8.5. Velocidad por Scotti - Foglieni

La ecuación propuesta por Scotti y Foglieni constituye una formulación empírica desarrollada para evaluar la velocidad terminal de caída de partículas sólidas en un medio líquido. Este criterio establece una relación matemática que pondera directamente el diámetro del sedimento para predecir su tasa de descenso.

$$w = 3.8\sqrt{d} + 8.3d \quad (5-19)$$

Donde:

w = Velocidad de sedimentación (m/s)

d = Diámetro de la partícula (m)

5.8.6. Criterios de Diseño para Desarenador

La Organización Panamericana de la Salud (2005) indica los siguientes criterios de diseño para un desarenador:

- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 a 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

5.9. Diseño Estructural En Hormigón Armado

El hormigón armado constituye un material compuesto que aprovecha la elevada resistencia a la compresión del concreto y la alta capacidad a la tracción del acero de refuerzo. En el diseño de estructuras hidráulicas, los elementos estructurales como losas y muros deben dimensionarse para soportar de manera segura las solicitaciones de carga, principalmente el peso propio y el empuje hidrostático.

5.9.1. Normativas y Códigos de Diseño Aplicables

El análisis y diseño de los elementos estructurales de hormigón armado se rigen bajo los lineamientos de códigos y reglamento, cuyo propósito es salvaguardar la vida humana y garantizar la durabilidad, estanqueidad y funcionalidad de las obras. Para el dimensionamiento de las estructuras de contención y conducción evaluadas, el cálculo se fundamenta en la aplicación conjunta y complementaria de las siguientes normativas:

- **Código Internacional American Concrete Institute (ACI) 318:** Este código provee los fundamentos analíticos empíricos y teóricos para la evaluación de la resistencia a flexión, corte y compresión. Asimismo, dicta las disposiciones para el cálculo de los factores de reducción de resistencia y establece las limitaciones estrictas de las cuantías de acero longitudinal y transversal para asegurar el comportamiento dúctil de las secciones.
- **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC):** Como marco regulatorio de carácter obligatorio a nivel nacional, el diseño debe estar acorde a lo establecidos en la NEC. Tomando en cuenta los capítulos:
 - Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM)
 - Cargas (No Sísmicas) y Geometría (NEC-SE-CG)
 - Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente (NEC-SE-DS)

5.9.2. *Cargas de Diseño*

Para el diseño de las estructuras es necesario identificar y cuantificar las solicitaciones de cargas tanto internas como externas que actúan sobre el sistema. Estas cargas determinan el dimensionamiento geométrico y el requerimiento de acero de refuerzo para garantizar la estabilidad de la estructura.

- **Combinación de Cargas**

Cuando se realizan diseños por resistencia última las cargas nominales o de servicio se amplifican utilizando factores de mayoración normativos, gracias a ello se logra estimar las solicitaciones además da un margen de seguridad. En el caso de estructuras hidráulicas, la carga muerta corresponde al peso propio de la estructura y la carga viva es el peso y empuje del agua. En la NEC-SE-CG (2014) se puede encontrar diferentes combinaciones de cargas, para el dimensionamiento del proyecto se emplea la combinación que evalúa a la estructura en su condición de servicio más desfavorable, es decir, cuando los elementos están operando con un flujo máximo:

$$q_u = 1.2W_D + 1.6W_L \quad (5-20)$$

Donde:

q_u = Carga última (kN/m)

W_D = Carga muerta (kN/m)

W_L = Carga viva (kN/m)

- Empuje Lateral del Suelo

Cuando las estructuras se encuentran parcial o totalmente enterradas, los muros perimetrales se deben diseñar para resistir el empuje lateral provocado por el material de relleno que se encuentre alrededor. El empuje lateral del terreno se define como la presión horizontal que el suelo ejerce contra los elementos estructurales de contención. “Este empuje actúa como una fuerza que puede aportar capacidad de carga, estabilidad o inestabilidad dependiendo del análisis que se esté realizando y de las hipótesis propuestas para el análisis” (E, 2025).

La siguiente ecuación llamada la Ecuación de Jaki se utiliza para encontrar el coeficiente de empuje que relaciona la tensión horizontal con la vertical en suelos granulares, asumiendo que se trata de una superficie de relleno horizontal y un muro vertical liso:

$$K_o = 1 - \sin(\phi) \quad (5-21)$$

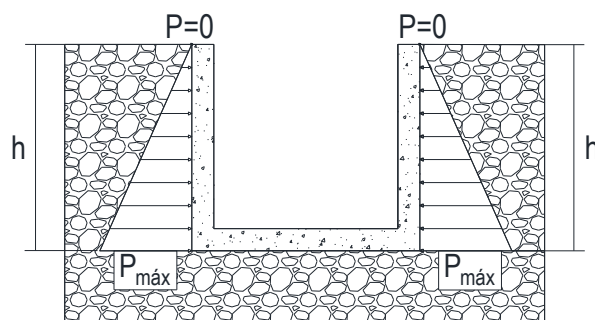
Donde:

K_o = Coeficiente de empuje (adimensional)

ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo (°)

La presión lateral del terreno sobre el elemento estructural adopta una configuración geométrica triangular, esto se debe a que en la superficie libre del terreno la presión es nula y se va incrementando linealmente hasta la cota de desplante.

Figura 4. Presión lateral del suelo



La presión horizontal máxima a una profundidad determinada se calcula incorporando el peso específico del estrato del suelo:

$$P_{máx} = K_o * \gamma_{suelo} * H \quad (5-22)$$

Donde:

$P_{máx}$ = Presión lateral máxima del suelo (kgf/m^2)

K_0 = Coeficiente de empuje (adimensional)

γ_{suelo} = Peso específico del suelo (kgf/m^3)

H = Profundidad de la pared (m)

Para el análisis mecánico y el cálculo de momentos flectores, la distribución de presiones se simplifica en una fuerza estática resultante, la cual se obtiene calculando el área del prisma:

$$F_{suelo} = \frac{P_{m\acute{a}x} * L}{2} \quad (5-23)$$

Donde:

F_{suelo} = Fuerza resultante del empuje del suelo (kgf)

$P_{m\acute{a}x}$ = Presión lateral máxima del suelo (kgf/m^2)

L = Longitud del muro en contacto con el suelo (m)

5.9.3. Diseño a Flexión y Momentos Resistentes

Cuando un elemento estructural plano recibe cargas perpendiculares a su plano longitudinal, experimenta un fenómeno de flexión. Este comportamiento genera esfuerzos de compresión en una cara del elemento y de tracción en la cara opuesta.

Para el análisis de la base de la caja, el momento flector máximo en una condición de apoyo simple se evalúa mediante la siguiente relación fundamental:

$$M = \frac{w * L^2}{8} \quad (5-24)$$

Donde:

M = Momento máximo ($kN * m$)

w = Carga (kN/m)

L = Luz libre (m)

5.9.4. Control de Deflexión

A la par del análisis de resistencia, el diseño estructural exige la verificación del estado límite de servicio mediante el control de deflexiones. Hibbeler (2023) define la deflexión como el desplazamiento lineal de un punto sobre el eje de un elemento

estructural (como una viga o un pórtico) medido desde su posición original, causado por cargas externas o cambios de temperatura.

Para garantizar que esta deformación no comprometa la integridad ni la funcionalidad de la estructura, se emplea la siguiente ecuación para calcular la deflexión máxima de un elemento tipo viga simplemente apoyado:

$$\delta = \frac{5 * w * L^4}{384EI} \quad (5-25)$$

Donde:

δ = Deflexión (m)

w = Carga kN/m

L = Longitud del elemento (m)

E = Módulo de elasticidad (GPa)

I = Momento de Inercia (m^4)

- Parámetros de Rigidez y Flexión

Para elementos de sección rectangular constante, el momento de inercia geométrico se determina de la siguiente manera:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (5-26)$$

Donde:

I = Momento de Inercia (m^4)

b = Base del elemento (m)

h = Altura o espesor del elemento (m)

Para determinar el módulo de elasticidad del hormigón, es necesario tener en cuenta las propiedades mecánicas de sus componentes. La NEC-SE-HM (2014) establece la siguiente relación empírica:

$$E = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c} \quad (5-27)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del hormigón (GPa)

E_a = Módulo de elasticidad del agregado (GPa)

$f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

Tabla 6. Módulo de elasticidad de agregados

Tipo	Procedencia	E_a (GPa)
Tonalita	Pascuales – Guayas	74.9
Basalto (Formación. Piñón)	Picoazá – Manabí	52.5
Basalto	Pifo – Pichincha	27.2
Ígnea (Andesitas, basaltos, Granodioritas)	Río Jubones – El Oro	110.5
Volcánica	La Península – Tungurahua	17.5

Nota. NEC-SE-HM (2014)

- Límites de Deformación Admisible

Para garantizar la integridad funcional de la estructura es importante comprobar que la deflexión calculada no exceda la deflexión máxima admisible ($\delta < \delta_{m\acute{a}x}$) la cual se define mediante la siguiente expresión:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{480} \quad (5-28)$$

Donde:

$\delta_{m\acute{a}x}$ = Deflexión máxima admisible (m)

L = Longitud del elemento (m)

5.9.5. Diseño A Compresión

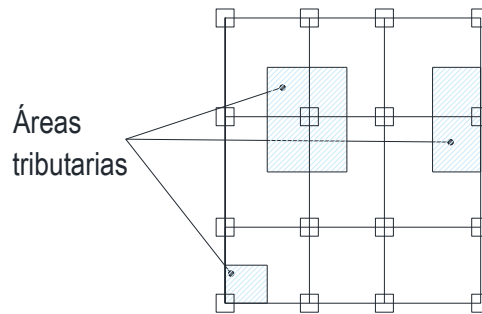
Los elementos estructurales verticales, tales como las columnas, tienen la función principal de recibir las cargas provenientes de la superestructura y transmitir las de manera segura hacia la cimentación. Estos elementos están sometidos predominantemente a esfuerzos de compresión axial, los cuales son cargas internas que actúan a lo largo del eje longitudinal de un elemento, tendiendo a acortarlo o aplastarlo.

- Área Tributaria

Para determinar la magnitud de la carga que incide sobre elementos estructurales como vigas o columnas, se emplea el método de las áreas de influencia o áreas tributarias. El área tributaria es la superficie ya sea de una losa o techo la cual posa su peso directamente sobre un elemento estructural, este criterio se utiliza para calcular la carga que cada elemento debe soportar.

En el caso de las columnas, corresponde a la mitad de la distancia que hay entre las columnas adyacentes en ambas direcciones, como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Representación de áreas tributarias



- Carga Axial

Una vez que se define la superficie, la carga axial última se cuantifica multiplicando la carga de servicio mayorada por el área tributaria y el número de niveles que soporta el elemento:

$$P_U = q_u * A_t * N_{pisos} \quad (5-29)$$

Donde:

P_u = Carga axial última (kN)

q_u = Carga última (kN/m)

A_t = Área tributaria (m²)

N_{pisos} = Número de pisos o niveles (adimensional)

- Predimensionamiento de Columnas

Con la carga axial definida, se puede estimar la sección transversal de la columna, es decir, el área de hormigón requerida para resistir los esfuerzos, para ello se emplea la siguiente expresión:

$$A_g = \frac{3 * P_u}{0.85 * f'_c + 0.012 * f_y} \quad (5-30)$$

Donde:

A_g = Área bruta de la columna (cm²)

P_u = Carga axial última (kgf)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (kgf/cm²)

f_y = Límite de fluencia del acero (kgf/cm²)

- **Acero de refuerzo**

Para garantizar que la columna presente un comportamiento dúctil y sea capaz de resistir momentos flectores imprevistos o excentricidades de la carga, la normativa ACI 318-19 (2019) establece una cuantía mínima obligatoria para el acero de refuerzo longitudinal equivalente al 1% del área bruta de la sección geométrica de hormigón:

$$A_{s_{\min}} = 0.01 * A_g \quad (5-31)$$

Donde:

$A_{s_{\min}}$ = Área de acero mínima (cm^2)

A_g = Área bruta de la columna (cm^2)

5.9.6. Cuantía de Acero

En el diseño de elementos de hormigón armado se requiere el cálculo de la cantidad de acero necesaria para absorber los esfuerzos internos de tracción. Pardo (2020) señala que “la cuantía de acero en estructuras de hormigón armado se refiere a la relación que hay de acero por partes de hormigón”. Por lo tanto, el control de dicha proporción no solo garantiza la resistencia mecánica del elemento, sino que asegura un comportamiento dúctil.

- **Cuantía Mínima y Máxima**

En el diseño estructural, la cuantía debe mantenerse dentro de los límites mínimos y máximos establecidos por la normativa vigente. Mientras que la cuantía mínima previene el agrietamiento por contracción y temperatura, el límite máximo asegura que la sección sea capaz de disipar energía eficientemente sin llegar a estar sobredimensionada.

Según la sección 9.6.1.2 del ACI 318-19 define la cuantía mínima como el valor mayor obtenido de las ecuaciones (1-28) y (1-29), las cuales están ajustadas al sistema de unidades métrico (kgf/cm^2):

$$\rho_{\min 1} = 0.8 * \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (5-32)$$

Donde:

$\rho_{\min 1}$ = Cuantía de acero mínima (*adimensional*)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (kgf/cm^2)

f_y = Límite de fluencia del acero (kgf/cm^2)

$$\rho_{min2} = \frac{14}{f_y} \quad (5-33)$$

Donde:

ρ_{min2} = Cuantía de acero mínima (*adimensional*)

f_y = Límite de fluencia del acero (kgf/cm^2)

Por otro lado, también se debe respetar la cuantía máxima admisible, este límite se calcula en función de la cuantía mecánicamente balanceada. La cuantía balanceada se define como el punto de equilibrio donde ambos materiales fluyen al mismo tiempo. De acuerdo con Pardo (2019) este parámetro funciona como un tope crítico de diseño, si se excede esta cantidad, la viga pierde su capacidad de falla dúctil, aumentando el riesgo de una rotura frágil y repentina en el hormigón.

Para hallar la cuantía balanceada, asumiendo un módulo de elasticidad del acero de $2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ se expresa como:

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right) \quad (5-34)$$

Donde:

ρ_b = Cuantía balanceada (*adimensional*)

β_1 = Factor del bloque de compresión (*adimensional*)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (kgf/cm^2)

f_y = Límite de fluencia del acero (kgf/cm^2)

Tabla 7. Valores de β_1 para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto

f'_c (MPa)	β_1
$17 \leq f'_c \leq 28$	0.85
$28 \leq f'_c \leq 55$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 28)}{7}$
$f'_c \geq 55$	0.65

Nota. ACI 318-19 (2019, p. 413)

Para evitar las fallas frágiles, se establece una cuantía de máxima equivalente al 50% de la cuantía balanceada

$$\rho_{m\acute{a}x} = 0.5 * \rho_b \quad (5-35)$$

Donde:

$\rho_{m\acute{a}x}$ = Cuantía máxima admisible (*adimensional*)

ρ_b = Cuantía balanceada (*adimensional*)

- **Acero Mínimo por Temperatura**

Para elementos extensos donde los esfuerzos de flexión pueden ser mínimos, el diseño suele estar regido por el acero mínimo por retracción de fraguado y cambios de temperatura. Este requerimiento previene la fisuración y se calcula en función de la sección transversal bruta del elemento:

$$A_{stemp} = 0.0018 * A_g \quad (5-36)$$

Donde:

A_{stemp} = Área de acero mínima por temperatura (cm^2)

A_g = Área bruta del elemento (cm^2)

5.9.7. Losa de Cimentación

La losa de cimentación es un elemento estructural en contacto directo con el suelo, cuya función es transmitir las cargas de la estructura y distribuirlas uniformemente hacia el área de desplante. El principio geotécnico y estructural fundamental establece que la presión de contacto, originada por la carga total del sistema, no debe superar la capacidad portante o esfuerzo admisible del terreno.

$$q_u = \frac{P_{total}}{A * B} \quad (5-37)$$

Donde:

q_u = Presión de contacto (kN/m^2)

P_{total} = Carga total que llega a la cimentación (kN)

A = Base (m)

B = Longitud (m)

- Momentos Flectores

Bajo la acción de esta presión ascendente ejercida por la reacción del suelo, la losa experimenta esfuerzos severos de flexión, comportándose analíticamente como un elemento invertido. En los extremos que sobresalen de las columnas, la losa actúa como un voladizo con una longitud proyectada, generando un momento flector máximo.

$$L_v = \frac{L_{losa} - L_{ext}}{2} \quad (5-38)$$

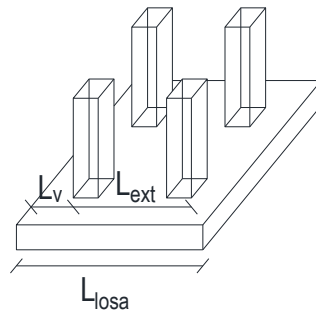
Donde:

L_v = Longitud de voladizo (m)

L_{losa} = Longitud de la losa (m)

L_{ext} = Longitud del perímetro exterior que forman las columnas (m)

Figura 6. Parámetros geométricos para el cálculo de la longitud del voladizo



Momento flector en la base del voladizo:

$$M_v = q_u * B * \frac{L_v^2}{2} \quad (5-39)$$

Donde:

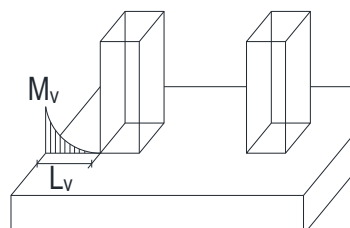
M_v = Momento flector del voladizo (kN * m)

q_u = Presión de contacto (kN/m²)

B = Longitud de la losa (m)

L_v = Longitud de voladizo (m)

Figura 7. Representación del momento en el voladizo



Momento flector en la parte interna de la losa:

$$M_u = q_u * B * \frac{L_{libre}^2}{8} \quad (5-40)$$

Donde:

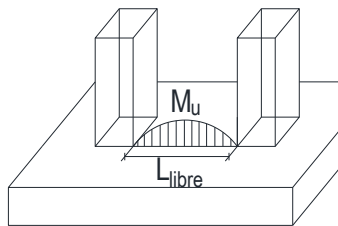
M_u = Momento último interno ($kN * m$)

q_u = Presión de contacto (kN/m^2)

B = Longitud de la losa (m)

L_{libre} = Longitud de voladizo (m)

Figura 8. Representación del momento interno de la losa



- **Cuantía Requerida por Flexión**

Una vez que se determina el momento máximo, se procede al dimensionamiento del acero de refuerzo, para ello se calcula la resistencia última la cual relaciona el momento actuante más desfavorable con las dimensiones efectivas de la losa y el factor de reducción de capacidad por flexión.

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2} \quad (5-41)$$

Donde:

R_u = Índice de resistencia última (kgf/cm^2)

M_u = Momento último ($kgf * cm$)

ϕ = Factor de reducción de resistencia (*adimensional*)

b = Longitud del elemento (cm)

d = Peralte efectivo (cm)

A partir de este índice, basándose en la teoría del bloque equivalente de compresiones y conforme los principios de diseño por resistencia última del código ACI 318-19 y la NEC-SE-HM, se deduce la ecuación para obtener la cuantía geométrica requerida.

$$\rho = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Ru}{0.85 * f'c}} \right) \quad (5-42)$$

Donde:

ρ = Cuantía de acero (*adimensional*)

$f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón (kgf/cm^2)

fy = Límite de fluencia del acero (kgf/cm^2)

R_u = Índice de resistencia última (kgf/cm^2)

Finalmente, el área de acero longitudinal necesaria para soportar los esfuerzos a tracción se obtiene de la siguiente manera:

$$A_{sreq} = \rho * b * h \quad (5-43)$$

Donde:

A_{sreq} = Área de acero requerida (cm^2)

ρ = Cuantía de acero (*adimensional*)

b = Longitud del elemento (cm)

h = Altura o espesor del elemento (cm)

5.10. Modelación numérica

En el ámbito de la ingeniería hidráulica, la modelación numérica sirve como una herramienta analítica complementaria a los modelos físicos. Mientras que los modelos físicos permiten la observación directa de un fenómeno a escala, la simulación numérica tiene la capacidad de predecir y visualizar el comportamiento del fenómeno, ofreciendo datos en los diferentes puntos del modelo como la velocidad, caudales, tirantes hidráulicos, etc. Por lo tanto, la modelación numérica permite validar aquellos resultados empíricos y optimizar el diseño de las estructuras.

5.10.1. Dinámica De Fluidos Computacional (CFD)

La Dinámica de Fluidos Computacional, (CFD) por sus siglas en inglés, constituye una rama de la mecánica de fluidos que emplea métodos numéricos y algoritmos computacionales para resolver y analizar problemas que involucran fluidos. “es la ciencia que utiliza ordenadores para predecir el flujo de líquidos y gases basándose en las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía” (Ansys, 2024).

- **Mallado**

El principio fundamental del CFD consiste en sustituir el dominio continuo del fluido por un dominio discretizado. Como las formas irregulares son muy difíciles de analizar matemáticamente, el software utiliza el mallado para fragmentar el modelo en volúmenes pequeños y exactos. En lugar de intentar resolver el problema en todo el objeto a la vez, el sistema aplica las ecuaciones en cada celda individual; al final, une todos esos resultados para entregar la solución completa (Cadence , 2020).

5.10.2. Ecuaciones de Navier-Stokes

Las ecuaciones que gobiernan los modelos de simulación CFD son las ecuaciones Navier-Stokes, dichas expresiones integran los principios de la conservación de masa, cantidad de movimiento y energía, siendo las bases teóricas en las que se basa para el desarrollo de análisis hidráulicos, tanto en sistemas a superficie libre como conducciones a presión (Yandún, 2024).

Según describe Perezagua (2023) en la Revista de la Sociedad Nuclear Española, estas expresiones permiten modelar la evolución del campo de velocidades y presiones, relacionando las fuerzas de cuerpo, los gradientes de presión y los efectos viscosos con la aceleración del fluido. En su forma compacta, la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento y la ecuación de continuidad se presentan de la siguiente manera:

$$\rho \vec{g} - \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \vec{V} = \rho \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} * \vec{\nabla}) \vec{V} \right) \quad (5-44)$$

$$\vec{\nabla} * \vec{V} = 0 \quad (5-45)$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

g = Vector de aceleración de la gravedad (m/s^2)

∇ = Derivadas espaciales en las 3 dimensiones del espacio (*adimensional*)

p = Presión estática (Pa o N/m^2)

μ = Viscosidad dinámica del fluido ($Pa * s$)

t = Tiempo (s)

5.10.3. Software Salome

Para la ejecución de la fase de preprocesamiento en la modelación CFD, una de las opciones para hacerlo es el software de código abierto Salome. Según el sitio web oficial de SALOME Platform (2021), el software tiene como objetivo:

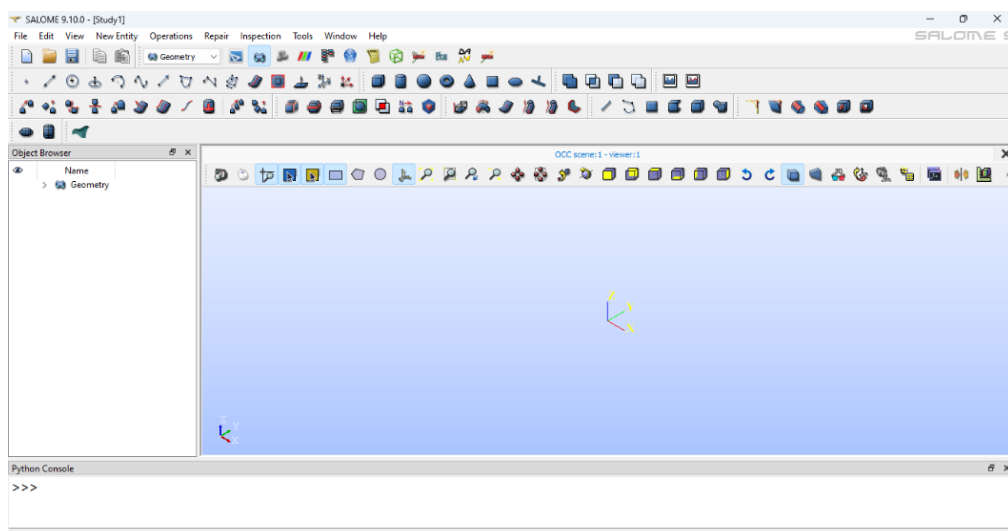
Dar soporte a las necesidades de pre y postprocesamiento en simulaciones numéricas. La plataforma es extensible y permite integrar fácilmente los códigos o módulos de cálculo de los usuarios (...) SALOME ofrece múltiples funcionalidades, incluyendo un potente modelador CAD paramétrico de código abierto, un generador y editor de mallas multialgoritmo, un supervisor de códigos de cálculo y diversas herramientas de procesamiento y análisis de datos.

Este software proporciona las herramientas necesarias para transformar el diseño estructural en un dominio computacional válido por medio de etapas fundamentales que son la geometría, condiciones de frontera y mallado.

- Geometría

Mediante el módulo de creación geométrica (GEOM), se construye un modelo tridimensional (CAD) que replica con precisión las dimensiones internas de las unidades estructurales diseñadas. Este volumen representa el espacio físico exacto donde interactuará el fluido, es decir, no se modela el componente estructural sino el volumen que ocupa el fluido a través de la estructura.

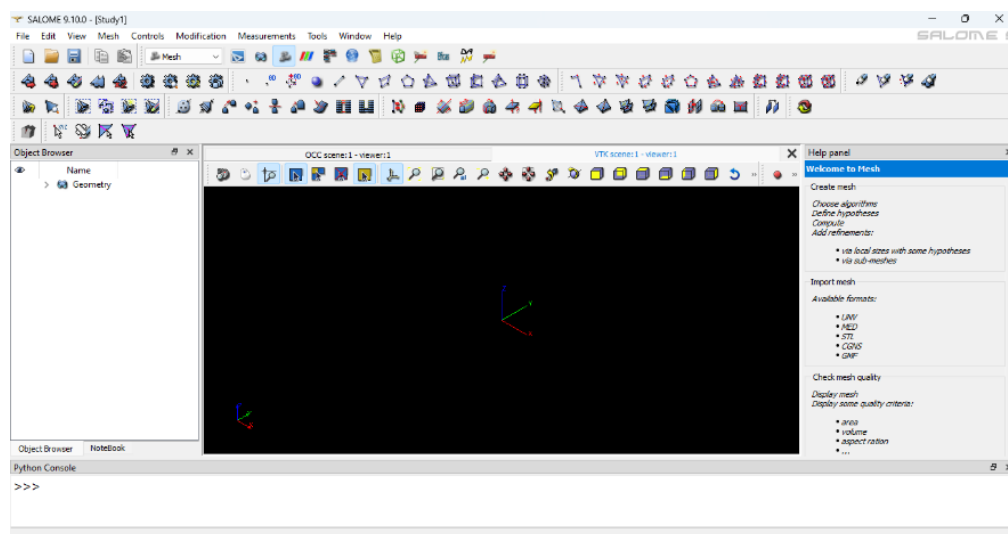
Figura 9. Espacio de trabajo del módulo GEOM en Salome



- Generación de malla

Una vez definida la geometría, debe someterse a un proceso de discretización espacial utilizando el módulo SMESH. Este procedimiento divide el volumen total en miles de pequeños subvolúmenes discretos ya sean celdas hexaédricas o tetraédricas. La calidad de esta malla computacional es el factor crítico que garantiza la convergencia matemática del modelo. Durante esta fase, también se agrupan las caras del modelo para definir las condiciones de frontera.

Figura 10. Espacio de trabajo del módulo SMESH en Salome



5.10.4. Condiciones de frontera

Para que el software CFD pueda resolver las ecuaciones de Navier-Stokes y hacer una correcta simulación de las estructuras hidráulicas proyectadas a superficie libre, se establecen las siguientes condiciones de frontera fundamentales:

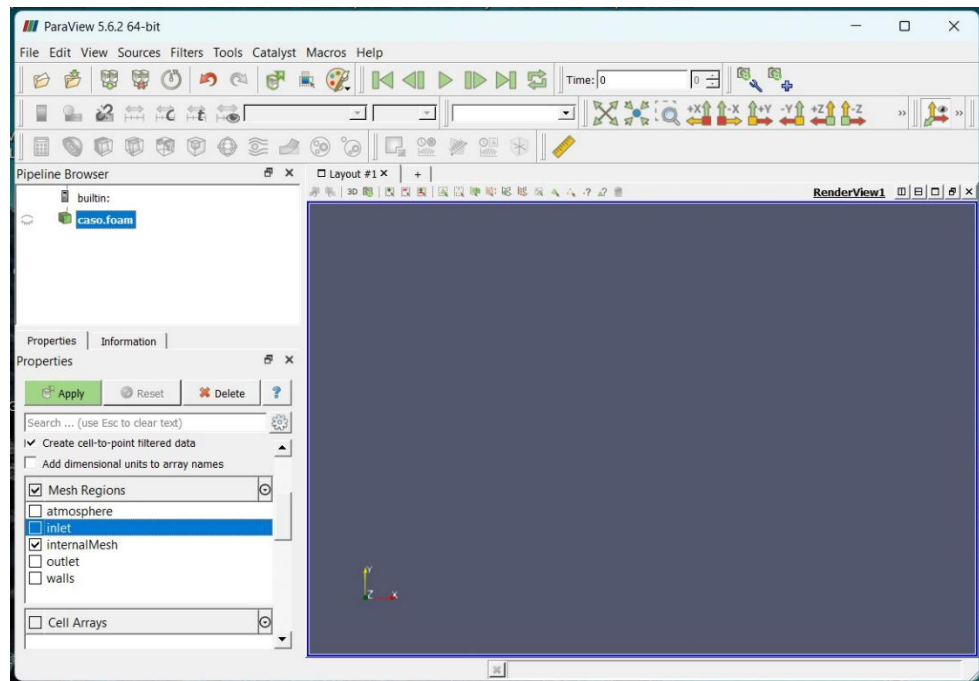
- **Entrada (Inlet):** Se define en la sección transversal aguas arriba, a esta frontera se le asigna el caudal o la velocidad de diseño, especificando que el fluido entrante es exclusivamente la fase líquida.
- **Salida (Outlet):** Se localiza en la sección terminal del modelo, se configura como una frontera de presión estática nula, lo que permite que el agua abandone el dominio computacional de manera natural, sin generar represamientos artificiales ni ondas de retroceso hacia las estructuras interiores.
- **Superficies sólidas (Walls):** Representan los muros laterales y las losas de fondo. Se les aplica la condición de no deslizamiento, es decir, velocidad cero en la pared y funciones específicas para simular la fricción y rugosidad del material.

- **Atmósfera (Atmosphere):** Corresponde al límite superior abierto del dominio tridimensional. Se define como una frontera de presión total atmosférica, permitiendo que el aire fluya libremente hacia adentro y hacia afuera de la malla.

5.10.5. Software OpenFOAM

El software Open Field Operation and Manipulation, mejor conocido como OpenFOAM, es un motor computacional de dinámica de fluidos de código abierto fundamentado en el método de volúmenes finitos. (Yandún, 2024) Este programa se encarga del procesamiento o solución, importando la malla espacial discretizada y ejecutando los algoritmos numéricos necesarios para acoplar las ecuaciones de Navier-Stokes con los modelos de superficie libre y de turbulencia seleccionados.

Figura 11. Ventana de visualización de OpenFOAM



6. Capítulo 2. Memoria de Cálculo

6.1. Línea de Abastecimiento

La línea de abastecimiento constituye el tramo de conducción del circuito, cuya función principal es transportar el flujo de agua desde la caja metálica hasta su punto de descarga. Este traslado se realiza por medio de un sistema de tuberías y accesorios hidráulicos como codos y válvulas, los cuales han dimensionados para garantizar el paso continuo y controlado del caudal de diseño a lo largo del recorrido.

6.1.1. Componentes de Conducción

- Tubería principal: PVC de 4 pulgadas.
- Accesorios de cambio de dirección: Codos de 90°.
- Dispositivo de control: Válvula de compuerta para la regulación del caudal.
- Caudal: $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$
- Longitud de la tubería: $1\text{m} + 1.2\text{m} = 2.2\text{m}$

6.1.2. Análisis de Pérdidas de Energía

- **Área del tubo**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0.11\text{m}^2}{4} = 0.009503\text{m}^2$$

- **Velocidad**

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.009503 \text{ m}^2} = 2.63 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Pérdidas locales**

Tabla 8. Coeficiente de pérdidas locales

Componente	Cantidad	k
Entrada de bordes agudos	1	0.5
Codos de 90°	3	0.9
Válvula de compuerta abierta	1	0.15
Salida	1	1

$$K_{total} = 0.5 + 3 * 0.9 + 0.15 + 1 = 4.35$$

- **Pérdida de energía**

$$h_m = K_{total} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_m = 4.35 * 0.353 = 1.54m$$

- **Pérdida de energía tramo recto**

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$f = \frac{1.325}{\left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7*D} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$\varepsilon = 0.0015mm \rightarrow 0.0000015m$$

$$N_R = \frac{V*D}{\nu}$$

$$\text{Viscosidad cinemática del agua} = \nu = \frac{10^{-6}m^2}{s}$$

$$N_R = \frac{\frac{2.63\frac{m}{s} * 0.11m}{\frac{10^{-6}m^2}{s}}}{s} = 289300$$

$$f = \frac{1.325}{\left(\ln\left(\frac{0.0000015m}{3.7*0.11m} + \frac{5.74}{289300^{0.9}}\right)\right)^2} = 0.0146$$

$$h_f = 0.0146 * \frac{2.2m}{0.11m} * \frac{\left(\frac{2.63m}{s}\right)^2}{2 * \frac{9.81m}{s^2}} = 0.103m$$

- **Energía total**

$$H_{total} = h_m + h_f$$

$$H_{total} = 1.54m + 0.103m = 1.64 m$$

- **Comprobación**

$$H_{disp} \geq H_{total}$$

$$2m \geq 1.64m \rightarrow \text{Cumple}$$

Dado que la carga hidráulica disponible supera las pérdidas totales calculadas, se garantiza la circulación del caudal de diseño de 25 l/s a través de todo el sistema.

6.2. Caja De Almacenamiento

La caja de almacenamiento es el punto de partida del circuito, cuya función es contener el volumen de agua y proporcionar la carga hidráulica necesaria. Para el diseño se busca que la caja almacene un volumen igual a $1m^3$ de agua.

6.2.1. Geometría y Propiedades de los Materiales

Para el dimensionamiento, se han definido las siguientes especificaciones técnicas:

- Dimensiones internas: $1m * 1m * 1m$
- Espesor: Espesor constante de $12cm$ para muros y losa de fondo
- Recubrimiento (r): $4.5cm$
- Borde libre: $10cm$
- Geometría externa (muros): $1.22m$ de alto * $1.24m$ de base
- Geometría externa (losa de fondo): $1.24m$ de base * $1.24m$ de longitud
- Hormigón estructural ($f'c$): $240 kg/cm^2$
- Acero de refuerzo (f_y): $4200 kg/cm^2$

6.2.2. Análisis de Empuje Hidrostático en Muros

Para el cálculo del empuje hidrostático en los muros de la caja, se considera un tirante de $1m$, siendo este el caso donde está al máximo de su capacidad de almacenamiento.

- **Fuerza resultante**

$$F = \frac{\gamma_w * h^2 * L}{2}$$

$$F = \frac{9.81kN/m^3 * (1m)^2 * 1m}{2} = 4.905kN$$

- **Momento flector**

$$M_A = F * \frac{h}{3}$$

$$M_A = 4.905kN * \frac{1m}{3} = 1.635kN * m$$

- **Momento último**

$$M_u = 1.5M_A$$

$$M_u = 1.5 * 1.635kN * m = 2.453kN * m \rightarrow 25013.633kgf * cm$$

6.2.3. Diseño del Acero de Refuerzo en Muros

Área mínima de acero

- **Resistencia última**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2}$$

$$R_u = \frac{25013.633kgf*cm}{0.9*124cm*(7.4cm)^2} = 4.093kgf/cm^2$$

- **Cuantía por resistencia última**

$$\rho = \frac{0.85*f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2*R_u}{0.85*f'c}}\right)$$

$$\rho = \frac{0.85*240kgf/cm^2}{4200kgf/cm^2} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2*4.093kgf/cm^2}{0.85*240kgf/cm^2}}\right) = 0.00098$$

- **Cuantía de acero mínima**

$$\rho_{min1} = 0.8 * \frac{\sqrt{f'c}}{fy}$$

$$\rho_{min1} = 0.8 * \frac{\sqrt{240kgf/cm^2}}{4200kgf/cm^2} = 0.00295$$

$$\rho_{min2} = \frac{14}{fy}$$

$$\rho_{min2} = \frac{14}{4200kgf/cm^2} = 0.00333$$

Para el cálculo del área de acero mínimo se toma el valor mayor obtenido entre la cuantía por resistencia última, ρ_{min1} y ρ_{min2} .

- **Área mínima de acero**

$$As_{min} = \rho * B * d$$

$$As_{min} = 0.00333 * 124cm * 7.4cm = 3.0586cm^2$$

Área máxima de acero

- **Cuantía balanceada**

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'c}{fy} * \frac{6000}{6000 + fy}$$

$$\rho_b = 0.85 * 0.85 * \frac{240kgf/cm^2}{4200kgf/cm^2} * \frac{6000}{6000 + 4200kgf/cm^2} = 0.0243$$

- **Cuantía máxima**

$$\rho_{max} = 0.5\rho_b$$

$$\rho_{max} = 0.5 * 0.0243 = 0.0121$$

- **Área máxima de acero**

$$As_{m\acute{a}x} = \rho_{m\acute{a}x} * b * d$$

$$As_{m\acute{a}x} = 0.0121 * 124cm * 7.4cm = 11.253cm^2$$

Acero de refuerzo

- **Acero de Refuerzo Vertical**

En base a los cálculos anteriores de áreas de acero, se propone utilizar 5 varillas de $\phi 12mm$ cada 28cm

$$A_{\phi} = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * \text{numero de varillas} = 5.65cm^2$$

$$A_{\phi 12} = \left(\frac{1.2cm}{2}\right)^2 * \pi * 5 = 5.65cm^2$$

$$As_{m\acute{i}n} < A_{5\phi 12} < As_{m\acute{a}x} \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Acero de refuerzo horizontal**

Para el refuerzo horizontal de los muros, se aplica el criterio de acero mínimo por contracción y temperatura, garantizando la integridad de la sección ante esfuerzos no estructurales y previniendo la fisuración del hormigón.

$$As_{temp} = 0.0018 * A_g$$

$$As_{temp} = 0.0018 * 122cm * 12cm = 2.635cm^2$$

Se propone el uso de 5 varillas de $\phi 10mm$ cada 28cm.

$$A_{\phi} = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * \text{numero de varillas}$$

$$A_{\phi 10} = \left(\frac{1cm}{2}\right)^2 * \pi * 5 = 3.927cm^2$$

$$As_{temp} < A_{5\phi 10} < As_{m\acute{a}x} \rightarrow \text{Cumple}$$

6.2.4. **Análisis de Cargas de la Losa de Fondo**

Carga viva

- **Peso de agua**

$$P_w = V_w * \gamma_w$$

$$P_w = 1m^3 * \frac{9.81kN}{m^3} = 9.81 kN$$

- **Carga del agua**

$$W_w = \frac{P_w}{L}$$

$$W_w = \frac{9.81kN}{1.24m} = 7.911kN/m$$

Carga muerta

- **Peso de la losa**

$$P_{losa} = V_{Losa} * \gamma_{hormigon}$$

$$P_{losa} = 1.24m * 1.24m * 0.12m * 24kN/m^3 = 4.429kN$$

- **Área de los muros**

$$A_{muros} = A_{exter} - A_{inter}$$

$$A_{muros} = (1.24m)^2 - (1m)^2 = 0.538m^2$$

- **Peso de los muros**

$$P_{muros} = V_{muros} * \gamma_{hormigon}$$

$$P_{muros} = 0.538m^2 * 1.10m * 24kN/m^3 = 14.193kN$$

- **Carga muerta total**

$$W_D = \frac{P_{losa} + P_{muros}}{L}$$

$$W_D = \frac{4.429kN + 14.193kN}{1.24m} = 15.018kN/m$$

Combinación de carga

$$q_u = 1.2W_D + 1.6W_w$$

$$q_u = 1.2(15.018kN/m) + 1.6(7.911kN/m) = 30.678kN/m$$

Momento máximo

$$M = \frac{q_u * L^2}{8}$$

$$M = \frac{30.678kN/m * (1.24m)^2}{8} = 5.896kN * m \rightarrow 60122.468kgf * cm$$

6.2.5. Diseño del Acero de Refuerzo

Área mínima de acero

- Resistencia última

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2}$$

$$R_u = \frac{60122.468kgf * cm}{0.9 * 124cm * (7.4cm)^2} = 9.838kgf / cm^2$$

Cuantía por resistencia última

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * R_u}{0.85 * f'_c}} \right)$$

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * 240kgf / cm^2}{4200kgf / cm^2} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 9.838kgf / cm^2}{0.85 * 240kgf / cm^2}} \right) = 0.00240$$

- Cuantía de acero mínima

$$\rho_{mín1} = 0.00295$$

$$\rho_{mín2} = 0.00333$$

Para el cálculo del área de acero mínimo se toma el valor mayor obtenido entre la cuantía por resistencia última, $\rho_{mín1}$ y $\rho_{mín2}$.

- Área mínima de acero

$$As_{mín} = \rho * B * d$$

$$As_{mín} = 0.00333 * 124cm * 7.4cm = 3.0586cm^2$$

Área máxima de acero

- Cuantía máxima

$$\rho_{máx} = 0.0121$$

- Área máxima de acero

$$As_{máx} = \rho_{máx} * b * d$$

$$As_{máx} = 0.0121 * 124cm * 7.5cm = 11.253cm^2$$

Acero de refuerzo

Debido a que los requerimientos de área de acero son similares tanto en los muros como en la losa de fondo, se opta por practicidad y optimización que el armado que recorre por los muros se extenderá de manera continua hacia la losa dando como resultado una armadura con forma de “U”. Se empleará 5 varillas de $\phi 12mm$ cada 28cm en ambos sentidos.

6.2.6. Verificación de la deflexión

- Cálculo de la inercia

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{1.24m \cdot 0.12m^3}{12} = 1.756 \times 10^{-4} m^4$$

- Cálculo del módulo de elasticidad

$$E = 1.15 \cdot \sqrt[3]{Ea} \cdot \sqrt{f'c}$$

$$E = 1.15 \cdot \sqrt[3]{54.5GPa} \cdot \sqrt{24MPa} = 21.096GPa$$

$$EI = 21\,095\,503.51kN/m^2 \cdot 1.756 \times 10^{-4} m^4 = 3704.370kN \cdot m^2$$

- Deflexión

$$\delta = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384EI}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 30.678kN \cdot (1.24m)^4}{384 \cdot 3704.370kN \cdot m^2} = 2.549 \times 10^{-4} m$$

- Deflexión máxima

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{480}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{1.24m}{480} = 2.583 \times 10^{-3} m$$

$$\delta < \delta_{m\acute{a}x} \text{ Cumple}$$

6.3. Diseño De Las Columnas

El soporte estructural está dado por 4 columnas de hormigón armado, cuya función es elevar la caja de almacenamiento para garantizar la carga hidráulica, estos elementos son los que reciben las cargas gravitacionales y las transmiten hacia la cimentación.

6.3.1. Parámetros de Diseño

Para el dimensionamiento, se han definido las siguientes especificaciones técnicas:

- Altura: 1m
- Hormigón estructural: $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

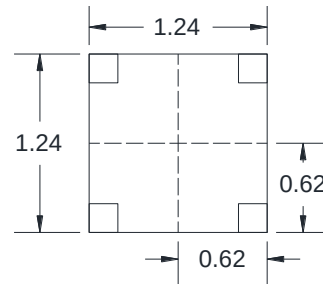
6.3.2. Análisis de Cargas

- Área tributaria

$$A_t = \left(\frac{A}{2}\right)^2$$

$$A_t = \left(\frac{1.24\text{m}}{2}\right)^2 = 0.3844\text{m}^2$$

Figura 12. Área tributaria de las columnas



- Carga axial

$$P_u = q * A_t * N_{pisos}$$

$$P_u = 30.228\text{kN/m} * 0.3844\text{m}^2 * 1 = 11.620\text{kN}$$

6.3.3. Predimensionamiento del Área de Columna

- Área requerida

$$P_u = 11.620 \text{ kN} \rightarrow 1184.91 \text{ kgf}$$

$$A_g = \frac{3 * P_u}{0.85 * f'c + 0.012 * f_y}$$

$$A_g = \frac{3 * 1184.91\text{kgf}}{0.85 * \frac{240\text{kgf}}{\text{cm}^2} + 0.012 * \frac{4200\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 13.973\text{cm}^2$$

El área bruta mínima de columna necesaria es de 13.973cm^2 , para una mejor trabajabilidad al momento de construir se establece que la columna sea de 20cm x 20cm dando un área de 400cm^2 superando el área mínima, pero sin ser tan angosta para que se pueda vibrar en la fundición de la columna.

6.3.4. Diseño del Acero de Refuerzo

- **Acero longitudinal**

$$A_{s_{\min}} = 0.01 * A_g$$

$$A_{s_{\min}} = 0.01 * 400\text{cm}^2 = 4\text{cm}^2$$

Para el acero longitudinal se propone el uso de 4 varillas de $\phi 12\text{mm}$.

$$A_s = \left(\frac{1.2\text{cm}}{2}\right)^2 * \pi * 4 = 4.524\text{cm}^2 > A_{s_{\min}} \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Estribos de confinamiento**

Si bien la normativa ACI 318 establece criterios para la separación de los estribos, tomando en cuenta que la longitud de la columna es de 1m se aplicará una separación uniforme a lo largo del elemento de 10 cm con varilla de $\phi 10\text{mm}$.

6.4. Diseño de la Cimentación

La infraestructura de apoyo consiste en una losa de hormigón armado cuya función es captar las cargas puntuales de las columnas y distribuir las de manera uniforme hacia el estrato de suelo de desplante.

6.4.1. Parámetros de Diseño y Propiedades de los Materiales

Para el diseño de la losa de cimentación se consideran los siguientes parámetros técnicos y propiedades mecánicas de los materiales:

- Carga axial (P_u): 11.62 kN
- Dimensiones de la losa de cimentación: 1.50m x 1.50m
- Espesor de la losa de cimentación (e): 0.20m
- Recubrimiento (r): 7.5cm
- Capacidad admisible del suelo (q_{adm}): 10 tonf/m² → 98.067 kN/m²
- Hormigón estructural (f'_c): 240 kg/cm²
- Acero de refuerzo (f_y): 4200 kg/cm²

6.4.2. Capacidad Portante

- **Cálculo de la carga total**

$$P_{total} = P_u * \text{número de columnas}$$

$$P_{total} = 11.62\text{kN} * 4 = 46.48\text{kN}$$

- **Cálculo de la reacción del suelo**

$$q_u = \frac{P_{total}}{A * B}$$

$$q_u = \frac{46.48kN}{1.50m * 1.50m} = 20.658 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u < q_{adm}$$

$$20.658 \frac{kN}{m^2} < 98.067 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{Cumple}$$

6.4.3. Cálculo de Momentos

- **Longitud del voladizo**

$$L_v = \frac{L_{losa} - L_{ext}}{2}$$

$$L_v = \frac{1.50m - 1.24m}{2} = 0.13m$$

- **Momento del voladizo**

$$M_v = q_u * B * \frac{L_v^2}{2}$$

$$M_v = 20.658kN/m^2 * 1.5m * \frac{(0.13m)^2}{2} = 0.262 \text{ kN} * m$$

- **Momento en el tramo interior**

$$M_u = q_u * B * \frac{L_{libre}^2}{8}$$

$$M_u = 20.658kN * 1.5m * \frac{(0.84m)^2}{8} = 2.733 \text{ kN} * m \rightarrow 27868.84 \text{ kgf} * cm$$

6.4.4. Diseño de la Armadura

- **Resistencia última**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2}$$

$$d = 20cm - 7.5cm = 12.5 \text{ cm}$$

$$R_u = \frac{27868.84 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{0.9 \cdot 150 \text{ cm} \cdot (12.5 \text{ cm})^2} = 1.321 \text{ kgf/cm}^2$$

- **Cuantía por resistencia última**

$$\rho_{req} = \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0.85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$\rho_{req} = \frac{0.85 \cdot 240 \text{ kgf/cm}^2}{4200 \text{ kgf/cm}^2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1.321 \text{ kgf/cm}^2}{0.85 \cdot 240 \text{ kgf/cm}^2}} \right) = 0.000316$$

- **Cuantía de acero mínima**

$$\rho_{\min 1} = 0.00295$$

$$\rho_{\min 2} = 0.00333$$

- **Área mínima de acero**

Para el cálculo del área de acero mínimo se toma el valor mayor obtenido entre la cuantía por resistencia última, $\rho_{\min 1}$ y $\rho_{\min 2}$.

$$A_{s_{\min}} = \rho \cdot B \cdot d$$

$$A_{s_{\min}} = 0.00333 \cdot 150 \text{ cm} \cdot 12.5 \text{ cm} = 6.244 \text{ cm}^2$$

- **Cuantía máxima**

$$\rho_{\max} = 0.0121$$

- **Área máxima de acero**

$$A_{s_{\max}} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s_{\max}} = 0.0121 \cdot 150 \text{ cm} \cdot 12.5 \text{ cm} = 22.688 \text{ cm}^2$$

- **Acero longitudinal y transversal**

Se propone utilizar 6 varillas de $\phi 12 \text{ mm}$ cada 27 cm.

$$A_{\phi} = \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot \text{numero de varillas}$$

$$A_{\phi 12} = \left(\frac{1.2}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 6 = 6.786 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{\min}} < A_{\phi 12} < A_{s_{\max}} \rightarrow \text{Cumple}$$

6.5. Diseño Del Canal

Esta sección detalla el dimensionamiento hidráulico del canal encargado de conducir el flujo desde el colchón disipador hacia el sedimentador, garantizando un régimen de flujo estable y una capacidad de conducción adecuada para el caudal de diseño.

6.5.1. Geometría y Parámetros de Diseño

Para el cálculo de la capacidad de conducción, se consideran las propiedades físicas del material y la geometría propuesta:

- Caudal de diseño (Q): $0.025\text{m}^3/\text{s} \rightarrow 25\text{ l/s}$
- Pendiente longitudinal (s): 2.5 ‰
- Coeficiente de rugosidad de Manning (n): $0.013\text{s}/\text{m}^{1/3}$
- Ancho interno del canal (b): 0.40m
- Altura de los muros (h_m): 0.20m
- Espesor de los muros (e_m): 0.08m

6.5.2. Capacidad de Conducción

- Cálculo del tirante

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{0.013} * (b * y) * \left(\frac{b*y}{b+2y}\right)^{2/3} * (S)^{1/2}$$

Remplazamos el valor de $b = 0.4\text{ m}$ y nos aproximamos de manera iterativa al caudal de $0.025\text{ m}^3/\text{s}$.

$$0.025\text{m}^3/\text{s} = \frac{1}{0.013\text{s}/\text{m}^{1/3}} * (0.4\text{m} * y) * \left(\frac{0.4\text{m}*y}{0.4\text{m}+2y}\right)^{2/3} * (0.0025)^{1/2}$$

Tabla 9. Iteración para determinar el tirante hidráulico

Tirante (y) en metros	Caudal aproximado (Q_{aprox}) en m^3/s
0.05	0.008996
0.08	0.018259
0.09	0.021706
0.10	0.02529

Para el caudal de diseño de $0.025\text{m}^3/\text{s}$, se establece un tirante hidráulico de 0.10m

6.5.3. Verificación de Velocidad y Régimen de Flujo

Se procede a verificar que la velocidad del flujo se encuentre dentro de los límites permisibles para evitar la sedimentación y la erosión excesiva, así como identificar el estado del flujo mediante el número de Froude:

- Velocidad del canal

$$v = \frac{1}{n} * \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{0.013s/m^{1/3}} * \left(\frac{0.40m*0.10m}{0.40m+2*0.10m}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.0025^{\frac{1}{2}} = 0.632 m/s$$

$$0.6m/s < v < 2m/s \rightarrow \text{Cumple}$$

- Número de Froude:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g*y}}$$

$$Fr = \frac{0.632m/s}{\sqrt{9.81m/s^2*0.10m}} = 0.638$$

$$Fr < 1 \rightarrow \text{Flujo Subcrítico}$$

6.5.4. Diseño del Cambio De Dirección

- Radio de giro

Tabla 10. Radio mínimo para un canal con caudal de 0.025m³/s

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m³/s	3* ancho de la base del canal
De 10 a 14 m³/s	4* ancho de la base del canal
De 14 a 17 m³/s	5* ancho de la base del canal
De 17 a 20 m³/s	6* ancho de la base del canal
De 20 m³/s a mayor	7* ancho de la base del canal

$$R \geq 3b$$

$$R = 3 * 0.40m = 1.20 m$$

- **Velocidad media**

$$v = \frac{Q}{b \cdot y}$$

$$v = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.40 \text{ m} \cdot 0.10 \text{ m}} = 0.625 \text{ m/s}$$

- **Sobreelevación del tirante**

$$\Delta h = \frac{v^2 \cdot b}{gR}$$

$$\Delta h = \frac{(0.625 \text{ m/s})^2 \cdot 0.40 \text{ m}}{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 1.2 \text{ m}} = 0.0133 \text{ m}$$

El agua se elevará 1.33 cm en la pared exterior, no hay riesgo de desbordamiento.

6.6. Diseño Hidráulico de la Caída Inclinada

Esta estructura de conducción tiene como objetivo salvar el desnivel existente entre la unidad de almacenamiento y el canal rectangular.

6.6.1. Geometría

Para el dimensionamiento, se han definido las siguientes especificaciones técnicas:

- Ancho de abertura (b): 0.40m
- Altura desde el desplante hasta la abertura (h): 1.30m
- Ancho de la rampa (b): 0.40m

6.6.2. Caracterización Hidráulica en la Sección de Control

Caudal de diseño: $Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Caudal unitario**

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$q = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.40 \text{ m}} = 0.0625 \text{ m}^2/\text{s}$$

- **Tirante crítico**

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(0.0625 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2}} = 0.0736 \text{ m}$$

6.6.3. *Análisis Hidrodinámico en la Rampa*

En base a los criterios de diseño se emplea una relación 1.5:1 para la inclinación, por lo tanto, la rampa tendrá 2m de longitud horizontal y una altura total de 1.3m.

- **Energía total en la cresta**

$$H_{Total} = H + 1.5y_c$$

$$H_{Total} = 1.3 + 1.5 * 0.0736m = 1.41 m$$

- **Velocidad al pie de la estructura**

$$V_1 = \sqrt{2g * H_{Total}}$$

$$V_1 = \sqrt{2 * 9.81m/s^2 * 1.41m} = 5.259 m/s$$

- **Tirante al pie de la estructura**

$$y_1 = \frac{q}{V_1}$$

$$y_1 = \frac{0.0625 m^2/s}{5.259m/s} = 0.0119 m$$

6.6.4. *Dimensionamiento del Colchón Disipador*

- **Número de Froude**

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g*y_1}}$$

$$Fr = \frac{5.259m/s}{\sqrt{9.81m/s^2 * 0.0119m}} = 15.392$$

$$Fr > 1 \rightarrow \text{Régimen supercrítico}$$

- **Tirante conjugado mayor**

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

$$y_2 = \frac{0.0119m}{2} (\sqrt{1 + 8 * 15.392^2} - 1) = 0.253 m$$

- **Profundidad de la poza**

$$h_p = 1.15 * y_2 - y$$

$$h_p = 1.15 * 0.253 m - 0.1 = 0.191m \approx 0.20m$$

- **Longitud de la poza**

$$L = 5(y_2 - y_1)$$

$$L = 5(0.25m - 0.0119m) = 1.19m \approx 1.2m$$

6.7. Diseño Estructural de la Caída

6.7.1. Geometría y Propiedades de los Materiales

- Ancho de abertura (b): 0.40m
- Altura desde el desplante hasta la abertura (h): 1.30m
- Ancho de la rampa (b): 0.40m
- Altura de los muros (h_m): 0.20m
- Espesor de los muros laterales (e_m): 0.08m
- Espesor de la losa (e_l): 0.10m
- Hormigón estructural ($f'c$): 240 kg/cm²
- Acero de refuerzo (fy): 4200 kg/cm²

6.7.2. Análisis de Cargas

- **Carga de la losa**

$$W_{Losa} = \gamma_{hormigón} * e_l * A$$

$$W_{Losa} = 24kN/m^3 * 0.10m * 0.56m = 1.344kN/m$$

- **Carga de los muros**

$$W_{Muros} = \gamma_{hormigón} * e_m * h_m * n_{paredes}$$

$$W_{Muros} = 24kN/m^3 * 0.08m * 0.20m * 2 = 0.768kN/m$$

- **Carga muerta total**

$$W_D = W_{Losa} + W_{Muros}$$

$$W_D = 1.344kN/m + 0.768kN/m = 2.112 kN/m$$

- **Ángulo de la rampa**

$$\theta = \tan^{-1}(A/B)$$

$$\theta = \tan^{-1}(1.3m/2m) = 33.02^\circ$$

- **Carga muerta normal**

$$W_{Dnormal} = W_D * \cos(\theta)$$

$$W_{Dnormal} = 2.112 \text{ kN/m} * \cos(33.02^\circ) = 1.771 \text{ kN/m}$$

- **Carga viva**

$$W_L = \gamma_w * y * b$$

$$W_L = 9.81 \text{ kN/m}^3 * 0.10 \text{ m} * 0.40 \text{ m} = 0.392 \text{ kN/m}$$

Combinación de carga

$$q_u = 1.2W_D + 1.6W_L$$

$$q_u = 1.2(1.771 \text{ kN/m}) + 1.6(0.392 \text{ kN/m}) = 2.752 \text{ kN/m}$$

- **Longitud inclinada de la rampa**

$$L = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$L = \sqrt{(1.3 \text{ m})^2 + (2 \text{ m})^2} = 2.386 \text{ m}$$

- **Momento último**

$$M_u = \frac{q_u * L^2}{8}$$

$$M_u = \frac{2.752 \text{ kN/m} * (2.386 \text{ m})^2}{8} = 1.958 \text{ kN} * \text{m} \rightarrow 19966.0435 \text{ kgf} * \text{cm}$$

6.7.3. Diseño del Acero de Refuerzo

- **Resistencia última**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2}$$

$$R_u = \frac{19966.0435 \text{ kgf} * \text{cm}}{0.9 * 56 \text{ cm} * (7 \text{ cm})^2} = 8.085 \text{ kgf/cm}^2$$

- **Cuantía por resistencia última**

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * R_u}{0.85 * f'_c}} \right)$$

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * 240 \text{ kgf/cm}^2}{4200 \text{ kgf/cm}^2} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * \frac{8.085 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}{0.85 * \frac{240 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) = 0.00196$$

- **Cuantía de acero mínima**

$$\rho_{mín1} = 0.00295$$

$$\rho_{mín2} = 0.00333$$

- **Área mínima de acero**

Para el cálculo del área de acero mínimo se toma el valor mayor obtenido entre la cuantía por resistencia última, $\rho_{mín1}$ y $\rho_{mín2}$.

$$As_{mín} = \rho * B * d$$

$$As_{mín} = 0.00333 * 56cm * 7cm = 1.305cm^2$$

- **Cuantía máxima**

$$\rho_{máx} = 0.0121$$

- **Área máxima de acero**

$$As_{máx} = \rho_{máx} * b * d$$

$$As_{máx} = 0.0121 * 56cm * 7cm = 4.743cm^2$$

- **Malla electrosoldada**

Se propone colocar una malla electrosoldada de 10x10 con $\phi 5$ mm.

$$N = \frac{b}{separación} + 1$$

$$N_1 = \left(\frac{56cm}{15cm} \right) + 1 \approx 5$$

$$N_2 = \left(\frac{56cm}{10cm} \right) + 1 \approx 7$$

$$As_{10x10} = N * \pi * \frac{(\phi_{cm})^2}{4}$$

$$As_{10x10} = 7 * \pi * \frac{(0.55cm)^2}{4} = 1.663 cm^2$$

$$As_{mín} < As_{10x10} < As_{máx} \rightarrow \text{Cumple}$$

Se debe emplear una malla electrosoldada de $\phi 5.5mm$ con separación de 10x10cm.

6.7.4. Verificación de la resistencia

- Bloque equivalente

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

$$a = \frac{1.663 \text{ cm}^2 * 4200 \text{ kgf/cm}^2}{0.85 * 240 \text{ kgf/cm}^2 * 56 \text{ cm}} = 0.611 \text{ cm}$$

- Comprobación del momento resistente

$$M_n = A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1.663 \text{ cm}^2 * 4200 \text{ kgf/cm}^2 * \left(7 \text{ cm} - \frac{0.611 \text{ cm}}{2} \right) = 46758.405 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$M_n = 0.9 * 46758.405 \text{ kgf} * \text{cm} = 42082.564 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$(M_n = 42082.564 \text{ kgf} * \text{cm}) > (M_u = 19966.0435 \text{ kgf} * \text{cm}) \rightarrow \text{Cumple}$$

6.8. Diseño Del Desarenador

6.8.1. Parámetros de Diseño y Datos de Entrada

Para el cálculo de las dimensiones del tanque, se consideran las propiedades del flujo proveniente del canal y las características de la partícula de diseño:

- Caudal de diseño (Q): $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ancho del canal de entrada (b): 0.40 m
- Diámetro de la partícula de diseño (d): 0.20 mm

6.8.2. Velocidad de Esguerramiento Horizontal

$$v = a\sqrt{d}$$

Tabla 11. Valor de coeficiente empírico (a) para una partícula de diámetro de 0.20 mm

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

$$v = 44 * \sqrt{0.20 \text{ mm}} = 19.677 \text{ cm/s}$$

$$v = 0.197 \text{ m/s}$$

6.8.3. Velocidad de Sedimentación

- Velocidad por Arkhangelski:

Tabla 12. Valor de la velocidad para una partícula con diámetro de 0.20mm

d (mm)	w (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.45	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.440
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

Para un diámetro de 0.20mm, la velocidad es $w = 0.0216m/s$.

- Velocidad por Scotti - Foglieni

$$w = 3.8 * d^{0.5} + 8.3d$$

$$w = 3.8 * (0.0002m)^{0.5} + 8.3 * 0.0002m = 0.0554m/s$$

- Velocidad promedio

$$w = \frac{0.0216m/s + 0.0554m/s}{2} = 0.0385m/s$$

6.8.4. Dimensionamiento Geométrico Del Tanque

A partir de las velocidades calculadas, se determinan las dimensiones necesarias para garantizar el tiempo de retención.

- Longitud del desarenador

Se asume una profundidad del desarenador de 0.40m

$$L = \frac{h*v}{w}$$

$$L = \frac{0.40m * 0.197m/s}{0.0385m/s} = 2.047m \approx 2.10m$$

$$\frac{L}{h} = \frac{2.1m}{0.4m} = 5.25$$

$$5 \leq \frac{L}{h} \leq 20 \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Ancho del desarenador**

$$b = \frac{Q}{h \cdot v}$$

$$b = \frac{0.025m^3/s}{0.4m \cdot 0.197m/s} = 0.3173 m$$

$$\frac{L}{b} = \frac{2.1m}{0.6m} = 3.5$$

$$3 \leq \frac{L}{b} \leq 6 \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Tiempo de sedimentación**

$$t = \frac{h}{w}$$

$$t = \frac{0.40m}{0.0385m/s} = 10.39s$$

- **Pendiente de fondo**

Para garantizar la evacuación efectiva de los sólidos decantados hacia la zona de purga, se define una pendiente longitudinal en el fondo de la unidad. Tomando en cuenta los criterios de diseño, la pendiente adoptada es del 5%.

6.8.5. Transición de Entrada y Salida

Para conectar el canal de 0.40 m con el desarenador de 0.60 m, se diseña una transición divergente:

$$L_s = \frac{(B-b)}{2 \cdot \tan(22^\circ 30')}$$

$$L_s = \frac{0.6m - 0.4m}{2 \cdot \tan(22^\circ 30')} = 0.24m \approx 0.25m$$

6.9. Diseño Estructural del Desarenador

Se realiza el cálculo de los elementos de hormigón armado de la unidad de sedimentación, considerando las solicitaciones por empuje lateral del suelo en su condición enterrada.

6.9.1. Geometría y Propiedades de los Materiales

- Longitud del desarenador (L): $2.10m$
- Ancho del desarenador (B): $0.60m$
- Altura total exterior (H): $0.76m$
- Altura enterrada (h_e): $0.58m$
- Espesor de los muros (e_m): $0.10m$
- Espesor de la losa de fondo (e_l): $0.10m$
- Recubrimiento (r): $4cm$
- Hormigón estructural ($f'c$): 240 kg/cm^2
- Acero de refuerzo (fy): $4200\frac{kgf}{cm^2}$
- Peso específico del suelo (γ_{suelo}): $1800\frac{kgf}{m^3}$
- Ángulo de fricción (ϕ): 30°

6.9.2. Análisis de Cargas Actuales

- **Coefficiente de empuje**

$$K_o = 1 - \sin(\phi)$$

$$K_o = 1 - \sin(30) = 0.5$$

- **Presión en la base del suelo**

Se considera la altura enterrada del elemento.

$$P_{m\acute{a}x} = K_o * \gamma_{suelo} * h_e$$

$$P_{m\acute{a}x} = 0.5 * 1800kgf/m^3 * 0.58m = 522kgf/m^2$$

- **Fuerza resultante**

$$F_{suelo} = \frac{P_{m\acute{a}x} * h_e}{2}$$

$$F_{suelo} = \frac{522kgf/m^2 * 0.58m}{2} = 151.38kgf$$

6.9.3. Cálculo de Momentos

- **Momento flector**

$$M = F_{suelo} * \frac{1}{3} * h_e$$

$$M = 151.38\text{ kgf} * \frac{1}{3} * 0.58m = 29.267\text{ kgf} * m$$

- **Momento último**

$$M_u = 1.6 * M$$

$$M_u = 1.6 * 29.267 \text{ kgf} * m = 46.827 \text{ kgf} * m \rightarrow 4682.7 \text{ kgf} * cm$$

6.9.4. Diseño del Acero de Refuerzo

- **Resistencia última**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b * d^2}$$

$$R_u = \frac{4682.7 \text{ kgf} * cm}{0.9 * 60 \text{ cm} * (6 \text{ cm})^2} = 2.409 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

- **Cuantía por resistencia última**

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * R_u}{0.85 * f'_c}} \right)$$

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * 240 \text{ kgf} / \text{cm}^2}{4200 \text{ kgf} / \text{cm}^2} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * \frac{2.409 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}{0.85 * \frac{240 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}} \right) = 0.000577$$

- **Cuantía de acero mínima**

$$\rho_{\min 1} = 0.00295$$

$$\rho_{\min 2} = 0.00333$$

- **Área mínima de acero**

Para el cálculo del área de acero mínimo se toma el valor mayor obtenido entre la cuantía por resistencia última, $\rho_{\min 1}$ y $\rho_{\min 2}$.

$$A_{s_{\min}} = \rho * B * d$$

$$A_{s_{\min}} = 0.00333 * 60 \text{ cm} * 6 \text{ cm} = 1.199 \text{ cm}^2$$

- **Cuantía máxima**

$$\rho_{\max} = 0.0121$$

- **Área máxima de acero**

$$A_{s_{\max}} = \rho_{\max} * B * d$$

$$A_{s_{\max}} = 0.0121 * 60 \text{ cm} * 6 \text{ cm} = 4.356 \text{ cm}^2$$

- **Malla electrosoldada**

Se propone colocar una malla electrosoldada de $\phi 5mm$.

$$N = \frac{b}{separación} + 1$$

$$N_1 = \left(\frac{100cm}{15cm} \right) + 1 \approx 8$$

$$N_2 = \left(\frac{100cm}{10cm} \right) + 1 \approx 11$$

$$As_{req} = N * \pi * \frac{(\phi_{cm})^2}{4}$$

$$As_{req} = 8 * \pi * \frac{0.5cm^2}{4} = 1.374 cm^2$$

$$As_{mín} < As_{req} < As_{máx} \rightarrow \text{Cumple}$$

Se debe emplear una malla electrosoldada de $\phi 5mm$ con separación de 15x15cm.

6.9.5. Verificación de la Resistencia

- **Bloque equivalente**

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f' * c * b}$$

$$a = \frac{1.374 cm^2 * 4200 kgf/cm^2}{0.85 * 240 kgf/cm^2 * 60cm} = 0.471cm$$

- **Comprobación del momento nominal resistente**

$$M_n = As * f_y * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1.374 cm^2 * 4200 kgf/cm^2 * \left(6cm - \frac{0.471cm}{2} \right) = 33265.777 kgf * cm$$

$$(M_n = 33265.777 kgf * cm) > (M_u = 4682.7 kgf * cm) \rightarrow \text{Cumple}$$

6.10. Tubería Soterrada

Para el tramo final del circuito, se proyecta una conducción a superficie libre mediante una tubería de PVC de 160mm. Este conducto tiene como función el transporte del agua desde la salida del desarenador hasta la cisterna de almacenamiento, operando por gravedad.

- **Área hidráulica**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi*(0.16m)^2}{4} = 0.0201m^2$$

- **Radio Hidráulico**

$$R = \frac{D}{4}$$

$$R = \frac{0.16m}{4} = 0.04m$$

- **Velocidad de flujo**

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.009} * 0.04m^{\frac{2}{3}} * 0.065^{\frac{1}{2}} = \frac{3.31m}{s}$$

- **Caudal Máximo**

$$Q = V * A$$

$$Q = 3.31 \frac{m}{s} * 0.0201 m^2 = 0.0665 \frac{m^3}{s} \rightarrow 66.5 \frac{l}{s}$$

Por lo tanto, el caudal máximo que puede transportar la tubería es mayor al caudal de diseño por lo que el sistema no va a trabajar a su máxima capacidad asegurando una conducción libre.

7. Capítulo 3. Modelo Computacional

7.1. Creación de Modelo en Salome

Para realizar la simulación de la dinámica de fluidos computacional (CFD), se procede a la construcción del dominio fluido utilizando el software de código abierto Salome. Este proceso se divide en la generación de la geometría, la definición de grupos de contorno y el mallado final.

7.1.1. Modelado Geométrico

El modelado se basa en las dimensiones finales obtenidas en la memoria de cálculo, asegurando que el volumen interno represente el recorrido del agua.

- Definición de Coordenadas: Se ingresan los puntos de control en el espacio tridimensional (X, Y, Z) para delimitar los vértices, partiendo del origen.

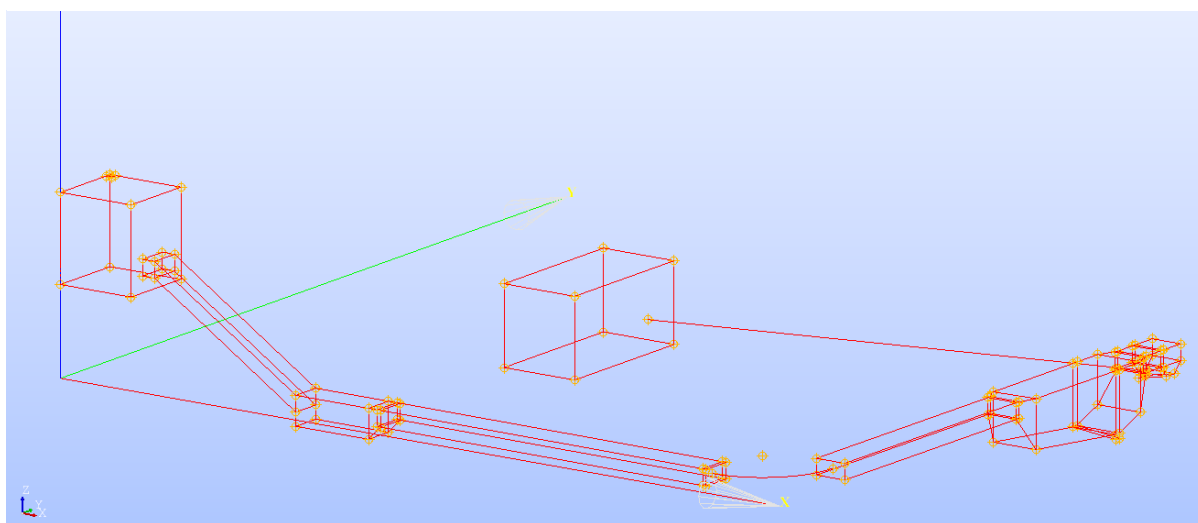
Tabla 13. Coordenadas para la definición geométrica

	Número vértice	x	y	z
CAJA	1	0	0	1.12
	2	0	1	1.12
	3	1	0	1.12
	4	1	1	1.12
	5	0	0	2.22
	6	1	0	2.22
	7	1	1	2.22
	8	0	1	2.22
Caída	9	0.96	0.3	1.3
	10	0.96	0.7	1.3
	11	1.12	0.3	1.3
	12	1.12	0.7	1.3
	13	0.96	0.3	1.5
	14	0.96	0.7	1.5
	15	1.12	0.3	1.5
	16	1.12	0.7	1.5
	17	3.12	0.3	0
	18	3.12	0.7	0
	19	3.12	0.3	-0.17
	20	3.12	0.7	-0.17
	21	3.12	0.3	0.2
	22	3.12	0.7	0.2
	23	4.15	0.3	-0.17
	24	4.15	0.7	-0.17
	25	4.15	0.3	0.2
	26	4.15	0.7	0.2
	27	4.32	0.3	0
	28	4.32	0.7	0
	29	4.32	0.3	0.2
	30	4.32	0.7	0.2

Canal 1	31	4.27	0.3	0
	32	4.27	0.7	0
	33	4.27	0.3	0.2
	34	4.27	0.7	0.2
	35	8.93	0.3	-0.013
	36	8.93	0.7	-0.013
	37	8.93	0.3	0.187
	38	8.93	0.7	0.187
Curva	39	8.88	0.3	-0.013
	40	8.88	0.7	-0.013
	41	8.88	0.3	0.187
	42	8.88	0.7	0.187
	43	8.88	0.5	0.087
	44	9.88	1.5	0.087
	45	8.88	1.5	0.087
Canal 2	46	10.08	1.45	-0.013
	47	9.68	1.45	-0.013
	48	10.08	1.45	0.187
	49	9.68	1.45	0.187
	50	10.08	4.95	-0.022
	51	9.68	4.95	-0.022
	52	10.08	4.95	0.178
	53	9.68	4.95	0.178
Desarenador	54	10.08	4.9	-0.022
	55	9.68	4.9	-0.022
	56	10.08	4.9	0.178
	57	9.68	4.9	0.178
	58	10.18	5.15	-0.442
	59	9.58	5.15	-0.422
	60	10.18	6.75	-0.582
	61	9.58	6.75	-0.582
	62	10.18	6.75	-0.642
	63	10.18	6.83	-0.642
	64	10.18	6.83	-0.582
	65	9.58	6.83	-0.582
	66	10.18	7.25	-0.422
	67	9.58	7.25	-0.422
	68	10.08	7.5	-0.022
	69	9.58	7.5	-0.022
	70	10.18	7.5	0.178
	71	9.58	6.83	0.178
	72	9.58	6.75	0.178
	73	9.58	7.25	0.178
	74	10.18	6.83	0.178
	75	10.18	6.75	0.178
	76	10.18	5.15	0.187
	77	9.58	5.15	0.178

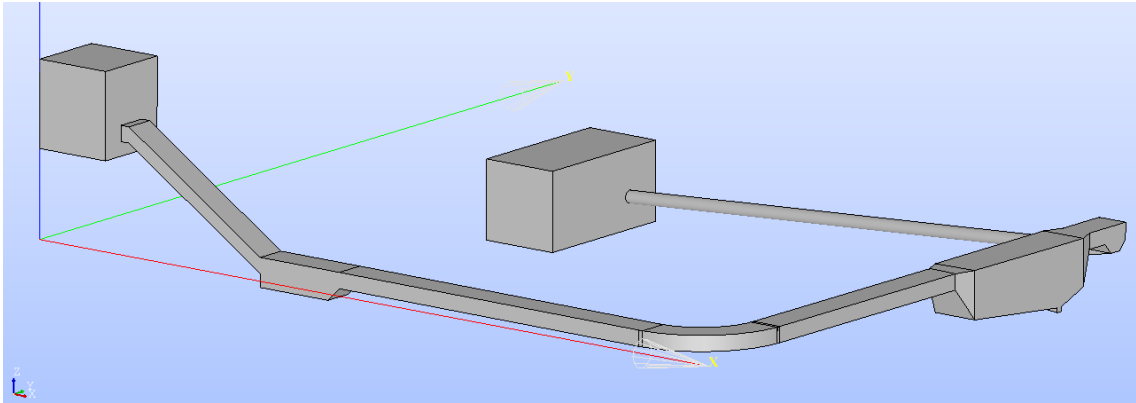
Canal 3	78	10.08	7.45	-0.022
	79	9.68	7.45	-0.022
	80	10.08	7.45	0.178
	81	9.68	7.45	0.178
	82	10.08	7.85	-0.022
	83	9.68	7.85	-0.022
	84	10.08	7.85	0.178
	85	9.68	7.85	0.178
Caja 2	86	10.08	7.8	0.178
	87	9.68	7.8	0.178
	88	9.68	7.8	-0.022
	89	10.08	7.8	-0.022
	90	9.68	7.92	-0.152
	91	9.68	8.08	-0.152
	92	9.68	7.92	-0.232
	93	9.68	8.08	-0.232
	94	9.68	8.2	-0.022
	95	10.08	8.2	-0.022
	96	10.08	7.92	-0.152
	97	10.08	8.08	-0.152
Tubería	98	9.73	8	-0.152
	99	2.68	8	-0.6
Cisterna	100	2.7	8.5	0
	101	2.7	8.5	-1
	102	1.7	8.5	-1
	103	1.7	8.5	0
	104	2.7	6.5	0
	105	1.7	6.5	0
	106	2.7	6.5	-1
	107	1.7	6.5	-1

Figura 13. Modelo geométrico delimitado por los vértices y curvas



- Generación de Caras (Faces): A partir de los puntos y las líneas de conexión, se crean las superficies planas y curvas.
- Creación del Sólido (Solid): Se genera un volumen sólido único que representa el dominio del fluido.

Figura 14. Modelo del volumen que ocupa el agua

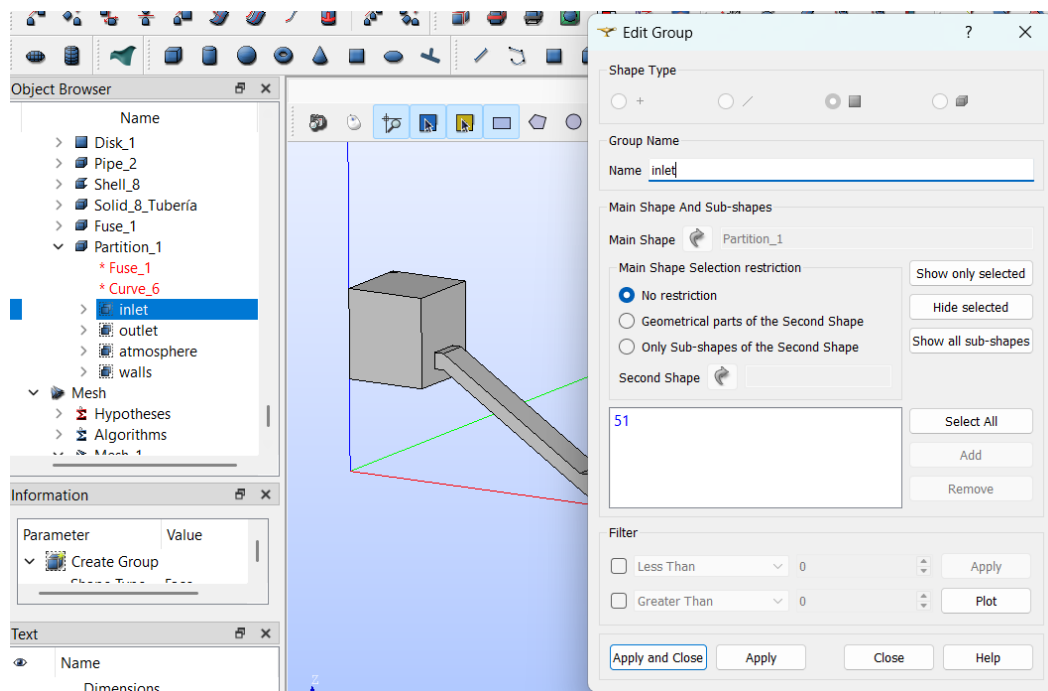


7.1.2. Definición de Grupos

Para que el software de simulación reconozca las condiciones de borde, se crean grupos de caras específicos. Esta clasificación es fundamental para asignar las propiedades físicas del flujo:

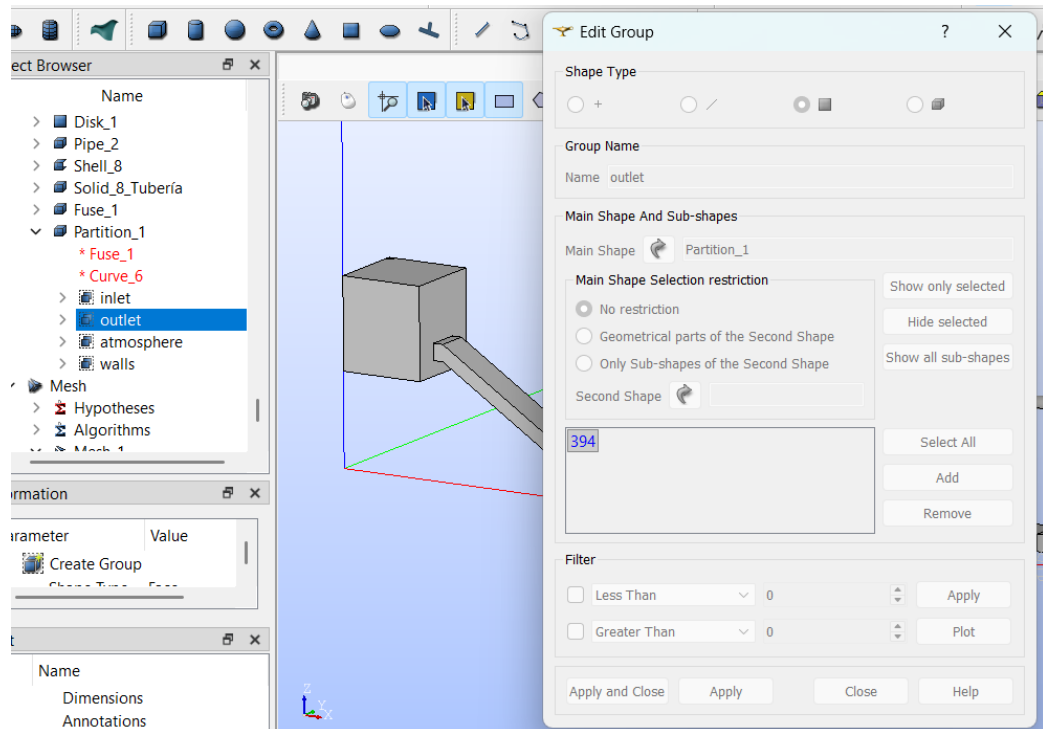
- Inlet (Entrada): Corresponde a la sección posterior de la caja de almacenamiento donde ingresa el flujo de agua.

Figura 15. Grupo inlet



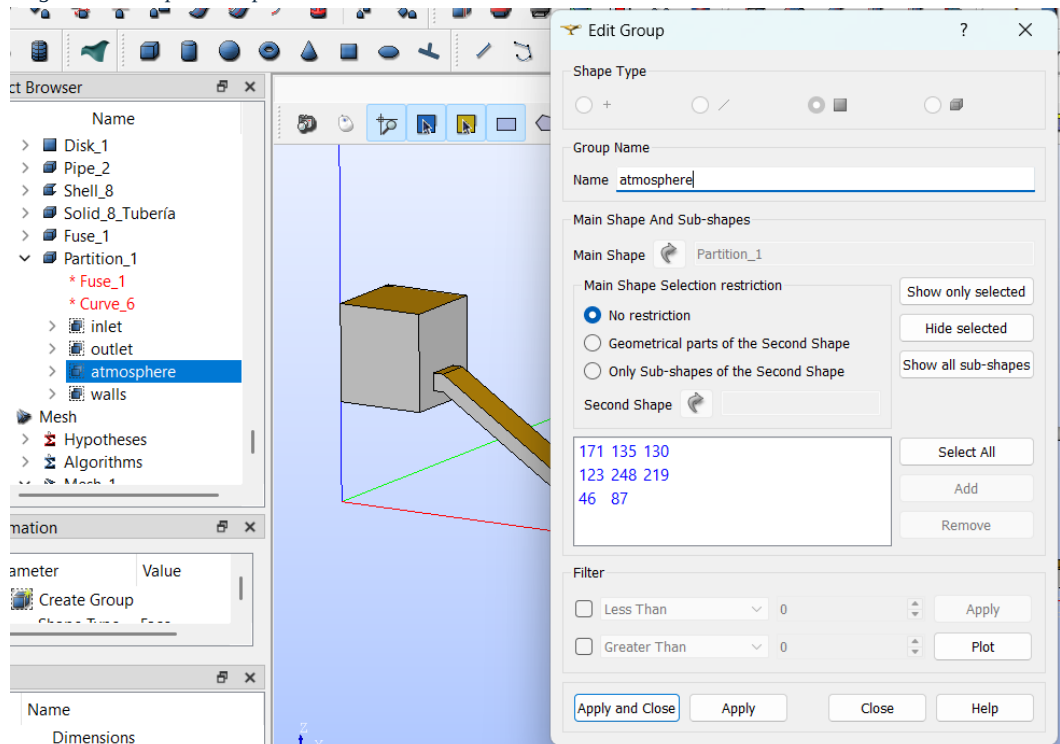
- Outlet (Salida): Ubicada al final del circuito, donde el fluido abandona el dominio de control.

Figura 16. Grupo outlet



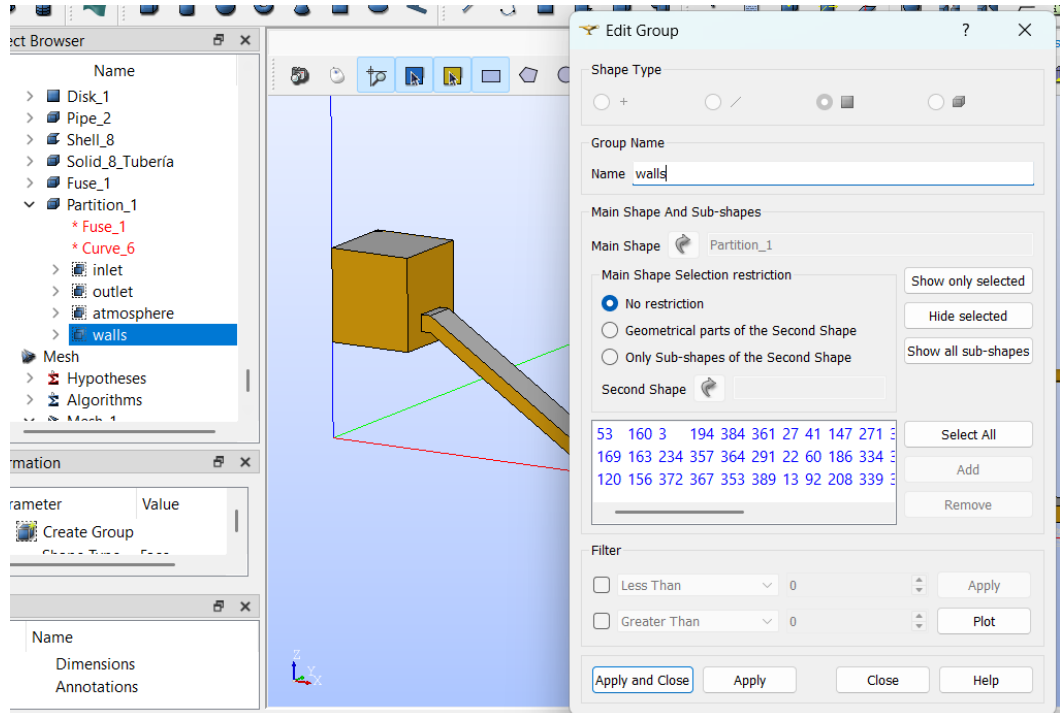
- Atmosphere (Atmósfera): Superficie superior del dominio para permitir la interacción con la presión atmosférica y el escape de aire.

Figura 17. Grupo atmosphere



- Walls (Paredes): Agrupa todas las caras laterales y el fondo de la estructura. Aquí se aplicará la condición de "no deslizamiento" y la rugosidad de Manning calculada.

Figura 18. Grupo walls



7.1.3. Mallado del Modelo

Con la geometría definida, se procedió a la discretización del volumen para permitir el cálculo por volúmenes finitos:

- Algoritmos de Mallado: Se utiliza el algoritmo Netgen 1D-2D-3D para generar una malla no estructurada de elementos tetraédricos.

Figura 19. Elementos que componen la malla

Mesh computation succeed

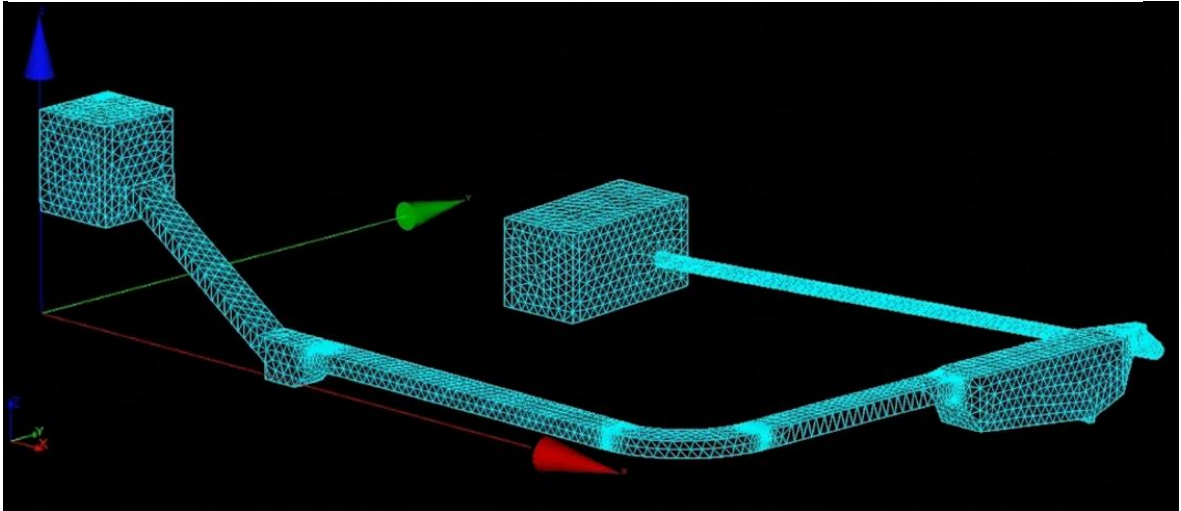
Compute mesh

Name: Mesh_1

Mesh Infos

	Total	Linear	Quadratic	Bi-Quadratic
Nodes :	10436			
0D Elements :	0			
Balls :	0			
Edges :	1733	1733	0	
Faces :	15428	15428	0	0
Triangles :	15428	15428	0	0
Quadrangles :	0	0	0	0
Polygons :	0	0	0	
Volumes :	36089	36089	0	0
Tetrahedrons :	36089	36089	0	
Hexahedrons :	0	0	0	0
Pyramids :	0	0	0	
Prisms :	0	0	0	0
Hexagonal prisms :	0			
Polyhedrons :	0			

Figura 20. Mallado del dominio



- Exportación: Una vez verificada la calidad de la malla el archivo fue exportado en formato “.unv” para su conversión y procesamiento en OpenFOAM.

Figura 21. Información en la terminal

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/Laboratorio_Tesis
Processing tag:2467
Starting reading patches at line 129509.
For group 1 named inlet trying to read 514 patch face indices.
For group 2 named outlet trying to read 27 patch face indices.
For group 3 named atmosphere trying to read 2699 patch face indices.
For group 4 named walls trying to read 12198 patch face indices.

Sorting boundary faces according to group (patch)
0: inlet is patch
1: outlet is patch
2: atmosphere is patch
3: walls is patch

Constructing mesh with non-default patches of size:
  inlet      514
  outlet     27
  atmosphere 2699
  walls     12198

End

ronal@Ronald MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/Laboratorio_Tesis
$
```

7.2. Simulación en OpenFOAM

Una vez exportada la malla, se realiza la configuración del caso en el entorno de OpenFOAM. Se selecciona el solver interFoam, diseñado para flujos incompresibles, bifásicos e isotérmicos, el cual utiliza el método de Volúmenes de Fluido (VOF) para rastrear la interfaz entre el agua y el aire.

7.2.1. Estructura

La simulación se organiza mediante la siguiente estructura de carpetas:

- Carpeta 0 (Condiciones Iniciales): Se definen los campos de fase (alpha.water), velocidad (U) y presión (p_rgh). Se asigna un valor de 1 para el agua en el Inlet y se establece la presión atmosférica en la frontera Atmosphere.

- Carpeta constant (Propiedades Físicas): Se especifican las propiedades de transporte del agua y el aire, se configura el vector de gravedad ($g = -9.81 \text{ m/s}^2$).
- Carpeta system (Control): Se establece el tiempo de simulación y se configura un paso de tiempo (Δt) ajustable.

7.2.2. **Procesamiento**

Para la visualización de resultados, se utiliza la herramienta ParaView.

Figura 22. Visualización del modelo

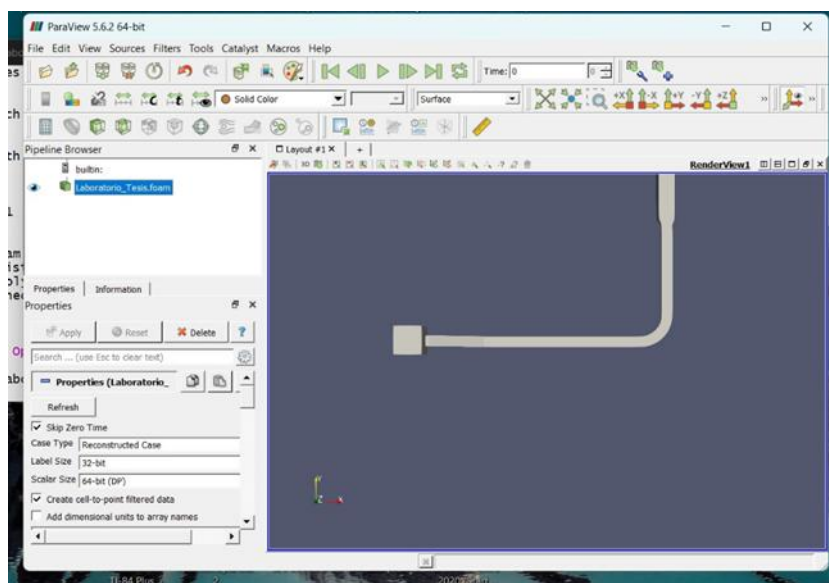
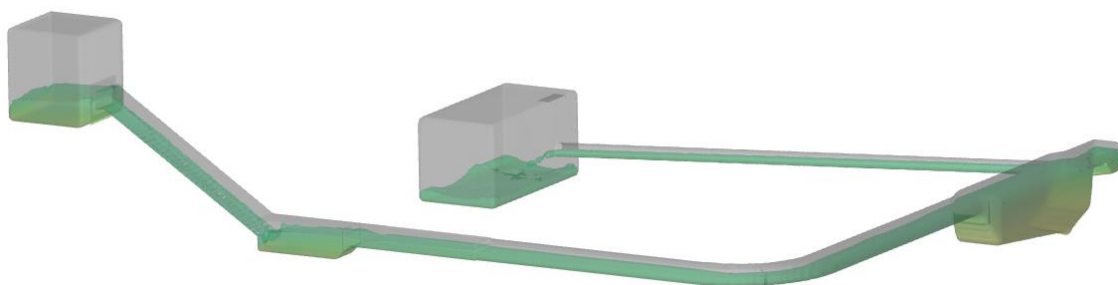


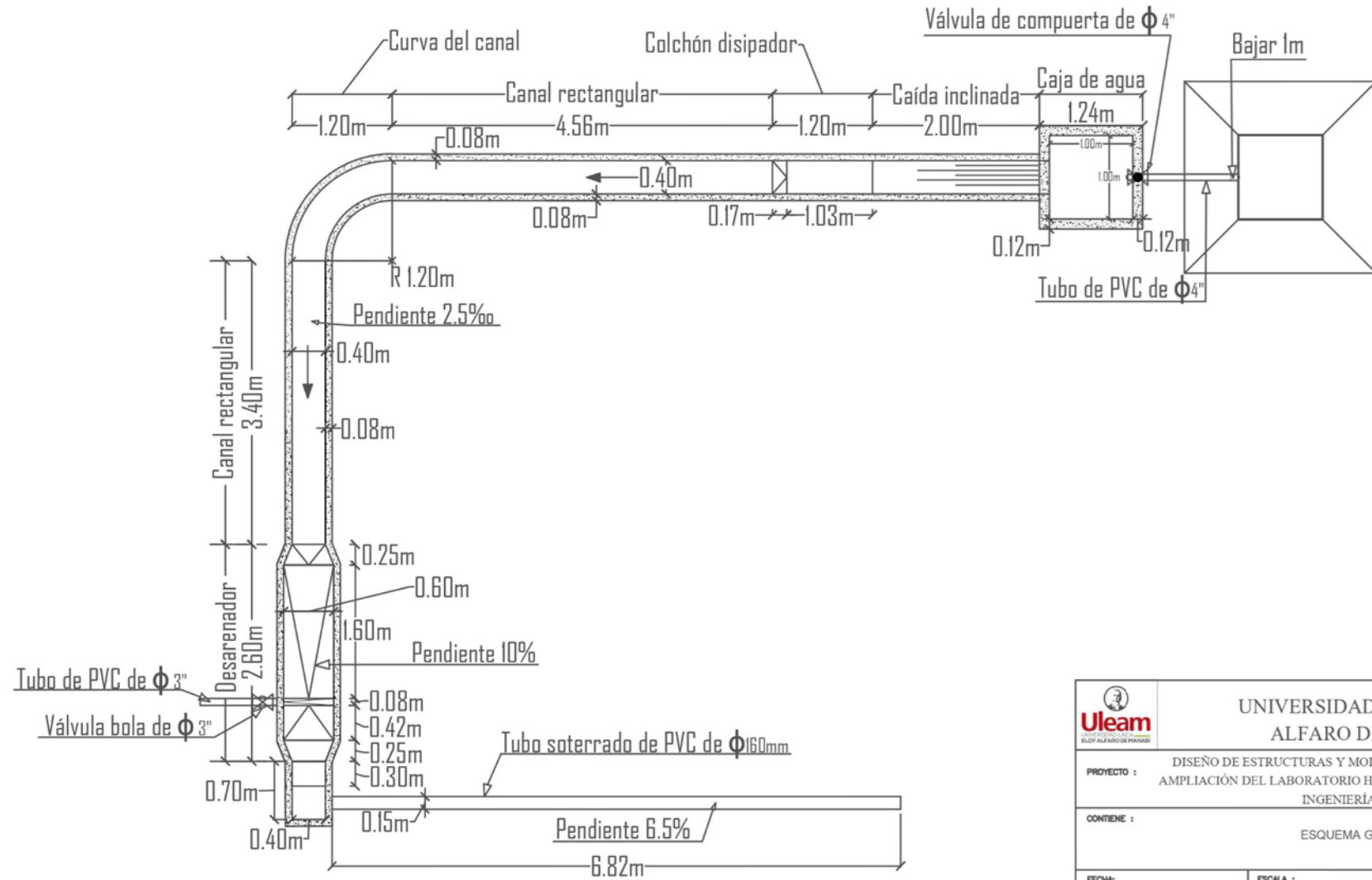
Figura 23. Visualización de la simulación



A través del modelo de simulación, se demuestra el correcto funcionamiento del circuito hidráulico. Se visualiza un tránsito del agua fluido y controlado, donde el tirante hidráulico y las velocidades se mantienen dentro de los rangos admisibles. Se ratifica, por tanto, que las dimensiones y pendientes propuestas son óptimas para la gestión del caudal, garantizando la operatividad del laboratorio.

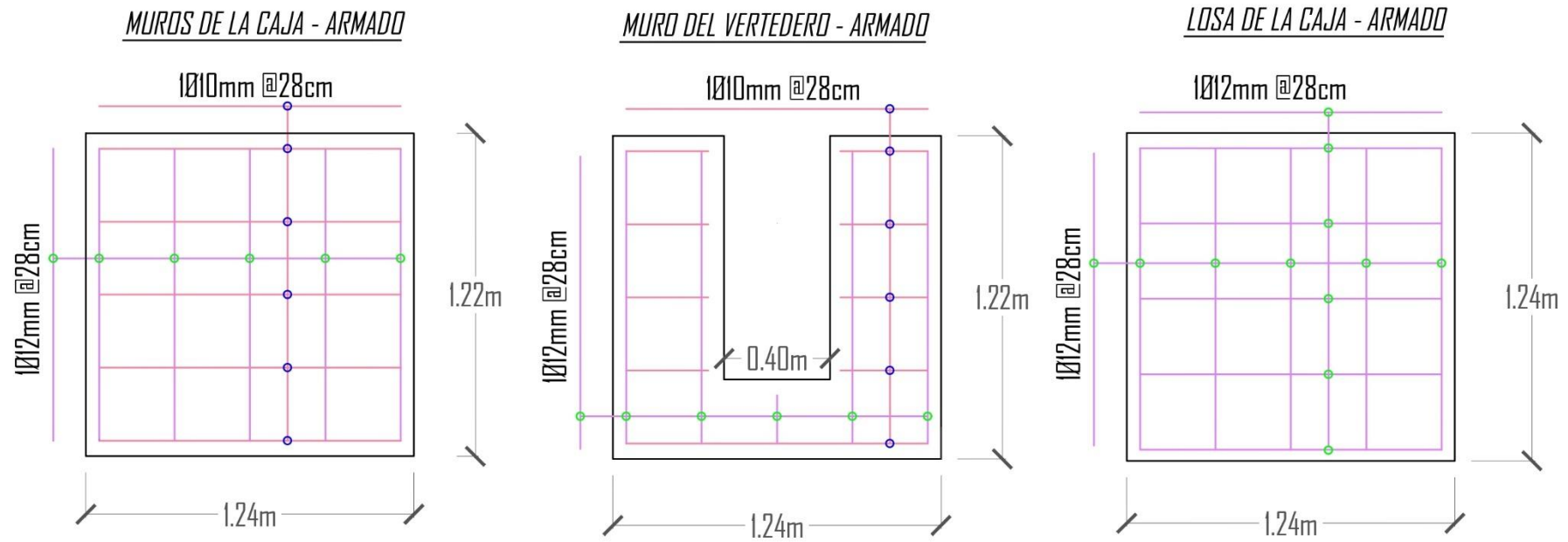
8. Capítulo 4. Memoria Gráfica

Figura 24. Plano del esquema general

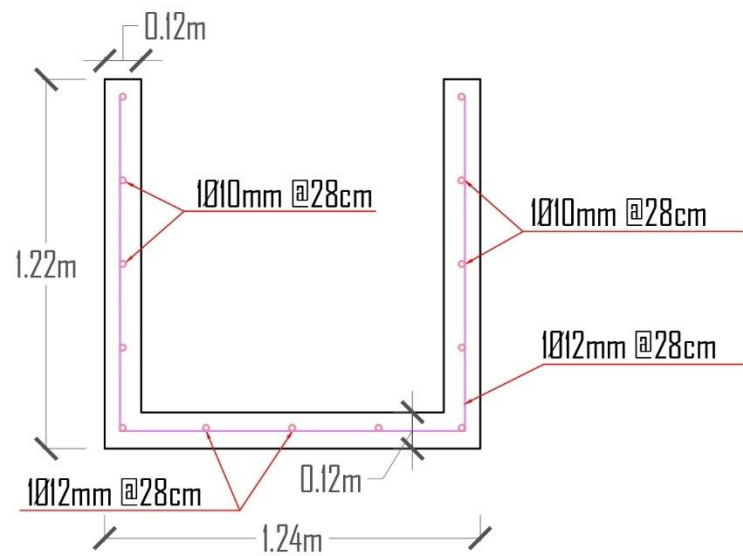


	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	ESQUEMA GENERAL	
FECHA: ABRIL - 2026	ESCALA : 1:75	LÁMINA No. 001

Figura 25. Plano del armado de la caja de almacenamiento



SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CAJA - ARMADO



	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	ARMADO DE LA CAJA DE ALMACENAMIENTO	
FECHA: ABRIL - 2026	ESCALA : 1:25	LÁMINA No. 002

VISTA LATERAL DE CAÍDA INCLINADA

Esc: 1:50

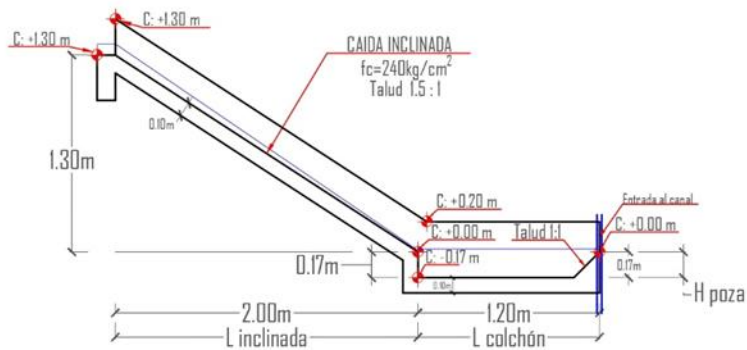
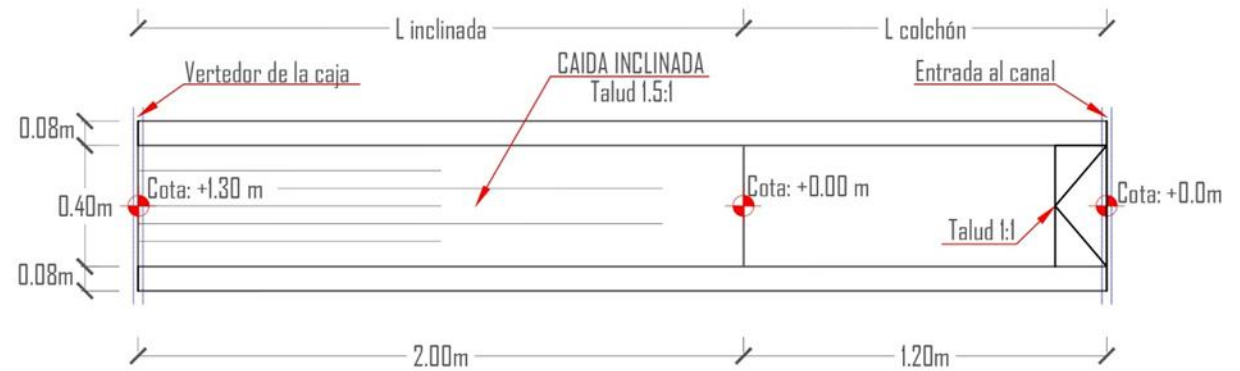


Figura 27. Plano del armado de la caída inclinada

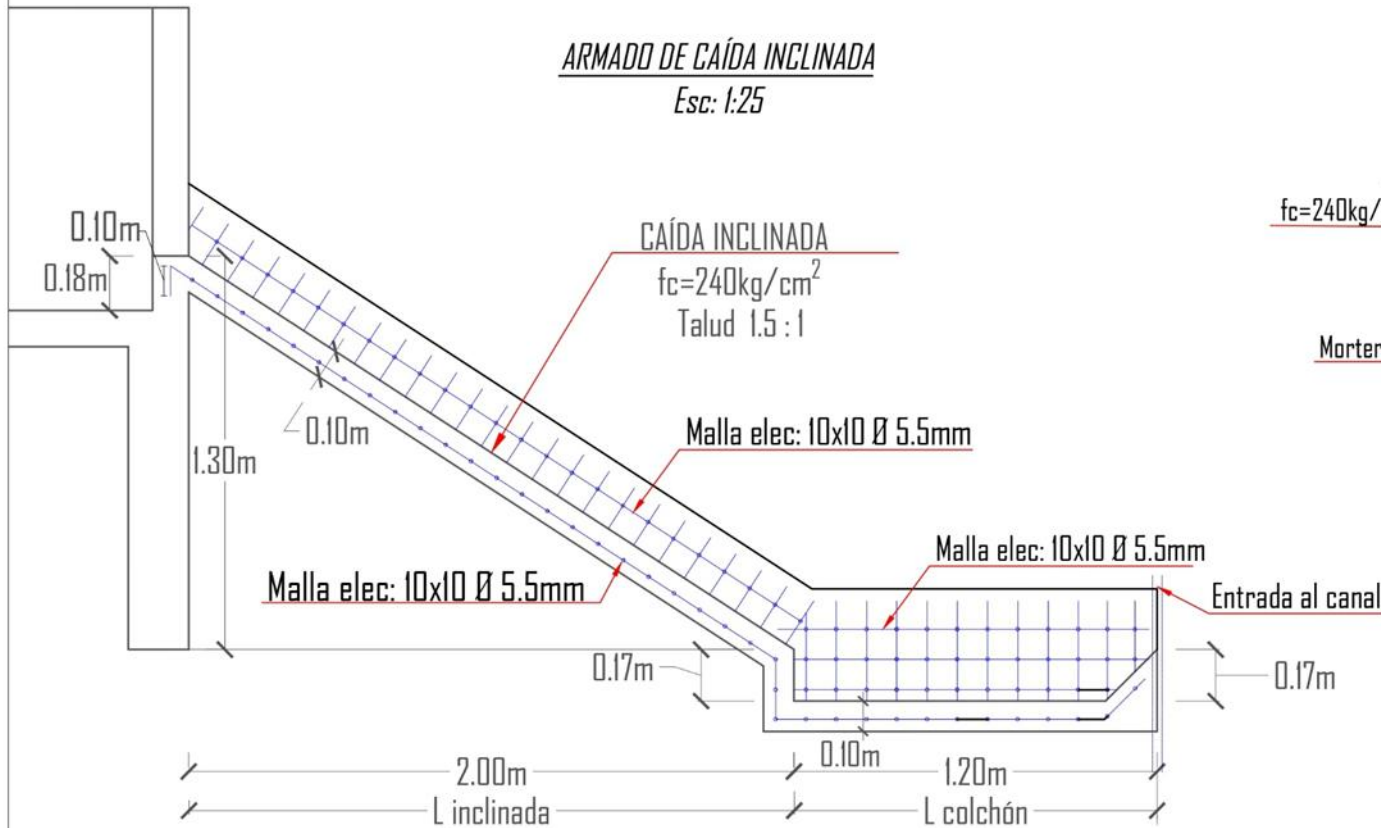
VISTA EN PLANTA DE CAÍDA INCLINADA

Esc: 1:25



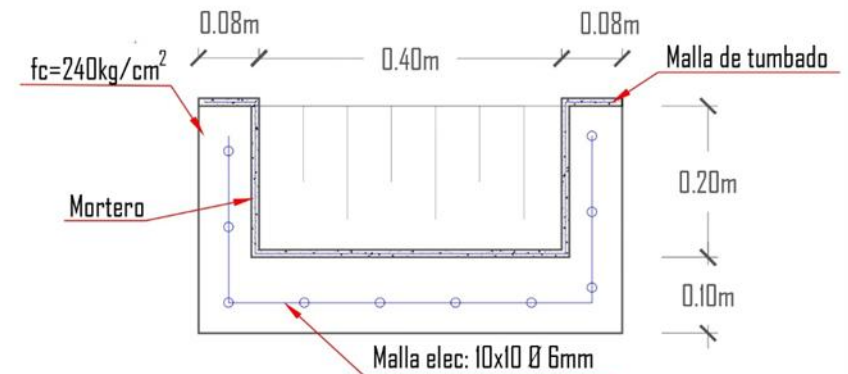
ARMADO DE CAÍDA INCLINADA

Esc: 1:25



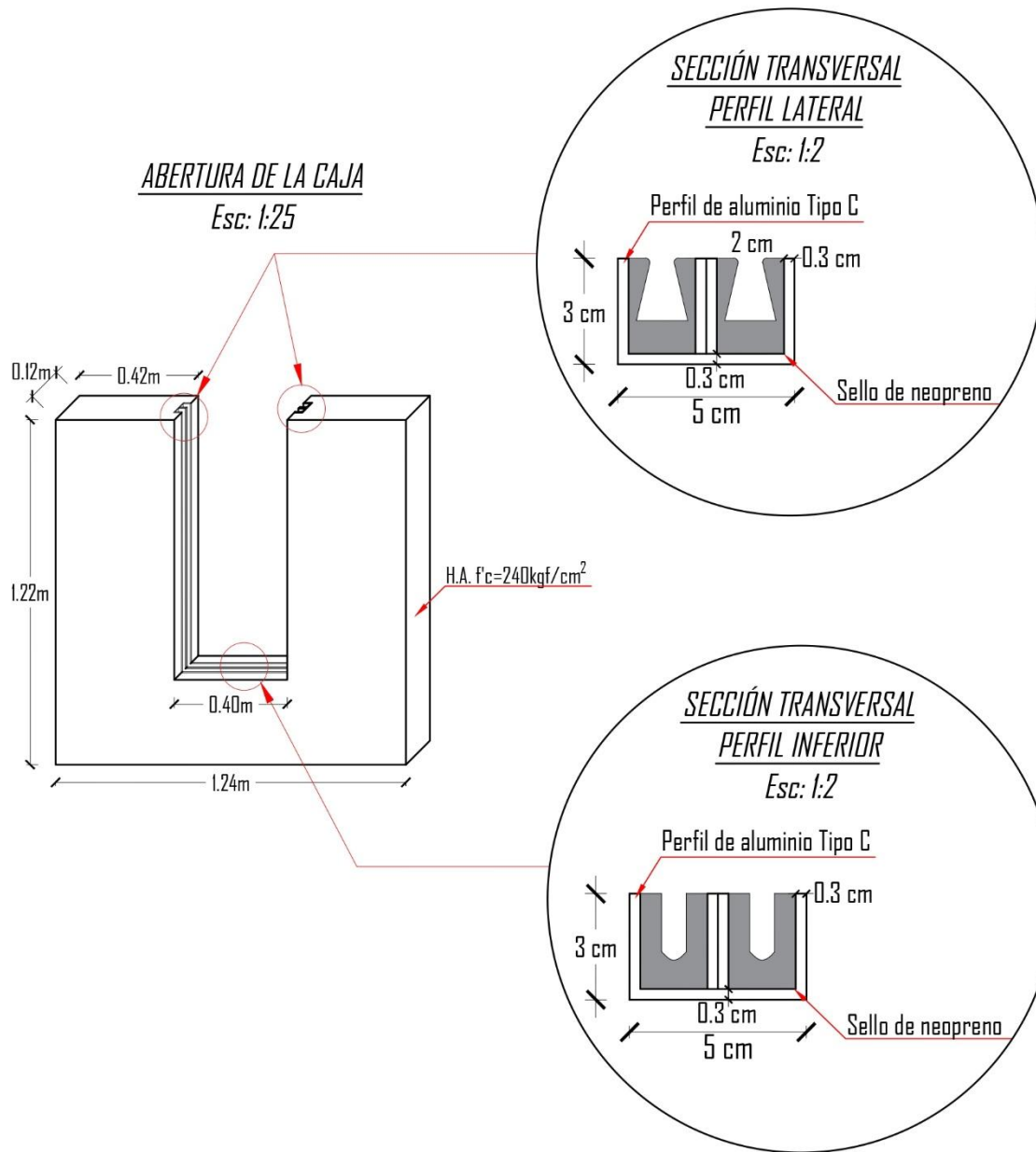
ARMADO DEL CANAL DE LA CAÍDA INCLINADA

Esc: 1:10



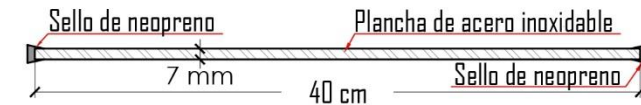
	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	ARMADO DE LA CAÍDA INCLINADA	
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.
ABRIL - 2026	INDICADAS	004

Figura 28. Detalle de la compuerta de la caja de almacenamiento



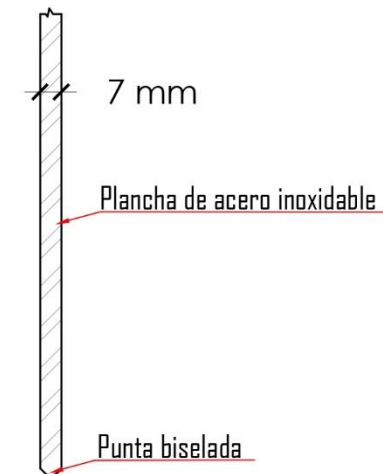
SECCIÓN TRANSVERSAL - DETALLE DE COMPUERTA

Esc: 1:5



SECCIÓN LONGITUDINAL - DETALLE DE COMPUERTA

Esc: 1:5

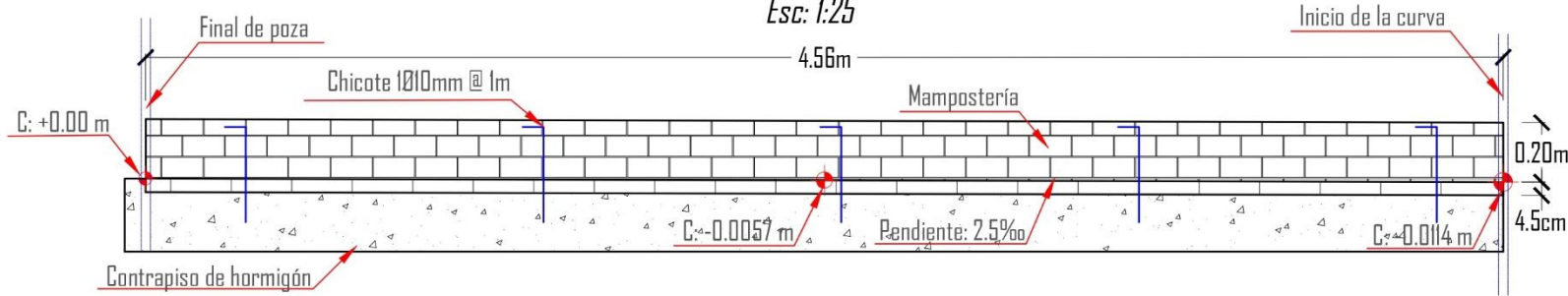


	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	DETALLE DE LA COMPUERTA DE LA CAJA DE ALMACENAMIENTO	
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.
ABRIL - 2026	INDICADAS	005

Figura 29. Plano con detalles del canal

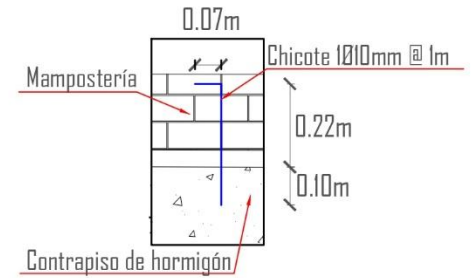
PERFIL CANAL RECTANGULAR - SECCIÓN 1

Esc: 1:25



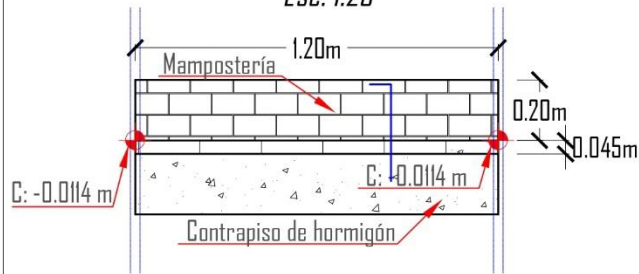
DETALLE DE ANCLAJE

Esc: 1:20



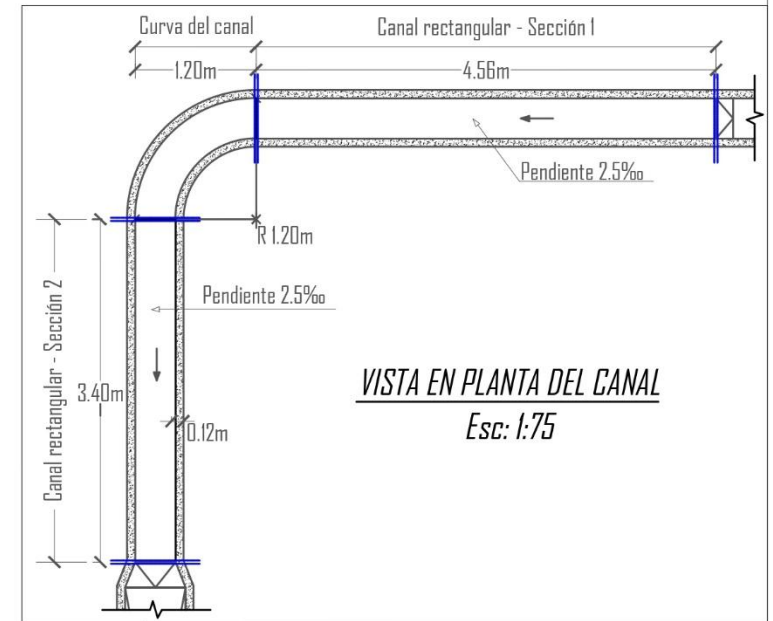
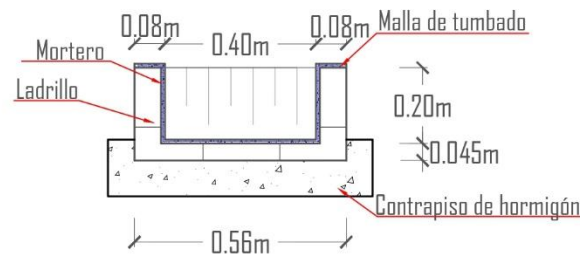
PERFIL CANAL RECTANGULAR - CURVA DEL CANAL

Esc: 1:25



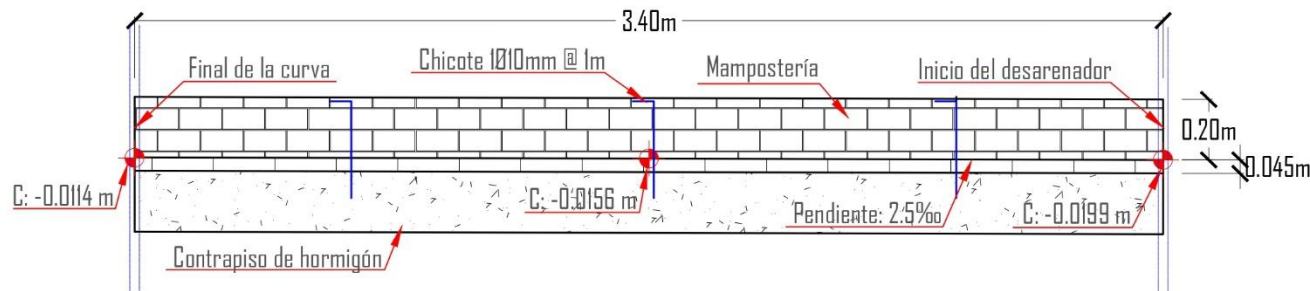
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL

Esc: 1:20



PERFIL CANAL RECTANGULAR - SECCIÓN 2

Esc: 1:25

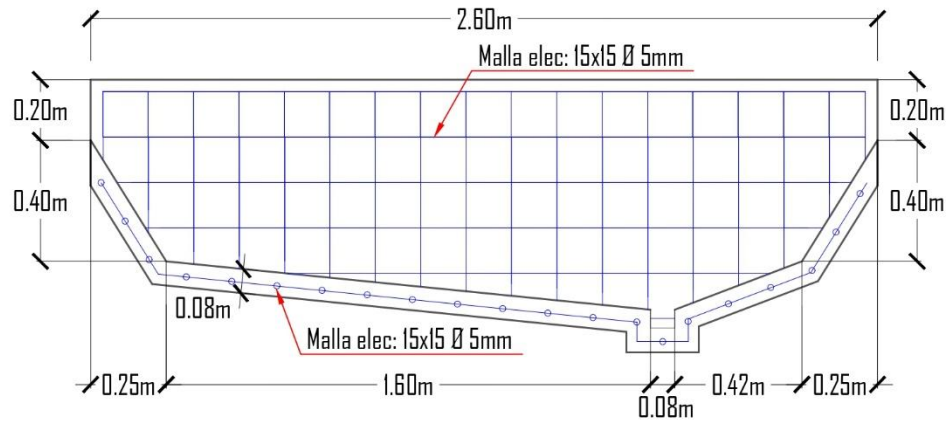


	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	DETALLES DE CANAL	
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.
ABRIL - 2026	INDICADAS	006

Figura 30. Plano con detalles del desarenador

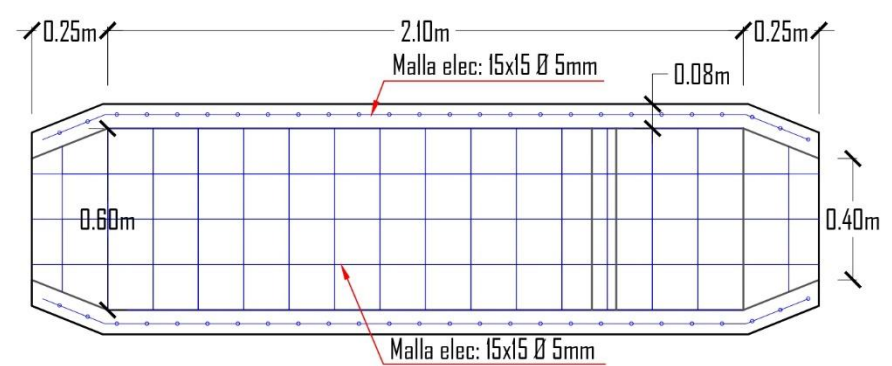
SECCIÓN LONGITUDINAL - ARMADO

Esc: 1:25



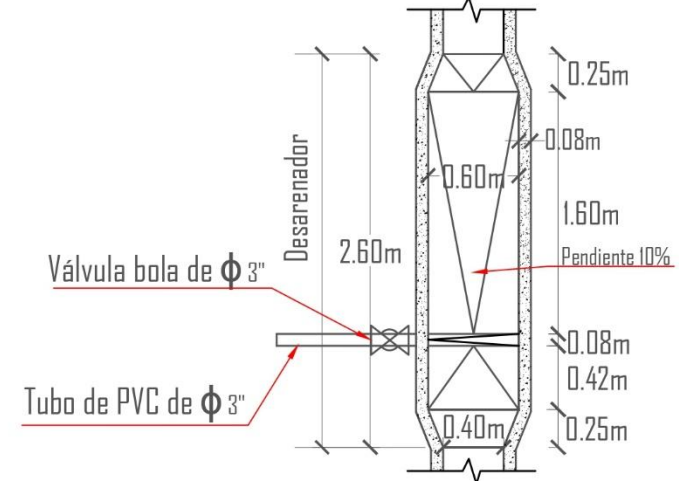
VISTA EN PLANTA - ARMADO

Esc: 1:25



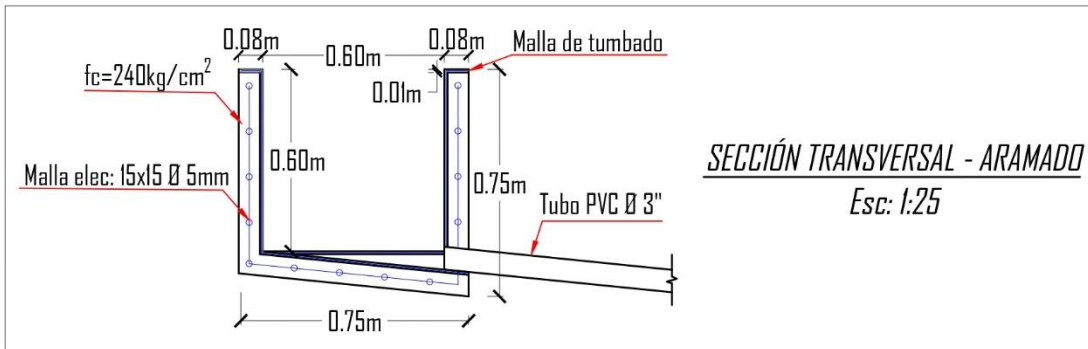
VISTA EN PLANTA DEL DESARENADOR

Esc: 1:50



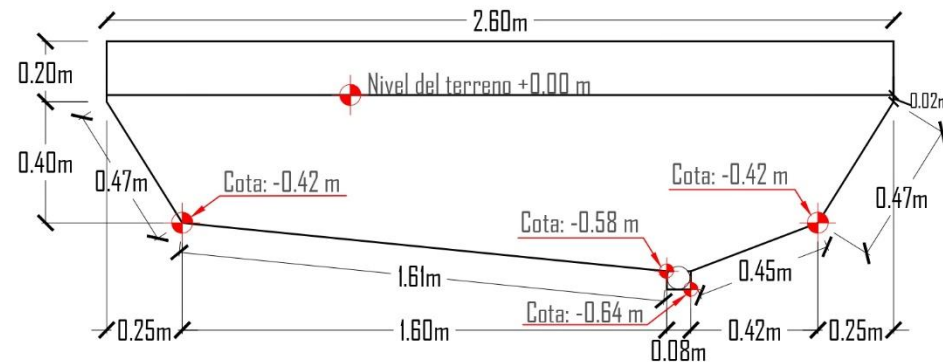
SECCIÓN TRANSVERSAL - ARMADO

Esc: 1:25



SECCIÓN LONGITUDINAL - GEOMETRÍA Y NIVELES

Esc: 1:25

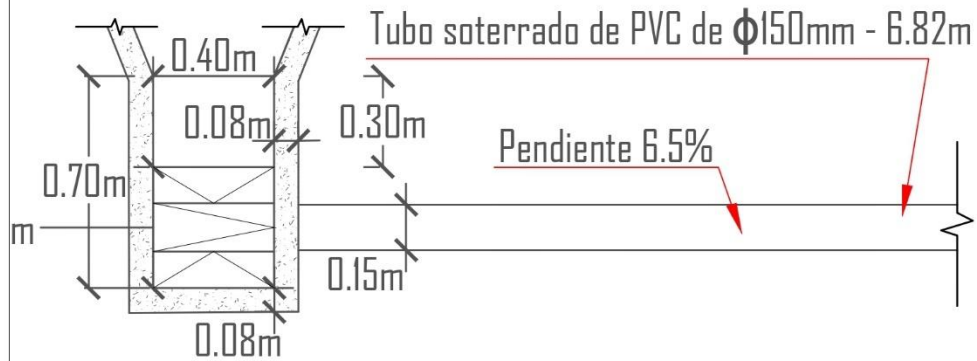


	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ		
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
CONTIENE :	DETALLES DE DESARENADOR		
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.	007
ABRIL - 2026	INDICADAS		

Figura 31. Plano con detalles de la estructura de descarga

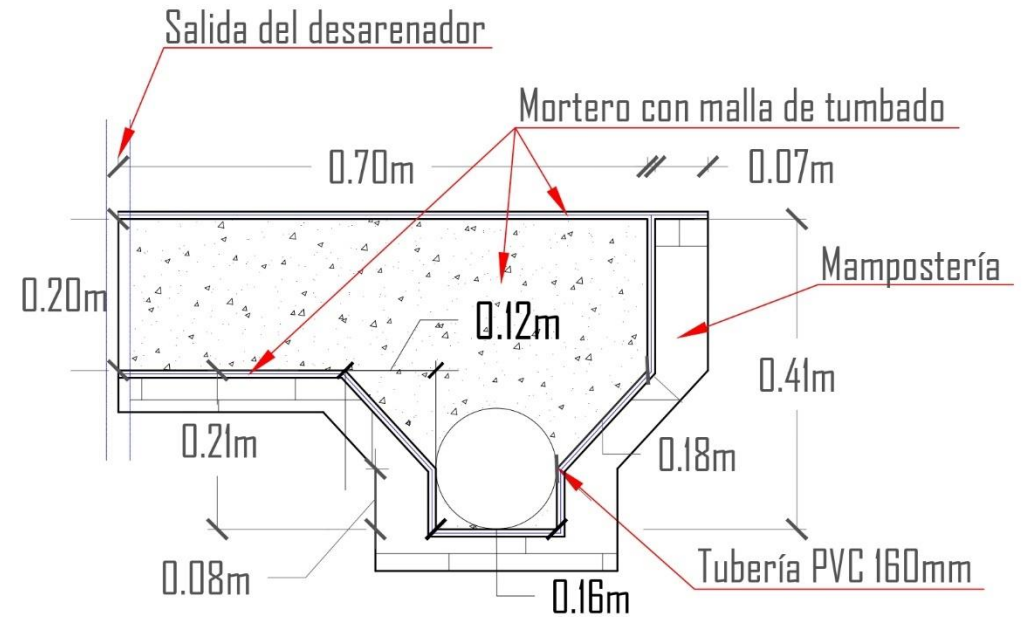
VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA DE DESCARGA

Esc: 1:25



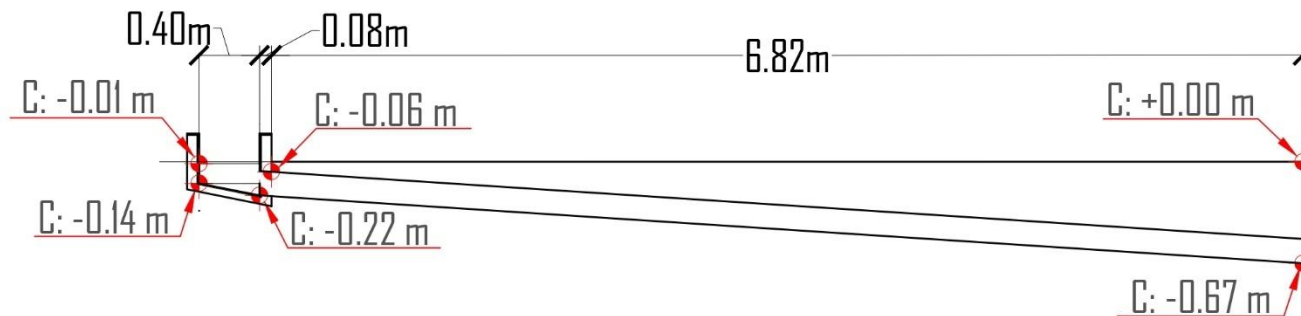
SECCIÓN TRASVERSAL DE LA ESTRUCTURA DE DESCARGA

Esc: 1:10



SECCIÓN LONGITUDINAL DE LA ESTRUCTURA DE DESCARGA

Esc: 1:50

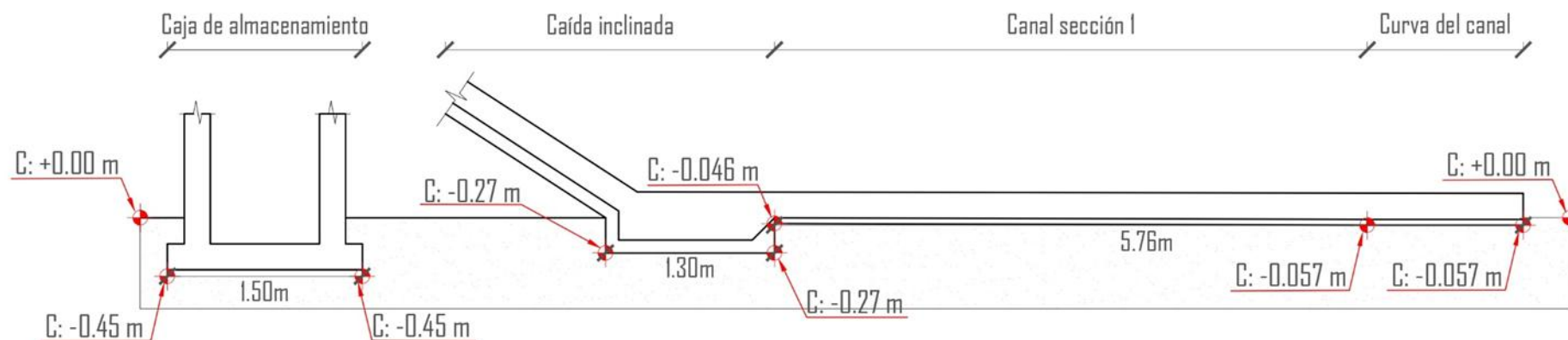


	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	DETALLES DE LA ESTRUCTURA DE DESCARGA	
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.
ABRIL - 2026	INDICADAS	008

Figura 32. Plano con las cotas de nivel

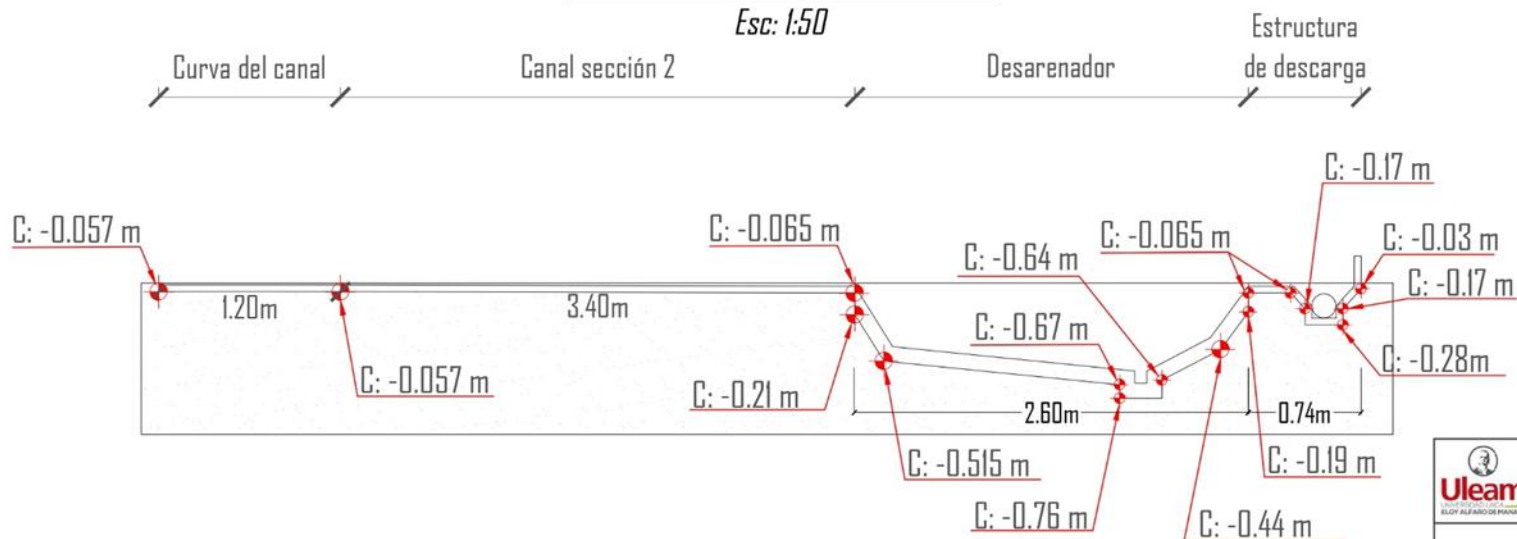
PERFIL CON COTAS DE NIVEL SECCIÓN I

Esc: 1:50



PERFIL CON COTAS DE NIVEL SECCIÓN 2

Esc: 1:50



	UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	
PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y MODELO DE SIMULACIÓN PARA AMPLIACIÓN DEL LABORATORIO HIDRÚLICO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTIENE :	PERFILCON COTAS DE NIVEL	
FECHA:	ESCALA :	LÁMINA No.
ABRIL - 2026	INDICADAS	009

9. Capítulo 5. Gestión y Planificación de Obra

9.1. Pliego de Condiciones

9.1.1. *Trabajos Preliminares*

- **Replanteo y nivelación:** Se realiza el trazado de los ejes y niveles definitivos de la obra ya sea utilizando equipo topográfico o de manera manual. Se debe verificar la ortogonalidad de los ejes para garantizar la correcta ubicación de los elementos.
- **Corte de contrapiso:** En las zonas donde el laboratorio cuente con un contrapiso de hormigón se procede a realizar el corte con un margen de 10cm en cada lado respecto a las dimensiones de la estructura para facilitar las maniobras de trabajo, el armado del acero y la colocación del encofrado.
- **Excavación manual:** Se ejecuta la remoción de tierra de forma manual hasta alcanzar las profundidades de desplante indicadas en los planos para las estructuras.
- **Excavación de Zanjas:** Se realiza la excavación de las zanjas para la instalar la tubería de 160 mm y el sistema de purga de lodos, asegurando la pendiente establecida en los planos que permita el flujo por gravedad.
- **Desalojo de Materiales:** Todo el material de la excavación y los restos de hormigón del contrapiso se retiran del área de trabajo.

9.1.2. *Encofrado de Elementos Estructurales*

- **Instalación y apuntalamiento:** Aprovechando los 10 cm de sobre excavación perimetral, se instalan los puntales y estacas necesarias.
- **Preparación de la superficie:** Antes de la colocación del acero de refuerzo, se recubre la cara interna de los tableros de madera con un agente desencofrante, esto facilita la remoción de la madera y protege el acabado liso del hormigón.

9.1.3. *Caja de Almacenamiento*

- **Caja de almacenamiento:** Se utiliza la continuidad de la armadura en forma de "U" entre los muros y la losa de la caja, utilizando 5 varillas de 12 mm cada 28 cm en ambos sentidos.
- **Columnas:** Se dispone la colocación de 4 varillas de 12 mm con estribos de 10 mm espaciados uniformemente cada 10 cm para garantizar el confinamiento.

- **Losa de cimentación:** Se colocan 6 varillas de 12 mm cada 27 cm en dirección "X" y "Y".
- **Orden de fundición:** Debido a la geometría del modelo, se ejecuta la fundición en un orden lógico que garantiza la continuidad estructural y eficiencia en la ejecución de la obra, tomando en cuenta el tiempo que requiere cada elemento para alcanzar una resistencia adecuada antes de ser desencofrado. El orden de vaciado se establece de la siguiente manera:
 1. **Replanto ($f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$):** Se vacía primero sobre el suelo nivelado para trabajar sobre una superficie limpia para la losa de cimentación y el desarenador.
 2. **Losa de Cimentación:** Se funde la losa de 1.50 x 1.50 m con un espesor de 0.20 m, dejando anclados los arranques de acero para las cuatro columnas.
 3. **Columnas:** Una vez que la losa adquiere la resistencia inicial, se funden las columnas de 20 x 20 cm hasta su altura de diseño de 1m.
 4. **Caja de Almacenamiento:** Se encofra y se funde de manera monolítica la losa de fondo y los muros perimetrales de la caja elevada, adicional se deja la malla electrosoldada para la unión con la caída inclinada, tanto de la rampa como los muros. Una vez que se ha hecho el vaciado del hormigón, se debe colocar los perfiles de aluminio para los vertederos para que queden embebidos en la estructura y evitar filtraciones.
- **Vibrado:** Se implementa el uso del vibrador, especialmente en las columnas y los muros estrechos.
- **Curado:** Una vez iniciado el fraguado, se mantienen todas las superficies húmedas mediante riego directo durante un mínimo de 7 días.

9.1.4. *Caída Inclinada*

- Se realiza el encofrado para la caída inclinada, colocar la malla electrosoldada de 10x10cm con $\phi 5.5\text{mm}$. Se funde la rampa inclinada, los muros laterales y la poza de disipación como un solo cuerpo, se une la caída con la caja de hormigón por medio de los anclajes que se dejan en la fundición de la misma.
- **Curado:** Una vez iniciado el fraguado, se mantienen todas las superficies húmedas mediante riego directo durante un mínimo de 7 días.

9.1.5. Canal Rectangular

- **Plástico Polietileno:** Antes de la construcción del canal se coloca plástico polietileno en la base a lo largo de lo excavado para la implementación del canal, evitando infiltraciones por capilaridad.
- **Mampostería:** Se construyen las paredes laterales del canal rectangular empleando ladrillo payo, asentado con mortero. Se garantiza un ancho interno libre de 0.40 m y una altura de muros de 0.2 m, manteniendo la pendiente longitudinal del 2.5% especificada en los diseños hidráulicos.
- **Anclaje:** Para evitar que los muros del canal sufran alguna deformación como ladeos se incorporan chicotes anclajes hasta el contrapiso son una separación de 1m entre ellos.

9.1.6. Desarenador

- **Fundición:** Previo a la construcción del canal, se realiza el encofrado del desarenador se coloca la malla electrosoldada de 15x15cm con $\phi 5\text{mm}$, se funde la losa de fondo y los muros del desarenador. Se debe fijar la tubería de PVC de 3" previa a la fundición.
- **Sistema de purga de lodos:** En la parte inferior del desarenador, se instala el sistema de purga compuesto por tubería de PVC de 3" y una válvula de bola de 3". La ubicación de la válvula debe permitir un acceso para el operario durante las labores de limpieza.
- **Curado:** Una vez iniciado el fraguado, se mantienen todas las superficies húmedas mediante riego directo durante un mínimo de 7 días.

9.1.7. Tubería Soterrada

Se realiza la instalación de la tubería soterrada de PVC de 160mm, desde la salida del circuito hasta llegar a la cisterna. Se respeta la pendiente longitudinal de 6.5%.

9.1.8. Línea de Abastecimiento

- **Abertura:** Se le realiza una perforación a la caja de almacenamiento metálica centrada en la parte inferior lo suficientemente grande para instalar una tubería de 4".
- **Tubería:** Se instala la tubería de PVC 4", colocando codos de 90° donde se requiere cambiar la dirección de la tubería para que se cree el camino necesario hasta llegar a la caja de almacenamiento de hormigón armado.

- **Anclajes:** Colocar abrazaderas metálicas que anclen la tubería a la caja metálica mientras baja para que la tubería se mantenga estable al momento que esté recorriendo el agua.
- **Válvula:** Se instala una válvula de compuerta de 4" justo en la parte superior del muro del muro de la caja inclinada para que tenga un mejor apoyo y no genere un peso a la tubería.

9.1.9. Acabados

- **Enlucido:** Se recubre la parte interna de todos los objetos de obra con malla de tumbado y mortero, garantizando las medidas internas establecidas, esto con el fin de prevenir la aparición de fisuras por retracción.
- **Impermeabilización:** Se aplica pintura impermeabilizante elastomérica en todas las áreas de contacto con el agua.
- **Contrapiso y resane:** En las zonas donde se realizan excavaciones se procede al resane del contrapiso de hormigón para restituir la continuidad del piso del laboratorio.

9.2. Presupuesto

Tabla 14. Presupuesto

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
Rubro	Detalle	Unidad.	Cantidad	Precios	
				Unitario	Total
	TRABAJOS PRELIMINARES				
1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m ²	7.49	\$ 1.90	\$ 14.22
2	CORTE DE CONTRAPISO DE HORMIGÓN EXISTENTE CON CORTADORA DE DISCO	m ²	16.64	\$ 4.37	\$ 72.72
3	EXCAVACIÓN MANUAL PARA CIMIENTOS	m ³	1.30	\$ 11.88	\$ 15.44
5	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJA	m ³	1.87	\$ 11.88	\$ 22.22
4	EXCAVACIÓN MANUAL PARA EL DESARENADOR	m ³	1.13	\$ 11.88	\$ 13.42
6	DESALOJO DE MATERIALES	km	10.00	\$ 6.13	\$ 61.30
	ENCOFRADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
7	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MADERA	m ²	18.99	\$ 3.24	\$ 61.53
	CAJA DE ALMACENAMIENTO				
8	HORMIGÓN (REPLANTILLO) F'C= 180 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.12	\$ 81.67	\$ 9.80
9	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA LOSA DE CIMENTACIÓN NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.47	\$ 89.68	\$ 42.15
10	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 12 MM PARA LOSA DE CIMENTACIÓN	kg	15.89	\$ 1.83	\$ 29.08
11	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA COLUMNAS NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.20	\$ 89.68	\$ 18.08
12	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 10-12 MM PARA COLUMNAS	kg	37.35	\$ 1.92	\$ 71.71
13	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.90	\$ 89.68	\$ 80.71
14	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 10-12 MM PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO	kg	41.73	\$ 1.92	\$ 80.12
15	COMPUERTA PARA CONTROL DE FLUJO	u	1.00	\$ 42.12	\$ 42.12
	CAÍDA INCLINADA				
16	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM ² CAÍDA INCLINADA Y COLCHÓN DISIPADOR NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.25	\$ 87.99	\$ 22.00
17	MALLA ELECTROSOLDADA 10X10 D=5.5 mm PARA CAÍDA	m ²	3.95	\$ 3.60	\$ 14.21
	CANAL RECTANGULAR				
18	PLÁSTICO POLIETILENO	m	19.06	\$ 1.44	\$ 27.45
19	CANAL CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PAYO	m	11.96	\$ 19.49	\$ 233.10
	DESARENADOR				
20	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA DESARENADOR, NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.38	\$ 89.68	\$ 34.35
21	MALLA ELECTROSOLDADA 15X15 D=5 mm PARA DESARENADOR	m ²	5.32	\$ 3.60	\$ 19.14
22	SISTEMA DE PURGA DE LODOS (TUBERÍA Y VÁVULA)	u	1.00	\$ 21.64	\$ 21.64
	RETORNO CON LA TUBERÍA				
23	TUBERÍA SOTERRADA DE 160 mm	u	1.00	\$ 55.90	\$ 55.90
	RECUBRIMIENTOS				
24	ENLUCIDO CON MALLA DE TUMBADO	m ²	23.33	\$ 4.06	\$ 94.76
25	IMPERMEABILIZANTE	m ²	23.33	\$ 5.58	\$ 130.18
26	CONTRAPISO Y RESANE	m ²	4.87	\$ 6.07	\$ 29.56
26	TUBERÍA Y ANCLAJE EN LA CAJA METÁLICA	u	1.00	\$ 191.46	\$ 191.46
				TOTAL	\$ 1,508.36

9.3. Programación

Tabla 15. Cronograma de actividades

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS																		
Rubro	Detalle	Und.	Cantidad	Precios		DÍAS												
				Unitario	Total	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11	DIA 12	DIA 13
	TRABAJOS PRELIMINARES																	
1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m ²	7.49	\$ 1.90	\$ 14.22	\$ 14.22												
2	CORTE DE CONTRAPISO DE HORMIGÓN EXISTENTE CON CORTADORA DE DISCO	m ²	16.64	\$ 4.37	\$ 72.72	\$ 72.72												
3	EXCAVACIÓN MANUAL PARA CIMENTOS	m ³	1.30	\$ 11.88	\$ 15.44		\$ 15.44											
5	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJA	m ³	1.87	\$ 11.88	\$ 22.22		\$ 22.22											
4	EXCAVACIÓN MANUAL PARA EL DESARENADOR	m ³	1.13	\$ 11.88	\$ 13.42		\$ 13.42											
6	DESALOJO DE MATERIALES	km	10.00	\$ 6.13	\$ 61.30		\$ 61.30											
	ENCOFRADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES																	
7	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MADERA	m ²	18.99	\$ 3.24	\$ 61.53			\$ 20.51	\$ 20.51				\$ 20.51					
	CAJA DE ALMACENAMIENTO																	
8	HORMIGÓN (REPLANTILLO) F'c= 180 KG/CM ² , NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.12	\$ 81.67	\$ 9.80			\$ 9.80										
9	HORMIGÓN F'c= 240 KG/CM ² PARA LOSA DE CIMENTACIÓN NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.47	\$ 89.68	\$ 42.15				\$ 42.15									
10	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM ² DE 12 MM PARA LOSA DE CIMENTACIÓN	kg	15.89	\$ 1.83	\$ 29.08			\$ 29.08										
11	HORMIGÓN F'c= 240 KG/CM ² PARA COLUMNAS NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.20	\$ 89.68	\$ 18.08					\$ 18.08								
12	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM ² DE 10-12 MM PARA COLUMNAS	kg	37.35	\$ 1.92	\$ 71.71			\$ 71.71										
13	HORMIGÓN F'c= 240 KG/CM ² PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO NO INC. ENCOFRADO	m ³	0.90	\$ 89.68	\$ 80.71							\$ 80.71						
14	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM ² DE 10-12 MM PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO	kg	41.73	\$ 1.92	\$ 80.12						\$ 80.12							
15	COMPUERTA PARA CONTROL DE FLUJO	u	1.00	\$ 42.12	\$ 42.12							\$ 42.12						

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS																		
Rubro	Detalle	Und.	Cantidad	Precios		DÍAS												
				Unitario	Total	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11	DIA 12	DIA 13
	CAÍDA INCLINADA																	
17	HORMIGÓN FC= 240 KG/CM2 CAÍDA INCLINADA Y COLCHÓN DISPADOR NO INC. ENCOFRADO	m3	0.25	\$ 87.99	\$ 22.00								\$ 22.00					
18	MALLA ELECTROSOLDADA 10X10 D=5.5 mm PARA CAÍDA	m2	3.95	\$ 3.60	\$ 14.21								\$ 7.10	\$ 7.10				
	CANAL RECTANGULAR																	
19	PLÁSTICO POLIETILENO	m	19.06	\$ 1.44	\$ 27.45										\$ 27.45			
19	CANAL CON MAMPOSTERIA DE LADRILLO PAYO	m	11.96	\$ 19.49	\$ 233.10										\$116.55	\$116.55		
	DESARENADOR																	
20	HORMIGÓN FC= 240 KG/CM2 PARA DESARENADOR, NO INC. ENCOFRADO	m3	0.38	\$ 89.68	\$ 34.35									\$ 34.35				
22	MALLA ELECTROSOLDADA 15X15 D=5 mm PARA DESARENADOR	m2	5.32	\$ 3.60	\$ 19.14									\$ 19.14				
21	SISTEMA DE PURGA DE LODOS (TUBERÍA Y VÁVULA)	u	1.00	\$ 21.64	\$ 21.64									\$ 21.64				
	RETORNO CON LA TUBERIA																	
22	TUBERÍA SOTERRADA DE 160 mm	u	1.00	\$ 55.90	\$ 55.90											\$ 55.90		
	RECUBRIMIENTOS																	
23	ENLUCIDO CON MALLA DE TUMBADO	m2	23.33	\$ 4.06	\$ 94.76											\$ 94.76		
24	IMPERMEABILIZANTE	m2	23.33	\$ 5.58	\$ 130.18												\$ 130.18	
25	CONTRAPISO Y RESANE	m2	4.87	\$ 6.07	\$ 29.56												\$ 29.56	
26	TUBERÍA Y ANCLAJE EN LA CAJA METÁLICA	u	1.00	\$ 191.46	\$ 191.46													\$ 191.46
				TOTAL	\$ 1,508.36													

Tabla 16. Porcentaje de avances de obra

	DÍAS												
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11	DIA 12	DIA 13
Inversion parcial	\$ 86.94	\$ 112.38	\$ 131.10	\$ 62.66	\$ 18.08	\$ 80.12	\$ 122.83	\$ 49.61	\$ 82.23	\$ 144.00	\$ 267.21	\$ 159.74	\$ 191.46
Inversion acumulada	\$ 86.94	\$ 199.32	\$ 330.42	\$ 393.08	\$ 411.16	\$ 491.28	\$ 614.11	\$ 663.72	\$ 745.95	\$ 889.95	\$ 1,157.16	\$ 1,316.90	\$ 1,508.36
% parcial.	5.76%	7.45%	8.69%	4.15%	1.20%	5.31%	8.14%	3.29%	5.45%	9.55%	17.72%	10.59%	12.69%
% acumulado.	5.76%	13.21%	21.91%	26.06%	27.26%	32.57%	40.71%	44.00%	49.45%	59.00%	76.72%	87.31%	100.00%

10. Conclusiones

- Se concretó exitosamente el diseño hidráulico y estructural de los componentes que conforman la obra, garantizando que las estructuras cumplan con las normativas vigentes tales como la ACI 318 -19 y la NEC, además de que operen de manera segura bajo el caudal de diseño estipulado de $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La implementación de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) a través de los programas de código abierto comprobó teóricamente el funcionamiento hidrodinámico de las estructuras proyectadas.
- El desarrollo de la memoria gráfica dio como resultado un conjunto integral de planos técnicos que documentan las dimensiones geométricas, detalles constructivos y el diseño del acero de refuerzo, asegurando su correcta ejecución en obra.
- La planificación y gestión de la obra, plasmada en el presupuesto detallado, el pliego de condiciones y el cronograma de ejecución demostró que la propuesta es un proyecto organizado y económicamente fundamentado, listo para ser implementado por la universidad.

11. Recomendaciones

- Proceder con la ejecución física de la obra utilizando los planos estructurales definidos en el proyecto, con la finalidad de rehabilitar el espacio y habilitar el laboratorio para el beneficio de los estudiantes.
- Realizar una revisión y actualización del presupuesto referencial previo a la construcción, esto con el fin de ajustar los precios unitarios a las fluctuaciones y condiciones actuales del mercado, así como aprovechar posibles ofertas comerciales en la adquisición de materiales.
- Implementar un protocolo de mantenimiento preventivo y limpieza periódica una vez que el circuito sea construido, prestando atención a la purga de lodos del desarenador, además del cuidado de la cisterna y tuberías, para prolongar la vida útil del sistema.
- Contemplar futuras fases de ampliación para la incorporación de nuevos módulos o accesorios de experimentación como vertederos intercambiables de distintas geometrías o quipos que puedan acoplarse con facilidad al circuito diseñado en este trabajo.

12. Bibliografía

- Almawatech. (2024, Septiembre). *ALmawatech Innovate Solutions for Water*. Retrieved from <https://www.almawatech.com/es/aguas-residuales/velocidad-de-sedimentacion/>
- Alvarez, F. (2024). *Evaluación del comportamiento hidráulico del desarenador de Majes, utilizando el modelo físico construido a escala y el modelo numérico ANSYS CFX*. Universidad de Piura. Retrieved from https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP_f63491e0f00ef62fa6891f8be82c8b83
- American Concrete Institute. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. Retrieved from <https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/files/original/a40379d86dbe9ff802b24b6beaa44dd6c186b6e3.pdf>
- Ansys. (2024). *¿Qué es la dinámica de fluidos computacional (CFD)?* Retrieved from <https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-computational-fluid-dynamics>
- Aude, J. (2025). *FOCUS CENTRO DE ESTUDIOS*. Retrieved from <https://www.focusce.com.ar/post/hidrostatica-fundamentos-y-aplicaciones>
- Baca, B. (2019). *ESTUDIO DE LA FUERZA ESPECÍFICA, ENERGÍA ESPECÍFICA Y FLUJO CRÍTICO EN CANALES ABIERTOS*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cadence . (2020). *Cadence CFD*. Retrieved from <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2022-the-importance-of-meshing-in-cfd-and-structural-fea>
- Calero, V. (2012). *MODELO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO DEL VERTEDERO A VORTICE*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Cornejo, B., García, H., & Herrera, C. (2023). *SIMULADOR PHET PARA DEMOSTRAR ECUACIÓN DE CONTINUIDAD CON ENFOQUE DIFERENCIAL E INTEGRAL INCLUYENDO VECTORES*. *REVISTA CHILENA DE EDUCACIÓN CIENTÍFICA*, 14-35.

- Cruz, R. (2025). *UNAM FES Cuautitlán. "Neumática e Hidráulica"*. Retrieved from <https://masam.cuautitlan.unam.mx/dycme/neh/>
- E, A. (2025). *RISCHIO*. Retrieved from <https://rischio.io/es/blog/empuje-lateral-del-suelo-tipos-y-usos/>
- Guachún, F., & Guñay, S. (2020). *FÍSICA: INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE FLUIDOS*. CIDEPRO Editorial.
- Herrera, S. (2024). *ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Y ESTABILIDAD DEL FLUJO EN CANALES CURVOS CON FONDO FIJO*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26087>
- Hibbeler, R. C. (2023). *Análisis Estructural (11th ed.)*. Pearson. Retrieved from https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292469737_A48860956/preview-9781292469737_A48860956.pdf
- Hulatt, L. (2024, agosto). *studysmarter*. Retrieved from <https://www.studysmarter.es/resumenes/geografia/geociencias/hidrodinamica/>
- Leskow, E. C. (2025, junio). *concepto*. Retrieved from <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO NEC-SE-HM*. Retrieved from <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec7.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores*.
- Ortiz, M., Cruz, A., Zuno, J., Borja, C. E., & Mendoza, C. (2021). Presión hidrostática. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 82.
- Pardo, M. (2019). *Marcelo Pardo Ingeniería*. Retrieved from <https://marcelopardo.com/cuantia-balanceada-y-cuantia-maxima/>
- Pardo, M. (2020). *Marcelo Pardo Ingeniería*. Retrieved from <https://marcelopardo.com/cuantia-concepto-y-tipos/>

- Perezagua, R. (2023). ESTADO DEL PROBLEMA DEL MILENIO: LAS ECUACIONES DE NAVIER-STOKES. *Sociedad Nuclear España*. Retrieved from <https://www.revistanuclear.es/wp-content/uploads/2023/12/Art-Navier-Stokes.pdf>
- Ponce, V. (2025). *PILARES DE LA HIDRÁULICA DE CANALES*.
- Rojas, R., & Cajas, E. (2023). *Análisis y evaluación del coeficiente de gasto en vertederos triangular y rectangular con contracción y sin contracción de pared delgada en canal de ensayo del laboratorio de estructura e hidráulica de la universidad nacional de Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.14621/6240>
- SALOME Platform. (2021). *SALOME*. Retrieved from https://www.salome-platform.org/?page_id=23
- Toribio, Q., & Toribio, W. (2021, Noviembre). *Influencia de tipos de perfil de barraje en el resalto hidráulico mediante modelo físico y numérico*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA . Retrieved from <https://repositorio.unh.edu.pe/items/3124a6c0-465f-4472-a14b-bda49a708e5c>
- Vivienda, M. d. (2014). *CARGAS (NO SÍSMICAS) NEC-SE-CG*. Retrieved from https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_CG_Cargas_Sismicas.pdf
- Yandún, M. (2024). *Estudio del perfil de flujo a través de un vertedero lateral en un canal trapezoidal mediante un modelo numérico*. Universidad de Cuenca.
- Zamora, A. (2025). *Química Industrial*. Retrieved from <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/quimicaindustrial/2025/04/11/sedimentacion/>

13. ANEXOS

Anexo 1. APU de replanteo y nivelación

RUBRO:	1,00	UNIDAD:	m²		
DETALLE:	REPLANTEO Y NIVELACIÓN			RENDIMIENTO	0,200
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,09
SUBTOTAL					0,09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,200	0,88
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,200	0,93
SUBTOTAL					1,81
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
SUBTOTAL					0,00
		TOTAL			1,90

Anexo 2. APU de corte de contrapiso de hormigón existente con cortadora de disco

RUBRO:	2,00	UNIDAD:	m ²		
DETALLE:	CORTE DE CONTRAPISO DE HORMIGÓN EXISTENTE CON CORTADORA DE DISCO			RENDIMIENTO	0,266
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,12
Cortadora de asfalto	1,00	3,20	3,20	0,266	0,85
SUBTOTAL					0,97
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,266	1,17
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,266	1,24
SUBTOTAL					2,41
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Disco de corte	m ²	0,0030	330,00	0,99	
SUBTOTAL					0,99
		TOTAL			4,37

Anexo 3. APU de excavación manual para cimientos

RUBRO:	3,00		UNIDAD:	m³			
DETALLE:	EXCAVACIÓN MANUAL PARA CIMIENTOS					RENDIMIENTO	1,25
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Herramienta Menor (5% M/O)						0,57	
SUBTOTAL M						0,57	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Abañil	1,00		4,40	4,40	1,250	5,50	
Maestro de Obra	1,00		4,65	4,65	1,250	5,81	
SUBTOTAL N						11,31	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
				A	B	C= A*B	
SUBTOTAL O						0,00	
			TOTAL			11,88	

Anexo 4. APU de excavación manual para desarenador

RUBRO:	4,00		UNIDAD:	m³			
DETALLE:	EXCAVACIÓN MANUAL PARA EL DESARENADOR					RENDIMIENTO	1,25
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Herramienta Menor (5% M/O)						0,57	
						SUBTOTAL M	0,57
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Abañil	1,00		4,40	4,40	1,250	5,50	
Maestro de Obra	1,00		4,65	4,65	1,250	5,81	
						SUBTOTAL N	11,31
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
				A	B	C= A*B	
						SUBTOTAL O	0,00
			TOTAL			11,88	

Anexo 5. APU de excavación manual de zanja

RUBRO:	5,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJA			RENDIMIENTO	1,25
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,57
SUBTOTAL M					0,57
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	1,250	5,50
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	1,250	5,81
SUBTOTAL N					11,31
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
SUBTOTAL O				0,00	
	TOTAL			11,88	

Anexo 6. APU de desalojo de materiales

RUBRO:	6,00	UNIDAD:	km		
DETALLE:	DESALOJO DE MATERIALES			RENDIMIENTO	0,100
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,08
Volqueta	1,00	45,00	45,00	0,100	4,50
SUBTOTAL M					4,58
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,100	0,44
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,100	0,47
Chofer volquetas	1,00	6,39	6,39	0,100	0,64
SUBTOTAL N					1,55
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
SUBTOTAL O					0,00
		TOTAL			6,13

Anexo 7. APU de encofrado de madera

RUBRO:	7,00	UNIDAD:	m²		
DETALLE:	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MADERA			RENDIMIENTO	0,216
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,10
SUBTOTAL M					0,10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,216	0,95
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,216	1,00
SUBTOTAL N					1,95
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Pingos	m	0,2500	1,50	0,38	
Clavos (2"-2 1/2 -3"-3 1/2)	kg	0,1000	2,20	0,22	
Tabla de monte 0.30m	u	0,3000	1,85	0,56	
Aceite quemado	galón	0,0600	0,57	0,03	
SUBTOTAL O					1,19
		TOTAL			3,24

Anexo 8. APU de hormigón de replantillo

RUBRO:	8,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	HORMIGÓN (REPLANTILLO) F´C= 180 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,57
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
SUBTOTAL M					3,25
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	2,00	4,40	8,80	0,850	7,48
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					11,43
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	6,5000	7,44	48,36	
Arena	m3	0,6000	11,00	6,60	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,1800	0,82	0,15	
SUBTOTAL O					66,99
	TOTAL				81,67

Anexo 9. APU de hormigón para losa de cimentación

RUBRO:	9,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA LOSA DE CIMENTACIÓN NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,38
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
Vibrador	1,00	1,99	1,99	0,850	1,69
SUBTOTAL M					4,75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,850	3,74
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					7,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	7,8000	7,44	58,03	
Arena	m3	0,6500	11,00	7,15	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,2210	0,82	0,18	
SUBTOTAL O					77,24
		TOTAL			89,68

Anexo 10. APU de acero de refuerzo para losa de cimentación

RUBRO:	10,00	UNIDAD:	kg		
DETALLE:	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 12 MM PARA LOSA DE CIMENTACIÓN			RENDIMIENTO	0,050
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,02
Amoladora eléctrica	1,00	0,10	0,10	0,050	0,01
SUBTOTAL M					0,03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,050	0,22
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,050	0,23
				0,050	
SUBTOTAL N					0,45
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	1,0500	1,22	1,28	
Alambre recocido # 18	kg	0,0250	2,96	0,07	
SUBTOTAL O					1,35
	TOTAL				1.83

Anexo 12. APU de hormigón para las columnas

RUBRO:	11,00	UNIDAD:	m3		
DETALLE:	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA COLUMNAS NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,38
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
Vibrador	1,00	1,99	1,99	0,850	1,69
SUBTOTAL M					4,75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,850	3,74
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					7,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	7,8000	7,44	58,03	
Arena	m3	0,6500	11,00	7,15	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,2210	0,82	0,18	
SUBTOTAL O					77,24
	TOTAL				89,68

Anexo 11. APU de acero de refuerzo para las columnas

RUBRO:	12,00	UNIDAD:	kg		
DETALLE:	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 10-12 MM PARA COLUMNAS			RENDIMIENTO	0,050
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,02
Amoladora eléctrica	1,00	1,99	1,99	0,050	0,10
SUBTOTAL M					0,12
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,050	0,22
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,050	0,23
				0,050	
SUBTOTAL N					0,45
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	1,0500	1,22	1,28	
Alambre recocido # 18	kg	0,0250	2,96	0,07	
SUBTOTAL O					1,35
		TOTAL			1,92

Anexo 13. APU de hormigón para la caja de almacenamiento

RUBRO:	13,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,38
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
Vibrador	1,00	1,99	1,99	0,850	1,69
SUBTOTAL M					4,75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,850	3,74
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					7,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	7,8000	7,44	58,03	
Arena	m3	0,6500	11,00	7,15	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,2210	0,82	0,18	
SUBTOTAL O					77,24
	TOTAL				89,68

Anexo 14. APU de acero de refuerzo para la caja de almacenamiento

RUBRO:	14,00	UNIDAD:	kg		
DETALLE:	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 DE 10-12 MM PARA CAJA DE ALMACENAMIENTO			RENDIMIENTO	0,050
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,02
Vibrador	1,00	1,99	1,99	0,050	0,10
SUBTOTAL M					0,12
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,050	0,22
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,050	0,23
SUBTOTAL N					0,45
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	1,0500	1,22	1,28	
Alambre recocido # 18	kg	0,0250	2,96	0,07	
SUBTOTAL O					1,35
	TOTAL				1,92

Anexo 15. APU de compuerta par el control del flujo

RUBRO:	15,00	UNIDAD:	u		
DETALLE:	COMPUERTA PARA CONTROL DE FLUJO			RENDIMIENTO	0,250
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,11
SUBTOTAL M					0,11
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,250	1,10
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,250	1,16
SUBTOTAL N					2,26
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Perfil de U de Aluminio	u	1,0000	15,75	15,75	
Caucho reforzado tipo u	u	3,0000	8,00	24,00	
SUBTOTAL O					39,75
		TOTAL			42,11

Anexo 16. APU de hormigón para la caída inclinada

RUBRO:	16,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 CAÍDA INCLINADA Y COLCHÓN DISIPADOR NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,38
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
SUBTOTAL M					3,06
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,850	3,74
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					7,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	7,8000	7,44	58,03	
Arena	m3	0,6500	11,00	7,15	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,2210	0,82	0,18	
SUBTOTAL O					77,24
		TOTAL			87,99

Anexo 17. APU de malla electrosoldada para caída

RUBRO:	17,00		UNIDAD:	m²			
DETALLE:	MALLA ELECTROSOLDADA 10X10 D=5.5 mm PARA CAÍDA Y DESARENADOR					RENDIMIENTO	0,063
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Herramienta Menor (5% M/O)						0,03	
SUBTOTAL M						0,03	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Abañil	1,00		4,40	4,40	0,063	0,28	
Maestro de Obra	1,00		4,65	4,65	0,063	0,29	
SUBTOTAL N						0,57	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
			A	B	C= A*B		
Malla electrosoldada	m2		1,0000	3,00	3,00		
SUBTOTAL O						3,00	
			TOTAL			3,60	

Anexo 18. APU del canal con mampostería

RUBRO:	18,00		UNIDAD:	m			
DETALLE:	CANAL CON MAMPOSTERIA DE LADRILLO PAYO					RENDIMIENTO	0,800
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Herramienta Menor (5% M/O)						0,36	
SUBTOTAL M						0,36	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Abañil	1,00		4,40	4,40	0,800	3,52	
Maestro de Obra	1,00		4,65	4,65	0,800	3,72	
SUBTOTAL N						7,24	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
				A	B	C= A*B	
Cemento			saco	0,1900	7,44	1,41	
Arena			m3	0,0300	11,00	0,33	
Agua			m³	0,0110	0,82	0,01	
Ladrillo corriente (payo)			u	112,0000	0,09	10,08	
Chicote de 8 mm cada 1.5 m del canal			m	0,1300	0,48	0,06	
SUBTOTAL O						11,89	
			TOTAL			19,49	

Anexo 19. APU del plástico polietileno

RUBRO:	19,00	UNIDAD:	m		
DETALLE:	PLÁSTICO POLIETILENO			RENDIMIENTO	0,080
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,04
SUBTOTAL M					0,04
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,080	0,35
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,080	0,37
SUBTOTAL N					0,72
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Plastico polietileno	m	1,0000	0,68	0,68	
SUBTOTAL O					0,68
	TOTAL				1,44

Anexo 20. APU de hormigón para el desarenador

RUBRO:	20,00	UNIDAD:	m³		
DETALLE:	HORMIGÓN F'C= 240 KG/CM2 PARA DESARENADOR, NO INC. ENCOFRADO			RENDIMIENTO	0,850
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,38
Concretera	1,00	3,15	3,15	0,850	2,68
Vibrador	1,00	1,99	1,99	0,850	1,69
SUBTOTAL M					4,75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,850	3,74
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,850	3,95
SUBTOTAL N					7,69
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Cemento	saco	7,8000	7,44	58,03	
Arena	m3	0,6500	11,00	7,15	
Ripio	m3	0,9500	12,50	11,88	
Agua	m³	0,2210	0,82	0,18	
SUBTOTAL O					77,24
		TOTAL			89,68

Anexo 22. APU del sistema de purga de lodos

RUBRO:	21,00	UNIDAD:	u		
DETALLE:	SISTEMA DE PURGA DE LODOS (TUBERÍA Y VÁVULA)			RENDIMIENTO	0,200
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0,09
SUBTOTAL M					0,09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1,00	4,40	4,40	0,200	0,88
Maestro de Obra	1,00	4,65	4,65	0,200	0,93
SUBTOTAL N					1,81
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
tubo de 75 mm	u	0,1667	5,68	0,95	
Válvula de bola	u	1,0000	18,79	18,79	
SUBTOTAL O					19,74
		TOTAL			21,64

Anexo 21. APU de malla electrosoldada para el desarenador

RUBRO:	22.00	UNIDAD:	m ²		
DETALLE:	MALLA ELECTROSOLDADA 15X15 D=5 mm PARA DESARENADOR			RENDIMIENTO	0.063
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0.03
SUBTOTAL M					0.03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abañil	1.00	4.40	4.40	0.063	0.28
Maestro de Obra	1.00	4.65	4.65	0.063	0.29
SUBTOTAL N					0.57
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Malla electrosoldada	m2	1.0000	3.00	3.00	
SUBTOTAL O					3.00
TOTAL					3.60
		INDIRECTOS	0%	0.00	
		UTILIDAD		0.00	
		COSTO TOTAL DEL RUBRO		3.60	
		VALOR OFERTADO		3.60	

RUBRO:	23.00		UNIDAD:	u				
DETALLE:	TUBERÍA SOTERRADA DE 160 mm						RENDIMIENTO	0.200
EQUIPOS								
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
	A		B	C= A*B	R	D= C*R		
Herramienta Menor (5% M/O)						0.09		
					SUBTOTAL M		0.09	
MANO DE OBRA								
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
	A		B	C= A*B	R	D= C*R		
Abañil	1.00		4.40	4.40	0.200	0.88		
Maestro de Obra	1.00		4.65	4.65	0.200	0.93		
					SUBTOTAL N		1.81	
MATERIALES								
DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO			
			A	B	C= A*B			
Tubería PVC 160 mm	u		3.0000	18.00	54.00			
					SUBTOTAL O		54.00	
			TOTAL			55.90		
			INDIRECTOS		0%		0.00	
			UTILIDAD				0.00	
			COSTO TOTAL DEL RUBRO				55.90	
			VALOR OFERTADO				55.90	

RUBRO:	24.00		UNIDAD:	m ²			
DETALLE:	ENLUCIDO CON MALLA DE TUMBADO					RENDIMIENTO	0.145
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Herramienta Menor (5% M/O)						0.07	
SUBTOTAL M						0.07	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A		B	C= A*B	R	D= C*R	
Abañil	1.00	4.40	4.40	0.145		0.64	
Maestro de Obra	1.00	4.65	4.65	0.145		0.67	
SUBTOTAL N						1.31	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
			A	B	C= A*B		
Malla de tumbado	m2		1.0000	1.29	1.29		
Mortero de 40 kg	saco		0.2350	5.90	1.39		
Agua	m3		0.0022	0.82	0.002		
SUBTOTAL O					2.68		
TOTAL					4.06		
			INDIRECTOS		0%	0.00	
			UTILIDAD			0.00	
			COSTO TOTAL DEL RUBRO			4.06	
			VALOR OFERTADO			4.06	

Anexo 26. APU de impermeabilizante

RUBRO:	25.00	UNIDAD:	m ²		
DETALLE:	IMPERMEABILIZANTE			RENDIMIENTO	0.230
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0.10
SUBTOTAL M					0.10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D= C*R
Abañil	1.00	4.40	4.40	0.230	1.01
Maestro de Obra	1.00	4.65	4.65	0.230	1.07
SUBTOTAL N					2.08
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNITARIO B	COSTO C= A*B	
Pintura para impermeabilización	gl	0.1800	18.00	3.24	
Lija	pliego	0.2500	0.62	0.16	
SUBTOTAL O					3.40
TOTAL					5.58
		INDIRECTOS		0%	0.00
		UTILIDAD			0.00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			5.58
		VALOR OFERTADO			5.58

Anexo 25. APU de contrapiso y resane

RUBRO:	26.00	UNIDAD:	m ²		
DETALLE:	CONTRAPISO Y RESANE			RENDIMIENTO	0.200
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0.09
SUBTOTAL M					0.09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D= C*R
Abañil	1.00	4.40	4.40	0.200	0.88
Maestro de Obra	1.00	4.65	4.65	0.200	0.93
				0.200	
SUBTOTAL N					1.81
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNITARIO B	COSTO C= A*B	
Cemento	saco	0.4400	7.44	3.27	
Arena	m3	0.0300	0.03	0.00	
Ripio	m3	0.0700	12.50	0.88	
Agua	m³	0.0200	0.82	0.02	
SUBTOTAL O					4.17
TOTAL					6.07
		INDIRECTOS		0%	0.00
		UTILIDAD			0.00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			6.07
		VALOR OFERTADO			6.07

Anexo 27. APU de tubería y anclaje

RUBRO:	27.00	UNIDAD:	u		
DETALLE:	TUBERÍA Y ANCLAJE EN LA CAJA METÁLICA			RENDIMIENTO	1.000
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Herramienta Menor (5% M/O)					0.44
SUBTOTAL M					0.44
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D= C*R
Abafii	1.00	4.40	4.40	1.000	4.40
Soldador en construcción	1.00	4.46	4.46	1.000	4.46
SUBTOTAL N					8.86
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C= A*B	
Abrazadera de acero	u	3.0000	1.75	5.25	
Tubería de PVC de 4"	u	1.0000	6.91	6.91	
Válvula de compuerta de 4"	u	1.0000	170.00	170.00	
SUBTOTAL O					182.16
TOTAL					191.46
		INDIRECTOS		0%	0.00
		UTILIDAD			0.00
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			191.46
		VALOR OFERTADO			191.46