

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena.

Proyecto Integrador

INGE - 2565

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Yoselin Maria Zambrano Ganchozo

Génesis Alexandra Tábara Obando

Guayaquil – Ecuador

I PAO 2024

Dedicatoria

A mi familia, por su amor incondicional y su apoyo constante.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino.

A mis compañeros de carrera, Emmanuel, Héctor y Marco, y a Stephanie, por compartir conmigo tanto los triunfos como los desafíos y por hacer que cada etapa de este recorrido sea memorable.

Génesis Tábara

Dedico este proyecto a mis padres, Miryam Ganchozo y Jairo Zambrano, porque siempre estuvieron para apoyarme y ayudarme con lo que necesitaba.

A mis amigos que he hecho en el transcurso de mi carrera, pasamos por buenos y malos momentos en la universidad, pero sé que puedo contar con ellos.

A mis profesores de la carrera que me enseñaron y guiaron en el transcurso y me convirtieron en una profesional.

Yoselin Zambrano

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento al PhD. Mijaíl Arias, nuestro tutor de tesis, por su inestimable orientación, paciencia y dedicación. Su apoyo y sabiduría fueron fundamentales en cada etapa de este trabajo.

Extendemos también nuestra gratitud al Ing. Boris Apolo, quien compartió generosamente sus conocimientos y experiencia, ayudándonos a superar los desafíos técnicos que se presentaron a lo largo de esta investigación.

Agradecemos a la comuna Loma Alta, en especial a sus guardabosques, Crisóforo y Narciso, por su invaluable apoyo y colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Declaración Expresa

Nosotras Génesis Alexandra Tábara Obando y Yoselin Maria Zambrano Ganchozo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 28 de mayo del 2024.



Génesis Alexandra Tábara Obando



Yoselin Maria Zambrano Ganchozo

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
LENIN ALEXANDER
DENDER AGUILAR

MSc. Lenin Dender Aguilar

Profesor de Materia



Firmado electrónicamente por:
MIJAIL EDUARDO
ARIAS HIDALGO

Ing. Mijaíl Arias Hidalgo, Ph.D.

Tutor de Proyecto

Resumen

La agricultura en la región de Loma Alto enfrenta problemas debido a la escasez hídrica, desafiando la economía local y la producción agrícola. Esta propuesta consiste en diseñar la presa en el río Valdivia-California para regular el paso de agua, prevenir las inundaciones y proporcionar un suministro constante y fiable durante todo el año. Mediante estudios hídricos, hidrodinámicos, topográficos y geotécnicos se escogió el mejor lugar para la implantación del dique. En tal contexto, se diseñó un dique con un ancho de corona de 3 metros, una longitud de 64 metros, un borde libre mínimo de 0.6 metros y una cota de elevación de 49.7 m.s.n.m. También se propuso el diseño de dos vertederos tipo creager: el vertedero principal con ancho de 20 metros y una cota de cresta de 46.7 m.s.n.m y el vertedero lateral con ancho similar, pero con una cota de cresta de 48.2 m.s.n.m, pensado para emergencias. Este dique tiene la capacidad de represar $105019.37 m^3$, con un costo total de 850749.44 dólares. En síntesis, se tiene un diseño hidrológico-hidrodinámico con condiciones similares a la realidad con un escenario extremo con un periodo de retorno de 200 años con una relación costo-almacenamiento de $8.10 \$/m^3$

Palabras claves: represa, escasez hídrica, Loma Alta, modelamiento hidrodinámico, vertedero.

Abstract

Agriculture in the Loma Alta region faces challenges due to water scarcity, impacting both the local economy and agricultural production. This proposal involves designing a dam on the Valdivia-California River to regulate water flow, prevent flooding, allow recharge and provide a reliable and constant water supply throughout the year. Hydrological, hydrodynamic, topographic, and geotechnical studies were conducted to select the most convenient location for the dam. The resulting design features a dam with a crest width of 3 meters, a length of 64 meters, a minimum freeboard of 0.6 meters, and an elevation of 49.7 (m.a.s.l). Additionally, two Creager-type spillways were proposed: the main spillway with 20 meters wide and a crest elevation of 46.7 (m.a.s.l), and a lateral spillway with similar wide and a crest elevation of 48.2 (m.a.s.l), intended for emergencies. This dam has a storage capacity of 105,019.37 m³, with a total cost of \$850,749.44. In summary, the project delivers a hydrological-hydrodynamic design that closely mirrors real conditions, including an extreme scenario with a 200-year return period and a cost-storage ratio of \$8.10/m³.

Keywords: dam, water scarcity, Loma Alta, hydrodynamic modeling, spillway.

Índice General

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice General.....	III
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	X
Índice de Planos	XVI
Capítulo 1.....	1
1 Introducción	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Presentación General del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	5
1.4.6 Objetivo general.....	5
1.4.7 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 2.....	6
2 Materiales y Métodos.....	7
2.1 Revisión de Literatura.....	7
2.1.1 Siembra y cosecha de agua	7
2.1.2 Criterios de diseño	7
2.1.3 Análisis de extremos hidrológicos	8
2.1.4 Criterios de Modelación Hidrológica.....	10
2.2 Área de estudio	11
2.3 Trabajo de campo y laboratorio	13
2.4 Estudios de suelos	14

2.4.1	Caracterización del suelo	16
2.5	Análisis de datos	20
2.5.1	Datos meteorológicos.....	20
2.5.2	Modelo hidrológico.....	22
2.5.3	Modelo hidrodinámico.....	25
2.6	Análisis de alternativas	31
Capítulo 3	36
3	DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	37
3.1	Diseño del dique	37
3.1.1	Prediseño del dique.....	37
3.1.2	Tiempo de vida de la obra.....	40
3.1.3	Estimación de la socavación	44
3.1.4	Diseño del enrocado de protección del dique	46
3.1.5	Análisis de estabilidad de taludes	48
3.1.6	Diseño de muro de contención.....	52
3.2	Diseño del vertedero principal.....	72
3.2.1	Dimensionamiento del cimacio.....	72
3.2.2	Control por volcamiento	77
3.2.3	Control por deslizamiento.....	78
3.2.4	Revisión por falla por capacidad de carga	78
3.2.5	Cargas, fuerzas de corte y momentos flectores en el muro.....	79
3.2.6	Cálculo de acero en la pantalla del muro del cimacio	80
3.2.7	Cálculo de acero por contracción y temperatura de la estructura	81
3.2.8	Protección en la zona aguas abajo de la cresta	82
3.2.9	Fuerzas y momento flector en la risberma.....	86

3.2.10	Cálculo de acero en la risberma	86
3.2.11	Cálculo de acero por contracción y temperatura en la risberma y cuenco disipador	88
3.2.12	Fuerzas y momento flector en el delantal	89
3.2.13	Cálculo de acero longitudinal en el delantal	89
3.2.14	Cálculo de acero por contracción y temperatura en el delantal	90
3.2.15	Cálculo de acero longitudinal en la pantalla	91
3.2.16	Cálculo de acero por contracción y temperatura en la pantalla	92
3.3	Diseño del vertedero de emergencia	93
3.3.1	Control por volcamiento	94
3.3.2	Control por deslizamiento	95
3.3.3	Revisión por falla por capacidad de carga	96
3.3.4	Cargas, fuerzas de corte y momentos flectores en el muro	96
3.3.5	Cálculo de acero en la pantalla del muro del cimacio	97
3.3.6	Cálculo de acero por contracción y temperatura de la estructura	98
3.3.7	Fuerzas y momento flector en la risberma	99
3.3.8	Cálculo de acero en la risberma	100
3.3.9	Cálculo de acero por contracción y temperatura en la risberma y cuenco disipador	101
Capítulo 4	103
4	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	104
4.1	Descripción del proyecto	104
4.2	Línea base ambiental	105
4.2.1	Medio abiótico	105
4.2.2	Flora y fauna	106

4.2.3	Ámbito social	107
4.3	Actividades del proyecto.....	108
4.3.1	Actividades durante la construcción	108
4.3.2	Actividades durante la operación y mantenimiento.....	108
4.4	Identificación de impactos ambientales	109
4.5	Valoración de impactos ambientales	111
4.6	Medidas de prevención y mitigación	119
Capítulo 5.....		123
5	PRESUPUESTO	124
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo.....	124
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios.....	125
5.3	Descripción de cantidades de obra.....	127
5.4	Valoración integral del costo del proyecto.....	129
5.5	Cronograma de obra.....	131
Capítulo 6.....		133
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
6.1	Conclusiones	134
6.2	Recomendaciones	135
Referencias.....		136
Planos y Anexos.....		142

Índice de figuras

Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Valdivia.....	12
Figura 2. Área de estudio del río Valdivia	12
Figura 2. Toma de datos con el uso de equipos RTK.....	13
Figura 2. Colocación de la base RTK para toma de puntos de control.....	14
Figura 2. Muestras colocadas en los exteriores del laboratorio de suelos de FICT.....	16
Figura 2. Secado de las muestras	16
Figura 2. Muestra tamizada en el laboratorio	17
Figura 2. Límites de Atterberg utilizando la cuchara de Casagrande.	18
Figura 2. Ensayo de laboratorio para gravedad específica	19
Figura 2. Hietograma de diseño T=200 años.....	22
Figura 2.11 Delimitación de la cuenca en Hec-HMS.	23
Figura 2.12 Procesamiento de imágenes topográficas.	25
Figura 2.13 Nube de puntos obtenida del área de estudio.	26
Figura 2.14 Modelo de elevación digital generado a partir del levantamiento topográfico RTK.....	26
Figura 2.15 Tirante máximo antes de la calibración de datos.....	29
Figura 2.16 Tirante máximo después de la calibración de datos	31
Figura 2.17 Perfil longitudinal del cauce.....	31
Figura 2.18 Zonas tentativas para construcción de dique.....	32
Figura 2.19 Mapa de direcciones de flujo de agua subteránea del área de estudio.	33
Figura 3.1 Modelación en Hec-Ras del dique.....	39
Figura 3.2 Vista longitudinal del dique principal y el de emergencia	39
Figura 3.3 Capacidad del embalse (curva elevación-volumen).....	40
Figura 3.4 Socavación 10m aguas arriba del dique	46

Figura 3.5 Análisis de estabilidad de taludes en período de estiaje	49
Figura 3.6 Análisis de estabilidad de talud bajo inundación	50
Figura 3.7	51
Figura 3.8	51
Figura 3.9	52
Figura 3.10 Pre-dimensionamiento del muro de contención.	53
Figura 3.11 Representación gráfica de las dimensiones del muro.	54
Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre del muro de contención.	56
Figura 3.13 Carga excéntrica aplicada al suelo.	58
Figura 3.14 Cargas actuantes sobre base.	61
Figura 3.15 Carga actuante sobre pantalla.	62
Figura 3.16 Fuerzas en talón de base	63
Figura 3.17 Representación de la colocación del acero de la parte media a la base.	66
Figura 3.18 Representación de la colocación del acero de la parte media a la corona.	68
Figura 3.19 Representación de la colocación del acero principal en la base.	70
Figura 3.20 Representación de la colocación del acero en el muro de contención	72
Figura 3.21 División del azud en cuadrantes según el criterio general.	72
Figura 3.22 Constantes para la configuración aguas arriba del azud.	75
Figura 3.23 Constantes para la configuración aguas arriba del azud.	76
Figura 3.24 Diagrama de cuerpo libre del azud principal.	77
Figura 3.25 Relación de la longitud del resalto hidráulico con el tirante conjugado	85
Figura 3.26 Relación del radio mínimo en la cresta aguas abajo del azud (USB, 1987	85
Figura 3.27 Diagrama de cuerpo libre del azud lateral.	94
Figura 4.1 Ubicación de la Reserva Ecológica Comunal Loma Alta. Fuente: Becker et. al., 2005.	105

Figura 5.1 División detallada del trabajo.....	124
Figura 5.2 Cronograma de trabajo del proyecto	132
Figura 6.1 Perfil de socavación 50 metros antes del dique.....	142
Figura 6.2 Perfil de socavación 100 metros después del dique	142
Figura 6.	180
Figura 6.4	182
Figura 6.5	183
Figura 6.6	186
Figura 6.	189

Índice de tablas

Tabla 2.1 Descripción de las calicatas tomadas.	14
Tabla 2.2 Resultados muestras después del lavado sobre tamiz 200.	17
Tabla 2.3 Resultados de límites de Atterberg.	18
Tabla 2.4 Gravedad específica y permeabilidad de las muestras.	20
Tabla 2.5 Resumen de datos obtenidos en estudio de suelos.	20
Tabla 2.6 Coeficientes de ajustes de cada estación.	21
Tabla 2.7 Uso de suelo y valores de CN.	24
Tabla 2.8 Rugosidades estimadas en el área de estudio.	27
Tabla 2.9 Datos del valor de Muskingum antes de la calibración de datos.	29
Tabla 2.10 Valores de Muskingum después de la calibración de datos.	30
Tabla 2.11 Escala de Likert.	34
Tabla 2.12 Matriz de Likert.	34
Tabla 3.1 Estimación del borde libre.	37
Tabla 3.2 Definición de pendiente aguas arriba y aguas bajo del río.	38
Tabla 3.3 Erosión total.	42
Tabla 3.4 Datos y cálculos parciales de la vida útil.	43
Tabla 3.5 Resultados de la capacidad de embalse perdida.	44
Tabla 3.6 Tamaño de partícula mínimo y máximo permitido en pulgadas.	47
Tabla 3.7 Dimensiones propuestas para el muro de contención.	53
Tabla 3.8 Resultados de las propiedades intrínsecos del suelo.	55
Tabla 3.9 Determinación de las fuerzas y momentos en relación con el punto C.	56
Tabla 3.10 Información y valores correspondientes a la fuerza activa de Rankine.	57
Tabla 3.11 Parámetros para la capacidad última (Terzaghi).	59
Tabla 3.12 Información sobre el esfuerzo cortante.	59

Tabla 3.13 Cálculo de los momentos en el talón de la base	63
Tabla 3.14 Datos para cálculo de acero en pantalla interior.....	63
Tabla 3.15 Acero necesario en la cara interior de la pantalla.....	64
Tabla 3.16 Datos para cálculo de acero en pantalla exterior.	65
Tabla 3.17 Datos para el acero horizontal en la parte media a la base de la pantalla.	66
Tabla 3.18 Datos para el acero horizontal en la parte media a la corona de la pantalla.....	67
Tabla 3.19 Datos para el acero horizontal en el talón de la base.	69
Tabla 3.20 Cálculos de acero necesario en la base.....	70
Tabla 3.21 Fuerza de corte en el talón.....	70
Tabla 3.22 Datos para el acero transversal en la base.	71
Tabla 3.23 Datos del vertedero principal.	73
Tabla 3.24 Resultados de la carga de diseño del vertedero principal.....	73
Tabla 3.25 Resultados de la forma del cimacio en el cuadrante aguas arriba.....	75
Tabla 3.26 Criterios para el diseño del vertedero cimacio	76
Tabla 3.27 Cálculo de fuerzas y momentos con respecto al punto C.....	77
Tabla 3.28 Datos y valores de fuerza activa de Rankine.....	77
Tabla 3.29 Parámetros para la capacidad última (Terzaghi)	79
Tabla 3.30 Datos para cargas, fuerzas de corte y momentos.....	79
Tabla 3.31 Resultados de las fuerzas y momentos en la pantalla de la estructura	80
Tabla 3.32 Datos para el acero en la pantalla.....	80
Tabla 3.33 Acero necesario en la cara de la pantalla.....	81
Tabla 3.34 Datos para el acero por contracción y temperatura	81
Tabla 3.35 Resultados del acero requerido por contracción y temperatura	82
Tabla 3.36 Datos para el coeficiente de descarga.....	82
Tabla 3.37 Datos para el cálculo de fuerzas en la risberma	86

Tabla 3.38	Fuerzas y momento flector máximo en la risberma	86
Tabla 3.39	Datos para el cálculo de acero en la risberma	87
Tabla 3.40	Acero necesario en la risberma.....	87
Tabla 3.41	Acero requerido en el Cuenco	88
Tabla 3.42	Datos para el acero por contracción y temperatura en risberma y cuenco	88
Tabla 3.43	Resultados del acero necesario para el cuenco y risberma.....	88
Tabla 3.44	Datos para el cálculo de fuerzas en el delantal.....	89
Tabla 3.45	Fuerzas y momento flector máximo en el delantal	89
Tabla 3.46	Datos para el cálculo de acero en el delantal	89
Tabla 3.47	Acero necesario en el delantal.....	90
Tabla 3.48	Datos para el acero por contracción y temperatura en el delantal.....	91
Tabla 3.49	Resultados del acero por contracción y temperatura para el delantal	91
Tabla 3.50	Datos para el cálculo de acero en la pantalla	91
Tabla 3.51	Acero necesario en la pantalla	92
Tabla 3.52	Datos para el acero por contracción y temperatura en la pantalla.....	93
Tabla 3.53	Resultados del acero por contracción y temperatura en la pantalla	93
Tabla 3.54	Criterios para el diseño del cimacio lateral.	93
Tabla 3.55	Cálculo de fuerzas y momentos con respecto al punto C en aliviadero	95
Tabla 3.56	Datos y valores de fuerza activa de Rankine en el aliviadero	95
Tabla 3.57	Parámetros para la capacidad última (Terzaghi)	96
Tabla 3.58	Datos para cargas, fuerzas de corte y momentos.....	97
Tabla 3.59	Cálculos de las fuerzas en el aliviadero	97
Tabla 3.60	Resultados de las fuerzas y momentos en la pantalla de la estructura lateral	97
Tabla 3.61	Datos para el acero en la pantalla lateral.....	97
Tabla 3.62	Acero necesario en la cara de la pantalla lateral.....	98

Tabla 3.63 Datos para el acero por contracción y temperatura estructura lateral	99
Tabla 3.64 Resultados del acero requerido en el alivadero	99
Tabla 3.65 Datos para el cálculo de fuerzas en la risberma del vertedero lateral	99
Tabla 3.66 Fuerzas y momento flector máximo en la risberma del vertedero lateral	100
Tabla 3.67 Datos para el cálculo de acero en la losa aguas abajo del vertedero lateral	100
Tabla 3.68 Acero necesario en la risberma del vertedero lateral.....	100
Tabla 3.69 Acero requerido en el Cuenco del vertedero lateral	101
Tabla 3.70 Datos para el acero por contracción y temperatura en risberma y cuenco del vertedero lateral	101
Tabla 3.71 Resultados del acero necesario para el cuenco y risberma del vertedero lateral.	102
Tabla 4.1 Matriz de Leopold. Fase constructiva.	113
Tabla 4.2 Valores de impacto ambiental en la fase constructiva.	114
Tabla 4.3 Matriz de Leopold. Fase de operación y mantenimiento.	115
Tabla 4.4 Valores de impacto ambiental en la fase operativa y mantenimiento.....	116
Tabla 4.5 Medidas de prevención y mitigación durante la fase constructiva.....	119
Tabla 4.6 Medidas de prevención y mitigación durante la fase operativa y mantenimiento.	120
Tabla 5.1	125
Tabla 5.2	127
Tabla 5.3	129
Tabla 6.1 Cálculos para la obtención del Lag Time	143
Tabla 6.2 APU Rubro 1.1	144
Tabla 6.3 APU Rubro 1.2	145
Tabla 6.4 APU Rubro 1.3	146
Tabla 6.5 APU Rubro 2.1	147
Tabla 6.6 APU Rubro 2.2	149

Tabla 6.7 APU Rubro 2.3	150
Tabla 6.8 APU Rubro 2.5	151
Tabla 6.9 APU Rubro 3.1	152
Tabla 6.10 APU Rubro 3.8	153
Tabla 6.11 APU Rubro 3.4	154
Tabla 6.12 APU Rubro 5.2	155
Tabla 6.13 APU Rubro 5.1	156
Tabla 6.14 APU Rubro 5.3	157
Tabla 6.15 APU Rubro 3.2	158
Tabla 6.16 APU Rubro 1.4	159
Tabla 6.17 APU Rubro 2.4	160
Tabla 6.18 APU Rubro 3.7	161
Tabla 6.19 APU Rubro 3.3	162
Tabla 6.20	178
Tabla 6.21	178
Tabla 6.22	179
Tabla 6.23	179
Tabla 6.24	179
Tabla 6.25	180
Tabla 6.26	180
Tabla 6.27	181
Tabla 6.28	181
Tabla 6.29	182
Tabla 6.30	182
Tabla 6.31	183

Tabla 6.32	184
Tabla 6.33	184
Tabla 6.34	184
Tabla 6.35	185
Tabla 6.36	186
Tabla 6.37	187
Tabla 6.38	187
Tabla 6.38	187
Tabla 6.39	188
Tabla 6.40	188

Índice de Planos

PLANO 1 Ubicación e Implantación de los diques

PLANO 2 Diferentes cortes de los diques

PLANO 3 Cortes del dique principal

PLANO 4 Plano estructural del dique principal

PLANO 5 Plano estructural del vertedero principal

PLANO 6 Cortes del dique lateral

PLANO 7 Plano estructural del dique lateral

PLANO 8 Plano estructural del vertedero lateral

Capítulo 1

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El cambio climático es una problemática mundial que representa un riesgo significativo para el planeta y sus habitantes. Este fenómeno se caracteriza por el incremento en la temperatura promedio de la Tierra, y esto se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero como resultado de actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles y deforestación (IPCC, 2019). Los impactos del cambio climático incluyen el aumento del nivel del mar, la intensificación de eventos climáticos extremos y modificaciones en los patrones de lluvia (Orozco et al., 2018).

Los recursos hídricos son fundamentales para el desarrollo de la humanidad y para la vida en general. Por tanto, su presencia ha beneficiado a comunidades cercanas a fuentes de aguas superficiales como ríos, lagos, lagunas, aguas subterráneas, entre otros. No obstante, estos recursos también generan desventajas a sus pobladores por motivo de intervención humana o por factores climáticos. Latinoamérica cuenta con tres de las mayores cuencas fluviales del mundo siendo estas las del Orinoco, la del Plata y la del Amazonas (Morote Seguido, 2014).

Ecuador es considerado un país rico en este ámbito debido a su amplia red hidrográfica. Nuestro territorio cuenta con alrededor de 2000 ríos provenientes de la Cordillera de los Andes que desembocan hacia el Océano Pacífico y hacia el río Amazonas. Los ríos pertenecientes a la región Costa son reconocidos por tener caudales variables. Por esta razón, durante la época lluviosa, estos cauces de agua suelen incrementar y desbordarse provocando así inundaciones, daños económicos significativos e incluso hasta muertes.

La provincia de Santa Elena, ubicada en la costa de Ecuador, enfrenta varios desafíos respecto al abastecimiento de agua. El río Valdivia-California abarca la comuna Loma Alta y, como otros cuerpos de agua, experimenta variaciones según las condiciones climáticas. La

gestión adecuada de ese cuerpo de agua es fundamental para minimizar los impactos de estas variaciones y garantizar la seguridad y el bienestar de las comunidades que dependen del río.

1.2 Presentación General del Problema

La región de Loma Alta, ubicada en Santa Elena, es una comuna predominantemente agrícola debido a la alta calidad de sus tierras para el cultivo. Esta ventaja ha generado un incremento en la demanda de agua por parte de los diversos sectores agrícolas. Sin embargo, las temporadas secas que el país enfrenta anualmente provocan una reducción significativa del agua disponible en los pozos utilizados para el riego de los cultivos.

Esta escasez hídrica afecta gravemente a la producción agrícola, causando daños a los sembríos y disminuyendo la venta de los productos cosechados. Esta situación no solo impacta negativamente a las industrias locales, sino que también perjudica tanto la economía como la calidad de vida de los residentes de la comunidad. Por lo tanto, la comunidad se ha visto obligada a buscar soluciones alternativas, como la implementación de sistemas de riego más eficientes y la recolección de agua de lluvia, aunque estos esfuerzos no siempre son suficientes para mitigar los efectos de la sequía.

1.3 Justificación del Problema

La agricultura en la región de Loma Alta se presenta debido a la alta productividad de sus tierras, pero la variabilidad en el suministro de agua debido a las condiciones climáticas representa un desafío constante. Las temporadas secas recurrentes han llevado a una reducción significativa del agua disponible en los pozos, afectando gravemente la producción agrícola. Los daños a los sembríos y la disminución de la cantidad y calidad de los productos cosechados resultan en pérdidas económicas para los agricultores y la comuna en general. Además, esta escasez hídrica impacta negativamente a los negocios locales y perjudica la economía y la calidad de vida de sus pobladores.

Las inundaciones son eventos naturales o causados por el ser humano que ocurren cuando el agua cubre zonas de tierra que normalmente están secas. Estas situaciones pueden ser provocadas por diversas razones, como precipitaciones intensas o prolongadas que causan el desbordamiento de ríos y canales, inundando áreas colindantes. De esta manera, el aumento repentino en el caudal de cuerpos de agua como ríos, lagos o lagunas, o la obstrucción en su curso natural, también puede desencadenar inundaciones significativas. La ausencia de un dique en el río Valdivia-California, que atraviesa la comuna, deja a la población vulnerable a inundaciones durante la época de lluvias y sin un suministro de agua confiable para la agricultura y el consumo humano.

La construcción de un dique en el río Valdivia-California que atraviesa la comuna Loma Alta es una intervención necesaria para afrontar el problema de la escasez hídrica que afecta a la zona. Un dique permite la regulación del flujo de agua, almacenando el exceso en acuíferos durante la temporada de lluvias y reservándolo para las temporadas de sequía.

La infraestructura del dique ayudará a controlar el caudal del río, previniendo desbordamientos y reduciendo significativamente el riesgo de inundaciones en la comuna. A su vez, el dique no solo garantizará la sostenibilidad de la producción agrícola y desarrollo económico de la comuna, sino que también preverá de bienestar a sus pobladores en distintas condiciones climáticas.

1.4 Objetivos

1.4.6 *Objetivo general*

Diseñar un dique en la provincia de Santa Elena, utilizando información topográfica del sitio, modelos de inundación y estudios hidráulicos para suministro hídrico y control de inundaciones del cuerpo de agua en la comuna Loma Alta.

1.4.7 *Objetivos específicos*

Identificar puntos críticos a lo largo del cuerpo de agua con el fin de seleccionar el sitio idóneo para la construcción del dique mediante un análisis hidrodinámico de la zona de estudio con el uso del software HEC-RAS.

Evaluar los procesos lluvia-escorrentía e hidrodinámica que afectarían al potencial dique, a través de simulaciones computacionales y datos de campo, para mitigar el riesgo de desastres naturales para la comuna, en alineación con los objetivos de desarrollo sostenible ODS 2 y ODS 6.

Diseñar un dique considerando diversos aspectos bajo la ubicación adecuada previamente escogida respecto a costos y planos considerando normas ambientales, constructivas y técnicas.

CAPÍTULO 2

2 Materiales y Métodos

2.1 Revisión de Literatura

2.1.1 *Siembra y cosecha de agua*

La siembra y cosecha de agua constituyen un marco de métodos compuestos por la recolección e infiltración del agua lluvia y la esorrentía subterránea en un punto más bajo La siembra y cosecha de agua constituyen un marco de métodos compuestos por la recolección e infiltración del agua lluvia y la esorrentía subterránea en un punto más bajo (Martos-Rosillo et al., 2021). Consisten en un grupo de prácticas expresadas por varias técnicas comúnmente relacionadas a técnicas y prácticas tradicionales comúnmente transmitidas de mano en mano. Si bien esto implica un ethos agudo por la gestión y uso sostenible del agua, también se relaciona con la conservación de los ecosistemas locales y el bienestar humano respectivo en los sistemas sociotécnicos que dependen (Herrera-Franco et al., 2020).

Un ejemplo notable de siembra y cosecha de agua se puede observar en el sitio de demostración de Paltas Catacocha en Ecuador, donde el agua de lluvia y la esorrentía se canalizan hacia un estanque para recargar el acuífero (GAD Paltas, 2017). Después de la rehabilitación de este lugar, los residentes locales han observado un aumento en la biodiversidad y en diversos servicios ambientales, especialmente en la disponibilidad de agua potable y de riego (Albarracín et al., 2021).

Existen casos en el Ecuador, como por ejemplo en la vertiente sur del volcán Chimborazo se ha identificado un potencial acuífero, beneficiado por una red de drenaje adecuada. Para gestionar este recurso hídrico, se proponen varias alternativas, incluyendo la construcción de pozos mediante métodos de Siembra y Cosecha de Agua, la edificación de represas y la implementación de programas de educación ambiental (Carrión-Mero et al., 2023).

2.1.2 *Criterios de diseño*

Una represa es una construcción en el valle de un río destinada a crear un embalse aguas arriba. Se divide en dos partes: el aliviadero, que permite el paso del agua, y la sección no desbordante (Ukarande, 2023). Estas estructuras pueden ser construidos con una variedad de materiales, incluidos tierra, roca, hormigón y materiales compuestos. La elección del material adecuado es fundamental para garantizar la estabilidad y eficacia del dique en la retención de agua (Álvarez et al., 2004).

El diseño de un dique que represa agua debe tomar en cuenta diversos criterios fundamentales para garantizar su estabilidad y funcionalidad. Entre estos se encuentran el propósito de la geología y geotecnia del lugar, la hidrología y los materiales de construcción accesibles (Danka & Zhang, 2015). El diseño de estas estructuras es complejo debido a la necesidad de retener temporalmente el agua, lo que provoca variaciones en el flujo subterráneo y en la estabilidad mecánica a lo largo del tiempo. Además, la infiltración de agua en el subsuelo es tridimensional, lo que debe ser considerado en el proceso de diseño (Sobótka et al., 2023).

2.1.3 Análisis de extremos hidrológicos

Determinar la magnitud y probabilidad de los eventos hidrológicos es esencial en el diseño de obras hidráulicas, ya que esta información permite tomar decisiones adecuadas sobre sus características y dimensiones (Coronado-Hernández et al., 2020). El análisis de frecuencia ajusta datos a diversas distribuciones probabilísticas para variables hidroclimáticas como precipitaciones, caudales, niveles y evapotranspiración.

De esta manera, se evalúa la probabilidad de eventos extremos, mejorando la planificación y gestión de recursos hídricos y la precisión en el diseño de infraestructuras hidráulicas (Urzola et al., 2012). A continuación, se describen algunos modelos de distribución probabilística:

2.1.3.1 *Gumbel*. La distribución de Gumbel se distingue por su forma de campana, con un pico en un punto específico y una cola que se extiende hacia el infinito. Es simétrica en torno al punto de máxima probabilidad y está definida por dos parámetros: alfa y beta. El parámetro alfa determina la escala y, por ende, la posición del pico de la distribución, mientras que el parámetro beta define la forma, controlando la pendiente de las colas (Andrade et al., 2015). La función de densidad de probabilidad de la distribución de Gumbel es:

$$f(x, \text{Alpha}, \text{beta}) = \left(\left(\frac{1}{\text{beta}} \right) * \left(\exp * -\frac{x - \text{alpha}}{\text{beta}} \right) \right) - \exp \left(-\frac{x - \text{alpha}}{\text{beta}} \right) \quad (2.1)$$

En donde α y β son los parámetros de la distribución de la función de densidad donde la variable es continua. La distribución de Gumbel es ideal para modelar eventos extremos, como máximos o mínimos de una serie de datos. Se aplica en meteorología para valores extremos de precipitación, en ingeniería para la resistencia de materiales y en otros ámbitos. También se usa con el método de máxima verosimilitud para estimar sus parámetros (Aranda, 2021).

2.1.3.2 *Log Normal*. La distribución log-normal es una distribución de probabilidad continua utilizada para modelar variables aleatorias que se escalan multiplicativamente. Esto implica que si una variable aleatoria X sigue una distribución log-normal, el logaritmo de X sigue una distribución normal. En consecuencia, las variaciones en los valores pequeños de X son menores que en los valores grandes de X (Muñoz et al., 2016). La función de densidad de probabilidad de una variable log normal está dada por:

$$f(x; \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{x * \sigma * \sqrt{2\pi}} \right) * e^{\left(-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2 * \sigma^2} \right)} \quad (2.2)$$

Donde μ es el parámetro de media y σ es el parámetro de desviación estándar del logaritmo de X . La distribución log-normal se aplica en diversos campos: en economía para modelar precios de acciones y rendimientos, en ecología para tamaños de organismos, en

farmacología para concentraciones de drogas, en ingeniería para la vida útil de componentes y en física para tamaños de partículas (Genç, 2012).

2.1.4 Criterios de Modelación Hidrológica

El programa Hec-HMS ha sido ampliamente utilizado en diversos proyectos hidrológicos para simular procesos de lluvia-escorrentía en distintas regiones geográficas. Este software es esencial para analizar fenómenos como inundaciones, el suministro de agua, cuencas fluviales tanto locales como grandes, así como áreas urbanas y la escorrentía natural de las cuencas. El modelo se compone de cuatro componentes principales que colaboran para calcular el volumen de escorrentía: escorrentía directa, flujo base y flujo de canal (AL-Hussein et al., 2022)(USACE, 2023).

2.1.4.1 Método de abstracción del SCS. El método conocido como SCS-CN, que proviene de las siglas *Soil Conservation Service-Curve Number* y fue desarrollado por la USDA, es uno de los enfoques más ampliamente utilizados para explicar cómo la escorrentía directa se relaciona con la intensidad de las precipitaciones (Krajewski et al., 2020).

El procedimiento se basa en la selección de un valor sin unidades, denominado CN, que representa la capacidad intrínseca de un suelo para generar escorrentía. La determinación de este valor implica un análisis detallado de la interacción entre las propiedades del suelo, como su textura y estructura, y las prácticas aplicadas en el uso y manejo de la tierra, incluyendo técnicas de conservación y manejo del agua (Chow, 1958).

La práctica con este método ha demostrado que los resultados son ampliamente influenciados por el coeficiente de curva (CN). Los valores típicos de CN utilizados en el diseño suelen estar en el intervalo de 50 a 98 (Ponce, 1994). La fórmula empleada para calcular los valores de CN es la siguiente:

$$CN_{Subcuenca} = \frac{\sum CN_i * A_i}{A_{Subcuenca}} \quad (2.3)$$

$CN_{Subcuenca}$ la suma total de los valores de CN de la subcuenca (un número sin unidades), mientras que $A_{Subcuenca}$ denota el área total de la subcuenca.

2.1.4.2 Hidrograma unitario del SCS. Los hidrogramas unitarios calculan el escurrimiento superficial a partir de las características morfométricas de las cuencas analizadas. Estos modelos vinculan los parámetros específicos del método con los procesos hidrológicos que se desarrollan en la Cuenca (Vargas Garay et al., 2018).

Para el hidrograma, se emplea el retardo de cuenca, definido como el intervalo de tiempo entre el centroide del hietograma de exceso de lluvia y el pico del hidrograma unitario. El hidrograma unitario estándar se caracteriza por una duración de lluvia que está directamente relacionada con el retardo de cuenca (Chow et al., 1994).

2.1.4.3 Método de Muskingum. El método de Muskingum, también denominado modelo de almacenamiento tipo cuña se fundamenta en las relaciones entre caudal y almacenamiento a lo largo de distintos intervalos de tiempo. Este enfoque es adecuado para su aplicación en cuencas hidrográficas de tamaño pequeño y mediano (Arriola Carrasco, et al., 2021). Aplica una forma simplificada de la ecuación de continuidad y establece una relación algebraica que conecta el almacenamiento en el tramo con las entradas y salidas (Pizarro T, et al., 2009).

2.2 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en la comuna Loma Alta, ubicada en la parroquia Colonche perteneciente al cantón Santa Elena de la provincia de Santa Elena. Se encuentra constituida por 4 poblados: La Ponga, La Unión, El Suspiro y Loma Alta. La cuenca del Río Valdivia-California se encuentra en la zona norte de la provincia limitando con la subcuenca del río Manglaralto y la subcuenca del río Viejo. La comuna se encuentra en la cordillera Chongón-Colonche donde se ha establecido una reserva natural protegida (Astudillo, 2010)

Figura 2.1

Ubicación de la subcuenca del río Valdivia



Nota. Fuente: Autores

Dentro de la zona de estudio, se encuentra la subcuenca del río Valdivia-California la cual tiene una extensión de 16.452 Ha (Freire et al., 2011). El área presenta varios tipos de clima, entre los cuales destacan el tropical húmedo característico de la región Chongón Colonche y tropical sabana el cual es considerado predominante en la época seca (Rojas, 2010).

Figura 2.2

Área de estudio del río Valdivia



Nota. Se obtuvo una vista de la zona de estudio con la herramienta Google Earth

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

Para el levantamiento topográfico se consideró un área específica de 2 km aguas arriba y aguas abajo de un punto central del río Valdivia-California. Se realizaron 5 levantamientos topográficos mediante equipos RTK (*Real Time Kinematic*). Los puntos de control fueron ubicados estratégicamente previo a la salida de campo en conjunto con el plan de vuelo de 5 polígonos desarrollado en *DroneDeploy*.

Una vez determinados y señalizados los puntos con los equipos RTK, se ejecutó el plan de vuelo para la obtención de las ortofotos indispensables en la creación del modelo de elevación digital (DEM), que incluye el cauce del río. De igual manera, se consultó el nivel máximo histórico alcanzado por el río Valdivia a varios pobladores de la comuna, a fin de contar con puntos de calibración para la futura modelación hidrodinámica.

Figura 2.3

Toma de datos con el uso de equipos RTK

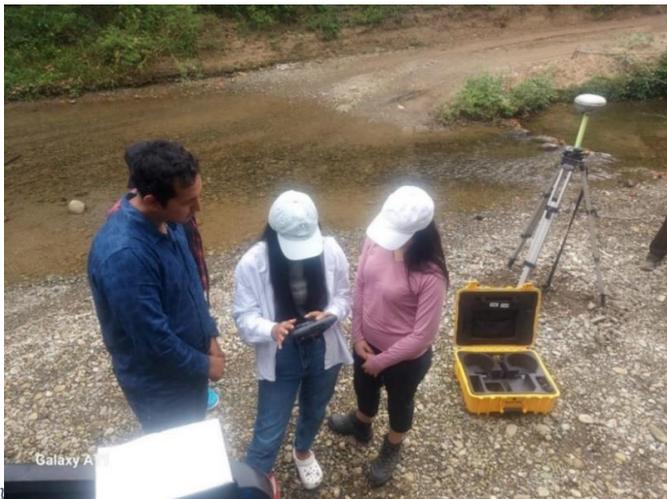


Figura 2.4

Colocación de la base RTK para toma de puntos de control.



2.4 Estudios de suelos

Los ensayos de suelos propuestos para este proyecto fueron: caracterización del suelo, granulometría, límites de Atterberg, permeabilidad y resistencia al corte. Se efectuó la salida de campo para la toma de muestras correspondientes en 3 calicatas situadas en la zona tentativa de construcción del dique. Las dimensiones de las calicatas excavadas fueron de 1x1 m y 1.50 m de profundidad. Durante la visita técnica, se recopiló 5 muestras, dos de ellas tomadas de una calicata ya que se identificó que tenía varios estratos.

Tabla 2.1

Descripción de las calicatas tomadas.

Muestra	Descripción	Imagen
C1-M1	No hay presencia de capa vegetal Suelo material predominante grava	

C1-M2 No hay presencia de capa vegetal
Suelo material predominante grava



C2-M1 Existe presencia de capa vegetal 5
cm
Suelo arcilloso

C2-M2 No hay presencia de capa vegetal
Suelo material predominante grava

C3-M1 No hay presencia de capa vegetal
Suelo material predominante grava



Una vez llegadas las muestras al laboratorio de suelos, se procedió a secarlas
tendiéndolas y exponiéndolas al sol durante 2 días, hasta que las muestras se consideren aptas
para realizar los ensayos.

Figura 2.5

Muestras colocadas en los exteriores del laboratorio de suelos de FICT



Figura 2.6

Secado de las muestras



2.4.1 Caracterización del suelo

La caracterización del suelo implica “el análisis de todas las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo, a través de las cuales se puede determinar si el suelo es

adecuado o no para determinadas aplicaciones”. Por tanto, incluye la evaluación de sus propiedades principales: la granulometría que comprende el tamaño de las partículas y las secciones de suelo que se diferencian en arena, limo y arcilla; la textura; la densidad seca y saturada; el humedecimiento; las propiedades mecánicas tales como la resistencia a la cortadura que se mide con la fricción interna del ángulo, la cohesión y los límites de Atterberg que determinan de qué manera el suelo cambia su estado; la hidráulica como la permabilidad que comprende cómo el agua fluye a través del suelo (Rodríguez, 2023).

2.4.1.1 Granulometría.

Figura 2.7

Muestra tamizada en el laboratorio



Tabla 2.2

Resultados muestras después del lavado sobre tamiz 200.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Porcentaje que pasa el tamiz 200 (%)	6.03	6.03	22.56	4.40	5.38

Ensayo de granulometría	Si	Si	No	Si	Si
-------------------------	----	----	----	----	----

2.4.1.2 *Límites de Atterberg*. Los “límites de Atterberg” o también llamados “límites de consistencia” aquéllos que se definen por el contenido en agua de suelos finos en función de los estados sólido, semisólido, plástico y líquido en los que éste se encuentra (Puy, 2005). Estos fueron “normalizados por la norma ASTM D4318-10, la cual describe “cómo medir el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos,” lo cual es imprescindible para determinar el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo. En la práctica, se seleccionó una muestra de suelo desecada al horno y se pesó al menos 150 g de la muestra que pasa por el tamiz 40.

Figura 2.8

Límites de Atterberg utilizando la cuchara de Casagrande.



Dado que el contenido de las calicatas eran mayormente arenas y gravas, solo se realizó el ensayo de límites de Atterberg en la muestra C2-M2 la cual, mediante caracterización del suelo, se determinó que era una arcilla.

Tabla 2.3

Resultados de límites de Atterberg.

Muestra 3

Límite líquido (%)	61.45
Límite plástico (%)	22.80
Índice de plasticidad (%)	38.65

2.4.1.3 *Gravedad específica*. La gravedad específica se mide como la relación entre la densidad de las partículas del suelo y la densidad del agua, y es utilizada para determinar la proporción de aire y agua en el suelo.

Figura 2.9

Ensayo de laboratorio para gravedad específica



En los ensayos se consideró la obtención de la gravedad específica de los suelos, así que, se utilizó la norma ASTM D-854. Para la preparación de la muestra se escogió una porción de acuerdo con la masa mínima establecida al tipo de suelo expuesto en la norma (después del tamizado sobre el tamiz número 4). Una vez que se cumplieron estos requisitos se ejecutó, el ensayo respetando los pasos de la norma.

Tabla 2.4*Gravedad específica y permeabilidad de las muestras.*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Gravedad específica	2.51	2.51	2.52	2.53	2,50
Permeabilidad (cm/s)	0.027	0.027	1.29E-6	0.041	0.027

Tabla 2.5*Resumen de datos obtenidos en estudio de suelos.*

	C1-M1	C1-M2	C2-M1	C2-M2	C3-M1
Profundidad (m)	1.00	0.70	1.50	1.30	1.20
Tipo de suelo según SUCS	Grava bien graduada con arena (SP)	Grava bien graduada con arena (SP)	Arcilla inorgánica de plasticidad alta	Arena mal graduada con grava (SP)	Arena bien graduada con grava (SW)

2.5 Análisis de datos

2.5.1 Datos meteorológicos

En cuanto a meteorología, se analizó la disponibilidad de información y se consultó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2019). Primero, se identificó la zona de estudio para seleccionar las estaciones más cercanas y sus curvas intensidad – duración - frecuencia: Guayaquil Aeropuerto (M0056), Julcuy (M0169) e Isabel María (M0036). Con los datos de estas estaciones, se procedió a calcular las intensidades de precipitación. Dado que la zona de Loma Alta tiene un promedio de dos horas de

precipitación, se utilizó esta información para crear un hietograma detallado (método del bloque alterno), segmentado en intervalos de cinco minutos.

Luego, con las ecuaciones de intensidad propuestas por el INAMHI, se creó un hietograma para cada estación, lo que permitió un análisis comparativo con la otra estación y una mejor comprensión de las variaciones locales. La interpolación por mínimos cuadrados ponderados sigue la fórmula:

$$I = \frac{c * T^f}{t_d^e} \quad (2.4)$$

Donde,

$I =$ Intensidad de precipitación, $\left[\frac{mm}{hr}\right]$

$t_d =$ Duración, $[min]$

$T =$ Periodo de retorno, $[años]$

c, f y e son constantes adimensionales

Tabla 2.6

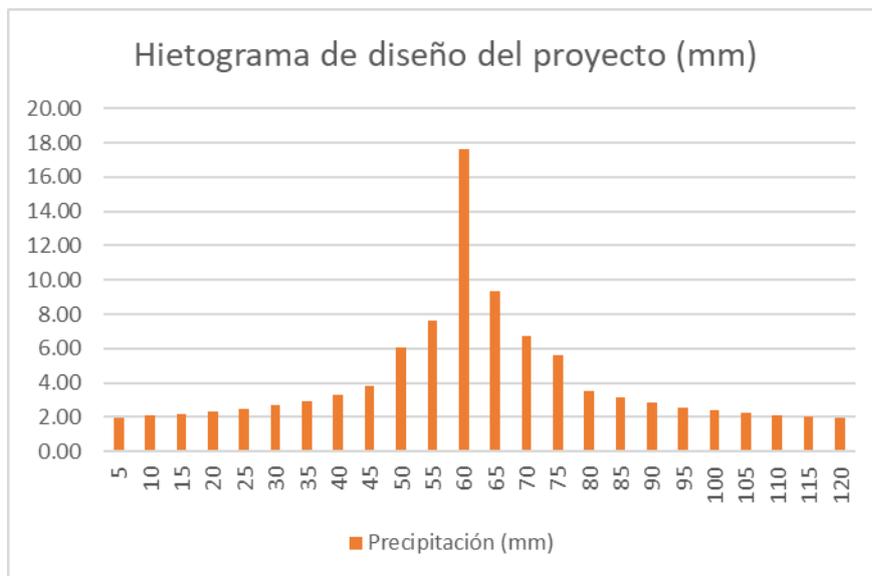
Coefficientes de ajustes de cada estación

Estación		Intervalos de tiempo	Coeficientes		
Código	Nombre		c	e	f
M0056	Guayaquil Aeropuerto	5<30	135.7748	0.3063	0.2169
		30<120	203.0259	0.417068	0.2169
		120<1440	1113.4537	0.7779	0.2169
M0169	Julcuy	5<30	161.6041	0.4192	0.2087
		30<120	302.5648	0.6122	0.2098
		5<30	192.4568	0.309	0.1448
M0036	Isabel María	30<120	254.4995	0.443	0.2022
		120<1440	2046.162	0.992	0.2334

La interpolación por inversa ponderada disminución (IDW) es una técnica utilizada en los sistemas de información Geográfica para estimar valores en lugares no medidos usando valores de puntos conocidos. En esta técnica, la influencia de los puntos conocidos disminuye con la distancia. Los puntos cercanos al lugar al que se quiere estimar los valores tienen una influencia mucho más grande que los puntos que se encuentran lejos de él. Esto es así gracias a los pesos muchos más altos que adquieren conforme se acerca ese punto. (Beltrán P., 2020).

Figura 2.10

Hietograma de diseño T=200 años.



Esto permitió estimar las precipitaciones para un período de dos horas con un intervalo de retorno de 200 años. Posteriormente, se desarrolló un hietograma para la zona de estudio, combinando los datos de los hietogramas de las tres estaciones, a través del método del bloque alterno. Para lograr un mayor realismo, se utilizó la técnica de ponderación IDW que asigna mayor influencia a las estaciones más cercanas. Así, la tormenta de diseño se configuró teniendo en cuenta la proximidad de cada estación meteorológica, garantizando que las condiciones locales específicas fueran representadas de manera adecuadas.

2.5.2 Modelo hidrológico

Para desarrollar la simulación lluvia-escorrentía, se optó por utilizar el programa HEC-HMS debido a su disponibilidad gratuita, facilidad de uso, y la variedad de métodos que ofrece para la transformación de la precipitación en escorrentía, así como para modelar el transporte de crecidas. El primer paso del proceso fue la delimitación de la cuenca, utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM).

Figura 2.11

Delimitación de la cuenca en Hec-HMS.



Posteriormente, se llevó a cabo la determinación de las direcciones de flujo y las acumulaciones correspondientes. Este análisis permitió identificar los cursos de agua que poseían una cuenca con un área mínima de 2.5 km².

Posteriormente, se procedió a seleccionar un método adecuado para calcular la lluvia efectiva, optando por el método del número de curva del SCS. Esta decisión se fundamentó en la disponibilidad de información detallada sobre el uso del suelo y el tipo de suelo en la zona de estudio. Para caracterizar el uso del suelo, se empleó imágenes obtenidas de la agencia espacial Europa (ESA) (2020), mientras que para definir el tipo de suelo se recurrió a datos proporcionados por *NASA Earthdata* (2017). Finalmente, los valores de CN (Número

de Curva) fueron ajustados con base en las características específicas descritas por Chow (1994), para un desempeño más realista de la simulación.

Tabla 2.7

Uso de suelo y valores de CN.

Código ESA	Descripción (ESA)	Equiv (Chow,1988) o NEH 630 Cap 9	Suelo C	Suelo C/D	Suelo D	Suelo D/D
10	Tree Cover	Bosques: Cobertura buena	70	73.5	77	77
20	Shrubland	Bosque-pastizal, combinación buena (Good)	72	75.5	79	79
30	Grassland	Pastizales: condiciones óptimas	74	77	80	80
50	Build-up	Caminos	87	88	89	89
60	Bare/spare vegetation	Pastizales: condiciones pobres	86	87.5	89	89

En la Tabla 2 se observa que la cuenca presenta suelos de los tipos C, C/D, D y D/D. Es importante mencionar que, para el tipo de suelo C/D, se utilizó un promedio entre los valores de CN de los suelos C y D, asegurando una representación adecuada de las características mixtas de este tipo de suelo. En cambio, para el tipo de suelo D/D, se asignó el mismo valor de CN que al suelo D.

Para determinar el valor de CN se elaboró un archivo ráster del número de curva, integrando datos espaciales detallados de la cuenca. Este archivo ráster se importó al programa Hec-HMS. El programa Hec-HMS utilizó este archivo ráster para calcular los valores de CN, aplicando la ecuación 2.4, lo que permitió una evaluación de las características de escorrentía de la cuenca.

Para la etapa de transformación, que convierte la lluvia efectiva en escurriencia superficial, se utilizó el hidrograma unitario del SCS. El único parámetro requerido para este método es el tiempo de retardo de la cuenca, estimado mediante la ecuación del USDA, diseñada para cuencas pequeñas de menos de 8 km². Para la estimación del tránsito hidrológico, se aplicó el método de Muskingum, detallado en el apartado 2.1.4.3.

2.5.3 Modelo hidrodinámico

2.5.3.1 Procesamiento de datos topográficos. Una vez obtenidas las ortofotos a través del levantamiento de información del dron, se tomó los datos para la creación de un modelo de elevación digital. Para la creación de la nube densa de puntos, se importaron las ortofotos con la calidad de imagen más alta en el software para luego calibrarlas con los puntos de control e imágenes de referencia. Las ortofotos con la señalética capturadas en el vuelo del dron fueron precisadas con el fin de ajustar el dato procesado con el dato real tomado en campo, generando precisión en el modelo. Se obtuvo 2 áreas visibles de superficie variable visualizadas en la imagen 2.12, las cuales fueron procesadas para generación del modelo de elevación digital.

Figura 2.12

Procesamiento de imágenes topográficas.



Figura 2.13

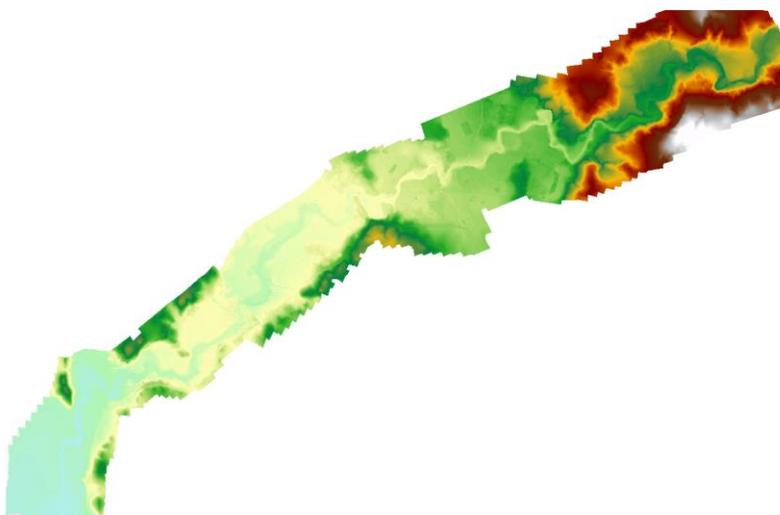
Nube de puntos obtenida del área de estudio.



Una vez obtenida la nube de puntos en el software de procesamiento, se procedió a crear el modelo de elevación digital, considerando únicamente los puntos correspondientes al suelo. Fue necesario depurar los puntos para eliminar valores aberrantes, como alturas inusuales o picos elevados causados por árboles o edificaciones, ya que estos no representaban el terreno real en la nube de datos.

Figura 2.14

Modelo de elevación digital generado a partir del levantamiento topográfico RTK.



2.5.3.2 *Modelado en Hec-RAS*. Una vez culminado el procesamiento de las ortofotos para la generación del DEM, se procedió a la creación de la simulación de tránsito de caudales con el software HEC-RAS. El DEM obtenido fue unido en conjunto a otro DEM del río Valdivia proporcionado por el CADS para crear una representación real del comportamiento del río. El modelo de elevación final fue procesado en HEC-RAS para la creación de la batimetría del río, al cual se le añadirá el dique a construirse.

2.5.3.3 *Coefficiente de rugosidad de Manning*. El coeficiente de Manning o también denominado coeficiente de rugosidad es un parámetro que describe la resistencia al flujo de un canal (Arcement et al, 1989). Puede estimarse bajo ciertos criterios empleando la siguiente expresión:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (2.5)$$

Donde n_b corresponde al material del lecho del canal, n_1 representa la irregularidad longitudinal de la superficie del canal, n_2 es la variación de sección del canal, n_3 es dada por la obstrucción que presenta el canal a lo largo del cauce, n_4 se determina por la cantidad de vegetación presente en las llanuras o en la superficie del canal y m siendo un factor dado por la influencia de los meandros dentro del cauce.

Para el área de estudio del río, se determinó dicho valor con ayuda de fotos obtenidas en la salida de campo, adicionando imágenes satelitales de la zona de estudio. Con base en la Guía para la selección del coeficiente de rugosidad para canales naturales o llanuras dada por la USGS en 1989, se aproximó para cada tramo su valor correspondiente bajo los criterios establecidos.

Tabla 2.8

Rugosidades estimadas en el área de estudio.

Tramo	Sección	n_b	n_1 Irregularidad	n_2 Variación de sección	n_3 Obstrucción	n_4 Vegetación	m Meandros	Coefficiente de Manning
-------	---------	-------	------------------------	----------------------------------	----------------------	---------------------	-----------------	----------------------------

Tramo 1	Izquierdo	0,029	0,009	0,000	0,010	0,025	1,000	0,073
(0+000-	Centro	0,028	0,007	0,001	0,005	0,008	1,150	0,056
1+600)	Derecho	0,029	0,008	0,000	0,005	0,020	1,000	0,062
Tramo 2	Izquierdo	0,030	0,011	0,000	0,010	0,026	1,000	0,077
(1+600-	Centro	0,028	0,007	0,001	0,003	0,008	1,300	0,061
3+200)	Derecho	0,028	0,008	0,000	0,010	0,020	1,000	0,066
Tramo 3	Izquierdo	0,030	0,011	0,000	0,012	0,021	1,000	0,074
(3+200-	Centro	0,028	0,007	0,001	0,003	0,008	1,150	0,054
4+400)	Derecho	0,029	0,009	0,000	0,011	0,020	1,000	0,069
Tramo 4	Izquierdo	0,029	0,009	0,000	0,005	0,021	1,000	0,064
(4+400-	Centro	0,030	0,007	0,001	0,005	0,008	1,150	0,059
6+000)	Derecho	0,029	0,008	0,000	0,010	0,019	1,000	0,066
Tramo 5	Izquierdo	0,029	0,011	0,000	0,011	0,019	1,000	0,070
(6+000-	Centro	0,030	0,006	0,001	0,003	0,008	1,300	0,062
7+600)	Derecho	0,029	0,010	0,000	0,010	0,018	1,000	0,067
Tramo 6	Izquierdo	0,031	0,008	0,000	0,010	0,019	1,000	0,068
(7+600-	Centro	0,032	0,005	0,001	0,005	0,008	1,150	0,059
8+200)	Derecho	0,028	0,009	0,000	0,010	0,016	1,000	0,063

Se ingresó el modelo topográfico de la zona previamente obtenida. Para calibrar la simulación de tránsito se tomó puntos de control específicos en los sectores donde se registró la mayor acumulación de agua durante el invierno más severo que ha experimentado la localidad. Este evento extremo proporcionó una profundidad máxima de 3.3 metros de tirante de agua, verificado a través de entrevistas con los comuneros, quienes proporcionaron datos históricos aproximados sobre las cotas alcanzadas por el agua durante ese periodo crítico.

La simulación resultó en un caudal de 164 m³/s para un periodo de retorno de 200 años, determinado mediante la modelación lluvia-escorrentía en HEC-HMS, utilizando el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y Muskingum descrito en el apartado 2.1.4.2 y 2.1.4.3. Adicionalmente, se incorporó los coeficientes de Manning detallados en la tabla 2.9.

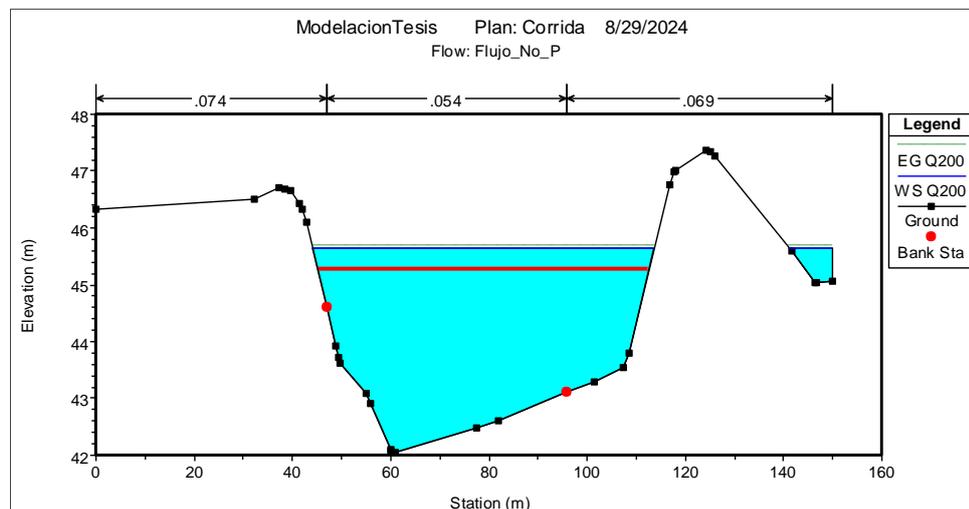
Tabla 2.9

Datos del valor de Muskingum antes de la calibración de datos

Nombre	Longitud R (km)	S (m/m)	K(h)	X
R1	0.266	0.009	0.160	0.5
R2	3.223	0.007	1.122	0.5
R3	3.617	0.015	1.066	0.5
R4	3.251	0.015	0.984	0.5
R5	1.781	0.025	0.564	0.5
R6	0.917	0.030	0.328	0.5

Figura 2.15

Tirante máximo antes de la calibración de datos



Nota. La franja roja indica el límite máximo del nivel del agua esperado.

El modelo estimó un tirante de 3.64 metros, superando el nivel máximo establecido de 3.3 metros, como se muestra en la Figura 2.15. Por lo tanto, fue necesario calibrar el modelo lluvia-escorrentía para reducir el caudal, lo cual se logró ajustando los valores de Muskingum a un valor menor como se muestra en la tabla 2.10. Tras la calibración, el tránsito de caudales

indicó 128.2 m³/s para un periodo de retorno de 200 años. En la Figura 2.16, se observa que el tirante obtenido es de 3.3 metros, lo que indica que el modelo está correctamente calibrado.

Tabla 2.10

Valores de Muskingum después de la calibración de datos

Nombre	Longitud R (km)	S (m/m)	K(h)	X	#Subreaches
R1	0.266	0.009	0.160	0.05	2
R2	3.223	0.007	1.122	0.05	8
R3	3.617	0.015	1.066	0.05	8
R4	3.251	0.015	0.984	0.05	7
R5	1.781	0.025	0.564	0.05	4
R6	0.917	0.030	0.328	0.05	3

Figura 2.16

Tirante máximo después de la calibración de datos

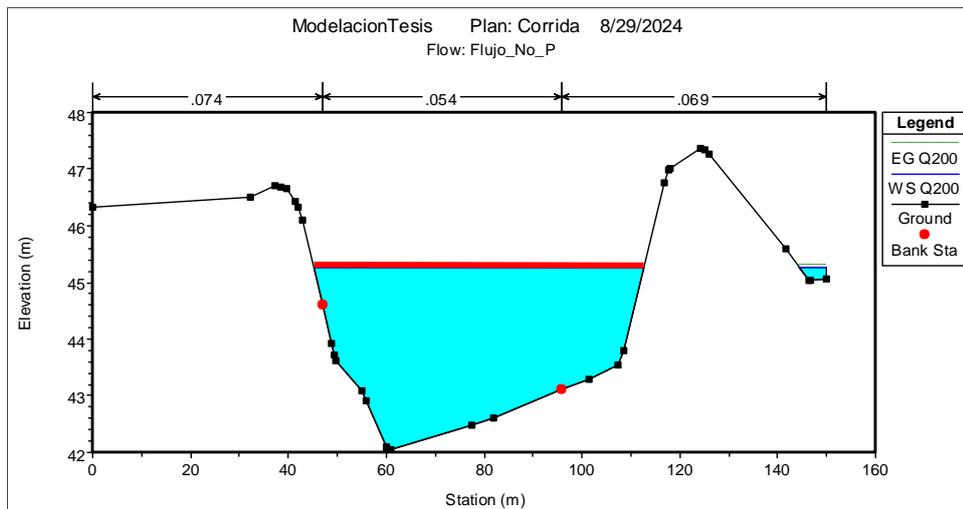
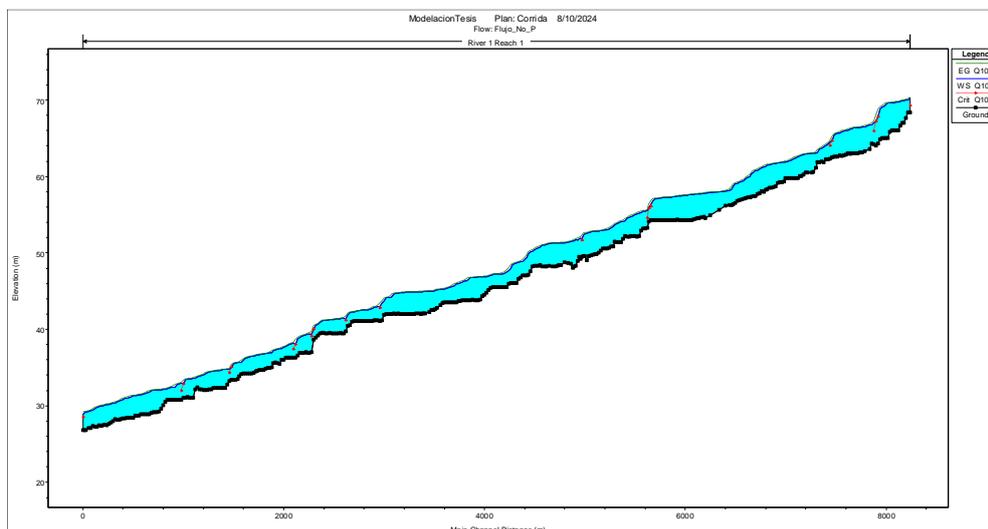


Figura 2.17

Perfil longitudinal del cauce



2.6 Análisis de alternativas

Para definir la selección de alternativas se hizo uso de las curvas de nivel dadas por el levantamiento topográfico y su posterior procesamiento. El desarrollo de estas opciones se basó en las llanuras de inundación, es decir que en caso exista un evento catastrófico, el nivel del agua rebasará la corona del dique construido. Para lo cual, la evaluación en HEC-RAS asistió en la determinación de tres posibles zonas para la implementación del dique.

Figura 2.18

Zonas tentativas para construcción de dique.



Para seleccionar la opción más conveniente a los requerimientos de la comuna, se tomó como base las curvas de nivel obtenidas a partir del levantamiento y procesamiento topográfico. Esto permitió identificar la llanura de inundación en la cual el agua podría incrementar su nivel en caso de un suceso crítico. Se consideró criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos, a ser descritos a continuación.

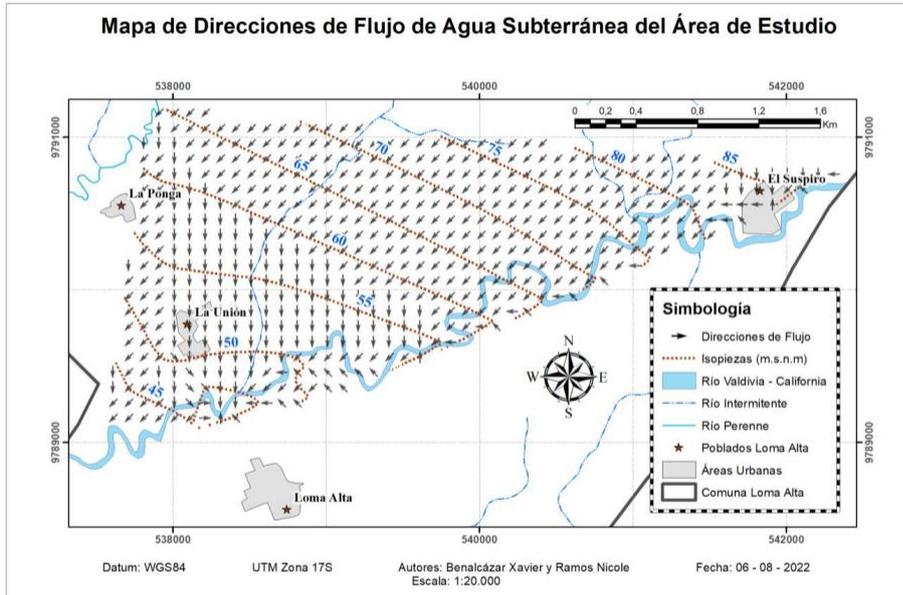
Criterios técnicos:

- Disponibilidad de materiales: lugares cercanos a la zona tentativa de construcción del dique y vertedero.
- Accesibilidad al sitio: ingreso de maquinarias y vehículos de carga al sitio de construcción.
- Ancho del cauce: es la distancia horizontal medida entre las orillas opuestas del río en un punto específico.
- Recarga del acuífero: La ubicación escogida debe alimentar el acuífero o a su vez considerar almacenamiento de pozos dentro del área de estudio. Las direccionesde

flujo detalladas en las isopiezas de la figura a continuación permiten visualizar el comportamiento del acuífero, haciendo que este aporte significativamente a la recarga del río (Benalcázar C., 2022).

Figura 2.19

Mapa de direcciones de flujo de agua subterránea del área de estudio.



Nota. Autor: Benalcázar, 2022

Criterios sociales:

- Aceptación por parte de la directiva de la comuna: La junta directiva de la comuna (representante de los pobladores) debe estar de acuerdo con la intervención en la zona especificada.
- Pobladores afectados: La ubicación escogida debe afectar a la menor cantidad de pobladores y sembríos posibles.

Criterios ambientales:

- Afectación a la reserva natural Loma Alta: Dentro de la comuna Loma Alta, se ha instaurado una reserva ecológica la cual no debe ser afectada por términos de conservación a la biodiversidad.

Criterios económicos:

- Costos de construcción: Cantidad constructiva de materiales y mano de obra.
- Costos operativos o de mantenimiento: Costo promedio de la operatividad y funcionalidad brindada por el dique.

Se desarrolló una matriz de Likert para la selección y posterior determinación de la ubicación de la construcción del dique. Con base en el DEM generado se situó tres puntos estratégicos donde se realizará el dique respectivo.

Tabla 2.11

Escala de Likert

Escala	Ponderación
Totalmente conveniente	5
Conveniente	4
Indistinta	3
Inconveniente	2
Totalmente inconveniente	1

Tabla 2.12

Matriz de Likert.

Criterios	Clasificación	%	Propuesta		
			1	2	3
Técnicos	Disponibilidad de materiales	25	3	3	5
	Accesibilidad al sitio		2	4	5
	Ancho del cauce		4	4	3
	Recarga del acuífero		1	3	5
	Total 1		0,63	0,88	1,13
Ambientales	Afectación a la reserva ecológica Loma Alta	25	3	5	4
	Total 2		0,75	1,25	1
	Sociales	Aceptación por parte de la directiva de la comuna	15	3	3
Pobladores afectados			2	3	4

	Total 3		0,38	0,45	0,68
Económicos	Costos de construcción	35	2	4	5
	Costos operativos o de mantenimiento		3	4	5
	Total 4		0,88	1,40	1,75
	Total		2,63	3,98	4,55

Capítulo 3

3 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES

3.1 Diseño del dique

3.1.1 Prediseño del dique

La altura del embalse debe de ser determinada para garantizar que el dique no sea sobrepasado por el agua. Además, el diseño del vertedero debe permitir la evacuación eficiente de los caudales excedentes, asegurando así la seguridad y funcionalidad del sistema de control de aguas. Esto es importante para prevenir inundaciones y proteger tanto la infraestructura del embalse como las áreas circundantes.

El objetivo del modelo hidrodinámico es seleccionar las cotas de manera que la llanura de inundación no afecte a las comunidades vecinas, considerando un borde libre de 0.6 metros y un ancho de coronación de 3 metros. Estos parámetros de prediseño se obtuvieron de la tabla 3.1. Además, la estabilidad del talud durante su vida útil depende de la inclinación del terraplén.

Según el USBR (US Bureau of Reclamation), se recomienda una relación de taludes de 2H:1V, como se ilustra en la Tabla 3.2 esto está validado con los ensayos de geotecnia realizados como se menciona en el apartado 2.4. El análisis del reservorio se llevó a cabo considerando un caudal de $128.2 \frac{m^3}{s}$ con un período de retorno de 200 años, lo que constituye el escenario más desfavorable y cumple con las normas establecidas (USBR, 1987).

Tabla 3.1

Estimación del borde libre.

Descarga de diseño (m ³ /s)	Borde libre (m)	Ancho de la corona (m)
Menos que 200	0.6	3
De 200 hasta 500	0.8	3
De 500 hasta 2000	1	4

De 1000 hasta 2000		
De 2000 hasta 5000	1.2	5
De 5000 hasta 10000	1.5	6
De 10000 a más	2	7

Tabla 3.2

Definición de pendiente aguas arriba y aguas bajo del río

Caso	Tipo	Propósito	Sujeto a reducción rápida	Clasificación del suelo	Pendiente aguas arriba	Pendiente aguas abajo
A	Homogéneo o modificado-homogéneo	Detención o almacenamiento	No	GW,GP,SW,SP	Permeable, inadecuado	
				GC,GM,SC,SM	2.5:1	2:1
				CL,ML	3:1	2.5:1
				CH,MH	3.5:1	2.5:1
B	Modificado-homogéneo	Almacenamiento	Si	GW,GP,SW,SP	Permeable, inadecuado	
				GC,GM,SC,SM	3:1	2:1
				CL,ML	3.5:1	2.5:1
				CH,MH	4:1	2.5:1

Era necesario asegurar que el nivel del agua no superara la cota de corona del dique. Para ello, se destinó 60 cm de borde libre. Para complementar este criterio de seguridad, se incluyó un aliviadero lateral (vertedero de emergencia). Esta estructura se encuentra a 200 metros aguas arriba del dique principal, ofreciendo una solución adicional para el manejo del exceso de agua en situaciones de emergencia. El vertedero principal tiene una cota de cresta de 46.7 m.s.n.m. Por otro lado, el vertedero de emergencia, con una cota de 48.2 m.s.n.m., está diseñado para activarse en caso de eventos extremos (ej más allá del periodo de retorno de diseño).

Figura 3.1

Modelación en Hec-Ras del dique

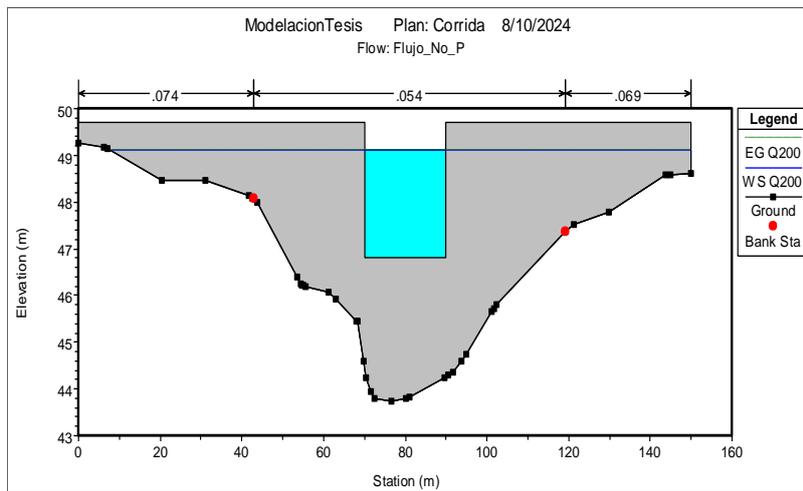
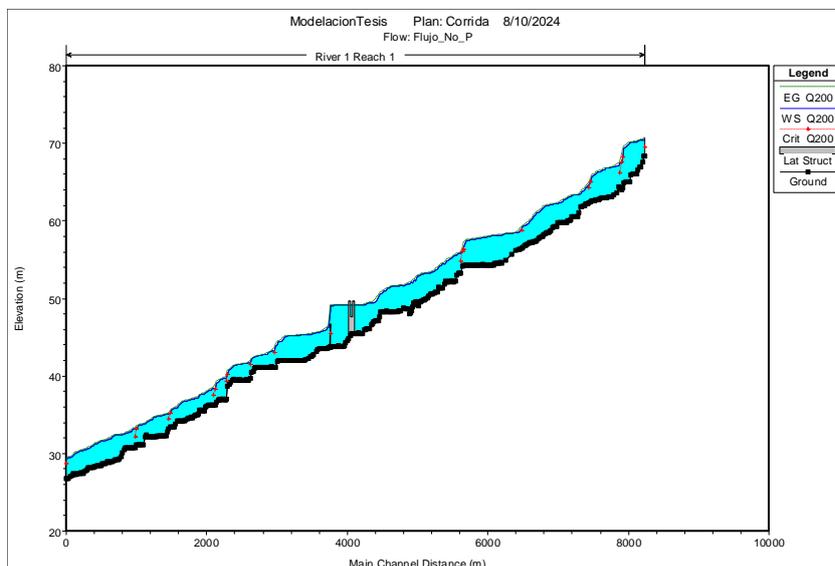


Figura 3.2

Vista longitudinal del dique principal y el de emergencia



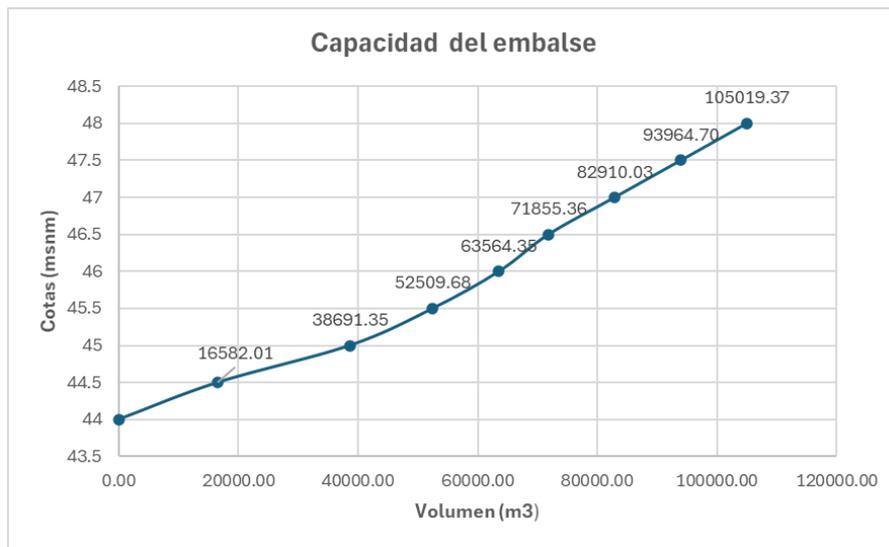
Para determinar la capacidad de almacenamiento del reservorio, se empleó el programa QGIS en conjunto con el Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio.

A partir del DEM, se generó curvas de nivel con una separación de 0.5 metros.

Posteriormente, se creó polígonos que representaban la forma del embalse, utilizando el mismo intervalo de 0.5 metros entre las curvas de nivel. Como se puede observar en la imagen 3.3, el volumen de reserva es de 105,019.37 m³.

Figura 3.3

Capacidad del embalse (curva elevación-volumen)



3.1.2 *Tiempo de vida de la obra*

La acumulación de sedimentos en los embalses representa un problema serio que disminuye su longevidad. Esta situación disminuye la capacidad inicial del embalse y repercute negativamente en el abastecimiento de agua potable, el riego y las operaciones hidroeléctricas (Mekonnen et al., 2022). La proporción de sedimentos que se acumula en un embalse se determina como un porcentaje del sedimento que ingresa, y se denomina *sediment Trap Efficiency* (TE, por sus siglas en inglés) (Revel et al., 2015). Bajo este enfoque, Brune (1956) formuló la siguiente ecuación para la retención de sedimentos.

$$E = 1 - \frac{1}{1 + k * \frac{C}{A}} \quad (3.1)$$

E: Eficiencia de retención de sedimentos [%]

C: Capacidad del reservorio [acre * ft]

k: Es un valor adimensional que depende del tipo de sedimento que fluye por el cauce,

1 para agregado grueso, 0.1 arenas y 0.046 material fino

A: Área de la cuenca que aporta al dique [mi^2]

Asimismo, Mohammad (1979) presenta la siguiente ecuación para estimar la cantidad de sedimentos que se acumulan a lo largo del tiempo:

$$C - C_0 = G * E * \frac{\Delta t}{\bar{\gamma}} \quad (3.2)$$

C, C_0 : Capacidad del reservorio inicial y final [acre * ft]

G : Peso propio del sedimento de producción en 1 año [lb]

E : Eficiencia de retención de sedimentos [%]

$\bar{\gamma}$: Densidad promedio del sedimento [lb/ft³]

Δt : Tiempo en alcanzar la capacidad final [años]

Dado que no se disponía del dato de producción de sedimentos anual, se calculó el factor de pérdida del suelo aplicando el método USLE (Universal Soil Loss Equation). Este método cuantitativo permite medir la erosión hídrica de manera indirecta, ya que estima los resultados mediante la modelización del comportamiento natural del suelo frente a la precipitación pluvial (Ibáñez, 2015).

$$G = R * K * LS * C * P \quad (3.3)$$

G : Pérdida anual de suelo $\left[\frac{\text{Ton}}{\text{Ha} * \text{año}} \right]$

R : Factor de erosividad de lluvia $\left[\text{MJ} * \frac{\text{mm}}{\text{ha}} * \text{h} * \text{año} \right]$

K : El factor de erosividad del suelo $\left[\text{Ton} * \text{ha} * \frac{\text{h}}{\text{ha}} * \text{MJ} * \text{mm} \right]$

L : El factor de longitud de pendiente [m]

S : Factor de inclinación de pendiente [grados]

C : Factor de cobertura vegetal [adimensional]

P : Factor de prácticas de conservación [adimensional]

Para el parámetro R, se utilizó los datos de las mismas estaciones empleadas en el análisis del hietograma, como se muestra en la tabla 3.3. Se determinó que, en la cuenca de estudio, para una duración de 5 minutos y 1 tormenta, la intensidad es de 231.57 mm/h.

Basándose en estos datos, se procedió a utilizar la siguiente tabla.

Tabla 3.3

Erosión total

Máxima agua caída en 5 minutos (mm/hr)	Número de tormentas	Erosión por tormenta (t/ha)	Erosión total (t/ha)
0-25.4	40	3.7	148.0
25.5 – 50.8	61	6.0	366.0
50.9 – 76.2	40	11.8	472.0
76.3 – 101.6	19	11.4	216.6
101.7 - 127.0	13	34.2	444.6
127.1 – 152.4	4	36.3	145.2
151. 5 – 177.8	5	38.7	193.5
177.9 – 254.0	1	47.9	47.9

Para el parámetro K, se utilizó los resultados de análisis de suelo de la zona de interés. Se aplicó una fórmula empírica 3.4 diseñada específicamente para estimar la erodibilidad en suelos tropicales, un componente clave en los modelos de erosión. Esta ecuación, derivada de estudios realizados en regiones tropicales, proporciona una estimación aproximada de la erodibilidad del suelo. (Chaves,1996):.

$$K = 0.00043 * \frac{AF + SIL}{CO} + 0.000437 * AR + 0.000863 * SIL \quad (3.4)$$

$K = \text{erodibilidad del suelo } [Ton * h * MJ^{-1} * mm^{-1}];$

$AF = \% \text{ de arena fina};$

$SIL = \% \text{ de limo};$

$CO = \% \text{ de carbono orgánico.}$

$AR = \% \text{ arena total del suelo.}$

Para calcular el factor (LS), se utilizó la ecuación 3.5. Esta ecuación requiere información sobre el porcentaje de pendiente del terreno (S), la longitud desde el inicio de la escorrentía hasta el punto de deposición del sedimento (LP) y el exponente influenciado por la longitud y el grado de pendiente (NN). Los valores de S y LP fueron estimados utilizando el software QGIS, basándose en la topografía del área de estudio.

$$LS = \left(\frac{LP}{22.1} \right)^{NN} * [0.065 + 0.0456 * S + 0.006541 * S^2] \quad (3.5)$$

Para los factores C y P, se consideró la condición más crítica del terreno, es decir, cuando el suelo es extremadamente susceptible a la erosión. Además, se asumió que no se realizará intervención humana para eliminar los sedimentos acumulados en el fondo del cauce con el paso del tiempo, situación lamentablemente muy común en Latinoamérica. Por lo tanto, se asignó valores de 1 a estos factores. Con el factor de pérdida de suelo determinado, se calculó la producción anual de sedimentos, así como la capacidad final de almacenamiento del reservorio y el tiempo necesario para alcanzar esa acumulación (Tabla 3.4 y Tabla 3.5).

Tabla 3.4

Datos y cálculos parciales de la vida útil.

Datos	
Volumen del reservorio	
[m3]	105019.37
C0 [acre ft]	85.14
Área [ha]	5537.71
Área [mi2]	21.38
C/A [acre ft/mi2]	3.98
K	0.09
E [%]	26.38

G [lb/año]	77860.34
y [lb/ft³]	156.62

Tabla 3.5

Resultados de la capacidad de embalse perdida.

Porcentaje de pérdidas de embalse [%]	t [años]	Capacidad de embalse final (m³)	Capacidad de embalse final (m³)
0	0	105019.365	3708720.89
25	7069.55	78764.5238	2781540.66
50	14139.11	52509.6825	1854360.44
75	21208.66	26254.8413	927180.22
100	28278.21	0	0.00

Tras evaluar el tiempo requerido para que la acumulación de sedimentos en el fondo del reservorio reduzca su capacidad en un 25%, se concluye que serían necesarios más de mil años para alcanzar tal disminución. Por lo tanto, no resulta imprescindible incluir compuertas en el diseño del dique. Sin embargo, esto no implica que el reservorio esté exento de necesidad de mantenimiento.

Es crucial llevar a cabo una limpieza periódica de sedimentos para asegurar el buen funcionamiento del sistema, especialmente en las áreas cercanas a los vertederos donde la acumulación de sedimentos puede ser más pronunciada. Este mantenimiento (idealmente antes y después de cada época invernal) ayudará a preservar la eficiencia del reservorio y a prevenir problemas potenciales relacionados con la sedimentación.

3.1.3 Estimación de la socavación

La socavación se produce cuando los materiales del lecho del río son levantados y transportados durante una crecida o debido a la construcción de una estructura en el cauce. Este proceso está influenciado por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la disposición y forma de los elementos que lo causan (Suárez,

2001). El método de Lischtván-Lebediev fue utilizado para determinar la erosión en el lecho y las orillas del río (Schreider et al., 2001).

Debido a la considerable cantidad de limos y arcillas presentes en el río, se optó por utilizar la ecuación 3.6, que está diseñada específicamente para calcular la erosión en materiales cohesivos.

$$hs = \left[\frac{5780 * \alpha * h_o^{\frac{5}{3}}}{\beta * \gamma_m^{1.18}} \right]^{\frac{\gamma_m^{0.725}}{66.28 + \gamma_m^{0.725}}} \quad (3.6)$$

h_o : Es el tirante máximo que se genera en la zona [m]

γ_m : Es el peso específico del material del río $\left[\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right]$

h_s : Socavación que se genera en el cauce [m]

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \ln (T) \quad (3.7)$$

T : Es el periodo de retorno [años]

$$\alpha = \frac{Q}{h_m^{\frac{5}{3}} * B_e} \quad (3.8)$$

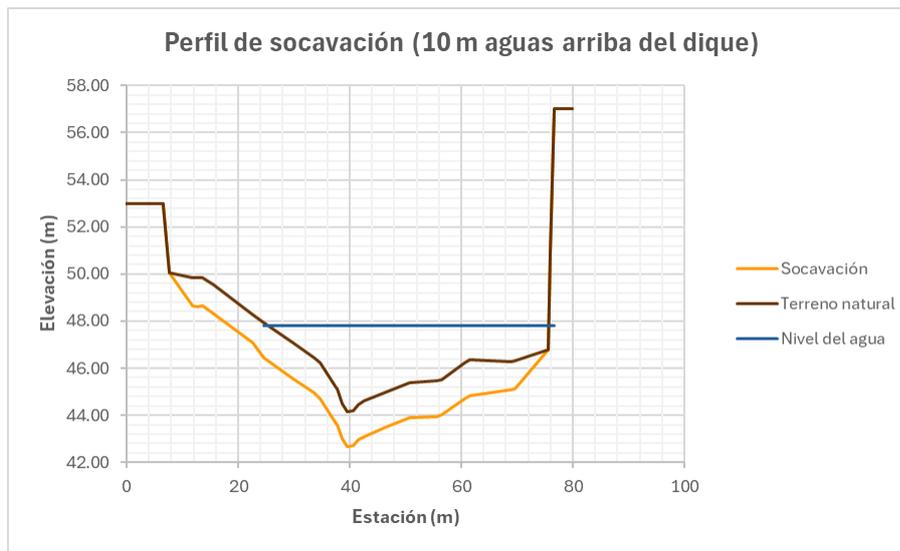
Q : Caudal de diseño $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

h_m : Tirante promedio del río [m]

B_e : Ancho de la superficie del agua [m]

Figura 3.4

Socavación 10m aguas arriba del dique



Las secciones adicionales están disponibles en los anexos. La Figura 3.4 indica que la socavación en las orillas fue menos pronunciada que en el lecho del río. En consecuencia, se recomienda una profundidad mínima de 1.5 metros para la cimentación del vertedero y de 1 metro para la cimentación de los diques en las orillas, pero se decide utilizar 1.5 metros para todo el cauce.

3.1.4 Diseño del enrocado de protección del dique

El enrocado o pedraplén en un dique es fundamental para asegurar su estabilidad y durabilidad. Actúa como una protección contra la erosión, previene la socavación en la base y las orillas, estabiliza los taludes, y reduce la energía del viento sobre el terraplén. Además, distribuye las cargas de manera uniforme y aumenta la resistencia geotécnica del dique frente a deslizamientos y fallos estructurales, sin alterar el flujo del cauce del agua. En conjunto, estas funciones contribuyen a mantener la integridad y eficacia del dique a lo largo del tiempo (Jansen, 2003) (NHI, 2009). Para el diseño del pedraplén, se aplicó la siguiente fórmula:

$$d_{50} = 1.2 * y(S_f * C_s * C_v * C_T) \left[\frac{V_{des}}{\sqrt{K_1 * (S_g - 1)gy}} \right]^{2.5} \quad (3.9)$$

d_{50} : dimensión de la partícula [m]

y : profundidad del flujo en un punto específico [m]

S_f : factor de seguridad mayor a 1

C_s : coeficiente de estabilidad

C_v : coeficiente de distribución de velocidad

C_T : coeficiente de espesor de la manta en relación con el índice de uniformidad

V_{des} : velocidad de diseño, profundidad ubicada a 20% hacia arriba [m/s]

K_1 : factor de correlación de pendiente lateral

S_g : gravedad específica de la escollera

g : aceleración de la gravedad [m/s²]

Tabla 3.6

Tamaño de partícula mínimo y máximo permitido en pulgadas.

Clase nominal de escollera por diámetro medio de partícula		d_{15}		d_{50}		d_{85}		d_{100}
Clase	Tamaño [in]	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
I	6	3.7	5.2	5.7	6.9	7.8	9.2	12.0
II	9	5.5	7.8	8.5	10.5	11.5	14.0	18.0
III	12	7.3	10.5	11.5	14.0	15.5	18.5	24.0
IV	15	9.2	13.0	14.5	17.5	19.5	23.0	30.0
V	18	11.0	15.5	17.0	20.5	23.5	27.5	36.0
VI	21	13.0	18.5	20.0	24.0	27.5	32.5	42.0
VII	24	14.5	21.0	23.0	27.5	31.0	37.0	48.0
VIII	30	18.5	26.0	28.5	34.5	39.0	46.0	60.0
IX	36	22.0	31.5	34.0	41.5	47.0	55.5	72.0
X	42	25.5	36.5	40.0	48.5	54.5	64.5	84.0

Nota: El tamaño de partícula d corresponde al eje intermedio ("B") de la partícula.

Nota. Fuente: NHI, 2009

Se calculó el diámetro de la partícula utilizando la ecuación 3.9, obteniendo un d_{50} de 4.18 in. Al comparar este resultado con la Tabla 3.6, se observó que el d_{50} no se encuentra dentro del rango recomendado, por lo que se determinó que el terraplén no necesita enrocado. Sin embargo, como medida precautoria, se decidió implementar un enrocado mínimo de clase I con partículas de 6 pulgadas (15 cm).

Además, siguiendo la normativa (NHI, 2009), se estableció un espesor mínimo de 1 pie para el enrocado, que se traduce en un espesor final de 12 in (30 cm) para facilitar su instalación. teniendo en cuenta que las orillas deben presentar una pendiente máxima de 1V:2H (NHI, 2009) y que se deben mantener las orillas en caso de contar con ángulos más suaves.

3.1.5 Análisis de estabilidad de taludes

Para el análisis de estabilidad de taludes se consideró la sección crítica transversal del cuerpo del dique a un software de análisis de taludes. Se dividió los materiales de construcción del dique para analizar la estabilidad de taludes. El color amarillo corresponde al material de relleno del dique; la arcilla impermeable para el núcleo del dique se colocó en color verde con textura; y por último, al mejoramiento del suelo se le otorgó un color naranja.

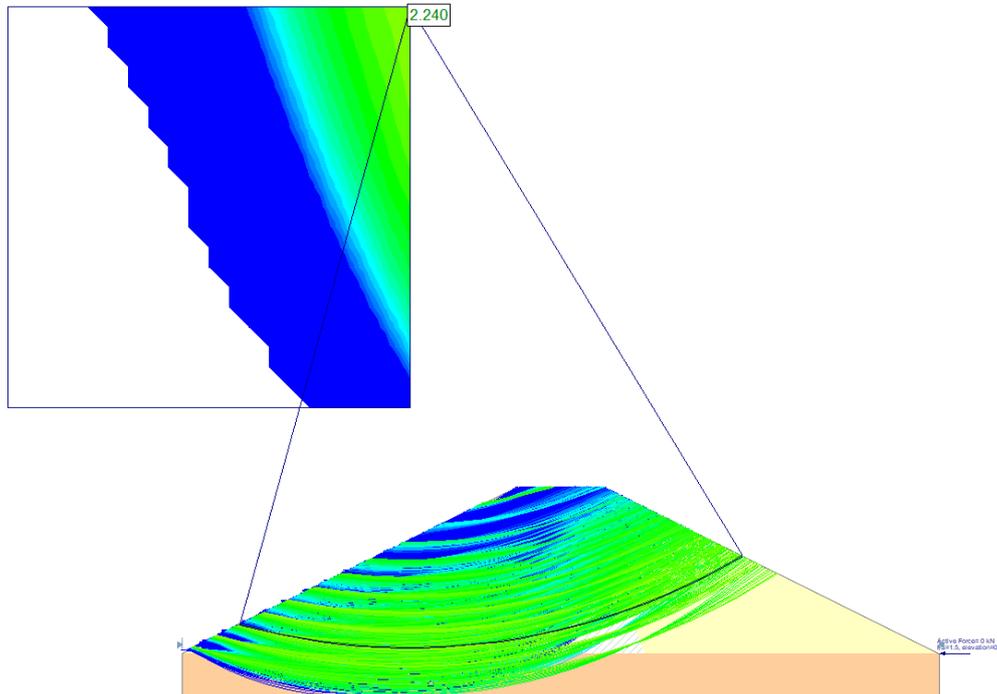
El análisis de estabilidad de talud se elaboró con un factor sísmico de 0.5, debido a que la ubicación de Santa Elena pertenece a un sector altamente sísmico (NEC,2014). La estabilidad del talud se lo desarrolló en dos diferentes casos. Una para identificar las características del dique en tiempos de estiaje y otra cuando el dique atraviesa una inundación.

Para el análisis de estabilidad de taludes en períodos de estiaje (Figura 3.5), se obtuvo un factor de seguridad de 2.24. Este valor cumple con los requisitos establecidos en la Norma

Ecuatoriana de la Construcción (NEC), capítulo de Geotecnia, donde se exige un factor de seguridad mínimo de 1.5.

Figura 3.5

Análisis de estabilidad de taludes en período de estiaje

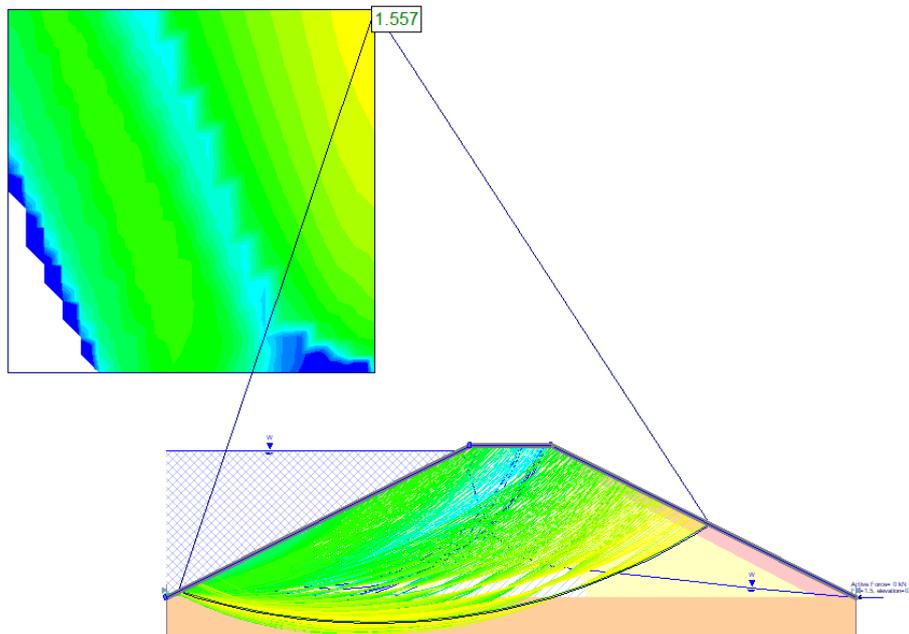


Nota. El análisis comprende el talud bajo condiciones de estiaje con el nivel de agua mínima.

Para el análisis de estabilidad del talud durante períodos de inundación (Figura 3.6), se realizó una caracterización detallada de los distintos estratos del suelo y se implementó el uso de geotextiles tejidos para mejorar las condiciones de estabilidad. Bajo estas condiciones, del análisis se obtiene un factor de seguridad de 1.56 lo cual cumple con los requerimientos especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), capítulo de Geotecnia, que establece un factor de seguridad mínimo de 1.5 para taludes sometidos a condiciones de presencia de agua y sismo.

Figura 3.6

Análisis de estabilidad de talud bajo inundación



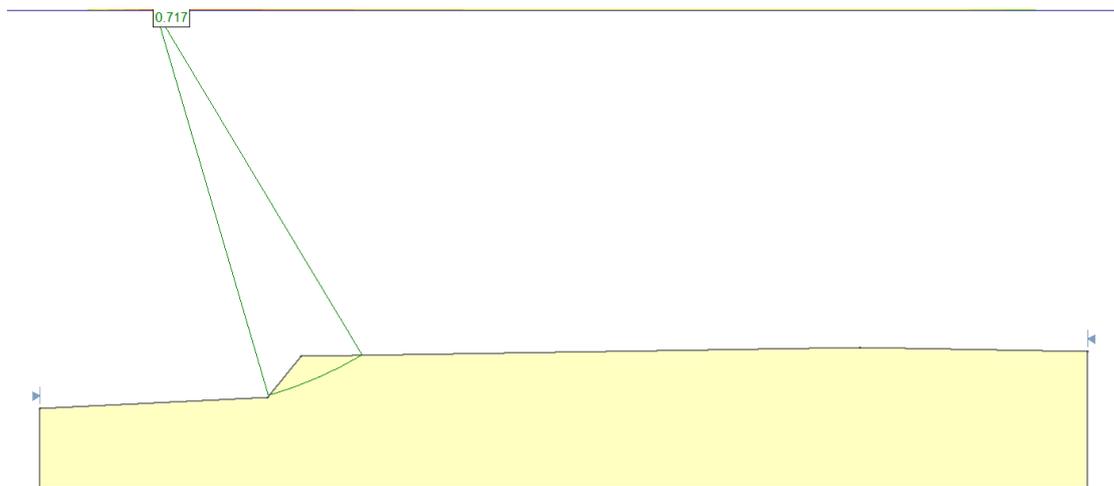
Nota. El análisis comprende el talud bajo condiciones de inundación y coeficiente de sismo.

A su vez, en el análisis del talud ubicado en el cauce del río, mostrado en la Figura 3.7, se observa que el factor de seguridad obtenido es inferior a 1.5, lo que indica que los taludes no alcanzan la estabilidad necesaria.

Los taludes a lo largo del cauce, considerando 200 metros aguas arriba y aguas abajo del vertedero, se encuentran casi verticales, con una inclinación cercana a los 90°. Debido a esta inclinación, no cumplen con el factor de seguridad requerido, lo que representa un riesgo significativo para la estabilidad del vertedero. Para reducir este riesgo, se ha decidido reconformar los taludes, ajustando su pendiente a una relación de 1V:2H, una inclinación que cumple con los criterios de seguridad establecidos.

Figura 3.7

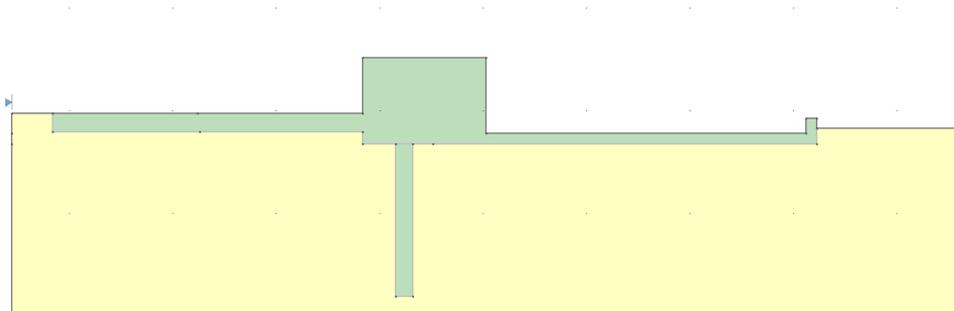
Talud a 100 m aguas arriba del vertedero.



Además, se efectuó un análisis que comprendió características como la carga total, la presión de poros y el caudal de infiltración en el vertedero para prevenir posibles daños estructurales provocados por la infiltración del agua. Para su modelación en el software, se consideró 2 materiales como el suelo colocado en color amarillo y el hormigón en color verde. La simulación indicó la necesidad de incorporar un delantal y una pantalla impermeabilizante para evitar infiltraciones dentro de las áreas de operación.

Figura 3.8

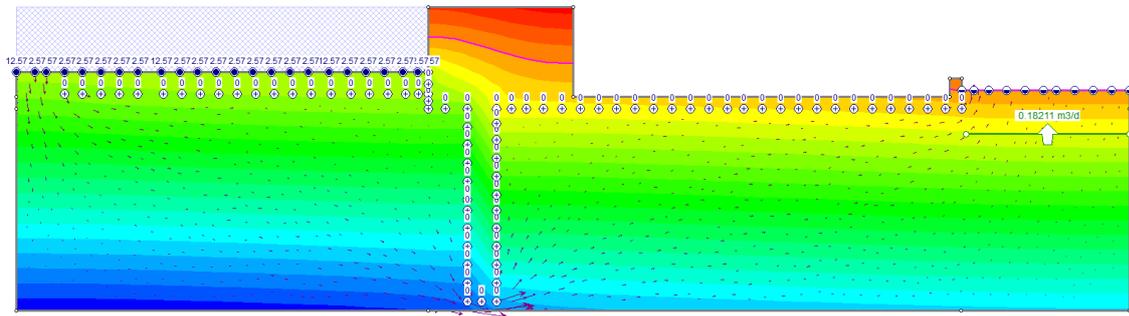
Modelación del vertedero y elementos adicionales como pantalla y delantal.



Nota. Análisis Steady State FEA (Elementos finitos).

Figura 3.9

Análisis Steady State FEA.



El delantal consiste en una losa (capa) adicional de hormigón colocado en la base del vertedero, extendiéndose hacia la zona circundante para evitar que el agua se infiltre bajo la estructura, lo que reduce el riesgo de erosión y debilitamiento del suelo que sostiene el vertedero. Por otro lado, la pantalla impermeabilizante está diseñada para interceptar y redirigir las aguas subterráneas que puedan infiltrarse, evitando que lleguen a las zonas críticas de la estructura. Es importante adicionar el uso de las tablaestacas como protección adicional a dicha pantalla.

3.1.6 Diseño de muro de contención

Los diques, diseñados como muros de contención, son responsables de mantener el río dentro de sus márgenes durante las crecidas. La Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo Cargas Sísmicas menciona que las estructuras de contención brindan soporte lateral, de manera temporal o permanente, a taludes que son verticales o casi verticales y que están formados por tierra, roca o formaciones rocosas muy fracturadas con discontinuidades desfavorables.

En el dimensionamiento de muros de contención, es necesario establecer ciertas dimensiones preliminares. Estas suposiciones permiten evaluar la estabilidad de las secciones de prueba del muro. Si los resultados de la evaluación de estabilidad no son satisfactorios, se

pueden ajustar y reevaluar las secciones. La figura 3.10 presenta las proporciones generales de varios componentes de muros de contención que se pueden usar en las revisiones iniciales (Braja M & León, 2012).

Figura 3.10

Pre-dimensionamiento del muro de contención.

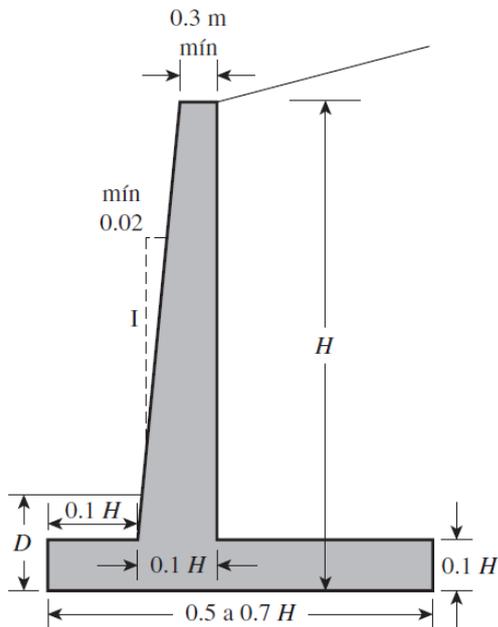


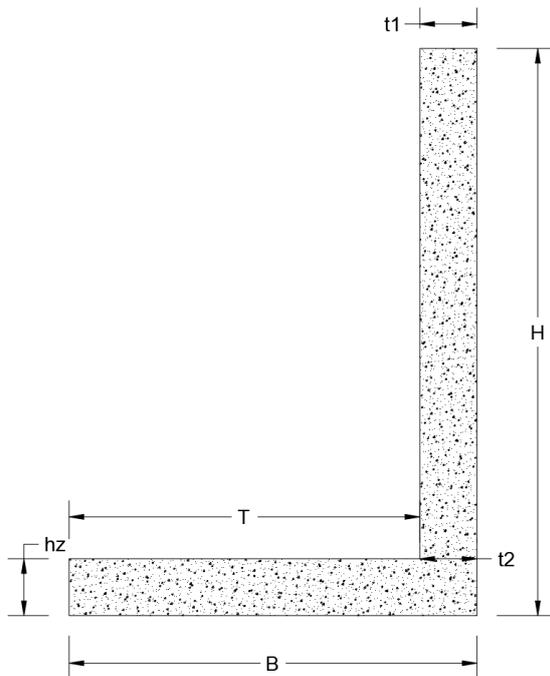
Tabla 3.7

Dimensiones propuestas para el muro de contención.

Dimensiones del muro de contención (m)	
H	7.20
Df	4.20
B	5.35
hz	0.72
t1	0.70
t2	0.70
P	0.00
T	4.65

Figura 3.11

Representación gráfica de las dimensiones del muro.



Para iniciar el cálculo del muro de contención, es fundamental conocer el peso unitario del suelo en el sitio donde se construirá el dique. Según lo mostrado en la tabla 3.8, la muestra correspondiente a la ubicación del dique es la C2-M2. Los pesos unitarios del suelo fueron determinados utilizando las siguientes ecuaciones:

$$e_0 = G_s * w \quad (3.10)$$

$$\gamma = \gamma_d(1 + w) \quad (3.11)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e_0)}{1 + e_0} \quad (3.12)$$

W : humedad natural [%]

G_s : Gravedad específica

e_0 : Relación de vacíos

γ_d : Peso unitario seco [kN/m^3]

γ_w : Peso unitario húmedo [kN/m^3]

γ_{sat} : Peso unitario saturado [kN/m^3]

Tabla 3.8

Resultados de las propiedades intrínsecas del suelo.

Muestra	C1-M1	C1-M2	C2-M1	C2-M2	C3-M1
Profundidad (m)	0.2	1.2	0.2	1.2	1.25
W (%)	91.77	91.77	17.97	105.79	92.93
Gs	2.51	2.51	2.52	2.53	2.50
e0	2.30	2.30	0.45	2.68	2.33
Yd (kN/m^3)	12.82	12.82	20.93	12.06	12.73
Y (kN/m^3)	24.58	24.58	24.70	24.81	24.56
Ysat (kN/m^3)	18.66	18.66	42.81	17.07	18.49

3.1.6.1 *Control por volcamiento.* El factor de seguridad contra el volcamiento se estima utilizando el punto C como referencia, el cual se encuentra en la esquina inferior del lado sin contención de suelo. En la figura 3.12 se muestran las áreas y dimensiones consideradas para este cálculo.

$$FS_{volcamiento} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \quad (3.13)$$

$\sum M_R$: Suma de los momentos de las fuerzas que provocan el volcamiento del muro en relación con el punto C [$kN\cdot m$].

$\sum M_O$: Suma total de los momentos de las fuerzas que actúan en oposición al volcamiento del muro en torno al punto C [$kN\cdot m$].

Figura 3.12

Diagrama de cuerpo libre del muro de contención.

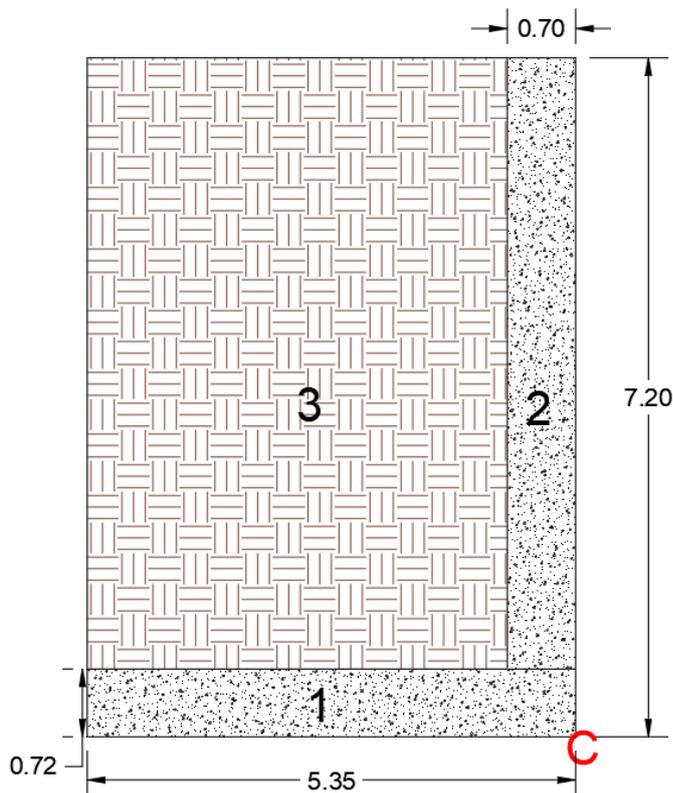


Tabla 3.9

Determinación de las fuerzas y momentos en relación con el punto C.

Sección	Área (m ²)	W/L (kN/m)	x (m)	M (kN- m/m)
1	3.852	90.83	2.68	242.97
2	4.536	106.96	0.35	37.44
3	30.132	363.39	2.68	972.07
ΣF_v		561.18	ΣMF_v	1252.48

La presión activa de Rankine, así como su coeficiente correspondiente, se determinó mediante las siguientes fórmulas:

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * K^2 \quad (3.14)$$

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(\phi')}{1 + \text{sen}(\phi')} \quad (3.15)$$

$$P_h = P_a \cos(\alpha) \quad P_v = P_a \sin(\alpha) \quad (3.16)$$

Tabla 3.10

Información y valores correspondientes a la fuerza activa de Rankine.

ϕ'	30	
γ	12.06	kN/m ³
H	7.20	m
Ka	0.33	m
Pa	104.20	kN/m

El factor de seguridad obtenido fue:

$$F_{S_{\text{volcamiento}}} = \frac{M1 + M2 + M3 + M_{pv} + M_{pa}}{Pa \left(\frac{H}{3}\right)} \quad (3.17)$$

$$F_{S_{\text{volcamiento}}} = \frac{1252.48}{250.08} = 5.01$$

$F_{S_{\text{volcamiento}}} = 5.01 > 3$ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC

3.1.6.2 *Control por deslizamiento.* El factor de seguridad contra el deslizamiento se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{\sum F_R}{\sum F_0} \quad (3.18)$$

$\sum F_R$: suma de las fuerzas horizontales resistentes [kN]

$\sum M_0$: suma de las fuerzas horizontales de empuje [kN]

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{(\sum FV) \tan\left(\frac{2}{3} * \phi'\right) + B * \frac{2}{3} * c'}{P_a \cos \alpha} \quad (3.19)$$

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{(561.18) \tan\left(\frac{2}{3} * 30\right) + 5.35 * \frac{2}{3} * 10}{104.20 \cos(0)} = 2.30$$

$F_{S_{deslizamiento}} = 2.30 > 1.6$ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC

3.1.6.3 Revisión por falla por capacidad de carga. Ubicación de la fuerza resultante:

$$x = \frac{\sum MF_v - \sum M_o}{\sum FV} \quad (3.20)$$

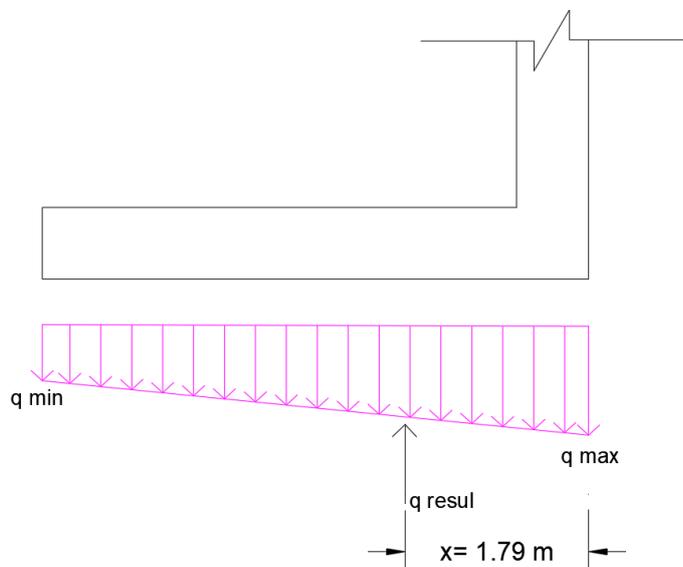
$$x = 1.79 \text{ m}$$

$$\frac{B}{3} \leq x \leq \frac{2B}{3}$$

$1.78 \leq 1.78 \leq 3.57$ Cumple con la NEC-SE-GC

Figura 3.13

Carga excéntrica aplicada al suelo.



Cálculo de la excentricidad:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MF_v - \sum M_o}{\sum FV} \quad (3.21)$$

$$e = \frac{5.35}{2} - 1.79 = 0.89 \text{ m}$$

$$e \leq \frac{B}{6}$$

$0.89 \leq 0.89$ Cumple con la NEC-SE-GC

Cálculo de presión actuante:

$$q_{adm} = \frac{\sum Fv}{B} \left(1 \pm \frac{6 * e}{B} \right) \quad (3.22)$$

$$q_{max} = 209.45 \frac{kN}{m^2} \quad q_{min} = 0.34 \frac{kN}{m^2}$$

Se utilizó la teoría de capacidad de carga propuesta por Terzaghi en 1943 para calcular la capacidad de carga del suelo, la cual indica que:

$$q_{ult} = c' N_c + \sigma'_{zD} N_q + 0.5 \gamma' B N_y \quad (2.23)$$

Tabla 3.11

Parámetros para la capacidad última (Terzaghi)

ϕ'	30
N_c	37.16
N_y	19.13
N_q	22.46

$$q_{ult} = 2126.39$$

$$q_{admisible} = \frac{q_{ult}}{FS} \quad (3.24)$$

$$q_{admisible} = \frac{2126.39}{3} = 708.80 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{max} = 202.24 \leq q_{admsible} = 285.61 \quad \text{Por lo tanto, si cumple}$$

3.1.6.4 *Comprobación de esfuerzo cortante en base del muro.* Se dispone de un diseño para un muro en voladizo conforme al Reglamento para Concreto Estructural, según el ACI 318-19.

Tabla 3.12

Información sobre el esfuerzo cortante.

Ka	33.33	cm
B	535	cm
e	88.88	cm

f_c	250	kg/cm^2
F_y	4200	kg/cm^2
γ	12.06	kN/cm^3
H_p	648	cm
d_b	20	mm
rec	7.00	cm
b	100	cm

Peralte efectivo (d):

$$d_b \text{ varilla } \phi 20 = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$d = e - rec - db \quad (3.25)$$

$$d = 61 \text{ cm}$$

Cortante del concreto:

$$\phi = 0.85$$

$$V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'_c} * b * d \quad (3.26)$$

$$V_c = 426.11 \text{ kN}$$

Cortante ultimo:

$$V_u = 1.6 \left[k_a * \gamma * (h_p - d) * \frac{1}{2} * (h_p - d) \right] \quad (3.27)$$

$$V_u = 110.81 \text{ kN}$$

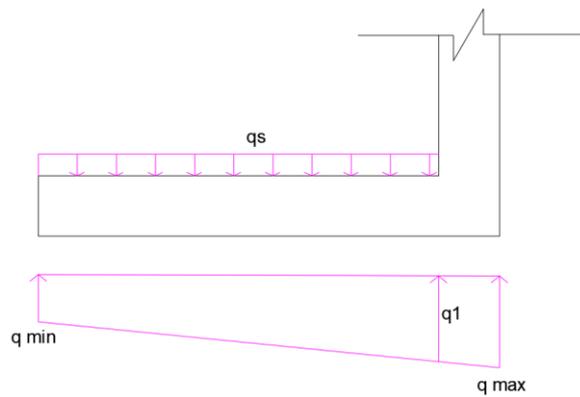
$V_c \geq V_u$ Cumple con el esfuerzo a corte

3.1.6.5 Cálculo de cargas, momentos flectores y fuerzas de corte para las partes del

muro. Cargas en la base del muro:

Figura 3.14

Cargas actuantes sobre base.



$$q_s = \frac{W}{L_{\text{sección}}} \quad (3.28)$$

$$q_s = 75.15 \frac{kN}{m^2}$$

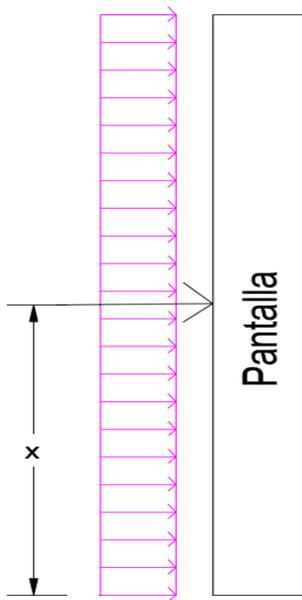
$$q_1 = \left(\frac{q_s}{B} + q_{\min} \right) * T \quad (3.29)$$

$$q_1 = 69.51 \frac{kN}{m}$$

Fuerzas y momento en la pantalla:

Figura 3.15

Carga actuante sobre pantalla.



$$F1 = Pa$$

$$F1 = \frac{1}{2} * ka * \gamma * hp^2$$

$$F1 = 84.40 \text{ kN}$$

$$M_{max} = F1 * \frac{Hp}{3}$$

$$M_{max} = 182.31 \text{ kN} - m$$

Fuerzas y momentos en el talón de la base:

Figura 3.16

Fuerzas en talón de base

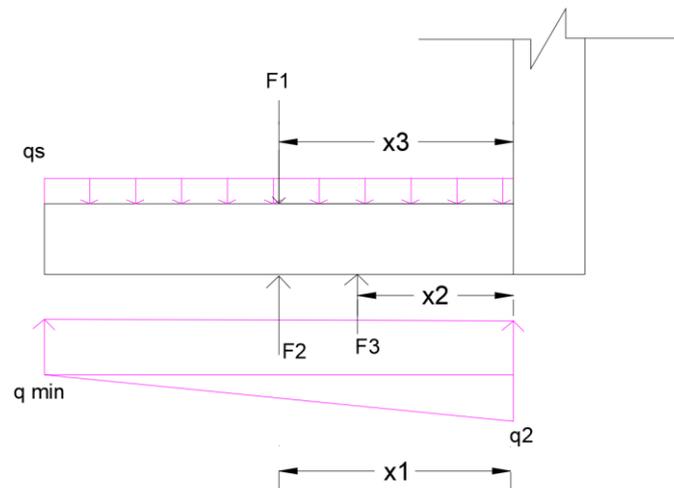


Tabla 3.13

Cálculo de los momentos en el talón de la base

Fuerzas y momentos en el talón de la base			
Fuerza	Peso (kN)	X (m)	Momento (kN-m)
F1	363.39	2.33	-844.89
F2	69.51	2.33	161.62
F3	34.59	1.55	53.61
Vmax	259.29	Mmax	629.66

3.1.6.6 *Cálculo de acero en cara interior de la pantalla del muro.* Para el procedimiento, se asumió un valor de “a” y se llevó a cabo un proceso iterativo hasta que el valor asumido coincidiera con el valor calculado.

Tabla 3.14

Datos para cálculo de acero en pantalla interior.

Mmax	167.53	kN-m
Mu	2733352.65	kg-cm
d	65.10	cm
b	100	cm

ϕ	0.9	
f'c	250	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	4	cm
dv	18	mm
pantalla		

$$M_u = 1.6 * M_{max} \quad (3.30)$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (3.31)$$

$$a = \frac{A_s}{0.85 * f'c * b} \quad (3.32)$$

$$A_{smin} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} b * d \quad (3.33)$$

Tabla 3.15

Acero necesario en la cara interior de la pantalla.

As	12.34	cm ²
a calculado	2.44	cm
a asumido	2.44	cm
As min	17.13	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 20 con $A_v = 3.14 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{A_s}{A_v} \quad (3.34)$$

$$n = 5.45 \approx 6$$

$$S = \frac{b - 2r - \phi v}{n - 1} \quad (3.35)$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas \emptyset de 20 mm c/a 15 cm

3.1.6.7 Cálculo de acero en cara exterior de la pantalla del muro

Tabla 3.16

Datos para cálculo de acero en pantalla exterior.

Pmin	0.0015	Norma
		ACI
d	65	cm
b	100	cm
rec	4	cm

$$A_s = \rho_{min} * d * b \quad (3.36)$$

$$A_s = 9.75 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de \emptyset 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{A_s}{A_v} \quad (3.37)$$

$$n = 4.85 \approx 5$$

$$S = \frac{b - 2r - \phi v}{n - 1} \quad (3.38)$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas \emptyset de 16 mm c/a 20 cm

3.1.6.8 Cálculo de acero horizontal de base a parte media de la pantalla

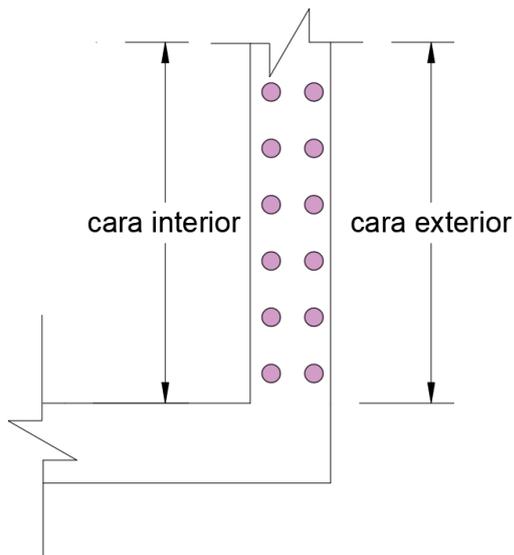
Tabla 3.17

Datos para el acero horizontal en la parte media a la base de la pantalla.

Pmin	0.002	ACI
d=t2	70	cm
b	100	cm
rec	4	cm

Figura 3.17

Representación de la colocación del acero de la parte media a la base.



Cara exterior:

$$As = \frac{2}{3} \rho_{min} * d * b \quad (3.39)$$

$$As = 9.33 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de \emptyset 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{As}{A_v} \quad (3.40)$$

$$n = 4.64 \approx 5$$

$$S = \frac{b - 2r - \phi v}{n - 1} \quad (3.41)$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 16 mm c/a 20 cm

Cara interior:

$$As = \frac{1}{3} \rho_{min} * d * b \quad (3.42)$$

$$As = 4.67 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de ϕ 12 mm con $A_v = 1.13 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{As}{A_v} \quad (3.43)$$

$$n = 4.13 \approx 5$$

$$S = \frac{b - 2r - \phi v}{n - 1} \quad (3.44)$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 12 mm c/a 20 cm

3.1.6.9 Cálculo de acero horizontal de parte media a corona de la pantalla

$$t' = \frac{(t_1 + t_2)}{2} * 100 \quad (3.45)$$

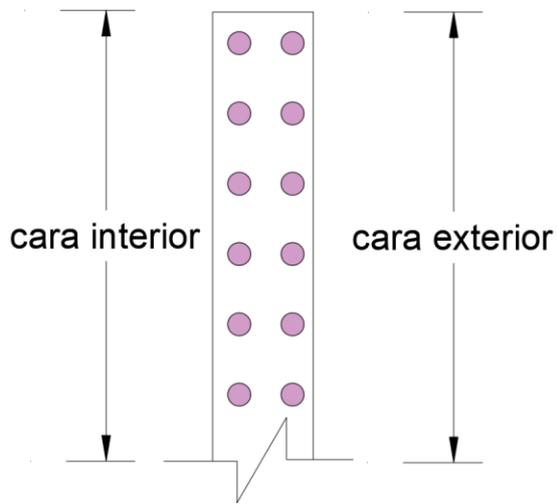
Tabla 3.18

Datos para el acero horizontal en la parte media a la corona de la pantalla.

Pmin	0.002	ACI
d=t'	70	cm
b	100	cm
rec	4	cm

Figura 3.18

Representación de la colocación del acero de la parte media a la corona.



Cara exterior:

$$A_s = \frac{2}{3} \rho_{min} * d * b \quad (3.46)$$

$$A_s = 9.33 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de \varnothing 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{A_s}{A_v} \quad (3.47)$$

$$n = 4.64 \approx 5$$

$$S = \frac{b - 2r - \varnothing_v}{n - 1} \quad (3.48)$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas \varnothing de 16 mm c/a 20 cm

Cara interior:

$$As = \frac{1}{3} \rho_{min} * d * b \quad (3.49)$$

$$As = 4.67 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de \emptyset 12 mm con $A_v = 1.13 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{As}{A_v} \quad (3.50)$$

$$n = 4.13 \approx 5$$

$$S = \frac{b - 2r - \emptyset v}{n - 1} \quad (3.51)$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas \emptyset de 12 mm c/a 20 cm

3.1.6.10 Cálculo de acero en zapatas (Talón)

Tabla 3.19

Datos para el acero horizontal en el talón de la base.

Mmax	6420741.15	kg-cm
Mu	10273185.8	kg-cm
d	64.9	cm
b	100	cm
\emptyset	0.9	cm
f _c	250	kg/cm ²
F _y	4200	kg/cm ²
rec	7	cm

Figura 3.19

Representación de la colocación del acero principal en la base.



Tabla 3.20

Cálculos de acero necesario en la base

As	42.37	cm ²
a calculado	8.37	cm
a asumido	8.37	cm
As min	16.58	cm ²

Se asumió varillas de \emptyset 25 mm con $A_v = 4.91 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{A_s}{A_v} \quad (3.52)$$

$$n = 9.16 \approx 10$$

$$S = \frac{b - 2r - \emptyset v}{n - 1} \quad (3.53)$$

$$S = 8 \text{ cm}$$

Varillas \emptyset de 25 mm c/a 8 cm

Verificación al corte en talón:

Tabla 3.21

Fuerza de corte en el talón

Vd=Vmax	259.29	kN
---------	--------	----

Vu	440.80	kN
Ø	0.85	
Vc	533.36	kN
Vc	453.35	kN

$\phi V_c > V_u$ Por lo tanto, si cumple por corte

Cálculo de acero transversal en el talón:

Tabla 3.22

Datos para el acero transversal en la base.

Pmin	0.0018	
d=hz	70	cm
b	100	cm
rec	7	cm

$$A_s = \rho_{min} * d * b \quad (3.54)$$

$$A_s = 12.96 \text{ cm}^2$$

Se asumió varillas de Ø 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$

$$n = \frac{A_s}{A_v} \quad (3.55)$$

$$n = 6.45 \approx 7$$

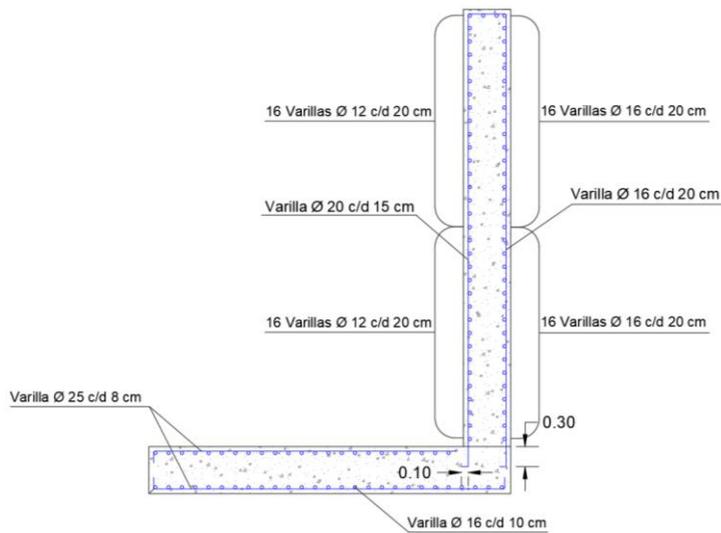
$$S = \frac{b - 2r - \phi v}{n - 1} \quad (3.56)$$

$$S = 10 \text{ cm}$$

Varillas Ø de 16 mm c/a 10 cm

Figura 3.20

Representación de la colocación del acero en el muro de contención

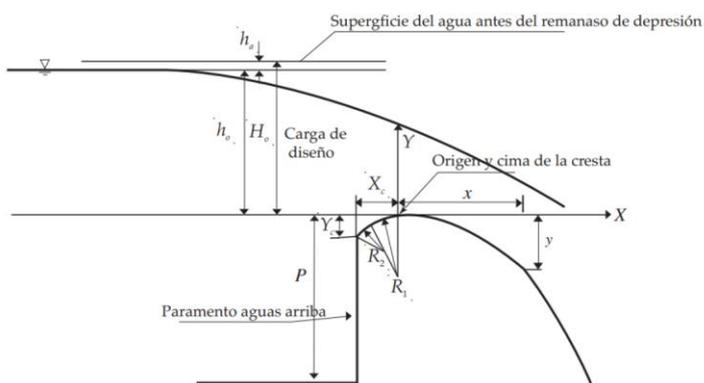


3.2 Diseño del vertedero principal

Se eligió diseñar un vertedero cimacio tipo Creager de acuerdo con el criterio establecido por *el United States Bureau of Reclamation* (Bureau of Reclamation, 1987), tal como se ilustra en la Figura 3.21.

Figura 3.21

División del azud en cuadrantes según el criterio general.



Nota. Autor: USBR, 1987

3.2.1 Dimensionamiento del cimacio

Tabla 3.23*Datos del vertedero principal.*

Caudal Máximo de Crecida (T=200 años)	128.2	m ³ /s
Paramento (P)	2.7	m
Longitud del Azud (L)	20	m
Gravedad (g)	9.8	m/s

Cálculo de las cargas de diseño sobre el vertedero. Se asume un valor de C para los cálculos: $C = 2.166$

$$H_o = \left(\frac{Q}{C * L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.57)$$

$$H_a = \frac{\left(\frac{Q}{(P + H_o) * L} \right)^2}{2 * g} \quad (3.58)$$

$$h_o = H_o - H_a \quad (3.59)$$

Tabla 3.24*Resultados de la carga de diseño del vertedero principal*

Ho	2.051	m
Ha	0.092	m
ho	1.960	m

Condiciones para el coeficiente de descarga. Según Gehy obtuvo las ecuaciones para el coeficiente de descarga C_o en función de la relación P/H_o . Las condiciones son las siguientes:

$$0 \leq P/H_o < 0.6 \quad C_o = -2.025 \left(\frac{P}{h_o} \right)^2 + 1.8 \left(\frac{P}{h_o} \right) + 1.704 \quad (3.60)$$

$$0.6 \leq P/H_o < 0.6 \quad C_o = -0.034 \left(\frac{P}{h_o}\right)^2 + 0.145 \left(\frac{P}{h_o}\right) + 2.031 \quad (3.61)$$

$$P/H_o \geq 2.5 \quad C_o = 2.18 \quad (3.62)$$

Tenemos que $\frac{P}{H_o} = 1.32$. Por lo tanto, el valor de C_o es igual a 2.166, la corrección del

Factor C_o se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_2 = 0.212 * \left(\frac{h_o}{H_o}\right)^{\frac{2}{3}} + 0.788 \quad (3.63)$$

$$C_2 = 0.994$$

$$C = C_o * C_2 \quad (3.64)$$

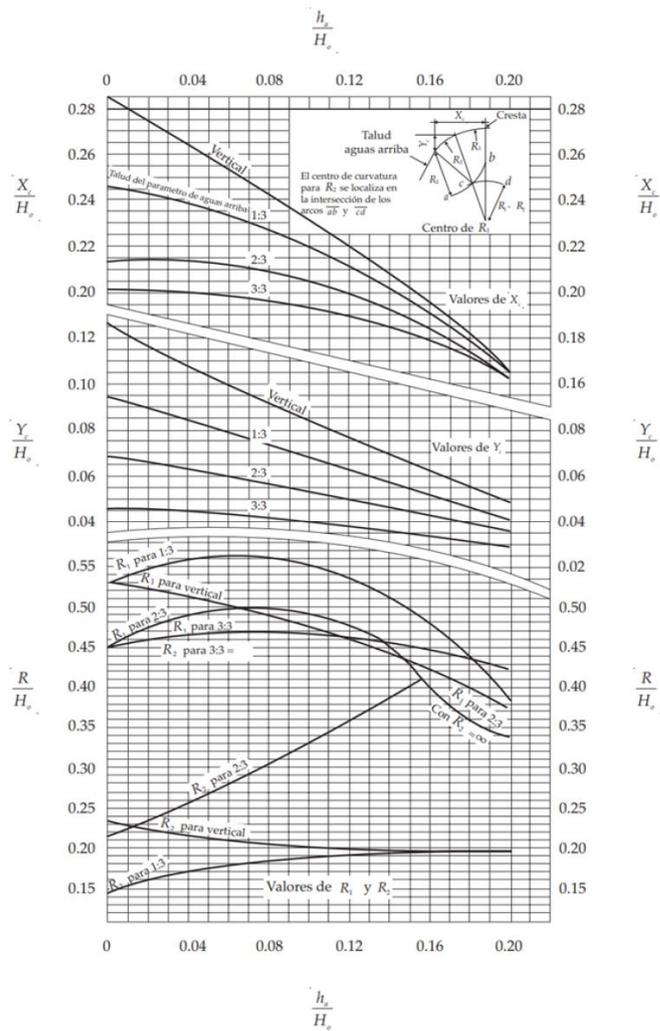
$$C = 2.152$$

Para la determinación de la forma del cimacio en el cuadrante aguas arriba, se determinó los radios R_1 y R_2 en función de (R_1/H_o) y (R_2/H_o) de los gráficos recomendados por USBR ingresando el dato de H_a/H_o :

$$\frac{H_a}{H_o} = 0.04$$

Figura 3.22

Constantes para la configuración aguas arriba del azud.



Nota. Autor: USBR, 1987

Tabla 3.25

Resultados de la forma del cimacio en el cuadrante aguas arriba

xc	0.539	m
Yc	0.226	m
R1	1.046	m
R2	0.431	m

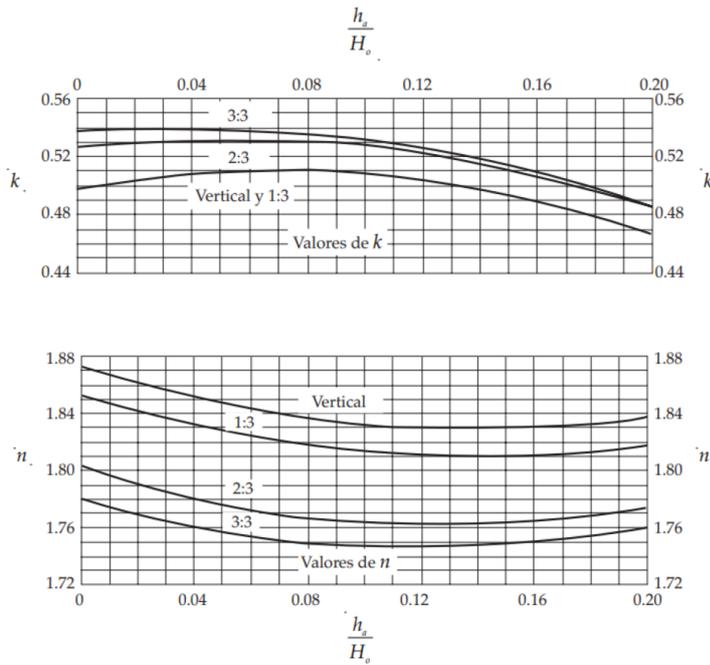
Para la determinación de la forma del cimacio en el cuadrante aguas abajo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left(\frac{x}{H_0} \right)^n \quad (3.65)$$

Donde n y k son constantes que varían según la superficie del agua antes del perfil descendente y la altura total del agua menos el paramento.

Figura 3.23

Constantes para la configuración aguas arriba del azud



Nota. Autor: USBR, 1987

Tabla 3.26

Criterios para el diseño del vertedero cimacio

ha	0.092	m
ho	1.960	m
Ho	2.051	m
k	0.508	
n	1.85	
P	2.7	m
Xc	0.539	m
Yc	0.226	m
R1	1.046	m
R2	0.431	m

3.2.2 Control por volcamiento

Figura 3.24

Diagrama de cuerpo libre del azud principal

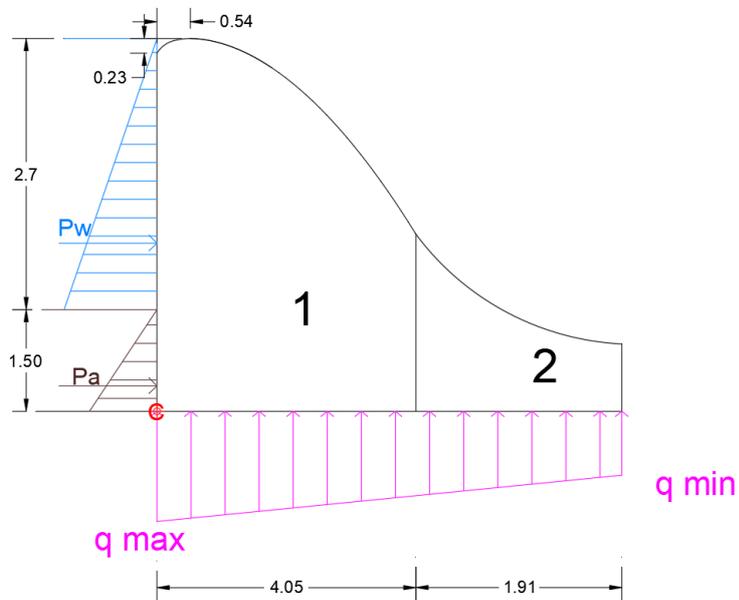


Tabla 3.27

Cálculo de fuerzas y momentos con respecto al punto C

Sección	Área (m ²)	W/L (kN/m)	x (m)	M (kN-m/m)
1	13.5	318.33	1.74	553.89
2	1.47	34.66	4.83	167.42
Sum V		352.99	Suma M	721.31

Utilizando las ecuaciones 3.14 y 3.15, se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 3.28

Datos y valores de fuerza activa de Rankine

ϕ'	30	
γ	12.06	kN/m ³
H1	1.5	m
P	2.7	m
Ka	0.33	m
Pa	4.52	kN/m

El factor de seguridad obtenido es el siguiente:

$$F_{S_{volcamiento}} = \frac{M1 + M2 + M_{pv} + M_{pa}}{P_a \left(\frac{H_1}{3}\right) + \frac{1}{2} \gamma_w P \left(\frac{P}{3}\right)} \quad (3.66)$$

$$F_{S_{volcamiento}} = \frac{721.31}{14.18} = 50.87$$

$F_{S_{volcamiento}} = 50.87 > 3$ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC

3.2.3 Control por deslizamiento

Utilizando la ecuación 3.18, se obtiene lo siguiente:

$$F_{S_{deslizamiento}} = \frac{(\sum FV) \tan\left(\frac{2}{3} * \phi'\right) + B * \frac{2}{3} * c'}{P_a \cos\left(\frac{2}{3}\right) \phi' + \frac{1}{2} \gamma_w P} \quad (3.67)$$

$$F_{S_{deslizamiento}} = 12.41$$

$F_{S_{deslizamiento}} = 12.41 > 1.6$ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC

3.2.4 Revisión por falla por capacidad de carga

Con la fórmula 3.21 se calculó la excentricidad:

$$e = 0.98 \text{ m}$$

$$e \leq \frac{B}{6}$$

$$0.98 \leq 0.99 \text{ Cumple con la NEC-SE-GC}$$

Con la ecuación 3.22 se calculó la presión actuante:

$$q_{max} = 117.46 \frac{kN}{m^2} \quad q_{min} = 0.99 \frac{kN}{m^2}$$

Con la ecuación 3.23 se calculó la capacidad última:

Tabla 3.29*Parámetros para la capacidad última (Terzaghi)*

ϕ'	30
N_c	37.16
N_y	19.13
N_q	22.46

$$q_{ult} = 1465.41$$

Se eligió un factor de seguridad de 3.0 para prevenir fallos debido a sobrecargas o circunstancias imprevistas. Con la ecuación 3.24 se obtuvo la capacidad admisible:

$$q_{admissible} = \frac{1465.41}{3} = 488.47$$

$$q_{max} = 117.46 \leq q_{admissible} = 488.47 \quad \text{Por lo tanto, si cumple}$$

3.2.5 Cargas, fuerzas de corte y momentos flectores en el muro

Las cargas aplicadas sobre la estructura son: P_w [kN/m], que corresponde a la suma de la fuerza de empuje del agua, la fuerza dinámica y la fuerza inducida por el sedimento; y P_a [kN/m], que representa la presión activa de Rankine aplicada por el suelo.

Tabla 3.30*Datos para cargas, fuerzas de corte y momentos*

ρ_w	1000	kg/m ³
γ_s	1229.78	kg/m ³
g	9.81	m/s ²
P	2.70	m
V_{media}	0.40	m/s
S	0.512	m ³

Fuerza de empuje:

$$F_{empuje} = \frac{1}{2} \rho_w g h^2 \quad (3.68)$$

$$F_{empuje} = 35.76 \text{ kN}$$

Fuerza dinámica:

$$F_{dinámica} = \frac{1}{2} \rho_w V_{media}^2 P \quad (3.69)$$

$$F_{dinámica} = 0.22 \text{ kN}$$

Fuerza de sedimento:

$$F_{sedimento} = \rho_s g S \quad (3.70)$$

$$F_{sedimento} = 6.18 \text{ kN}$$

$$P_w = F_{empuje} + F_{dinámica} + F_{sedimento} \quad (3.71)$$

$$P_w = 42.15 \text{ kN}$$

Fuerzas y momentos en el muro de la estructura:

Tabla 3.31

Resultados de las fuerzas y momentos en la pantalla de la estructura

	F(kN)	X(m)	M(kN-m)
F1	42.15	2.40	101.16
F2	4.52	0.5	2.26
SumaFV	46.67	Mmax	103.42

3.2.6 Cálculo de acero en la pantalla del muro del cimacio

Se selecciona un ancho de 100 cm y un recubrimiento de 8 cm, debido a que el concreto está constantemente expuesto y en contacto con el suelo.

Tabla 3.32

Datos para el acero en la pantalla

Mu	389.75	kN-m
d	41	cm
b	100	cm
∅	0.9	
f'c	380	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	8	cm
dv	20	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.32 se obtiene los siguientes valores:

Tabla 3.33

Acero necesario en la cara de la pantalla

As	11.12	cm ²
a calculado	1.45	cm
a asumido	1.45	cm
As min	13.32	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 20 con $A_v = 3.14 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtiene el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 4.24 \approx 5$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

Varillas \emptyset de 20 mm c/a 20 cm

3.2.7 Cálculo de acero por contracción y temperatura de la estructura

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 0.003, para un ancho de 20 m.

Tabla 3.34

Datos para el acero por contracción y temperatura

Pmin	0.003	Norma ACI
d	40.5	cm
b	100	cm
r	8	cm
dv	18	mm

Se asume un diámetro de varilla de 18 mm con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.35*Resultados del acero requerido por contracción y temperatura*

As	12.15	cm ²
n	4.77	
n_final	5	
s_final	20	cm

Se necesita varillas \emptyset de 18 mm c/a 20 cm

3.2.8 Protección en la zona aguas abajo de la cresta

Una vez que el agua sobrepase la cresta, se producirá un resalto hidráulico al cambiar de un flujo supercrítico a uno subcrítico. Para salvaguardar la estructura y evitar el deterioro del cauce, se ha sugerido colocar una risberma (losa) de hormigón justo después del azud o vertedero cimacio, con el objetivo de controlar o disipar el resalto hidráulico.

Tabla 3.36*Datos para el coeficiente de descarga*

Caudal Máximo de Crecida (T=200 años)	128.2	m ³ /s
Paramento (P)	2.7	m
Longitud del Azud (L)	20	m
Gravedad (g)	9.8	m/s
Ho	2.05	m
Ha	0.09	m
ho	1.96	m

El caudal por unidad de ancho es:

$$q = \frac{Q}{L_e} \quad (3.72)$$

$$q = 6.37 \frac{\frac{m^3}{s}}{m}$$

El tirante crítico es:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (3.73)$$

$$y_c = 1.60 \text{ m}$$

Considerando las pérdidas por fricción en el cimacio y utilizando la ecuación de la energía entre la sección aguas arriba de la cresta y el pie del vertedero se obtiene lo siguiente:

$$P + h_o + h_a = y_a + \frac{V_1^2}{2g} + 0.15 \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.74)$$

$$4.75 = y_a + \frac{q^2(1.15)}{2g y_a^2}$$

Es necesario realizar iteraciones hasta que se logre la igualdad, obteniendo un tirante de 0.77 m. Este valor corresponde al tirante supercrítico en el punto donde comienza el salto hidráulico. Por consiguiente, la velocidad esperada de impacto es:

$$V_1 = \frac{q}{y_a} \quad (3.75)$$

$$V_1 = 8.24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La carga de velocidad y energía en ese punto es:

$$h_1 = \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.76)$$

$$h_1 = 3.46 \text{ m}$$

$$E_1 = h_1 + y_a \quad (3.77)$$

$$E_1 = 4.23 \text{ m}$$

El número de Froude es el siguiente:

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g y_a}} \quad (3.78)$$

$$F_{r1} = 2.99$$

El tirante conjugado mayor se calculó usando la siguiente ecuación:

$$y_d = \frac{y_a}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right) \quad (3.79)$$

$$y_d = 2.91 \text{ m}$$

En ese punto la energía y velocidad son:

$$V_2 = \frac{q}{y_d} \quad (3.80)$$

$$V_2 = 2.19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + y_d \quad (3.81)$$

$$E_2 = 3.15 \text{ m}$$

Por lo tanto, la pérdida de energía ocasionada por el resalto hidráulico es:

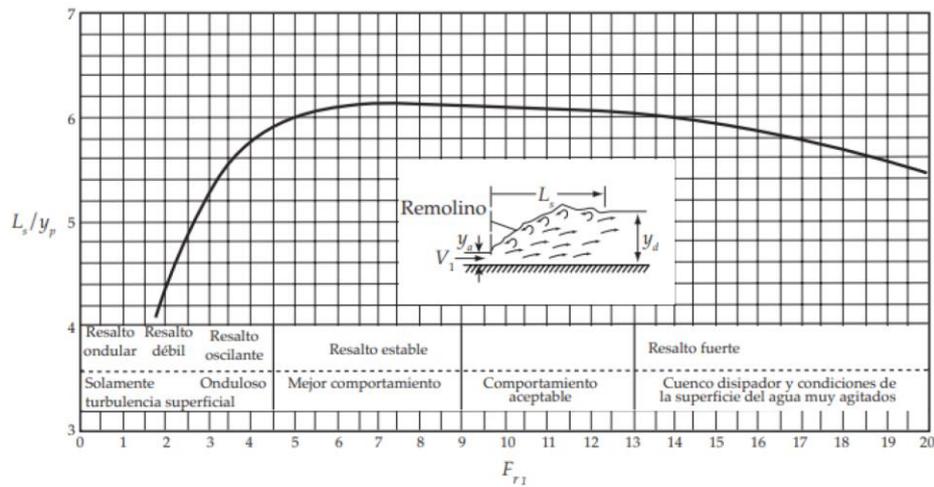
$$\Delta h = E_1 - E_2 \quad (3.82)$$

$$\Delta h = 1.08 \text{ m}$$

Con la imagen 3.22 se obtuvo la longitud del resalto hidráulico, con el número de Froude y la tirante y_d .

Figura 3.25

Relación de la longitud del resalto hidráulico con el tirante conjugado



Nota. Autor: USBR, 1987

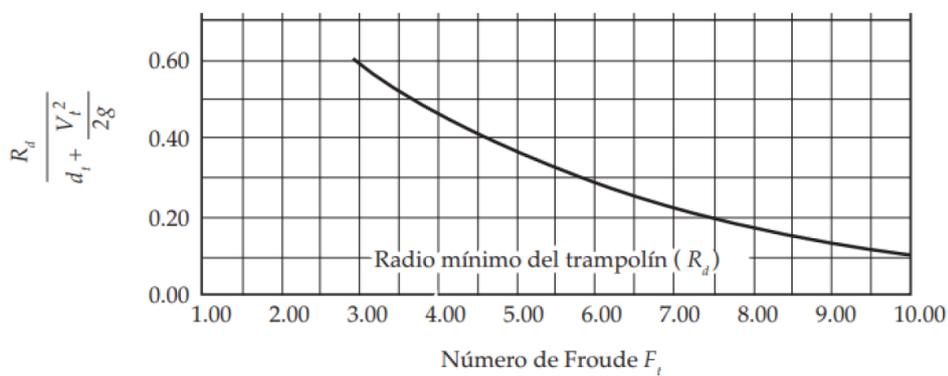
$$\frac{L_s}{y_d} = 5.25$$

$$L_s = 5.25 * (2.91) = 15.26 \text{ m}$$

Se obtuvo el radio mínimo en la cresta aguas abajo del azud con la imagen 3.23:

Figura 3.26

Relación del radio mínimo en la cresta aguas abajo del azud (USBR, 1987)



Nota. Autor: USBR, 1987

$$\frac{R_d}{d_t + \frac{V_t^2}{2g}} = 0.58$$

$$R_d = 2.46 \approx 2.5 \text{ m}$$

Para proteger la estructura, se eligió una losa de una longitud de 16 metros y un espesor de 50 cm. Además, se instaló un cuenco disipador con un espesor de 50 cm y una altura de 1 m (al nivel del río) para manejar el resalto hidráulico que podría surgir al disipar más energía.

3.2.9 Fuerzas y momento flector en la risberma

Se consideró la altura del agua y la velocidad media después del resalto hidráulico.

Tabla 3.37

Datos para el cálculo de fuerzas en la risberma

pw	1000	kg/m ³
ps	1229.778	kg/m ³
g	9.81	m/s ²
h	2.3	m
Vmedia	1.62	m/s
S	0.512	m ³

Usando las ecuaciones 3.68, 3.69 y 3.70 se tiene:

Tabla 3.38

Fuerzas y momento flector máximo en la risberma

Fe	25.95	kN
Fd	3.02	kN
Fs	6.18	kN
Ftotal	35.14	kN
Mmax	26.94	kN-m

3.2.10 Cálculo de acero en la risberma

Tabla 3.39*Datos para el cálculo de acero en la risberma*

Mmax	26.94	kN-m
Mu	43.11	kN-m
d	40.90	cm
b	100	cm
∅	0.9	
f'c	480	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	8	cm
dv	18	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.33 se obtiene los siguientes valores:

Tabla 3.40*Acero necesario en la risberma*

As	2.85	cm ²
a calculado	0.29	cm
a asumido	0.29	cm
As min	14.93	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 18 con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtiene el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.87 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 18 mm c/a 15 cm

3.2.10.1 Cuenco disipador. Para el cuenco disipador solo se consideró el empuje que ejerce el suelo. Por lo tanto, la $F_e = 25.95 \text{ kN}$ y su momento es de 9.98 kN .

Tabla 3.41*Acero requerido en el Cuenco*

As	0.914	cm ²
a calculado	0.09	cm
a asumido	0.09	cm
As min	14.93	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 18 con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtiene el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.87 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 18 mm c/a 15 cm

3.2.11 Cálculo de acero por contracción y temperatura en la risberma y cuenco disipador

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 0.0014

Tabla 3.42*Datos para el acero por contracción y temperatura en risberma y cuenco*

Pmin	0.0014	Norma ACI
h	50.00	cm
b	100	cm
rec	8	cm
dv	16	mm

Se asume un diámetro de varilla de 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.43*Resultados del acero necesario para el cuenco y risberma*

As	7.00	cm ²
n	3.48	
n_final	4.00	

s_final	20	cm
---------	----	----

Se necesita Varillas \emptyset de 16 mm c/a 20 cm

3.2.12 Fuerzas y momento flector en el delantal

Es necesario diseñar un delantal para proteger la estructura y evitar daños graves causados por la infiltración de agua. Con ayuda de la figura 3.8, se determina que se requiere una losa de 0.5 m de espesor y 15 m de longitud.

Tabla 3.44

Datos para el cálculo de fuerzas en el delantal

pw	1000	kg/m ³
ps	1229.778	kg/m ³
g	9.81	m/s ²
h	4.75	m
S	0.512	m ³

Usando las ecuaciones 3.68, 3.69 y 3.70 se tiene:

Tabla 3.45

Fuerzas y momento flector máximo en el delantal

Fe	110.67	kN
Fs	6.18	kN
Ftotal	116.85	kN
Mmax	185.01	kN-m

3.2.13 Cálculo de acero longitudinal en el delantal

Tabla 3.46

Datos para el cálculo de acero en el delantal

Mmax	185.01	kN-m
------	--------	------

Mu	296.01	kN-m
d	44.90	cm
b	100	cm
	0.9	
f'c	250	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	4	cm
dv	20	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.33 se obtiene los siguientes valores:

Tabla 3.47

Acero necesario en el delantal

As	18.54	cm ²
a calculado	3.66	cm
a asumido	3.66	cm
As min	11.83	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 20 con $A_v = 3.14 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtiene el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.90 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 20 mm c/a 15 cm

3.2.14 Cálculo de acero por contracción y temperatura en el delantal

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 0.0014

Tabla 3.48*Datos para el acero por contracción y temperatura en el delantal*

Pmin	0.0014	Norma ACI
h	50.00	cm
b	100	cm
rec	4	cm
dv	16	mm

Se asume un diámetro de varilla de 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.49*Resultados del acero por contracción y temperatura para el delantal*

As	7.00	cm^2
n	3.48	
n_final	4.00	
s_final	20	cm

Se necesita Varillas \emptyset de 16 mm c/a 20 cm

3.2.15 Cálculo de acero longitudinal en la pantalla

Es necesario diseñar una pantalla para proteger la estructura y evitar daños graves causados por la infiltración de agua. Se determina que se requiere una pantalla de 8 m de profundidad y 0.7 m de espesor.

Tabla 3.50*Datos para el cálculo de acero en la pantalla*

Mmax	230.00	kN-m
Mu	268.00	kN-m

d	64.90	cm
b	100	cm
	0.9	
f _c	280	kg/cm ²
F _y	4200	kg/cm ²
rec	4	cm
d _v	20	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.33 se obtiene los siguientes valores:

Tabla 3.51

Acero necesario en la pantalla

As	15.63	cm ²
a calculado	2.76	cm
a asumido	2.76	cm
As min	18.10	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 20 con $A_v = 3.14 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtiene el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.76 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 20 mm c/a 15 cm

3.2.16 Cálculo de acero por contracción y temperatura en la pantalla

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 0.0014

Tabla 3.52*Datos para el acero por contracción y temperatura en la pantalla*

Pmin	0.0014	Norma ACI
h	70.00	cm
b	100	cm
rec	4	cm
dv	16	mm

Se asume un diámetro de varilla de 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.53*Resultados del acero por contracción y temperatura en la pantalla*

As	9.80	cm^2
n	4.87	
n_final	5	
s_final	20	cm

Se necesita Varillas \emptyset de 16 mm c/a 20 cm

3.3 Diseño del vertedero de emergencia

Para evitar que el nivel del agua supere la cota de diseño, se planificó un aliviadero de emergencia ubicado aproximadamente 200 metros aguas arriba del dique, que descargará en una llanura de inundación cercana al cauce. Este vertedero tendrá una forma similar a la de un cimacio o azud, siguiendo el mismo proceso de diseño empleado para el vertedero principal.

Tabla 3.54*Criterios para el diseño del cimacio lateral.*

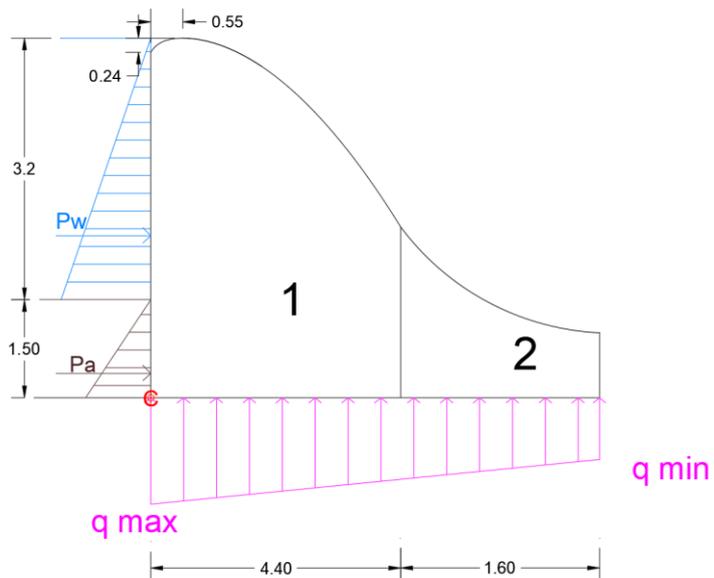
L [m]	20
-------	----

Q [m^3/s]	128.2
h_a [m]	0.075
h_o [m]	1.970
H_o [m]	2.045
k	0.505
n	1.86
P [m]	3.2
X_c [m]	0.550
Y_c [m]	0.241
R_1 [m]	1.063
R_2 [m]	0.450
R_d [m]	1.87
L_s [m]	16

3.3.1 Control por volcamiento

Figura 3.27

Diagrama de cuerpo libre del azud lateral



Nota. Fuentes: Autores

Tabla 3.55*Cálculo de fuerzas y momentos con respecto al punto C en aliviadero*

Sección	Área (m ²)	W/L (kN/m)	x (m)	M (kN-m/m)
1	16.13	380.35	1.87	711.25
2	1.19	28.06	5.30	148.72
	Sum V	408.41	Suma M	859.96

Utilizando las ecuaciones 3.14 y 3.15, se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 3.56*Datos y valores de fuerza activa de Rankine en el aliviadero*

ϕ'	30	
γ	12.06	kN/m ³
H1	1.5	m
P	3.2	m
Ka	0.33	m
Pa	4.52	kN/m

Con la ecuación 3.66 se obtiene el factor de seguridad:

$$F_{S_{volcamiento}} = \frac{859.96}{19} = 45.25$$

$$F_{S_{volcamiento}} = 45.25 > 3 \text{ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC}$$

3.3.2 Control por deslizamiento

Utilizando la ecuación 3.67, se obtiene lo siguiente:

$$F_{S_{deslizamiento}} = 11.78$$

$$F_{S_{destizamiento}} = 11.78 > 1.6 \text{ Por lo tanto, cumple con la NEC-SE-GC}$$

3.3.3 Revisión por falla por capacidad de carga

Con la ecuación 3.21 se calculó la excentricidad:

$$e = 0.94 \text{ m}$$

$$e \leq \frac{B}{6}$$

$$0.94 \leq 1 \text{ Cumple con la NEC-SE-GC}$$

Con la ecuación 3.22 se calculó la presión actuante:

$$q_{max} = 132.11 \frac{kN}{m^2} \quad q_{min} = 4.03 \frac{kN}{m^2}$$

Con la ecuación 3.23 se calculó la capacidad última:

Tabla 3.57

Parámetros para la capacidad última (Terzaghi)

ϕ'	30
Nc	37.16
Ny	19.13
Nq	22.46

$$q_{ult} = 1470.02$$

Se eligió un factor de seguridad de 3.0 para prevenir fallos debido a sobrecargas o circunstancias imprevistas. Con la ecuación 3.24 se obtuvo la capacidad admisible:

$$q_{admisible} = \frac{1470.02}{3} = 490$$

$$q_{max} = 132.11 \leq q_{admsible} = 490 \text{ Por lo tanto, si cumple}$$

3.3.4 Cargas, fuerzas de corte y momentos flectores en el muro

Tabla 3.58*Datos para cargas, fuerzas de corte y momentos*

ρ_w	1000	kg/m ³
γ_s	1229.78	kg/m ³
g	9.81	m/s ²
P	2.70	m
Vmedia	0.45	m/s
S	0.512	m ³

Con las ecuaciones 3.68, 3.69, 3.70 y 3.71 se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.59*Cálculos de las fuerzas en el aliviadero*

Fe	50.23	kN
Fd	0.32	kN
Fs	6.18	kN
Ftotal	56.73	kN

Fuerzas y momentos en el muro de la estructura:

Tabla 3.60*Resultados de las fuerzas y momentos en la pantalla de la estructura lateral*

	F(kN)	X(m)	M(kN-m)
F1	56.73	2.57	145.60
F2	4.52	0.5	2.26
SumaFV	61.25	Mmax	147.86

3.3.5 Cálculo de acero en la pantalla del muro del cimacio

Tabla 3.61*Datos para el acero en la pantalla lateral*

Mu	236.58	kN-m
d	41	cm

b	100	cm
ϕ	0.9	
f'c	380	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	8	cm
dv	18	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.32 se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 3.62

Acero necesario en la cara de la pantalla lateral

As	15.97	cm ²
a calculado	2.08	cm
a asumido	2.08	cm
As min	13.32	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 20 con $A_v = 3.14$ cm². Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtuvo el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.08 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 20 mm c/a 15 cm

3.3.6 Cálculo de acero por contracción y temperatura de la estructura

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 3 por mil, para un ancho de de 20 m.

Tabla 3.63*Datos para el acero por contracción y temperatura estructura lateral*

Pmin	0.003	Norma ACI
d	40.5	cm
b	100	cm
r	8	cm
dv	18	mm

Se asume un diámetro de varilla de 18 mm con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.64*Resultados del acero requerido en el alividero*

As	12.15	cm^2
n	4.77	
n_final	5	
s_final	20	cm

Se necesita varillas \emptyset de 18 mm c/a 20 cm

3.3.7 Fuerzas y momento flector en la risberma

Se consideraron la altura del agua y la velocidad media después del resalto hidráulico.

Tabla 3.65*Datos para el cálculo de fuerzas en la risberma del vertedero lateral*

pw	1000	kg/m^3
ps	1229.778	kg/m^3
g	9.81	m/s^2
h	2.5	m
Vmedia	1.5	m/s
S	0.512	m^3

Usando las ecuaciones 3.68, 3.69 y 3.70 se tiene:

Tabla 3.66*Fuerzas y momento flector máximo en la risberma del vertedero lateral*

Fe	30.66	kN
Fd	2.81	kN
Fs	6.18	kN
Ftotal	39.65	kN
Mmax	33.04	kN-m

3.3.8 Cálculo de acero en la risberma**Tabla 3.67***Datos para el cálculo de acero en la losa aguas abajo del vertedero lateral*

Mmax	33.04	kN-m
Mu	52.86	kN-m
d	40.90	cm
b	100	cm
∅	0.9	
f'c	480	kg/cm ²
Fy	4200	kg/cm ²
rec	8	cm
dv	18	mm

Para el cálculo del acero, es necesario asumir un valor de “a” y luego iterar para determinar el acero requerido por la estructura. Con las ecuaciones 3.30, 3.31, 3.32 y 3.33 se obtiene los siguientes valores:

Tabla 3.68*Acero necesario en la risberma del vertedero lateral*

As	3.50	cm ²
a calculado	0.36	cm
a asumido	0.36	cm
As min	14.93	cm ²

Se asumió varillas de ϕ 18 con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtuvo el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.87 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 18 mm c/a 15 cm

3.3.8.1 Cuenco disipador. Para el cuenco disipador solo se consideró el empuje que ejerce el suelo. Por lo tanto, la $F_e = 30.66 \text{ kN}$ y su momento es de 16.35 kN-m .

Tabla 3.69

Acero requerido en el Cuenco del vertedero lateral

As	1.080	cm^2
a calculado	0.11	cm
a asumido	0.11	cm
As min	14.93	cm^2

Se asumió varillas de ϕ 18 con $A_v = 2.54 \text{ cm}^2$. Con la ecuación 3.34 y 3.35 se obtuvo el número total de varillas y la separación entre varillas:

$$n = 5.87 \approx 6$$

$$S = 15 \text{ cm}$$

Varillas ϕ de 18 mm c/a 15 cm

3.3.9 Cálculo de acero por contracción y temperatura en la risberma y cuenco disipador

Se considera la cuantía mínima establecida por el ACI 350-06, que es de 0.0014

Tabla 3.70

Datos para el acero por contracción y temperatura en risberma y cuenco del vertedero lateral

Pmin	0.0014	Norma ACI
h	50.00	cm

b	100	cm
rec	8	cm
dv	16	mm

Se asume un diámetro de varilla de 16 mm con $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$. Con las ecuaciones 3.36, 3.37 y 3.38 obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.71

Resultados del acero necesario para el cuenco y risberma del vertedero lateral

As	7.00	cm ²
n	3.48	
n_final	4.00	
s_final	20	cm

Se necesita Varillas \emptyset de 16 mm c/a 20 cm

Se ha adoptado el mismo diseño de delantal y pantalla del vertedero principal debido a que las condiciones del suelo y demás factores son similares.

Capítulo 4

4 ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

El objetivo principal del proyecto es abordar la escasez de agua durante los periodos prolongados de sequía en la comuna Loma Alta ubicada en la provincia de Santa Elena. La solución propuesta consiste en la construcción de un dique en el río Valdivia-California, diseñado para capturar y almacenar agua mediante siembra y cosecha de agua, además de la recarga de acuíferos, asegurando así un suministro estable tanto para las necesidades locales como agrícolas.

Este proyecto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6 y 13. El ODS 6, enfocado en agua y saneamiento, busca garantizar la gestión sostenible de los recursos hídricos y su abastecimiento en la comuna. Por otro lado, el ODS 13, centrado en acción por el clima, promueve medidas para combatir el cambio climático y sus efectos, fortaleciendo a la conservación de agua superficial y subterránea frente a eventos extremos como sequías.

Para asegurar la efectividad y sostenibilidad del proyecto, se ha seleccionado una ubicación idónea y se anticipa el uso de materiales locales como arcilla y grava en la construcción del dique. Sin embargo, se reconoce que la extracción de estos materiales puede tener impactos adversos como la erosión del suelo y la afectación de ecosistemas locales. Es fundamental implementar medidas de mitigación y monitoreo ambiental para minimizar estos efectos negativos y proteger a la biodiversidad que rodea la zona.

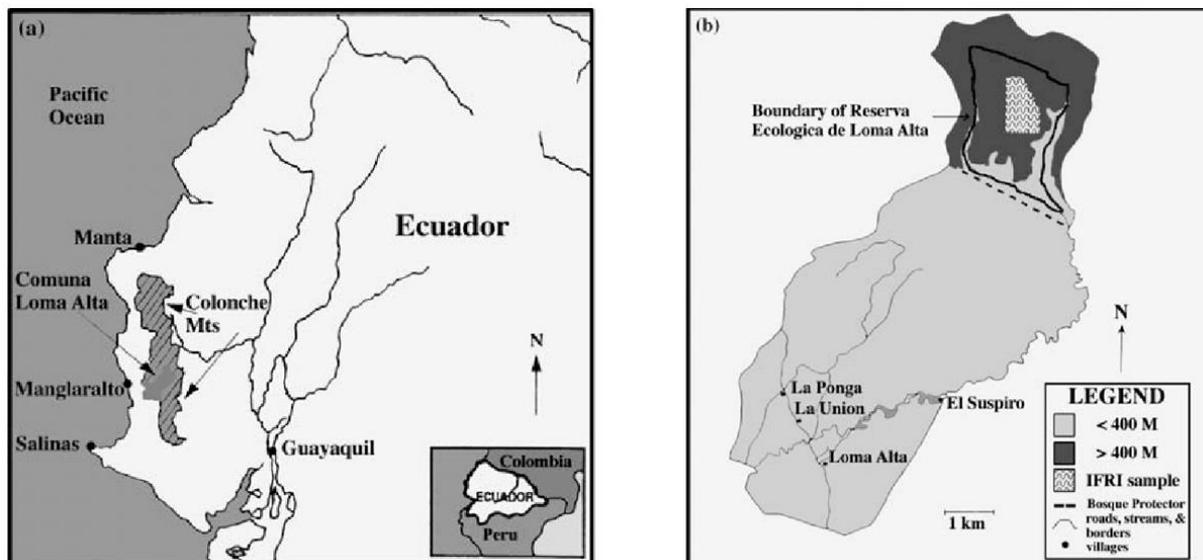
Además, durante la ejecución del proyecto se gestionarán de manera responsable los desechos y emisiones derivadas de la maquinaria utilizada, asegurando que no afecten negativamente la calidad del aire ni los recursos naturales de la zona. Se llevará a cabo un estudio detallado del impacto ambiental, evaluando tanto los beneficios como las posibles consecuencias para la flora, fauna y la comunidad local de la comuna Loma Alta.

4.2 Línea base ambiental

Para cuantificar el impacto ambiental que causará la implementación del dique en el sector Loma Alta, es importante obtener información detallada sobre la zona de estudio, enfocándonos en los factores físicos, biológicos y socioeconómicos. Es esencial resaltar que dentro de la comuna existe una reserva ecológica, la misma que alberga especies de flora y fauna de gran importancia. Esta reserva, conocida como la Reserva Ecológica Comunal Loma Alta, se encuentra en la provincia de Santa Elena (Astudillo-Sánchez et. al., 2019).

Figura 4.1

Ubicación de la Reserva Ecológica Comunal Loma Alta. Fuente: Becker et. al., 2005



4.2.1 Medio abiótico

La comuna Loma Alta está situada cerca de la Cordillera Chongón Colonche, dentro de la provincia de Santa Elena, Ecuador. La altitud de Loma Alta varía significativamente; en las áreas pobladas, se encuentra entre los 64 y 90 metros sobre el nivel del mar. Esta área es conocida por su diversidad y endemismo, albergando una mezcla de bosques húmedos tropicales y secos. El clima de la Cordillera Chongón Colonche está influenciado por la

corriente fría de Humboldt, la cual genera un fenómeno de nubosidad localmente conocido como garúa, predominante entre junio y septiembre.

Este fenómeno cambia la estacionalidad del área, contribuyendo a la precipitación horizontal que forma bosques húmedos en las partes altas mientras mantiene bosques secos en las partes bajas. Durante la estación lluviosa, las partes altas de la Cordillera Chongón-Colonche reciben una precipitación que alcanza los 1,200 mm, con temperaturas diurnas que pueden llegar hasta los 36 °C. En la estación de garúa, la precipitación en las partes altas se mantiene en torno a los 1,080 mm, con temperaturas nocturnas que descienden hasta los 18 °C. La temperatura media anual en esta área es de 23.4 °C (Astudillo Sanchez et. al., 2020).

La precipitación en la Cordillera Chongón Colonche se ve notablemente afectada por la garúa, que contribuye con 108 mm de humedad durante su estación, representando el 40% del agua interceptada por los bosques a partir de los 400 metros sobre el nivel del mar y reteniéndose un 10% como agua subterránea. En Loma Alta, la precipitación anual promedio registrada entre 2005 y 2015 fue de 31.35 mm, según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2010).

El mes de febrero es el más lluvioso, con un promedio de 101.67 mm, mientras que mayo es el mes con menor precipitación, con un promedio de 6.86 mm. Es importante destacar que en varios meses los datos de precipitación fueron registrados como cero, reflejando la estacionalidad extrema de la región.

4.2.2 Flora y fauna

La vegetación en Loma Alta es diversa, con 37 especies de árboles, que incluyen guayacanes, palmeras, guasmos y cañas. Estas especies arbóreas forman la base del ecosistema forestal, ofreciendo soporte y hábitat para muchas otras formas de vida. El clima local, caracterizado por la presencia de garúa entre junio y octubre, contribuye a mantener un ambiente húmedo y favorable para el desarrollo de esta flora natural (Paucar, 2019).

La reserva ecológica comunal Loma Alta es un refugio significativo para la avifauna, albergando aproximadamente 300 especies de aves. Entre estas se encuentran horneros, tangaras, mirlos, mosqueros, matorraleros y martín pescador. Esta diversidad variante ha llevado a que Loma Alta sea reconocida como el Área Importante para la Conservación de Aves (AICA) por la organización *Birdlife International*. Además, se encuentran en la reserva especies amenazadas y endémicas como el mosquero pechigrís y la guacharaca colorada.

Loma Alta es también uno de los pocos lugares en el mundo donde se puede observar al colibrí de esmeraldas, junto con otras especies pequeñas de colibríes (BirdLife International, 2024). El área también es hogar de 37 especies de mamíferos, incluyendo murciélagos, monos, ardillas y venados. Estos mamíferos desempeñan roles vitales en el ecosistema, contribuyendo a la dispersión de semillas y al control de plagas, entre otras funciones ecológicas.

4.2.3 *Ámbito social*

En la comuna Loma Alta se desarrollan diversas actividades económicas que sostienen la economía local y proporcionan empleo a la población. La principal actividad económica es la agricultura, que involucra al 80% de la población activa. Desde la creación del pueblo, los habitantes se han dedicado a la agricultura, cultivando una diversidad de productos agrícolas, desde cultivos de ciclo corto y estacional hasta cultivos de ciclo largo. Estos productos son vendidos en mercados de Santa Elena, Guayas y Manabí, lo que asegura ingresos para muchas familias.

Además de la agricultura, los residentes de Loma Alta también crían aves de corral y cerdos, lo cual complementa la canasta familiar y proporciona una fuente adicional de alimentos y recursos. El comercio es otra actividad importante en la comuna, con algunas familias dedicándose a la venta de diversos productos y servicios tanto dentro como fuera de la comunidad (Tomalá, 2013).

4.3 Actividades del proyecto

Para las actividades previstas durante la fase constructiva y operativa del dique, los impactos ambientales que podrían generarse incluyen:

4.3.1 Actividades durante la construcción

Dentro de las actividades presentes en la construcción de un dique, considerando los impactos que se puedan generar en el ámbito natural y social, se destacan las descritas a continuación:

1. Desbroce del terreno y movimiento de tierra: Ingreso de maquinarias puede producir perturbaciones en el cauce del río, así como contaminación auditiva, vibraciones y la generación de contaminantes atmosféricos. La remoción de la vegetación a su vez afecta a la pérdida del paisaje y flora natural.
2. Desviación del cauce del río: Modificación de los caudales y el curso del río puede afectar a la calidad del agua, la sedimentación y las condiciones de la vida acuática de la zona.
3. Encofrados: Hormigonado del dique puede producir la generación de desechos o residuos de la construcción tal como restos de encofrados y hormigón afectando así la calidad del agua.

4.3.2 Actividades durante la operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de un dique son importantes para garantizar su funcionalidad y seguridad a largo plazo. Estas actividades abarcan una variedad de tareas destinadas a preservar la estructura y a asegurar que cumpla con su propósito de manera eficiente, considerando los impactos ambientales que puedan darse con estas actividades. A

continuación, se destacan algunas de las principales actividades involucradas en la operación y el mantenimiento de un dique:

1. Remoción de sedimentos: Alteración de la topografía de la zona al remover los sedimentos del dique.
2. Mantenimiento y monitoreo de estructura: Contaminación atmosférica continua dado los mantenimientos y operaciones en el dique y posible generación de desechos si la estructura presenta reparaciones o refuerzo.
3. Control de vegetación: Afectación a la diversidad de flora en la zona.

4.4 Identificación de impactos ambientales

Para identificar el impacto ambiental basado en las actividades establecidas en el punto anterior, se utiliza una matriz de causa y efecto. Esta matriz permite visualizar y evaluar las interacciones entre las acciones del proyecto y los elementos del medio ambiente que podrían verse afectados.

Table 1*Matriz causa-efecto fase constructiva.*

		Fase constructiva							
Características	Identificación de impactos ambientales	Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal en el río	Desbroce y relleno	Excavación	Control de polvo	Gestión de desechos residuales	Actividad económica	
		Suelo	x		x	x			
	Agua		x					x	
	Erosión	x	x	x	x	x			
	Contaminación	x	x		X	x	x		
	Aceptabilidad	x	x		X			x	
	Salud y seguridad					x	x	x	
	Empleo		x				x	x	
	Estructuras	x	x	x	x				

Nota. Fuente: Autores**Table 2***Matriz causa-efecto fase operativa y de mantenimiento.*

		Fase operativa							
Características	Identificación de impactos ambientales	Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal	Socavación	Lecho de río (Transporte de partículas)	Calidad del agua	Actividad económica		
		Suelo	x	x	x	x			
	Agua	x	x			x			
	Erosión	x	x		x				
	Contaminación	x	x		x				
	Inundación	x	x	x					

Salud y seguridad	x	x
Empleo		x
Estructuras	x	

Nota. Fuente: Autores

Mediante la matriz de causa y efecto en las dos fases del proyecto, es posible identificar las acciones que tienen mayor influencia debido a su impacto ambiental. Durante la fase de construcción se destaca la acumulación de desechos generados por la implementación del dique, como residuos de hormigón, encofrados, clavos y varillas. Estos desechos pueden contaminar el suelo y el agua afectando negativamente la flora y fauna local.

Otra acción significativa en esta fase es la remoción de la capa de vegetación, necesaria para el movimiento de tierra. Esta actividad provoca la erosión del suelo y la perturbación de los ecosistemas locales. En la fase operativa y de mantenimiento, una de las principales acciones es la acumulación de sedimentos en ciertas zonas, ya que esto requiere un mantenimiento regular para retirar los sedimentos mediante el uso de maquinaria, lo cual puede afectar la calidad del agua y la estabilidad del dique.

Además, el monitoreo constante de la estructura es esencial debido a las situaciones generadas por el aumento del caudal y la estabilidad del dique, asegurando así la funcionalidad de la estructura y previniendo posibles fallas. Por último, la presencia de vegetación puede causar obstrucciones en el funcionamiento del dique, lo que hace necesario un control y mantenimiento adecuado para asegurar el flujo adecuado del agua y la eficiencia del dique.

4.5 Valoración de impactos ambientales

Para la elaboración de la valoración de impactos ambientales, se hizo uso de la matriz de Leopold, en la cual se asigna un valor positivo o negativo a los criterios identificados previamente en la matriz causa-efecto. Los impactos ambientales se evalúan en función de su

tamaño, importancia, duración y capacidad de recuperación durante las distintas fases del proyecto (Crespí, 2000). Es importante definir claramente las actividades que se desarrollarán en cada etapa del proyecto. El índice de importancia se establece mediante una valoración cuantitativa, en la cual se atribuye un valor de 1 a 10. Para obtener la valoración del impacto, se emplea la siguiente expresión (Tito, 2020).

$$Imp = W_e \cdot E + W_d \cdot D + W_r \cdot R \quad (4.1)$$

$$IA = \pm \sqrt{(Imp \cdot |Mag|)} \quad (4.2)$$

Donde, W_e corresponde a peso de extensión, E corresponde a la valoración de extensión, W_d corresponde al peso de duración, D corresponde a la valoración de la duración, W_r corresponde al peso de reversibilidad, R corresponde al valor de la reversibilidad, Imp es la valoración calculada de importancia ambiental, IA es la valoración de impacto ambiental y finalmente Mag es el valor de magnitud.

En las tablas mostradas anteriormente se describen una matriz de Leopold para cada fase instaurada en el proyecto (Leopold, 1971). Se ha identificado la magnitud e importancia de cada efecto en las fases de construcción y operación en conjunto con mantenimiento. Los valores en la matriz varían del 1 al 10, donde 1 corresponde a una intervención mínima y 10 a una intervención máxima posible. En el parámetro de magnitud, se utiliza un signo (+) para efectos positivos y un signo (-) para efectos negativos contra el medio ambiente.

Magnitud Importancia		Fase constructiva						
		Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal en el río	Desbroce y relleno	Excavación	Control de polvo	Gestión de desechos	Actividad económica
Características	Suelo	-6 7		-3 5	-5 6			
	Agua	-2 7	7 8		-4 8			8 9
	Erosión	-7 4	-6 7	-3 3	-5 7	4 5		
	Contaminación	-3 5	-5 8	-3 5	-4 4	-6 8	-8 7	
	Aceptabilidad	-2 7	-6 7		-4 6			6 8
	Salud y seguridad					-7 7	-6 8	
	Empleo		-3 4				-2 7	5 8
	Estructuras	-6 7	6 4	-6 7	-6 7			5 7

Impactos	Positivos	0	2	0	0	1	0	4
	Negativos	6	4	4	4	2	3	0
	Totales	6	6	4	4	3	3	4

Impactos		
Positivos	Negativos	Totales
0	3	3
2	2	4
1	4	5
0	5	5
1	2	3
0	2	2
1	2	3
2	3	5

7	23	30
23		
30		Totales

Tabla 4.1

Matriz de Leopold. Fase constructiva.

Tabla 4.2

Valores de impacto ambiental en la fase constructiva.

Magnitud Importancia		Fase constructiva							Impactos		
		Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal en el río	Desbroce y relleno	Excavación	Control de polvo	Gestión de desechos	Actividad económica	Positivos	Negativos	Totales
Características	Suelo	-6,48		-3,87	-5,48				0	-15,83	-15,83
	Agua	-3,74	7,48		-5,66			8,49	15,97	-9,40	6,568
	Erosión	-5,29	-6,48	-3	-5,92	4,47			4,47	-20,69	-16,217
	Contaminación	-3,87	-6,32	-3,87	-4	-6,93	-7,48		0	-32,47	-28,47
	Aceptabilidad	-3,74	-6,48		-4,90			6,93	6,93	-15,12	-3,291
	Salud y seguridad					-7	-6,93		0	-13,93	-13,93
	Empleo		-3,46				-3,74	6,32	6,32	-7,2	-0,875
	Estructuras	-6,48	4,9	-6,48	-6,48			5,92	10,82	-19,44	-8,623
Impactos	Positivos	0	12,38	0	0	4,47	0	27,65	44,509	-134,08	-89,570
	Negativos	-29,6	-22,74	-17,22	-32,44	-13,93	-18,15	0	-134,08		

Totales	-29,6	-10,356	-17,22	-32,44	-9,457	-18,15	27,654
---------	-------	---------	--------	--------	--------	--------	--------

-89,570	Totales
---------	---------

Tabla 4.3

Matriz de Leopold. Fase de operación y mantenimiento.

		Fase operativa y mantenimiento					
		Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal	Socavación	Lecho de río (Transporte de partículas)	Calidad del agua	Actividad económica
Magnitud	Importancia						
	Características	Suelo	-3 7	-2 7	-5 8	-6 7	
Agua		-2 9	-4 6			7 9	
Erosión		-5 7	-5 8		-6 8		
Contaminación		-3 8	-4 7		-2 8		
Inundación		-4 10	-2 8	-2 8			
Salud y seguridad			-1 8				8 9
Empleo							9 8
Estructuras				-6 7			

Impactos		
Positivos	Negativos	Totales
0	4	4
1	2	3
0	3	3
0	3	3
0	3	3
1	1	2
1	0	1
0	1	1

Impactos	Positivos	0	0	0	0	1	2
	Negativos	5	6	3	3	0	0
	Totales	5	6	3	3	1	2

3	17	20
17		
20		Totales

Tabla 4.4

Valores de impacto ambiental en la fase operativa y mantenimiento.

		Fase operativa y mantenimiento					
Magnitud	Importancia	Cambios en la cubierta terrestre	Modificación de caudal	Socavación	Lecho de río (Transporte de partículas)	Calidad del agua	Actividad económica
Agua	-4,24	-4,90			7,94		
Erosión	-5,92	-6,32		-6,93			
Contaminación	-4,90	-5,29		-4			
Inundación	-6,32	-4	-4				
Salud y seguridad		-2,83				8,49	
Empleo						8,49	

Impactos		
Positivos	Negativos	Totales
0	-21,12	-21,12
7,94	-9,14	-1,203
0	-19,17	-19,17
0	-14,19	-14,19
0	-14,32	-14,32
8,49	-2,83	5,66
8,49	0,00	8,49

	Estructuras			-6,48			
--	-------------	--	--	-------	--	--	--

0	-6,48	-6,48
---	-------	-------

Impactos	Positivos	0	0	0	0	7,94	16,98
	Negativos	-25,96	-27,08	-16,8	-17,41	0	0
	Totales	-25,96	-27,08	-16,8	-17,41	7,937	16,98

24,917	-87,25	-62,332
-87,25		
-62,332		Totales

Con los datos obtenidos en importancia y magnitud de cada una de las matrices dadas, se efectuó el cálculo cuantitativo respectivo para el impacto ambiental haciendo uso de la expresión 2. Se obtiene un valor numérico que indica el resultado del impacto, clasificándolo como bajo, medio o alto. En este caso, se ha detallado dicha información en las tablas 4 y 6, permitiéndonos clasificar el impacto de las dos fases esenciales en la implementación del dique para la posterior planificación de medidas de mitigación contra los impactos ambientales generados.

Durante la fase de construcción, los impactos ambientales más significativos serán la excavación, el cambio de la cubierta terrestre y la gestión de desechos. Como parte del proceso de mejoramiento del suelo en el sitio donde se ubicará el dique, será necesario retirar una gran cantidad de material y trasladarlo hacia una zona específica donde sea requerido. Además, se deben gestionar adecuadamente los desechos, como los residuos provenientes de la construcción como lo es el hormigón y restos de encofrado y varillas. Este proceso de excavación y manejo de desechos también generará efectos negativos adicionales, como el ruido causado por la maquinaria y la liberación de partículas de polvo en el ambiente durante la fase de construcción.

Durante la fase de mantenimiento y operación, se pueden identificar dos efectos principales que afectan el medio ambiente: la socavación y los cambios en la cubierta terrestre. La socavación es particularmente relevante debido a que el tipo de suelo del río es propenso a erosionarse fácilmente, lo que puede resultar en mayores profundidades durante periodos de retorno de 200 años. Los cambios en la cubierta terrestre son otro impacto negativo sobre el medio ambiente. No obstante, este tipo de alteraciones son inevitables cuando se construye una infraestructura hídrica que cambia el comportamiento natural del cauce del río.

4.6 Medidas de prevención y mitigación

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) se ha desarrollado con el objetivo de mitigar los efectos más significativos en términos de impacto ambiental durante las fases de construcción y operación y mantenimiento del dique. Para proponer las medidas de prevención y mitigación, se elaboró una tabla que detalla la medida a implementar, el impacto que se busca mitigar, los responsables durante la ejecución, tiempo estimado, la ubicación del sitio, las actividades a desarrollar, recursos específicos y costo aproximado.

Tabla 4.5

Medidas de prevención y mitigación durante la fase constructiva.

Fase constructiva						
Medida	Impacto por mitigar	Responsable	Tiempo	Ubicación	Actividades y recursos empleados	Costo (USD)
Depósito adecuado de desechos de construcción	Desalojo de material producido durante la excavación en el sitio	Residente de obra	Previo a la construcción	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Determinar un sitio adecuado para el depósito de material	\$65,00
Horarios de trabajo con maquinaria	Evitar contaminación auditiva por la extracción de materiales	Residente de obra y operadores de maquinaria	Previo a la construcción	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Establecer un cronograma para las actividades necesarias con maquinaria con un horario que no perturbe a la comuna	\$15,00

Extracción de materiales de construcción en área específica	Evitar contaminación auditiva y afectación al medio ambiente	Residente de obra y operadores de maquinaria	Previo a la construcción	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Determinar zonas estratégicas para la extracción de materiales las cuales no perjudiquen la flora y fauna del lugar	\$15,00
Socialización y educación con los pobladores afectados	Aceptación por parte de la comuna	Residente de obra	Previo a la construcción	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Descripción del alcance del proyecto a la comuna	\$200,00

Los pobladores afectados son aquellos que posean viviendas y sembríos en la zona de construcción del dique. Sin embargo, todos los pobladores de la comuna tendrán acceso a un anuncio donde se describen las actividades durante la implementación del dique. Este anuncio general estará disponible en la casa comunal, lugar donde la comuna puede acceder sin dificultad. De igual manera, en caso se necesite, se capacitará a una persona dentro de la directiva de la comuna para que pueda socializar el proyecto a las personas que lo requieran.

Tabla 4.6

Medidas de prevención y mitigación durante la fase operativa y mantenimiento.

Fase operativa y mantenimiento						
Medida	Impacto por minimizar	Responsable	Tiempo	Ubicación	Actividades y recursos empleados	Costo (USD)

Monitoreo del cauce del río	Controlar del cauce del río	Delegado de la comuna	Antes de la operación	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Controlar los niveles de agua en el río y monitorear los caudales en el cauce	\$60,00
Remoción de sedimentos acumulado	Acumulación de sedimentos	Delegado de la comuna	Primeros años de operación	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Realizar limpiezas periódicas de los sedimentos acumulados	\$300,00
Revisión periódica de la estructura del dique	Socavación producida	Delegado de la comuna	Primeros años de operación	Sitio de construcción del dique ubicado en Loma Alta, Santa Elena	Revisar la socavación producida para evitar daños en el dique	\$200,00

La limpieza de sedimentación debe llevarse a cabo según el comportamiento observado durante los primeros años de funcionamiento del dique. Se debe realizar cada seis meses o anualmente, o antes de eventos significativos de precipitación y almacenamiento como el fenómeno del Niño, para medir el nivel o altura de la sedimentación y proceder con su retiro. Esta limpieza debe ser monitoreada y ejecutada por personal de la comuna durante la época de estiaje, cuando el nivel del reservorio es más bajo y la maquinaria no puede acceder a la mayor parte de la represa.

Se recomienda capacitar a miembros de la comuna para realizar inspecciones periódicas de sedimentación en el cauce del río, así como de la socavación en la base del dique (preferentemente, antes y después de cada estación lluviosa). Tras los primeros 2 o 3 años de observación, registro y retiro de sedimentos, se establecerá una frecuencia adecuada para estas tareas en los años siguientes y se estimará el presupuesto necesario.

Capítulo 5

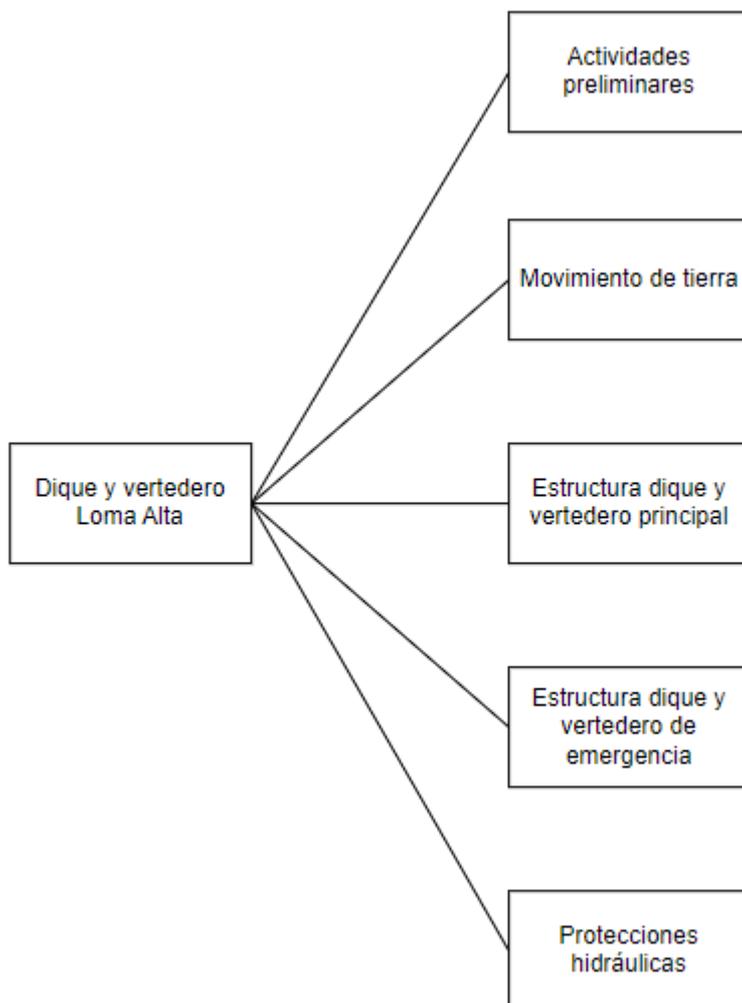
5 PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

Para la construcción del dique principal y lateral en la comuna de Loma Alta se han considerado seis tareas principales: actividades preliminares, movimiento de tierra, construcción del dique principal, construcción del dique lateral de emergencia y protecciones hidráulicas. En la Figura 5.1 se detallan los paquetes de trabajo por capítulo que incluirá este proyecto.

Figura 5.1

División detallada del trabajo



5.2 Rubros y análisis de precios unitarios

Se consideraron 5 paquetes de trabajo principales en los rubros. En primer lugar, se abordó las actividades preliminares, que incluyó la limpieza del terreno, la nivelación y el replanteo. En segundo lugar, se detalla el movimiento de tierra, que comprendió la excavación con maquinaria, el desalojo del material, el relleno y la compactación del material de mejoramiento, así como el cuerpo del dique. El tercer y cuarto capítulo se centró en la estructura de hormigón principal y de emergencia, donde se contempló el replantillo y el armado de los dos vertederos incluidos su delantal y pantalla impermeable. El último capítulo abarcó las protecciones, que incluían la protección del talud y del fondo del río con geomalla y el enrocado en conjunto con el grouting (lechada).

Tabla 5.1

Precios unitarios en presupuesto

Código	Rubro	Unidad	Precio unitario
1	Actividades preliminares		
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	1.47
1.2	Limpieza y desbroce del terreno	m ²	1.29
1.3	Desvío del río	m ³	28.3
1.4	Reconformación de taludes	m ²	8.89
2	Movimiento de tierra		
2.1	Excavación a máquina con presencia de agua	m ³	6.7
2.2	Relleno compactado con material de mejoramiento para cuerpo del talud con maquinaria	m ³	23.51
2.3	Relleno compactado con maquinaria, material para núcleo de arcilla	m ³	44.21
2.4	Relleno compactado material de préstamo importado	m ³	12.3
2.5	Desalojo de material	m ³	3.2

3	Estructura dique y vertedero principal		
3.1	Replanto f'c=180 kg/cm ²	m ³	71.78
3.2	Hormigón armado muro de contención f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
3.3	Hormigón armado risberma fc=450kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	212.9
3.4	Hormigón armado vertedero fc=380kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	158.26
3.5	Hormigón armado delantal f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
3.6	Hormigón armado pantalla f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
3.7	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	2.8
3.8	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm ²	kg	2.24
4	Estructura dique y vertedero de emergencia		
4.1	Replanto f'c=180 kg/cm ²	m ³	71.78
4.2	Hormigón armado muro de contención f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
4.3	Hormigón armado risberma fc=450kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	212.9
4.5	Hormigón armado vertedero fc=380kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	158.26
4.6	Hormigón armado delantal f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
4.7	Hormigón armado pantalla f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	110.09
4.8	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	2.8
4.9	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm ²	kg	2.24

5 Protecciones

5.1	Geotextil no tejido 1600 NT	m ²	1.31
5.2	Enrocado	m ³	19.41
5.3	Grouting	m ³	591.05

5.3 Descripción de cantidades de obra

Para calcular las cantidades de obra, se hizo uso del software AutoCAD para medir el área superficial de los rubros cuyas unidades se expresan en metros cuadrados (m²). En el caso de los rubros que se miden en metros cúbicos (m³), se determinó su volumen multiplicando el área superficial que se obtuvo de los planos de corte por la longitud de los elementos.

Tabla 5.2

Cantidades del proyecto

Código	Rubro	Unidad	Cantidad
1	Actividades preliminares		
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	7223.3
1.2	Limpieza y desbroce del terreno	m ²	5405
1.3	Desvío del río	m ³	783.3
1.4	Reconformación de taludes	m ²	320
2	Movimiento de tierra		
2.1	Excavación a máquina con presencia de agua	m ³	3540
2.2	Relleno compactado con material de mejoramiento para cuerpo del talud con maquinaria	m ³	6195.53
2.3	Relleno compactado con maquinaria, material para núcleo de arcilla	m ³	2133.63
2.4	Relleno compactado material de préstamo importado	m ³	3047.94
2.5	Desalojo de material	m ³	3540
3	Estructura dique y vertedero principal		
3.1	Replanteo f'c=180 kg/cm ²	m ³	43.92

3.2	Hormigón armado muro de contención $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	214.14
3.3	Hormigón armado risberma $f'c=450 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	170
3.4	Hormigón armado vertedero $f'c=380 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	299.6
3.5	Hormigón armado delantal $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	150
3.6	Hormigón armado pantalla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	112
3.7	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	5.4
3.8	Acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$	kg	7120.3
4	Estructura dique y vertedero de emergencia		
4.1	Replanteo $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$	m^3	44
4.2	Hormigón armado muro de contención $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	214.14
4.3	Hormigón armado risberma $f'c=450 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	170
4.5	Hormigón armado vertedero $f'c=380 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	346.6
4.6	Hormigón armado delantal $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	150
4.7	Hormigón armado pantalla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (incluye encofrado)	m^3	112
4.8	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	6.4
4.9	Acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$	kg	10719.9
5	Protecciones		
5.1	Geotextil no tejido 1600 NT	m^2	8765.3
5.2	Enrocado	m^3	4402.99

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

El presupuesto general tiene un valor total de \$850 799.44 tomando en consideración todos los paquetes de trabajos con sus rubros descritos previamente.

Tabla 5.3

Presupuesto total del proyecto

Código	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Actividades preliminares				\$ 42 602.89
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	7223.3	1.47	\$ 10 618.25
1.2	Limpieza y desbroce del terreno	m ²	5405	1.29	\$ 6 972.45
1.3	Desvío del río	m ³	783.3	28.3	\$ 22 167.39
1.4	Reconformación de taludes	m ²	320	8.89	\$ 2 844.80
2	Movimiento de tierra				\$ 312 520.29
2.1	Excavación a máquina con presencia de agua	m ³	3540	6.7	\$ 23 718.00
2.2	Relleno compactado con material de mejoramiento para cuerpo del talud con maquinaria	m ³	6195.53	23.51	\$ 145 656.91
2.3	Relleno compactado con maquinaria, material para núcleo de arcilla	m ³	2133.63	44.21	\$ 94 327.78
2.4	Relleno compactado material de préstamo importado	m ³	3047.94	12.3	\$ 37 489.60
2.5	Desalojo de material	m ³	3540	3.2	\$ 11 328.00
3	Estructura dique y vertedero principal				\$ 155 143.12
3.1	Replanteo f'c=180 kg/cm ²	m ³	43.92	71.78	\$ 3 152.58
3.2	Hormigón armado muro de contención f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	214.14	110.09	\$ 23 574.67
3.3	Hormigón armado risberma f'c=450kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	170	212.9	\$ 36 193.00
3.4	Hormigón armado vertedero f'c=380kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	299.6	158.26	\$ 47 414.70

3.5	Hormigón armado delantal f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	150	110.09	\$	16 513.50
3.6	Hormigón armado pantalla f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	112	110.09	\$	12 330.08
3.7	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	5.4	2.8	\$	15.12
3.8	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm ²	kg	7120.3	2.24	\$	15 949.47
4	Estructura dique y vertedero de emergencia				\$	170 652.98
4.1	Replanteo f'c=180 kg/cm ²	m ³	44	71.78	\$	3 158.32
4.2	Hormigón armado muro de contención f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	214.14	110.09	\$	23 574.67
4.3	Hormigón armado risberma fc=450kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	170	212.9	\$	36 193.00
4.5	Hormigón armado vertedero fc=380kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	346.6	158.26	\$	54 852.92
4.6	Hormigón armado delantal f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	150	110.09	\$	16 513.50
4.7	Hormigón armado pantalla f'c=280 kg/cm ² (incluye encofrado)	m ³	112	110.09	\$	12 330.08
4.8	Corte y sellado de juntas con poliuretano, incluye cordón e imprimante para vertedero y muro de contención	m	6.4	2.8	\$	17.92
4.9	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm ²	kg	10719.9	2.24	\$	24 012.58
5	Protecciones				\$	169 880.15
5.1	Geotextil no tejido 1600 NT	m ²	8 765.3	1.31	\$	11 482.54
5.2	Enrocado	m ³	4 402.99	19.41	\$	85 462.04
5.3	Grouting	m ³	123.4	591.05	\$	72 935.57
Total					\$	850 799.44

5.5 Cronograma de obra

El proyecto se desarrollará en cinco fases: actividades preliminares, movimientos de tierra, construcción de la estructura de hormigón para los vertederos principal y de emergencia, y la implementación de protecciones hidráulicas. Se ha establecido un horario de trabajo de lunes a viernes en jornada laboral completa (08h00 – 17h00), con un total de 8 horas diarias; los feriados serán contemplados como días no laborables. El cronograma de ejecución tiene una fecha estimada de inicio el 5 de mayo de 2025 y se prevé que finalice el 24 de septiembre de 2025, con una duración total de 321 días. La fecha de inicio se ha seleccionado estratégicamente para coincidir con el comienzo de la temporada seca, lo que facilitará las labores de construcción. Este periodo está previsto para completar la construcción de ambos diques. Se ha identificado la ruta crítica del proyecto, y es fundamental que las tareas en esta ruta se realicen sin demoras para evitar la extensión del plazo de finalización.

Figura 5.2

Cronograma de trabajo del proyecto



Capítulo 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Utilizando las herramientas de HEC-HMS, se determinó el caudal máximo en la zona de estudio. Posteriormente, con el software HEC-RAS, se calibró el modelo, obteniendo un caudal adecuado de 128.2 m³/s para un periodo de retorno de 200 años. La topografía, levantada en campo con equipos de RTK y dron y procesada en *Agisoft*, permitió seleccionar la ubicación óptima para la construcción del dique. Este sitio fue elegido debido a la recarga de acuíferos, fundamental para el almacenamiento de agua, y por su accesibilidad. Además, en esta ubicación se almacena un volumen de 105,019.37 m³ de agua superficial.

El dique tiene una longitud de 64 metros, un ancho de 25.80 metros, una corona de 3 metros, y se eleva a una cota de 49.7 msnm. En cuanto al análisis económico, se obtuvo una relación costo-almacenamiento de 8.10 \$/m³, ligeramente elevada en comparación con otros proyectos de la zona. Esto se debe a las complicaciones derivadas de las infiltraciones en el vertedero, lo que requirió estructuras adicionales de hormigón, como el delantal y la pantalla, para proteger la estructura.

El dique cuenta con dos vertederos: el vertedero principal, ubicado en el eje del río con una cota de cresta de 46.7 msnm, y el vertedero de emergencia, que es una estructura lateral perpendicular al eje del río, con una cota de cresta de 48.2 msnm. La cota del vertedero lateral es mayor porque está diseñado para operar únicamente en situaciones de emergencia, evitando inundaciones a lo largo del cauce y asegurando un borde libre mínimo de 0.6 metros para prevenir sobrevertidos.

Las modelaciones permitieron estimar los tirantes en las zonas de mayor interés y las velocidades necesarias para determinar las fuerzas de empuje sobre la estructura y diseñar las protecciones tanto del cuerpo del dique como de los taludes. Para este diseño, se emplearon

factores de seguridad sísmicos mínimos de 3 y 1.6, respectivamente, para prevenir el volcamiento y los deslizamientos del vertedero.

Mediante el uso de la matriz de Leopold y un análisis cuantitativo, se identificó los impactos más significativos en las fases de construcción y operación del proyecto. Entre estos impactos destacan la excavación, el cambio en la cubierta terrestre, la gestión de residuos, la socavación y la modificación del flujo del río. La evaluación cuantitativa permitió además asignar un valor numérico a estos impactos, facilitando su clasificación en riesgos bajos, medios y altos.

6.2 Recomendaciones

Es fundamental ejecutar limpiezas semestrales de fondo para retirar sedimentos y mantener las cotas especificadas en los planos, previniendo la pérdida de capacidad de embalse y problemas de sobrevertido. Durante el mantenimiento, se debe asegurar que la cota de fondo se mantenga para evitar socavación y garantizar la función del dique en la recarga de acuíferos.

Se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y realizar ajustes cuando sea necesario, con un enfoque especial en la socavación y la estabilidad del dique. Es crucial desarrollar estrategias específicas para mitigar la socavación y la modificación del flujo del río, aplicando prácticas de manejo sostenible del agua superficial y subterránea.

Finalmente, de ser posible, se debe levantar topografía complementaria en áreas con vegetación densa y extensa empleando una estación total. Para el levantamiento batimétrico, se deben registrar mediciones cada 20 metros a lo ancho del río, en las orillas y centro del cauce del río.

Referencias

- Albarracín, M., Ramón, G., González, J., Iñiguez-Armijos, C., Zakaluk, T., & Martos-Rosillo, S. (2021). The Ecohydrological Approach in Water Sowing and Harvesting Systems: The Case of the Paltas Catacocha Ecohydrology Demonstration Site, Ecuador. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 21(3). <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.07.007>
- Álvarez, S. G., Bazurco, M., Burmester, M., González Andricain, C., & Pía Escobar, Y. (2004). Comunas y comunidades con sistemas de albarradas: descripciones etnográficas.
- AL-Hussein, A. A. M., Khan, S., Ncibi, K., Hamdi, N., & Hamed, Y. (2022). Flood Analysis Using HEC-RAS and HEC-HMS: A Case Study of Khazir River (Middle East—Northern Iraq). *Water (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/w14223779>
- Andrade, T., Rodrigues, H., Bourguignon, M., & Cordeiro, G. (2015). The Exponentiated Generalized Gumbel Distribution. *Revista Colombiana de Estadística*, 38(1). <https://doi.org/10.15446/rce.v38n1.48806>
- Aranda, D. F. C. (2021). Fit of the two-component extreme value (TCEV) distribution through of Maximum Likelihood. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(2). <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-02-10>
- Arcement, George J. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. (Water-supply paper / United States Geological Survey ; 2339) "Prepared in cooperation with U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration."
- Arriola Carrasco, G. G., Villegas Granados, L. M., Arbulú Ramos, J. D. C., & Sotomayor Nunura, G. D. S. (2021). ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE AVENIDAS EMPLEANDO EL MÉTODO DE MUSKINGUM EN LA ESTACIÓN EL TAMBO DE

LA CUENCA CHICAMA, PERÚ. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2). <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1901>

Beltran Ortega, P. A. (2020). *Comparación de técnicas de interpolación espacial (IDW y Kriging) utilizando medidas de campo eléctrico en la Comuna Dos de la ciudad de San José de Cúcuta*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/24828>.

Benalcázar C., Ramos N. (2022). Metodología para la exploración de agua subterránea en la parte alta de la cuenca del río Valdivia - California mediante estudios hidrogeológicos y geofísicos en el sector Loma Alta, Santa Elena. FICT, ESPOL

Braja M, D., & León, J. C. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. In *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*.

Bureau of Reclamation. (1987). Design of small dams. *A Water Resources Technical Publication*.

Carrión-Mero, P., Tiviano, I., Hervas, E., Jaya-Montalvo, M., Malavé-Hernández, J., Solórzano, J., Berrezueta, E., & Morante-Carballo, F. (2023). Water Sowing and harvesting application for water management on the slopes of a volcano. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16029>

Chaves, H. M. L. (1996). *Erodibilidad y erosión hídrica en suelos tropicales: fundamentos y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Sede Bogotá.

Chow, V. Te. (1958). *Open-Channel Hydraulics* (Student Edition, Vol. 1)

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. In *Hidrología aplicada*.

Coronado-Hernández, Ó. E., Merlano-Sabalza, E., Díaz-Vergara, Z., & Coronado-Hernández, J. R. (2020). Selection of hydrological probability distributions for extreme rainfall

events in the regions of Colombia. *Water (Switzerland)*, 12(5).

<https://doi.org/10.3390/W12051397>

Danka, J., & Zhang, L. M. (2015). Dike Failure Mechanisms and Breaching Parameters.

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 141(9).

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001335](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001335)

GAD Paltas. 2017. *Formulario de Postulación al Premio Verde del Banco del Estado 2017.*

Plan de manejo de la microcuenca San Pedro Martir y de la reserva Pisaca, como zona de recarga de las fuentes que abastecen de agua para consumo humano a la ciudad de Catacocha.

Genç, A. I. (2012). Distribution of linear functions from ordered bivariate log-normal

distribution. *Statistical Papers*, 53(4). <https://doi.org/10.1007/s00362-011-0389-y>

Herrera-Franco, G., Martos-Rosillo, S., Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-

Bitar, J., Durán, A., Upegui, J. V., Lucic, M. C., Mateos, L., Bardales, J. D., Peña, F., &

Gutiérrez-Ojeda, C. (2020). Water Sowing and Harvesting (SyCA), ancestral techniques that solve problems of the XXI century. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology.*

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.299>

INAMHI. (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de

precipitación. In *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]* (Issue 2).

IPCC. (2019). *La Tierra y el Cambio Climático. Unep*, 5.

Jansen, R. B. (2003). Dams, Dikes, and Levees. *Encyclopedia of Physical Science and*

Technology, 171–190. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00876-0>

- Krajewski, A., Sikorska-Senoner, A. E., Hejduk, A., & Hejduk, L. (2020). Variability of the initial abstraction ratio in an urban and an agroforested catchment. *Water (Switzerland)*, *12*(2). <https://doi.org/10.3390/w12020415>
- Leopold, L. B. (1971). A procedure for evaluating environmental impact (Vol. 645). US Department of the Interior.
- Martos-Rosillo, S., Durán, A., Castro, M., Vélez, J. J., Herrera, G., Martín-Civantos, J. M., Mateos, L., Durán, J. J., Jódar, J., Gutiérrez, C., Hermoza, R. M., & Peña, F. (2021). Ancestral Techniques of Water Sowing and Harvesting in Ibero-America: Examples of Hydrogeoethical Systems. In *Advances in Science, Technology and Innovation*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59320-9_104
- Mekonnen, Y. A., Mengistu, T. D., Asitatie, A. N., & Kumilachew, Y. W. (2022). Evaluation of reservoir sedimentation using bathymetry survey: a case study on Adebra night storage reservoir, Ethiopia. *Applied Water Science*, *12*(12). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01787-0>
- Morote Seguido, Á. F. (2014). La planificación y gestión de los recursos hídricos en España: aproximación a los principales grupos y líneas de investigación. *Investigaciones Geográficas*, *62*. <https://doi.org/10.14198/ingeo2014.62.08>
- Muñoz, D. F., Ruiz, C., & Guzman, S. (2016). Comparación Empírica de Varios Métodos para Estimar los Parámetros de la Distribución Lognormal con Traslado. *Informacion Tecnológica*, *27*(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300012>
- NEC. (2014). Norma Ecuatoriana de la construcción geotecnia y cimentaciones.
- NHI. (2009). *Bridge scour and stream instability countermeasures: experience selection, and design guidance*. 2.

- Orozco, I., Ramírez, A. I., & Francés, F. (2018). Modelación de los impactos del Cambio Climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña. *Ingeniería Del Agua*, 22(3). <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8931>
- Pizarro T., R., Hormazábal V., M., ... Morales C., C. (2009). *Determinación Empírica de los Parámetros que Modelan el Tránsito de Avenidas, por el Método de Muskingum, en Zonas de Clima*
- Ponce, V. M. (1994). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. (P. Hall, Ed.). doi:9780132778312
- Ramos Urzola, J. A., & Julio Amigo, L. F. (2012). *Regionalización de distribuciones hidrológicas de caudales máximos instantáneos en Colombia*.
- Revel, N. M. T. K., Ranasiri, L. P. G. R., Rathnayake, R. M. C. R. K., & Pathirana, K. P. P. (2015). Estimation of Sediment Trap Efficiency in Reservoirs - an Experimental Study. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 48(2). <https://doi.org/10.4038/engineer.v48i2.6833>
- Schreider, M., Scacchi, G., Franco, F., Fuentes, R., & Moreno, C. (2001). Aplicación del método de Lischtvan y Lebediev al cálculo de la erosión general. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 16(1).
- Sobótka, M., Róžański, A., Rainer, J., & Masłowski, M. (2023). A comprehensive computer aided approach to design of earthen dams of dry flood-control reservoirs. *MethodsX*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102077>
- Suárez, J. (2001). Cálculo de la Socavación. *Control de Erosión En Zonas Tropicales*.
- Ukarande, S. K. (2023). Design of Gravity Dams. In *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33552-5_6

US Army Corps of Engineers. (2023). HEC-HMS Applications Guide. Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsag/introduction/how-should-hec-hms-be-used>

Vargas Garay, L., Torres Goyeneche, O. D., & Carrillo Soto, G. A. (2018). Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander. *Respuestas*, 24(1).

Planos y Anexos

Figura 6.1

Perfil de socavación 50 metros antes del dique



Figura 6.2

Perfil de socavación 100 metros después del dique



Tabla 6.1

Cálculos para la obtención del Lag Time

Nombre de subcuenca	Area_SCuenca	Suma_CNi_Ai	CN_SCuenca	Longest Flowpath Length (Km)	Longest Flowpath Length (m)	Longest Flowpath Slope (M/M)	Longest Flowpath Slope (%)	Max Storage: S (mm)	Initial Abstractions: Ia (mm)	Tc (min)	Lag Time (min)
Subbasin-1	31600585.76	2220083012.78	70.25	2.35	2346.67	0.15	14.77	107.54	21.51	56.10	33.66
Subbasin-2	44864592.92	3165625826.52	70.56	4.54	4539.94	0.11	10.82	105.98	21.20	110.19	66.12
Subbasin-3	44680093.02	3148485546.16	70.47	4.20	4195.12	0.05	5.17	106.45	21.29	150.01	90.01
Subbasin-4	13981384.58	989398788.95	70.77	4.39	4387.20	0.03	3.37	104.93	20.99	191.13	114.68
S1	32357417.94	2278370661.10	70.41	7.88	7883.48	0.07	6.62	106.73	21.35	219.92	131.95
S2	32118500.73	2259961376.97	70.36	5.56	5562.04	0.10	9.95	106.98	21.40	135.91	81.55
S3	31745871.97	2231225748.80	70.28	4.25	4253.38	0.13	12.53	107.39	21.48	97.92	58.75
S4	32822992.84	2314190669.41	70.51	3.21	3212.54	0.18	18.10	106.26	21.25	64.70	38.82
S5	44538850.00	3134407071.85	70.37	7.48	7481.31	0.05	5.36	106.93	21.39	234.73	140.84
										Basin Lag min (min)	33.66
										DetaT Control max (min)	9.76
										dt (min)	9

Tabla 6.2

APU Rubro 1.1

RUBRO: Replanteo y nivelación **UNIDAD:** m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO	0.031			0,03204
SUBTOTAL M					0,03204
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	1,00	3,41	3,41	0,06	0,2046
Albañil	1,00	3,45	3,45	0,06	0,2070
Maestro mayor	1,00	3,82	3,82	0,06	0,2292
SUBTOTAL N					0,6408
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
piola	rollo	0,05	2,80	0,1400	
CLAVOS	Kg	0,02	5,00	0,1000	
Tira de madera 10cm x 3m	u	0,10	1,25	0,1250	
Pintura anticorrosiva	gl	0,01	19,13	0,1913	
SUBTOTAL O					0,5563
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					-
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1,2291
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					0,2458
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,4750
VALOR OFERTADO					1,47

Tabla 6.3

APU Rubro 1.2

RUBRO: Limpieza y desbroce del terreno **UNIDAD:** m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO	0.049			0,05115
SUBTOTAL M					0,05115
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,00	3,41	6,82	0,15	1,023
SUBTOTAL N					1,023
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
SUBTOTAL O					0
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1,074
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					0,215
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,289
VALOR OFERTADO					1,29

Tabla 6.4

APU Rubro 1.3

RUBRO: Desvío del río (Atagüía) **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,227869515
SUBTOTAL M					0,227869515
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1	3,45	3,45	0,26667	0,9200115
Peón	4	3,41	13,64	0,26667	3,6373788
SUBTOTAL N					4,5573903
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Puntal redondo L=3m	u	3,00	1,50	4,50	
Tablon L=3m A=0.20m	u	2,00	4,50	9,00	
Costal	u	10,00	0,50	5,00	
Clavos	Kg	0,10	3,00	0,30	
SUBTOTAL O					18,80
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					23,59
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					4,72
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					28,30
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA. VALOR OFERTADO					28,30

Tabla 6.5

APU Rubro 2.1

RUBRO: Excavación a máquina con presencia de agua **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,04
Excavadora sobre orugas	1,00	55,00	55,00	0,08	4,40
Bomba de agua 3"	1,00	3,00	3,00	0,08	0,24
SUBTOTAL M					4,68
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	1,00	3,41	3,41	0,10	0,34
Op. Excavadora	1,00	3,82	3,82	0,10	0,38
Engrasador o abastecedor responsable	0,50	3,45	1,73	0,10	0,17
SUBTOTAL N					0,90
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
SUBTOTAL O					0.000
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					5,58
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					1,12
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6,70
VALOR OFERTADO					6,70

RUBRO: Relleno compactado con maquinaria

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,03
Motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,07	3,50
Rodillo	1,00	40,00	40,00	0,07	2,80
SUBTOTAL M					6,33
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Op. Motoniveladora	1,00	3,82	3,82	0,07	0,27
Op. Rodillo autopropulsado	1,00	3,64	3,64	0,07	0,25
Engrasador o abastecedor responsable	0,50	3,45	1,73	0,07	0,12
SUBTOTAL N					0,64
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
SUBTOTAL O					0.000
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					6,98
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					1,40
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					8,37
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.	VALOR OFERTADO				8,37

Tabla 6.6

APU Rubro 2.2

RUBRO: Relleno compactado con material de mejoramiento para cuerpo del talud con maquinaria **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,03
Motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,04	2,00
Rodillo	1,00	40,00	40,00	0,04	1,60
Volquete 8m3	1,00	35,00	35,00	0,04	1,40
SUBTOTAL M					5,03
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Op. Motoniveladora	1,00	3,82	3,82	0,04	0,15
Op. Rodillo autopropulsado	1,00	3,64	3,64	0,04	0,15
Chofer volquetas est. ocup. C1	1,00	5,00	5,00	0,04	0,20
Engrasador o abastecedor responsable	0,50	3,45	1,73	0,04	0,07
SUBTOTAL N					0,57
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Material de mejoramiento	m3	1,00	14,00	14,00	
SUBTOTAL O					14,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					19,60
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					3,92
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					23,51
VALOR OFERTADO					23,51

Tabla 6.7

APU Rubro 2.3

RUBRO: Relleno compactado con maquinaria, material para núcleo de arcilla **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,03
Motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,04	2,00
Rodillo	1,00	40,00	40,00	0,04	1,60
Volquete 8m3	1,00	35,00	35,00	0,04	1,40
SUBTOTAL M					5,03
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Op. Motoniveladora	1,00	3,82	3,82	0,04	0,15
Op. Rodillo autopropulsado	1,00	3,64	3,64	0,04	0,15
Chofer volquetas est. ocup. C1	1,00	5,00	5,00	0,04	0,20
Engrasador o abastecedor responsable	0,50	3,45	1,73	0,04	0,07
SUBTOTAL N					0,57
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Arcilla impermeable	m3	1,25	25,00	31,25	
SUBTOTAL O					31,25
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					36,85
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					7,37
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					44,21
VALOR OFERTADO					44,21

Tabla 6.8

APU Rubro 2.5

RUBRO:		Desalojo de material		UNIDAD:		m ³	
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,02		
Retroexcavadora 75 HP	1,00	25,00	25,00	0,04	1,00		
Volqueta 8m3	1,00	30,00	30,00	0,04	1,20		
SUBTOTAL M					2,22		
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	1,00	3,41	3,41	0,04	0,14		
Operadores equipo	1,00	3,82	3,82	0,04	0,15		
Chofer volquetas est. ocup. C1	1,00	3,89	3,89	0,04	0,16		
SUBTOTAL N					0,44		
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
SUBTOTAL O					-		
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P					0.000		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2,67		
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					0,53		
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3,20		
VALOR OFERTADO					3,20		

Tabla 6.9

APU Rubro 3.1

RUBRO:		Replantillo f'c=180 kg/cm2			UNIDAD:		m ³
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta menor	5.00 %MO				0,02		
Concretetera	1,00	3,00	3,00	0,03	0,09		
SUBTOTAL M						0,11	
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	2,00	3,41	6,82	0,03	0,20		
Albañil	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11		
Maestro mayor	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11		
SUBTOTAL N						0,43	
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
Cemento	kg	300,00	0,14	42,00			
Ripio	m3	0,90	10,50	9,45			
Arena	m3	0,50	8,00	4,00			
Agua	m3	0,12	1,00	0,12			
Tabla de encofrados	Unidad	1,00	3,50	3,50			
Clavos	kg	1,00	0,20	0,20			
SUBTOTAL O						59,27	
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P						0.000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						59,82	
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %						11,96	
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO						71,78	
VALOR OFERTADO						71,78	

Tabla 6.10

APU Rubro 3.8

RUBRO: Acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$

UNIDAD: kg

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				0,01
SUBTOTAL M					0,01
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Fierrero	1,00	3,45	3,45	0,02	0,07
Peón	2,00	3,41	6,82	0,02	0,14
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0,40	3,82	1,53	0,02	0,03
SUBTOTAL N					0,24
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Acero de refuerzo $f_c=4200 \text{ kg/cm}^2$	Kg	1,03	1,45	1,49	
Alambre de amarre #18 negro recocado	kg	0,05	2,55	0,13	
SUBTOTAL O					1,62
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1,87
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					0,37
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,24
VALOR OFERTADO					2,24

Tabla 6.11

APU Rubro 3.4

RUBRO:		Hormigón simple $f_c=380\text{kg/cm}^2$			UNIDAD:		m^3
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta menor	5.00 %MO				0,51		
Vibrador de manguera	1,00	4,06	4,06	0,03	0,12		
Concretera	1,25	4,48	5,60	0,03	0,17		
SUBTOTAL M						0,80	
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	10,00	4,05	40,50	0,20	8,10		
Albañil	2,00	4,10	8,20	0,20	1,64		
Maestro mayor	0,50	4,33	2,17	0,20	0,43		
SUBTOTAL N						10,17	
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
Cemento	saco	12,00	7,68	92,16			
Arena	m3	0,65	13,50	8,78			
Ripio	m3	0,95	18,00	17,10			
Agua	m3	0,19	0,85	0,16			
Plastiment	Unidad	0,12	22,60	2,71			
SUBTOTAL O						120,91	
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P						0.000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						131,88	
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %						26,38	
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO						158,26	
VALOR OFERTADO						158,26	

Tabla 6.12

APU Rubro 5.2

RUBRO:		Enrocado		UNIDAD:		m ³	
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta menor	5.00 %MO				0,02		
Retroexcavadora	1,00	27,00	27,00	0,03	0,81		
SUBTOTAL M					0,83		
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	2,00	3,41	6,82	0,03	0,20		
Operador retroexcavadora	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11		
Maestro mayor	0,10	3,82	0,38	0,03	0,01		
SUBTOTAL N					0,33		
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
Piedra de enrocado	m3	1,15	13,06	15,02			
SUBTOTAL O					15,02		
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P					0.000		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					16,18		
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					3,24		
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO					19,41		
VALOR OFERTADO					19,41		

Tabla 6.13

APU Rubro 5.1

RUBRO:		Geotextil no tejido 1600 NT			UNIDAD:		m ²
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta manual y menor de construcción	5.00 %MO				0,04		
SUBTOTAL M						0,04	
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	4,00	3,41	13,64	0,04	0,48		
Albañil	1,00	3,45	3,45	0,04	0,12		
Instalador de revestimiento en general	1,00	3,45	3,45	0,04	0,12		
Maestro mayor en ejecucion de obras civiles	0,25	3,82	0,96	0,04	0,03		
SUBTOTAL N						0,75	
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
Geotextil no tejido 1600 NT	m2	1,00	0,30	0,30			
SUBTOTAL O						0,30	
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P						0.000	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						1,09	
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %						0,22	
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO						1,31	
VALOR OFERTADO						1,31	

Tabla 6.14

APU Rubro 5.3

RUBRO:		Grout cementicio		UNIDAD:		m ³	
EQUIPOS							
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Herramienta menor	5.00 %MO				0,02		
Vibrador	1,00	2,26	2,26	0,03	0,07		
Concretera	1,00	3,00	3,00	0,03	0,09		
SUBTOTAL M					0,11		
MANO DE OBRA							
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo		
Peón	2,00	3,41	6,82	0,03	0,20		
Albañil	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11		
Maestro mayor	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11		
SUBTOTAL N					0,43		
MATERIALES							
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo			
Mortero expansivo tipo grout	kg	1.200,00	0,41	492,00			
SUBTOTAL O					492,00		
TRANSPORTE							
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo			
SUBTOTAL P					0.000		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					492,55		
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					98,51		
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %							
COSTO TOTAL DEL RUBRO					591,05		
VALOR OFERTADO					591,05		

Tabla 6.15

APU Rubro 3.2

RUBRO: Hormigón simple f'c= 280 kg/cm2 **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				0,02
Vibrador de manguera	1,00	4,06	4,06	0,03	0,12
Concretera	1,00	3,00	3,00	0,03	0,09
SUBTOTAL M					0,11
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,00	3,41	6,82	0,03	0,20
Albañil	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11
Maestro mayor	1,00	3,82	3,82	0,03	0,11
SUBTOTAL N					0,43
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Cemento	kg	8,25	7,68	63,36	
Ripio	m3	0,95	18,00	17,10	
Arena	m3	0,65	13,50	8,78	
Agua	m3	0,18	0,85	0,15	
Plastiment BV-40	Unidad	0,08	22,60	1,81	
SUBTOTAL O					91,20
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					91,74
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					18,35
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					110,09
VALOR OFERTADO					110,09

Tabla 6.16

APU Rubro 1.4

RUBRO: Reconformación de taludes **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				0,02
Retroexcavadora 75 HP	1,00	35,00	35,00	0,20	7,00
SUBTOTAL M					7,02
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Maestro mayor	1,00	4,33	4,33	0,03	0,13
Operador retroexcavadora	1,00	4,55	4,55	0,03	0,14
Engrasador	1,00	4,10	4,10	0,03	0,12
SUBTOTAL N					0,39
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
SUBTOTAL O					-
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					7,41
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					1,48
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					8,89
VALOR OFERTADO					8,89

Tabla 6.17

APU Rubro 2.4

RUBRO: Relleno compactado con material de préstamo **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				0,01
Plancha vibroapisonadora	1,00	6,26	6,26	0,10	0,63
SUBTOTAL M					0,64
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	1,00	4,05	4,05	0,03	0,12
Albañil	1,00	3,95	3,95	0,03	0,12
SUBTOTAL N					0,24
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Cascajo grueso	m	1,25	7,50	9,38	
SUBTOTAL O					9,38
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					10,25
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					2,05
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					12,30
VALOR OFERTADO					12,30

Tabla 6.18

APU Rubro 3.7

RUBRO: Juntas de poliuretano, incluye limpieza, cordón y sellado **UNIDAD:** m

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				0,03
Compresor hidráulico	1,00	24,00	24,00	0,02	0,48
Cortadora manual eléctrica	1,00	2,70	2,70	0,02	0,05
SUBTOTAL M					0,56
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	4,00	3,95	15,80	0,03	0,47
Operador	1,00	4,05	4,05	0,03	0,12
SUBTOTAL N					0,60
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Sellador de poliuretano	global	0,10	11,72	1,17	
Espuma de poliolefina extruida	m	1,00	0,30	0,30	
SUBTOTAL O					1,17
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2,33
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					0,47
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,80
VALOR OFERTADO					2,80

Tabla 6.19

APU Rubro 3.3

RUBRO: Hormigón 450 kg/cm2 **UNIDAD:** m³

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO				1,12
Vibrador de manguera	1,00	3,12	3,12	0,80	2,50
SUBTOTAL M					3,62
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	9,00	3,95	35,55	0,40	14,22
Carpintero	2,00	4,05	8,10	0,40	3,24
Albañil	2,00	4,10	8,20	0,40	3,28
Maestro mayor	1,00	4,17	4,17	0,40	1,67
SUBTOTAL N					22,41
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Hormigón premezclado f'c=450 kg/cm2	gl	1,03	112,50	115,88	
Bomba estacionaria	u	1,00	11,27	11,27	
SUBTOTAL O					127,15
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					153,17
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					30,63
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					183,80
VALOR OFERTADO					183,80

Especificaciones técnicas

REPLANTEO Y NIVELACIÓN

Definición:

El replanteo es la ubicación de todos los puntos necesarios para materializar los elementos estructurales indicados, tomando como base las indicaciones establecidas en los planos respectivos como paso previo a la construcción de la obra.

Especificaciones:

Antes de iniciar la construcción, el constructor y el fiscalizador definirán el trazado geométrico de acuerdo con los planos del proyecto, de igual manera se definirá y marcará los niveles de la construcción a realizarse. Deberá adicionalmente dejar un hito principal que permita una fácil comprobación del nivel de la obra. Por ningún motivo se realizarán cambios geométricos o de niveles en obra sin previa aprobación del ingeniero responsable del proyecto. Este trabajo será realizado por un ingeniero o topógrafo, ayudado de cinta métrica de precisión y por un equipo topográfico. Se deberá dejar colocados datos de acuerdo con el proyecto.

Unidad: Metro cuadrado.

Materiales mínimos: Clavos de acero, pintura, estacas.

Equipo mínimo: Herramienta menor y equipo topográfico.

Mano de obra mínima: Categorías III, IV, I.

LIMPIEZA Y DESBROCE DEL TERRENO

Descripción del rubro:

Consistirá en despejar el terreno necesario para llevar a cabo la obra contratada, de acuerdo con las presentes especificaciones y demás documentos, en las zonas indicadas por el fiscalizador y/o señalados en los planos. Se procederá a cortar, desenraizar y retirar de los sitios de construcción, los árboles incluidos sus raíces, arbustos, hierbas, etc. y cualquier vegetación en: las áreas de construcción, áreas de servidumbre de mantenimiento, en los bancos de préstamos indicados en los planos y proceder a la disposición final en forma satisfactoria al Fiscalizador, de todo el material proveniente del desbroce y limpieza.

Los huecos y cortes dejados por la remoción de árboles y arbustos, se debe rellenar con material seleccionado compactado y de acuerdo con el criterio de la Fiscalización. Se deberá mantener el área de trabajo, libre de agua mediante la utilización de bombas, drenajes temporales u otro medio, de acuerdo como se requiera para el buen desarrollo del proyecto.

Equipo mínimo: Herramienta menor.

Materiales mínimos: Ninguno.

Mano de obra mínima calificada: Inspector de obra (E. O. B3), Peón (E. O. E2).

Unidad: Metro cuadrado (m²).

Medición y forma de pago: Se medirá el área intervenida del terreno y que esté realmente limpio.

EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA

Definición:

Se entiende por excavación en general, el remover o quitar volúmenes de tierra u otros materiales con la finalidad de conformar espacios para alojar estructuras, pueden ser cimientos, muros, etc.

Especificación:

Este trabajo consistirá en la excavación y disposición de todo el material cuya remoción sea necesaria para formar la obra básica. Se incluye en la construcción de cunetas laterales, taludes, terraplenes, escalones para terraplenado a media ladera, zonas de empalmes y accesos, la remoción y reemplazo de material inadecuado para la construcción de la obra, la excavación y acarreo de material designado para uso como suelo seleccionado, la remoción de desprendimientos y deslizamientos, y el desecho de todo material excedente.

Todo lo cual se deberá ejecutar de acuerdo con las presentes Especificaciones, las disposiciones especiales y con los alineamientos, pendientes y secciones transversales señalados en los planos o fijados por el Fiscalizador. La excavación podrá ser sin clasificación o clasificada de acuerdo con las definiciones que se presentan a continuación. Si se autorizara efectuar excavación de préstamo, para contar con el material adecuado requerido para el terraplenado y rellenos, tal excavación se llevará a cabo previa autorización de la fiscalización.

Unidad: Metro cúbico.

Equipo mínimo: Cargadora frontal, volquetas, herramienta menor.

Mano de obra mínima: Categoría I, II, III y IV

Medición y pago: Este rubro se medirá y se pagará por “metro cúbico” (m³).

DESALOJO DE MATERIAL

Definición:

Se refiere al cargado y traslado del material sobrante, producto de la excavación o de derrocamientos, por medio de volquetes y herramienta menor o cargadora que aprovisionara el contratista, así como el personal indicado.

Especificaciones:

Se procederá a su embarque y traslado en volqueta, y este tendrá como destino el lugar específico señalado por la fiscalización. El terreno quedará totalmente limpio y en condiciones de proseguir con la siguiente etapa de la construcción

Unidad: Metro cúbico.

Materiales mínimos: Ninguno.

Equipo mínimo: Volqueta, cargadora frontal, herramientas menores

Mano de obra mínima: Categoría I y chofer, Operador Equipo Pesado.

Medición y pago: Este rubro se medirá y se pagará de forma por metro cúbico (m³).

DESVÍO DE RÍO

Definición:

Consiste en aglutinar material del lecho mismo de río (piedra, arena, ripio, etc.) de tal manera que se pueda desviar el curso normal de río y de esta manera facilitar los trabajos al constructor. Esta actividad se realizará en base a las indicaciones de los planos respectivos, como paso previo a la construcción.

Especificaciones:

Todos los trabajos de desvío de río deben ser realizados con herramienta menor o manual, y bajo la supervisión del constructor y fiscalizador.

Medición y pago

El desvío de río se considera como una actividad que se medirá en m³.

EXCAVACIÓN A MANO EN SUELO SIN CLASIFICAR PROF. 0 - 2 M**Definición**

Se entiende por excavaciones a mano en suelo sin clasificar, el remover y quitar la tierra u otros materiales con el fin de conformar espacios para alojar mamposterías, hormigones, tuberías, y otras obras, utilizando únicamente herramientas menores tales como picos, palas, barretas, etc.

Especificaciones

Las excavaciones se realizarán de acuerdo a los datos del proyecto, excepto cuando se encuentren inconvenientes imprevistos que tiene que ser superados de conformidad con el criterio del ingeniero Fiscalizador. Debe tenerse el cuidado de que ninguna parte del terreno penetre más de 1 cm., dentro de las secciones de construcción de las estructuras.

Cuando a juicio del Constructor y el ingeniero Fiscalizador el terreno en el fondo o el plano de fundación, sea poco resistente o inestable, se realizarán sobre excavaciones hasta hallar suelo resistente o se buscará una solución adecuada.

Los materiales producto de la excavación serán dispuestos temporalmente a los lados de las excavaciones, pero en tal forma que no dificulte la realización de los trabajos.

Suelo normal

Se entenderá por suelo normal cuando se encuentre materiales que pueden ser aflojados por los métodos ordinarios, tales como: pala, pico, con presencia Diseño, Fiscalización & Construcción de fragmentos rocosos, cuya dimensión máxima no supere los 5 cm., y el 40% del volumen.

Medición y pago

Las excavaciones se medirán en m³, con aproximación de dos decimales, determinándose los volúmenes en obra según el proyecto. No se considerarán las excavaciones hechas fuera del proyecto, ni la remoción de derrumbes originados por causas imputables al Constructor.

RELLENO COMPACTADO MATERIAL PARA NUCLEO DE ARCILLA

Los trabajos correspondientes a este ítem consisten en disponer material de mejoramiento por capas, cada una debidamente compactada, en los lugares indicados en el proyecto y/o autorizados por el fiscalizador de Obra. El Contratista proporcionará todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de los trabajos, los mismos deberán ser aprobados por el Supervisor de Obra. El material de relleno a emplearse será arcilla impermeable. No se permitirá la utilización de suelos con excesivo contenido de humedad, considerándose como tales, aquellos que iguallen o sobrepasen el límite plástico del suelo. Unidad: Metro cúbico (m³).

Materiales mínimos: Material para núcleo de arcilla (arcilla impermeable)

Equipo mínimo: Herramienta menor, compactador mecánico

Mano de obra: Maestro mayor, 2 peones.

MEDICION Y FORMA DE PAGO. El trabajo ejecutado con material y equipo aprobados, medido de acuerdo con lo determinado en el párrafo anterior, será pagado según el precio unitario de la propuesta aceptada. Este precio incluirá la compensación total por el relleno y compactación, incluyendo mano de obra, suministro de equipo, herramientas, combustible, costo de los ensayos de laboratorio y trabajos adicionales que pudieran requerirse.

REPLANTILLO

Definición

Este rubro consiste en la descripción de todas las actividades necesarias para hacer un replantillo de piedra, la misma que conforma la capa inferior soportante de una base de elementos estructurales, deben llegar hasta el nivel de cota establecido en los planos, ya sea en corte o terraplén y se formará con material pétreo (piedras).

La colocación de este replantillo de piedra se realizará sobre terreno previamente nivelado. La piedra que se utilizará será piedra bola de río, lavada y de un diámetro promedio de 20 cm, con la finalidad de eliminar la mayor parte posible de vacíos se colocará ripio de río para emporamiento formando una capa uniforme de material vino, quedando listo para el vaciado del hormigón simple

Medición y pago

El replantillo de piedra se medirá en m², con aproximación de dos decimales, determinándose las áreas en obra según el proyecto.

ACERO DE REFUERZO

Se entenderá por colocación de acero de refuerzo el conjunto de operaciones necesarias para cortar, formar, doblar, formar ganchos y colocar las varillas de acero de refuerzo utilizadas para la formación de hormigón armado o mortero armado.

Especificaciones

El Constructor suministrará dentro de los precios unitarios consignados en su propuesta, todo el acero en varillas necesario y de calidad estipulada en los planos, estos materiales deberán ser nuevos y de calidad conveniente a sus respectivas clases y manufactura y aprobados por el ingeniero Fiscalizador de la obra. El acero usado o instalado por el Constructor sin la respectiva aprobación será rechazado. El acero de refuerzo deberá ser enderezado en forma adecuada, previamente a su empleo en las estructuras.

Las distancias a que deben colocarse las varillas de acero de refuerzo que se indique en los planos, serán consideradas de centro a centro, salvo que específicamente se indique otra cosa, la posición exacta, el traslape, el tamaño y la forma de las varillas deberán ser las que se consignen en los planos. Antes de proceder a su colocación, las superficies de las varillas deberán limpiarse de óxido, polvo, grasa u otras sustancias y deberán mantenerse en estas condiciones hasta que queden sumergidas en el hormigón.

Medición y pago

La colocación de acero de refuerzo se medirá en kilogramos con aproximación de dos decimales. Para determinar el número de kilogramos de acero de refuerzo colocados por el Constructor, se verificará, el acero colocado en obra con la respectiva planilla de corte del plano estructural.

DESALOJO DE MATERIAL CON VOLQUETA, CARGADO MECÁNICO (TRANSPORTE HASTA 5 KM).

Definición. - Es el desalojo del material excavado, determinados como escombros o tierra, que no se van a utilizar en la obra por medio de volqueta y cargado mecánico, estos materiales deben ser llevados a botaderos fuera de la zona de construcción y autorizado por el Fiscalizador.

Procedimiento del trabajo. - Todos los materiales que no se ocupen producto de las excavaciones deberán ser desalojados donde fiscalización lo disponga, o fuera del área de trabajo

Para cumplir este propósito se dispondrá de equipos aptos para la carga y para el transporte.

Los equipos de transporte (volquetas) deberán llevar obligadamente una cubierta de lona como protección de derrames.

Unidad. – Metro cúbico (m³)

Equipo mínimo. - Herramienta menor, Cargadora frontal de 110 HP y Volqueta 9 m³.

Mano de obra mínima. - Peón, Engrasador o abastecedor responsable, Operador cargadora frontal, Chofer: volquetas y Maestro mayor en ejecución de obras civiles.

RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO.

Definición. - Será el conjunto de operaciones para la ejecución de rellenos con material granular seleccionado, hasta llegar a un nivel o cota determinado. Cada capa será compactada uniformemente mediante el empleo de equipos vibroapisonadores.

Procedimiento del trabajo. - El objetivo será el mejoramiento de las características del suelo existente, como base de elementos de fundación estructurales, de acuerdo con la dosificación y especificaciones indicadas en el estudio de suelos y/o la fiscalización. El estudio de suelos determinará el tipo, granulometría y características del material granular a ser utilizado en el relleno, porcentaje máximo permisible de materia orgánica, porcentaje de humedad óptimo y densidad máxima. La elaboración de estos rellenos será como base de gran capacidad portante.

La selección y aprobación será por parte de la fiscalización del material granular y agua, a utilizarse en el relleno. Todo relleno se efectuará en terrenos que no contengan agua, materia orgánica, basura o cualquier desperdicio. El tendido y conformación de capas uniformes no serán mayores de 20 cm de espesor.

La compactación de cada capa de material, desde los bordes hacia el centro del relleno.

Unidad. – Metro cúbico (m³)

Materiales mínimos. - Material de mejoramiento, agua.

Equipo mínimo. - Herramienta menor y Plancha vibroapisonadora.

Mano de obra mínima. - Peón, Operador de equipo liviano y Maestro mayor en ejecución de obras civiles.

ENROCADO

Definición:

Este ítem norma el suministro y colocación de enrocado de los tipos y detalles mostrados en los planos.

Especificación:

Las áreas de suelos inclinados deben ser protegidas mediante recubrimiento de enrocado de acuerdo con lineamientos y diferentes tipos de material indicado en los planos.

El material para enrocado suministrado bajo este ítem debe ser con piedra bola.

Unidad: Metro cúbico.

Materiales mínimos: Piedra bola.

Equipo mínimo: Herramientas menores.

Mano de obra mínima: Categorías I, II, III, IV.

Medición y pago: Este rubro se medirá y se pagará de forma “metro cúbico” (m³).

GEOTEXTIL NT 1600

Descripción:

Esta especificación se aplicará para la utilización de drenes, subdrenes, drenes verticales y drenes horizontales. Este trabajo consistirá en la colocación de geotextil de fibras sintéticas no tejido a fin de impedir el paso de material fino, de acuerdo con los requerimientos del diseño. Se usarán los geotextiles no tejidos para filtrar los materiales finos e impedir el arrastre del material durante el flujo de agua, evitando así la colmatación del sistema de drenaje.

Se los instalará como recubrimiento de tuberías de subdrenes y subdrenes. El geotextil para utilizar debe satisfacer los requerimientos especificados en las disposiciones del contrato, deberán ser no tejidos y serán fabricados con materiales inertes que no se descompongan por la acción de las bacterias u hongos; no les debe afectar los ácidos, los álcalis y los aceites, deben ser resistentes al desgaste, rasgaduras y perforaciones.

Materiales: Geotextil NT

Equipo: Herramientas varias

Mano de obra: Peón Técnico obras civiles

Unidad: Metros cuadrados (m²)

GROUT (LECHADA)

Para rellenos mayores de 10 cm. se recomienda agregar gravilla o grava (tamaño máximo 1”) al Sika Grout para obtener un hormigón Sika Grout. La cantidad de agregado grueso que se puede adicionar depende del tamaño máximo de éste y de su granulometría, pero no excederá del 50% en peso del Sika Grout. El agregado debe estar saturado.

Unidad: metro cuadrado (m²).

Materiales mínimos: Mortero autonivelante tipo Sika GROUT 212.

Equipo mínimo: Herramienta menor 5% M. O, AMOLADORA.

Mano de obra mínima calificada: Maestro mayor en ejecución de obras civiles, Instalador/O.

Especializado, peón.

RECONFORMACIÓN DE TALUDES

Descripción:

Comprende la construcción de taludes en los muros de tierra circundantes a la estructura.

Especificación:

Los taludes de las fosas serán conformados manual o mecánicamente tratando de no remover el suelo que no sea absolutamente indispensable, en cualquier caso tendrá una pendiente 2H:1V, las dimensiones restantes se encuentran especificadas en los planos.

Medición:

La conformación de taludes será medida en función del área del talud expresado en metros cuadrados debidamente conformado y terminado, listo para recibir el recubrimiento con geomembrana. Habrá de incluirse entonces en el precio unitario el costo de toda la maquinaria, mano de obra y en general todo lo que el oferente considere necesario para concluir adecuadamente la ejecución de este trabajo.

EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA

Definición:

Se entiende por excavación en general, el remover o quitar volúmenes de tierra u otros materiales con la finalidad de conformar espacios para alojar estructuras, pueden ser cimientos, muros, etc.

Especificación:

Este trabajo consistirá en la excavación y disposición de todo el material cuya remoción sea necesaria para formar la obra básica. Se incluye en la construcción de cunetas laterales, taludes, terraplenes, escalones para terraplenado a media ladera, zonas de empalmes y accesos, la remoción y reemplazo de material inadecuado para la construcción de la obra, la excavación y acarreo de material designado para uso como suelo seleccionado, la remoción de desprendimientos y deslizamientos, y el desecho de todo material excedente. Todo lo cual se deberá ejecutar de acuerdo a las presentes Especificaciones, las disposiciones especiales y con los alineamientos, pendientes y secciones transversales señalados en los planos o fijados por el Fiscalizador. La excavación podrá ser sin clasificación o clasificada de acuerdo a las definiciones que se presentan a continuación. Si se autorizara efectuar excavación de préstamo, para contar con el material adecuado requerido para el terraplenado y rellenos, tal excavación se llevará a cabo previa autorización de la fiscalización.

Unidad: Metro cúbico.

Materiales mínimos: Ninguno.

Equipo mínimo: Cargadora frontal, volquetas, herramienta menor.

Mano de obra mínima: Categoría I, II, III y IV

Medición y pago: Este rubro se medirá y se pagará por “metro cúbico” (m³).

JUNTAS DE POLIURETANO INC. LIMPIEZA, CORDÓN Y SELLADO

Descripción y método

Son todas las actividades requeridas para construir juntas de dilatación, evitando el agrietamiento debido a cambios dimensionales térmicos en el concreto, a través de ellas las energías concentradas se descarguen evitando la aparición de grietas.

Materiales y equipo

Unidad: Metro (m).

Materiales mínimos: Cartucho de poliuretano, Cordón para sellado de junta e Imprimante para sello de junta y Disco de corte

Equipo mínimo: Amoladora, y Herramienta Menor

Mano de obra: La mínima calificada: Estructuras Ocupacionales: E2, D2 y C2

Forma de pago

Se pagará por metro (m) ejecutado.

CINTA DE ADVERTENCIA Y SEÑALIZACIÓN

Descripción y método

Comprende todas las actividades requeridas para el suministro y colocación de un cerco provisional que cumpla la función de delimitar un área restringida, peligrosa o de riesgo, sitios de construcción, advertencia en zonas de trabajo, etc. con la finalidad de prever accidentes vehiculares o peatonales.

El objetivo de este rubro es la colocación de cinta delimitadora del área de construcción con leyenda "peligro, fabricado en polietileno resistente a la intemperie. Cinta amarilla con leyenda en letras negras. 3" de ancho largo de 100m. Fácil manejo. Altamente visible y ligera.

Unidad: Metro (m).

Materiales: Cinta plástica (leyenda peligro)

Equipo: Herramienta menor

Mano de obra: La mínima calificada: Estructuras Ocupacionales: E2

Forma de pago: Se pagará por metro (m) suministrado y colocado.

Ensayo de suelos

Tabla 6.20

Gravedad específica C1 M1-M2

Gravedad Específica (GS)		
ID matraz	1	-
Wm (masa frasco/recip)	184,42	g
Tt (Temperatura ensayo)	29	°
Mpw,t (Frasco+agua hasta menísco)	681,57	g
Mpws,t (Frasco+Muestra+Agua)	740,73	g
ID recip	24	-
masa recip	155,92	g
Ms+recip (masa seca + recip)	254,38	g
Ms (masa seca suelo)	98,46	g
GS	2,51	

Tabla 6.21

Permeabilidad C1 M1-M2

Permeabilidad (K)		
L (Longitud del cilindro de muestra)	13,2	cm
∅ (Diámetro del cilindro)	63,2	mm
A (Área de muestra)	31,37	cm ²
H (Altura)	20 - 30 - 40	cm
Masa cápsula	1564,86	g
Masa cap+suelo	2190,65	g
Masa suelo	625,79	g

Tabla 6.22

Permeabilidad promedio C1 M1-M2

Ensayo					
Tiempo [s]	Volumen [cm ³]	Temperatura [°]	Cv	K [cm/s]	K [m/s]
222	300	27	0,8792	2,50E-02	2,50E-04
184	300			2,01E-02	2,01E-04
163	300			1,70E-02	1,70E-04
			Kprom	2,07E-02	2,07E-04

Tabla 6.23

Granulometría C1 M1-M2

GRANULOMETRÍA					
#tamiz	apertura [mm]	Peso Retenido [g]	Peso Retenido Acum [g]	% Retenido	% Pasante
4	4,75	1076,80	1076,8	73,44%	26,6%
10	2	165,45	1242,25	84,72%	15,3%
16	1,19	68,80	1311,05	89,41%	10,6%
40	0,425	106,83	1417,88	96,70%	3,3%
50	0,3	22,44	1440,32	98,23%	1,8%
100	0,15	18,08	1458,4	99,46%	0,5%
200	0,075	5,93	1464,33	99,87%	0,1%
Fondo	-	1,94	1466,27	100,00%	0,0%
Total (gr)	-	1466,27	-	-	-

Tabla 6.24

Lavado muestra C1 M1-M2

Lavado Tamiz No. 200		
ID recip	C5	-
Masa recip	151,17	g
Masa recip+muestra seca antes lavado	1711,68	g
Masa muestra seca antes lavado	1560,51	g
Masa recip+muestra seca después lavado	1617,51	g
Masa muestra seca después lavado	1466,34	g
Masa muestra que pasó el tamiz No.200	94,17	g
Error Tamizado	4,8E-05	%

% finos	6,03	%
----------------	------	---

Nota: No se recomienda realizar límites de Atterberg. Poca cantidad de finos.

Tabla 6.25

Diámetros y coeficientes C1 M1-M2

Diámetros Efectivos - Coeficientes Cu y Cc			
D10 (mm)	1,153	Cu	8,07
D30 (mm)	5,080	Cc	2,41
D60 (mm)	9,300	-	-

Figura 6.3

Curva granulométrica C1 M1-M2

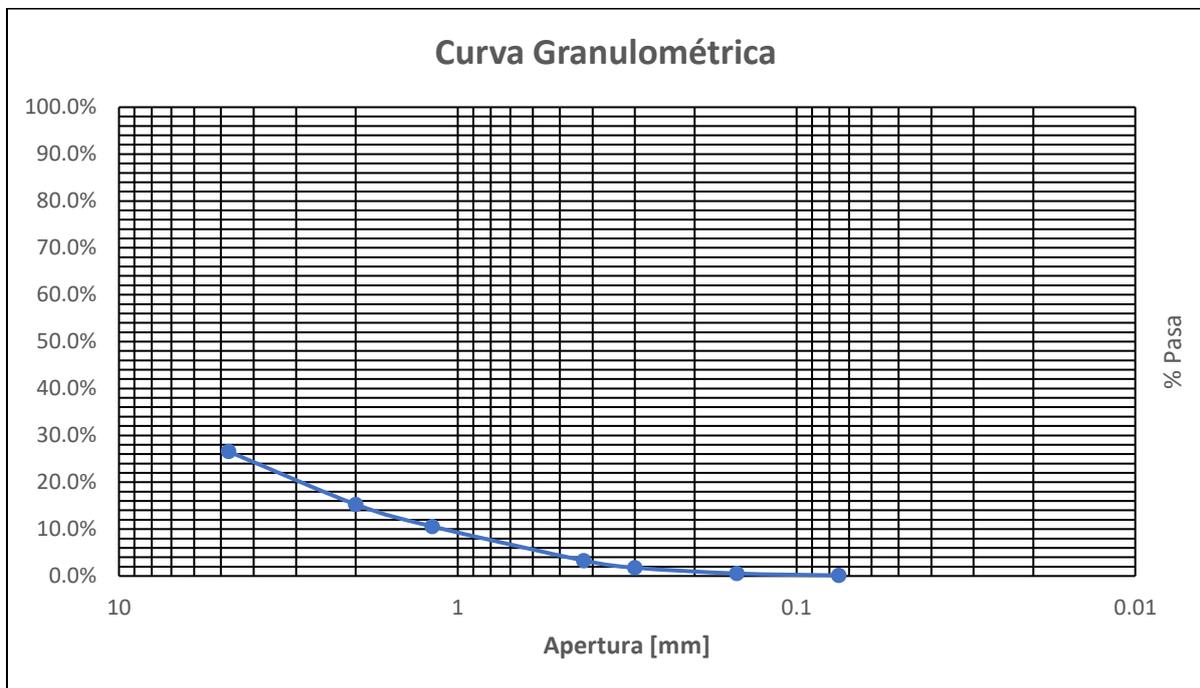


Tabla 6.26

Gravedad específica C2 M1

Gravedad Específica		
ID matraz	1	-
Wm (masa frasco/recip)	184,42	g
Tt (Temperatura ensayo)	29	°
Mpw,t (Frasco+agua hasta menísco)	681,57	g

Mpws,t (Frasco+Muestra+Agua)	740,52	g
ID recip	2	-
masa recip	169,17	g
Ms+recip (masa seca + recip)	266,97	g
Ms (masa seca suelo)	97,8	g
GS	2,52	

Tabla 6.27

Granulometría C2 M1

GRANULOMETRÍA C2					
#tamiz	apertura [mm]	Peso Retenido [g]	Peso Retenido Acum [g]	% Retenido	% Pasante
4	4,75	245,62	245,62	45,88%	54,1%
10	2	137,89	383,51	71,64%	28,4%
16	1,19	28,42	411,93	76,95%	23,1%
40	0,425	27,55	439,48	82,09%	17,9%
50	0,3	16,07	455,55	85,09%	14,9%
100	0,15	42,78	498,33	93,08%	6,9%
200	0,075	34,81	533,14	99,59%	0,4%
Fondo	-	2,21	535,35	100,00%	0,0%
Total (gr)	-	535,35	-	-	-

Tabla 6.28

Lavado C2 M1

Lavado Tamiz No. 200		
ID recip	3	-
Masa recip	149,31	g
Masa recip+muestra seca antes lavado	839,55	g
Masa muestra seca antes lavado	690,24	g
Masa recip+muestra seca después lavado	683,81	g
Masa muestra seca después lavado	534,5	g
Masa muestra que pasó el tamiz No.200	155,74	g
Error Tamizado	1,6E-03	%
% finos	22,56	%

Nota: Se debe realizar límites de Atterberg por la cantidad de finos.

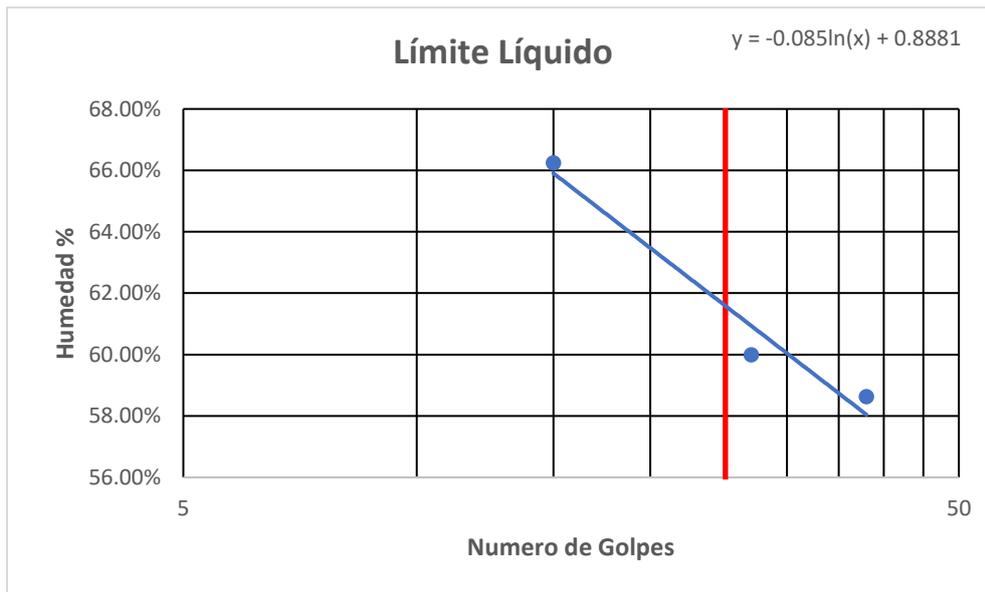
Tabla 6.29

Límites de Atterberg C2 M1

LÍMITES DE ATTERBERG					
	Límite Líquido			Límite Plástico	
Paso No	61	34	102	80	96
Peso de Recipiente	6,08	6,15	6,35	6,06	6,3
Peso humedo + Recip	13,52	11,51	13	10,62	12,5
Peso Seco + Recip	10,77	9,5	10,35	9,78	11,34
Peso de agua (Ww)	2,75	2,01	2,65	0,84	1,16
Peso Suelo Seco (Ws)	4,69	3,35	4	3,72	5,04
Humedad %	58,64%	60,00%	66,25%	22,58%	23,02%
Numero de Golpes	38	27	15	--	--

Figura 6.4

Límite líquido C2 M1



Nota: Corresponde a una arcilla inorgánica de plasticidad alta.

Tabla 6.30

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

L.L	L.P	I.P
61,45%	22,80%	38,65%

Figura 6.5

Curva granulométrica C2 M1

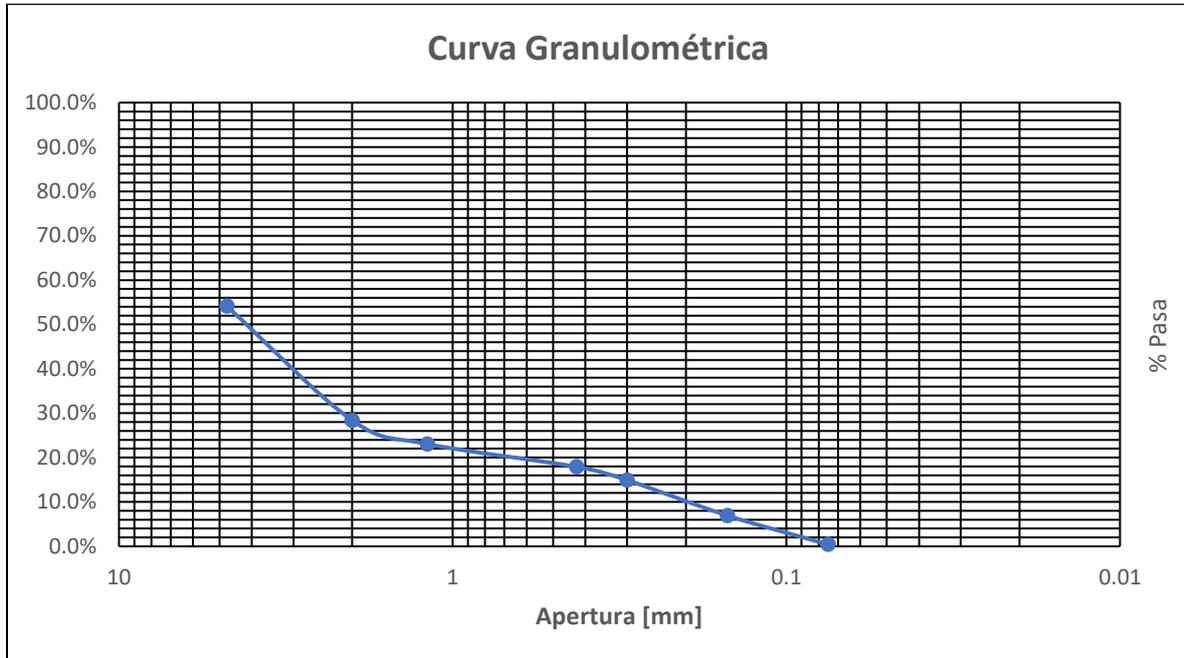


Tabla 6.31

Gravedad específica C2-M2

Gravedad Específica		
ID matraz	1	-
Wm (masa frasco/recip)	184,42	g
Tt (Temperatura ensayo)	29	°
Mpw,t (Frasco+agua hasta menísco)	681,57	g
Mpws,t (Frasco+Muestra+Agua)	740,85	g
ID recip	17	-
masa recip	150,61	g
Ms+recip (masa seca + recip)	248,65	g
Ms (masa seca suelo)	98,04	g

Tabla 6.32*Permeabilidad C2-M2*

Permeabilidad (K)		
L (Longitud del cilindro de muestra)	13,2	cm
∅ (Diámetro del cilindro)	63,2	mm
A (Área de muestra)	31,37	cm ²
H (Altura)	20 - 30 - 40	cm
Masa cápsula	1564,86	g
Masa cap+suelo	2170,67	g
Masa muestra	605,81	g

Tabla 6.33*Permeabilidad promedio C2-M2*

Ensayo						
Altura [cm]	Tiempo [s]	Volumen [cm³]	Temperatura [°]	Cv	K [cm/s]	K [m/s]
20	351	300	27	0,8792	1,58E-02	1,58E-04
30	264	300			1,40E-02	1,40E-04
40	223	300			1,24E-02	1,24E-04
				Kprom	1,41E-02	1,41E-04

Tabla 6.34*Granulometría C2-M2*

GRANULOMETRÍA					
#tamiz	apertura [mm]	Peso Retenido [g]	Peso Retenido Acum [g]	% Retenido	% Pasante
4	4,75	562,07	562,07	70,43%	29,6%
10	2	162,98	725,05	90,86%	9,1%
16	1,19	36,31	761,36	95,41%	4,6%
40	0,425	18,83	780,19	97,77%	2,2%
50	0,3	4,79	784,98	98,37%	1,6%

100	0,15	6,54	791,52	99,19%	0,8%
200	0,075	4,04	795,56	99,69%	0,3%
Fondo	-	2,45	798,01	100,00%	0,0%
Total (gr)	-	798,01	-	-	-

Tabla 6.35

Lavado C2 M2

Lavado Tamiz No. 200		
ID recip	4	-
Masa recip	152,9	g
Masa recip+muestra seca antes lavado	987,7	g
Masa muestra seca antes lavado	834,8	g
Masa recip+muestra seca después lavado	950,97	g
Masa muestra seca después lavado	798,07	g
Masa muestra que pasó el tamiz No.200	36,73	g
Error Tamizado	7,5E-05	%
% finos	4,40	%

Figura 6.6

Curva granulométrica C2 M2

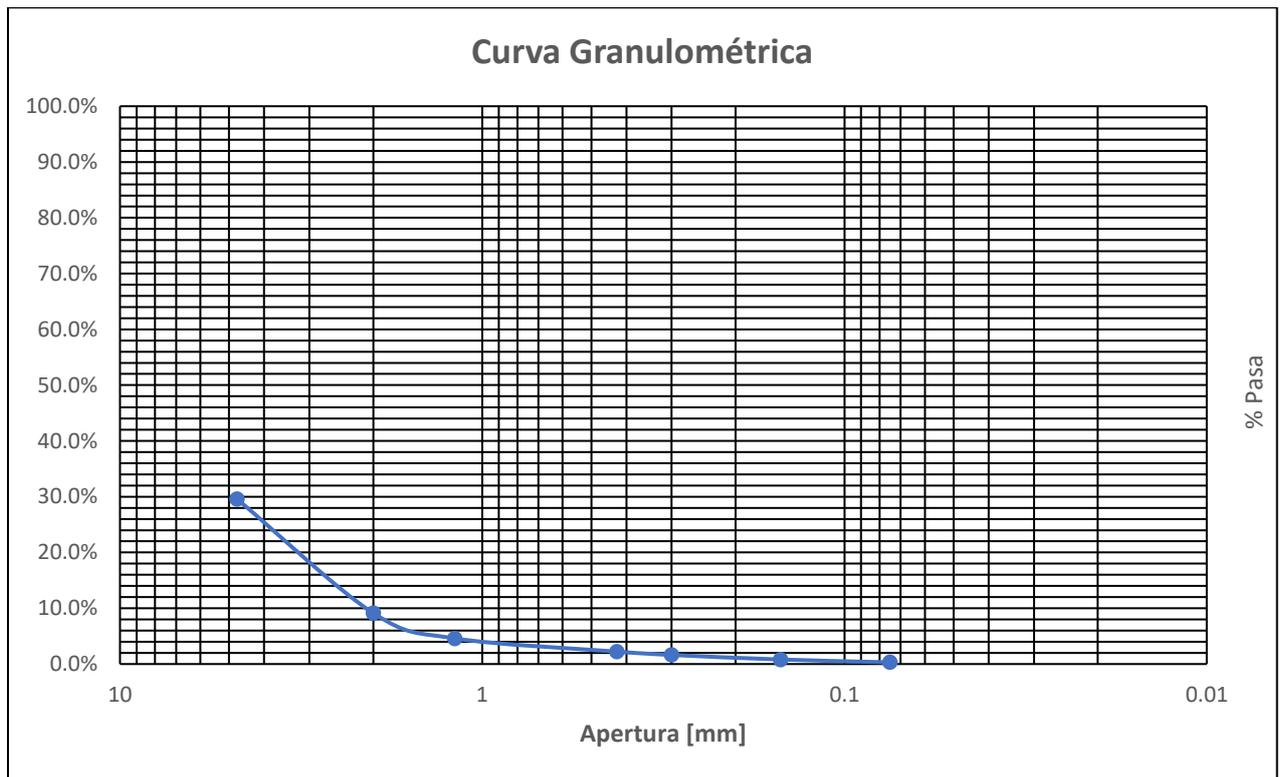


Tabla 6.36

Gravedad específica C3 M3

Gravedad Específica		
ID matraz	1	-
Wm (masa frasco/recip)	184,42	g
Tt (Temperatura ensayo)	29	°
Mpw,t (Frasco+agua hasta menisco)	681,57	g
Mpws,t (Frasco+Muestra+Agua)	740,71	g
ID recip	10	-
masa recip	143,64	g
Ms+recip (masa seca + recip)	242,1	g
Ms (masa seca suelo)	98,46	g
GS	2,50	

Tabla 6.37*Permeabilidad C3 M3*

Permeabilidad (K)		
L (Longitud del cilindro de muestra)	13,2	cm
∅ (Diámetro del cilindro)	63,2	mm
A (Área de muestra)	31,37	cm ²
H (Altura)	20 - 30 - 40	
Masa cápsula	1564,86	
Masa cap+suelo	2073,83	
Masa suelo	508,97	

Tabla 6.38*Permeabilidad promedio C3 M3*

Ensayo						
Altura [cm]	Tiempo [s]	Volumen [cm ³]	Temperatura [°]	Cv	K [cm/s]	K [m/s]
20	166	300	27	0,8792	3,34E-02	3,34E-04
30	145	300			2,55E-02	2,55E-04
40	128	300			2,17E-02	2,17E-04
				Kprom	2,69E-02	2,69E-04

Tabla 6.39*Granulometría C3 M3*

GRANULOMETRÍA C2					
#tamiz	apertura [mm]	Peso Retenido [g]	Peso Retenido Acum [g]	% Retenido	% Pasante
4	4,75	355,58	355,58	44,54%	55,5%
10	2	192,30	547,88	68,62%	31,4%
16	1,19	92,46	640,34	80,20%	19,8%
40	0,425	107,54	747,88	93,67%	6,3%
50	0,3	21,60	769,48	96,38%	3,6%
100	0,15	18,29	787,77	98,67%	1,3%
200	0,075	7,13	794,9	99,56%	0,4%
Fondo	-	3,49	798,39	100,00%	0,0%
Total (gr)	-	798,39	-	-	-

Tabla 6.40*Diámetros y coeficientes C3 M3*

Diámetros Efectivos - Coeficientes Cu y Cc			
D10 (mm)	0,732	Cu	6,84
D30 (mm)	1,921	Cc	1,01
D60 (mm)	5,010	-	-

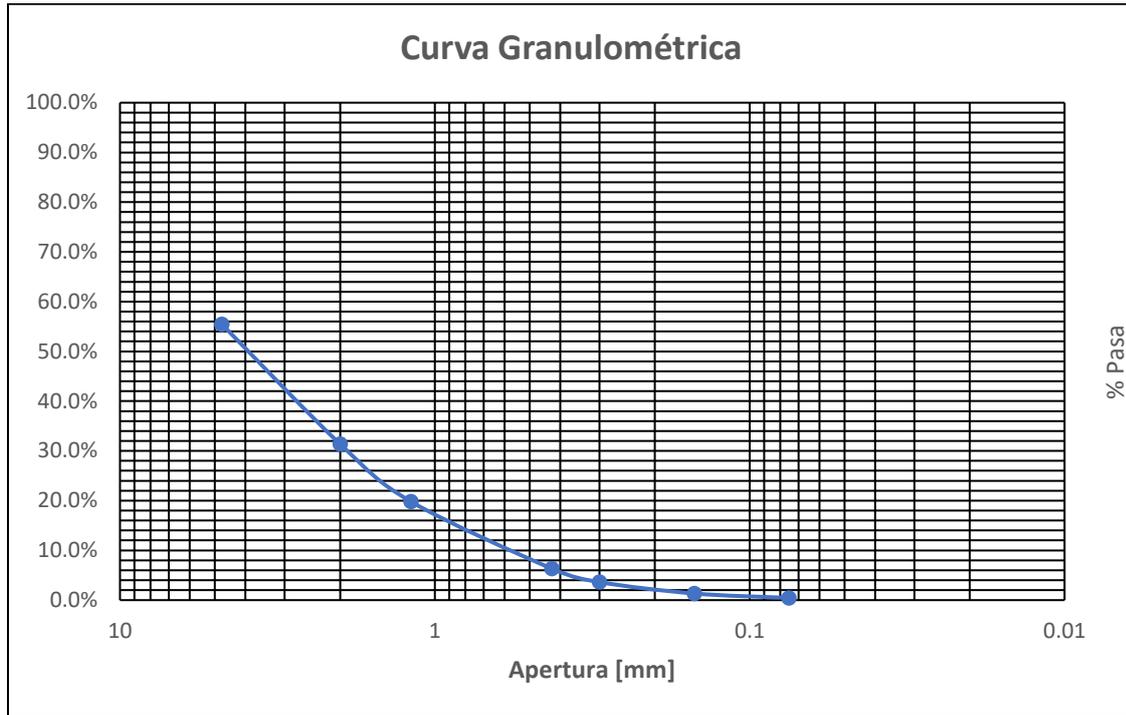
Tabla 6.41*Lavado C3 M3*

Lavado Tamiz No. 200		
ID recip	19	-
Masa recip	148,95	g
Masa recip+muestra seca antes lavado	992,66	g
Masa muestra seca antes lavado	843,71	g
Masa recip+muestra seca después lavado	947,28	g
Masa muestra seca después lavado	798,33	g
Masa muestra que pasó el tamiz No.200	45,38	g
Error Tamizado	7,5E-05	%
% finos	5,38	%

Nota: No se recomienda realizar límites de Atterberg, poca cantidad de finos.

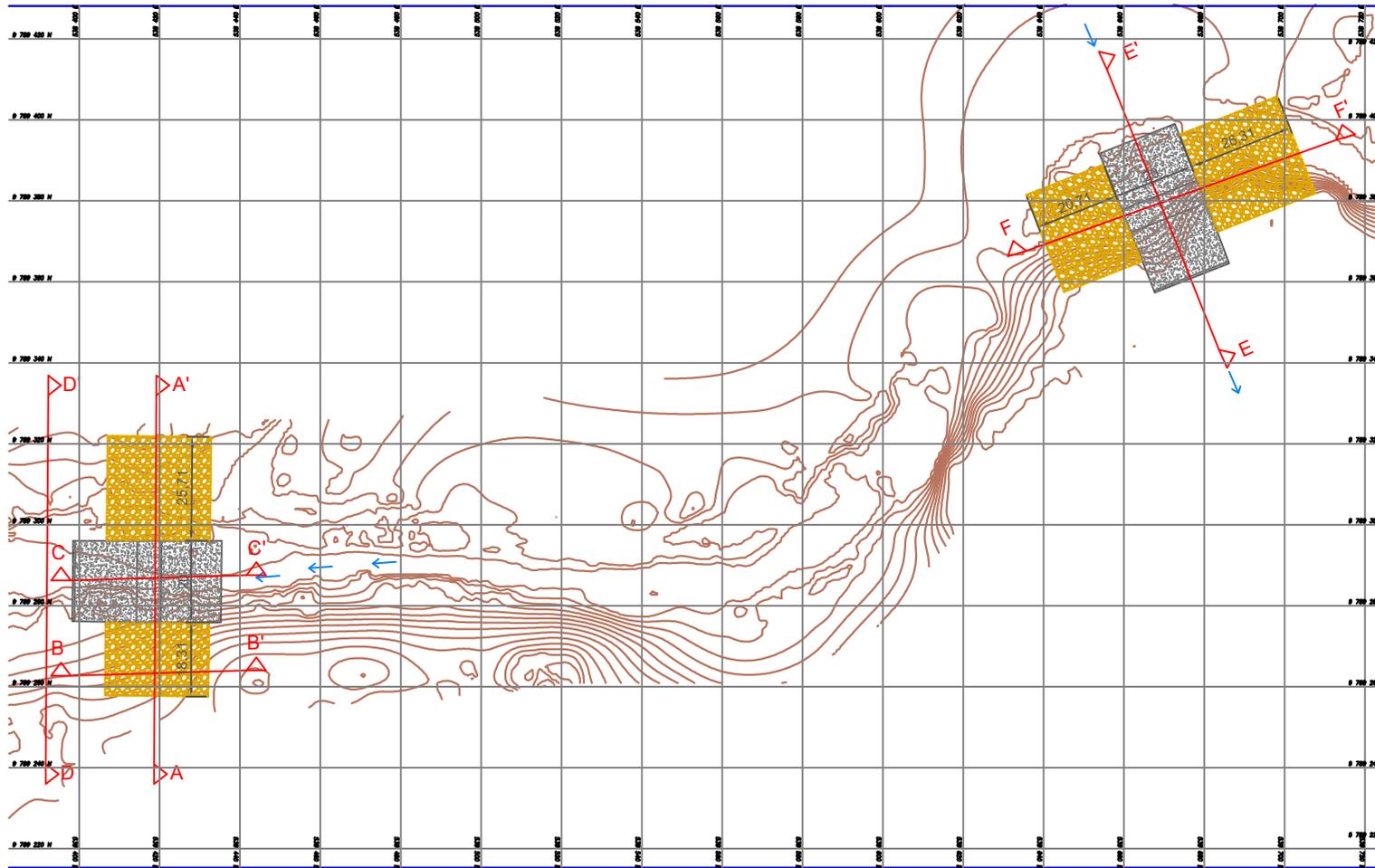
Figura 6.7

Curva granulométrica C3 M3



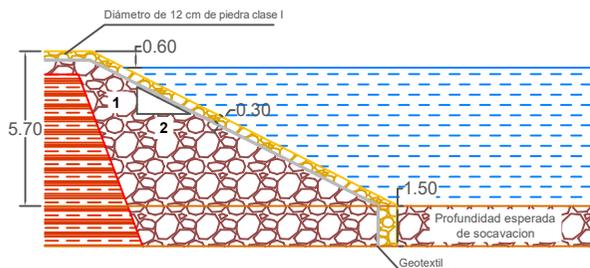
VISTA SUPERIOR

ESC 1:500



PROTECCIONES DE ENROCADO

ESC 1:100



Especificaciones técnicas

1. El material arcilloso para el núcleo impermeable del dique debe ser una arcilla que cumpla con los límites de Atterberg establecidos en la memoria técnica, y no debe ser una arcilla expansiva.
2. El material de relleno para el mejoramiento debe ser extraído de una cantera cercana y cumplir con los requisitos técnicos establecidos en la memoria técnica.
3. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f'c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. Para el muro de contención, pantalla y delantar se debe usar un hormigón de $f'c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
4. Para las protecciones aguas abajo y la risberma se debe usar un hormigón de $f'c = 45$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
5. Las protecciones de taludes y en el fondo del río aguas abajo y aguas arriba son de piedra clase I con un diámetro de 12 cm, se hacer uso del grouting para estas protecciones.



Sub Cuenca del Río Valdivia



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

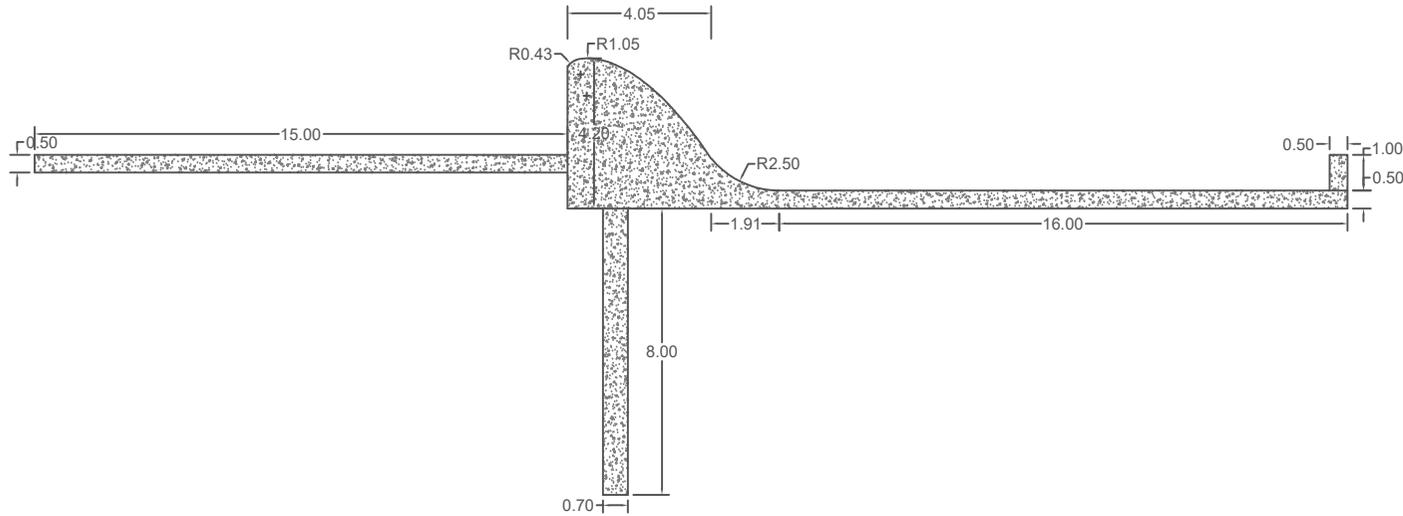
CONTENIDO:
UBICACIÓN E IMPLANTACIÓN

Tutor de Materia Integradora: PhD. Mijail Aris Hidiágo	Tutor de Conocimientos: MSc. Lenin Dender Aguilar	Estudiantes: Génesis Tábara Obando Yoselin Zambrano Ganchozo	Fecha de entrega: 30/08/2024
		Lámina: A1/8	Escala: Escalas Indicadas

CORTES DEL DIQUE PRINCIPAL

VERTEDERO PRINCIPAL

ESC 1:75

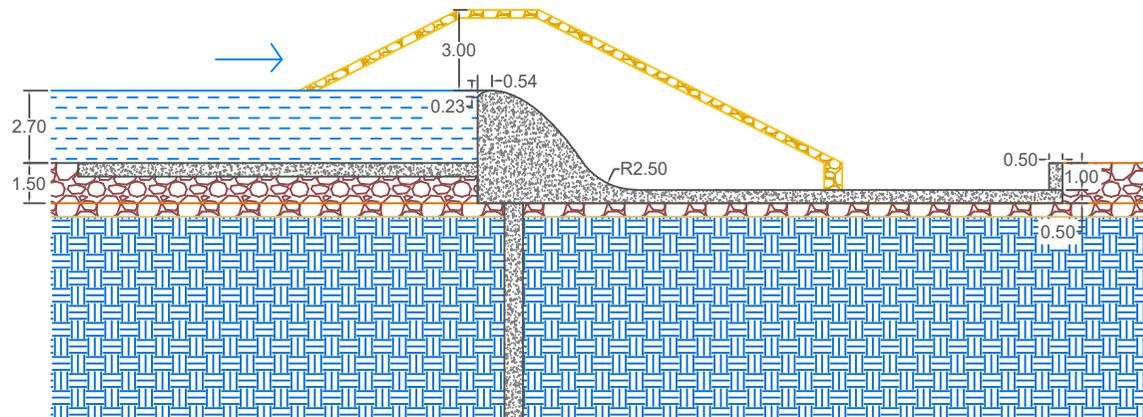


Especificaciones técnicas

1. El material arcilloso para el núcleo impermeable del dique debe ser una arcilla que cumpla con los límites de Atterberg establecidos en la memoria técnica, y no debe ser una arcilla expansiva.
2. El material de relleno para el mejoramiento debe ser extraído de una cantera cercana y cumplir con los requisitos técnicos establecidos en la memoria técnica.
3. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f_c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. Para el muro de contención, pantalla y delantar se debe usar un hormigón de $f_c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
4. Para las protecciones aguas abajo y la risberma se debe usar un hormigón de $f_c = 45$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
5. Las protecciones de taludes y en el fondo del río aguas abajo y aguas arriba son de piedra clase I con un diámetro de 12 cm, se hacer uso del grouting para estas protecciones.

CORTE C-C'

ESC 1:100



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

CONTENIDO:

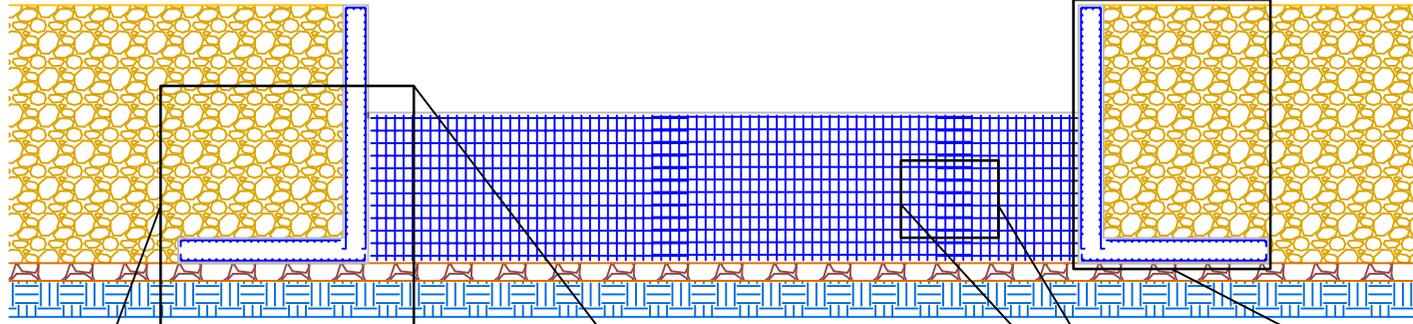
CORTES DEL DIQUE PRINCIPAL

Tutor de Materia Integradora: PhD. Mijail Arias Hidalgo	Tutor de Conocimientos: MSc. Lenin Dender Aguilar	Estudiantes: Génesis Tábara Obando Yoselin Zambrano Ganchozo	Fecha de entrega: 30/08/2024
Lámina: A3/8	Escala: Indicadas		

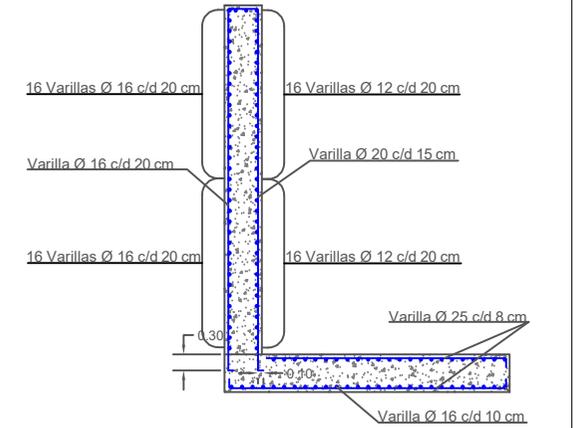
PLANO ESTRUCTURAL - DIQUE PRINCIPAL

CORTE A-A'

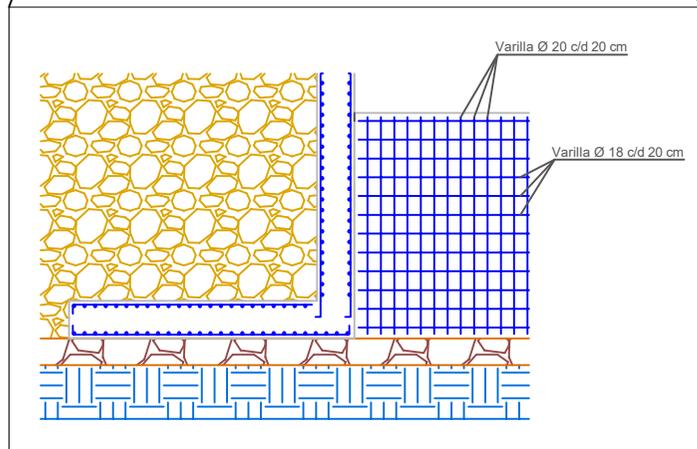
ESC 1:75



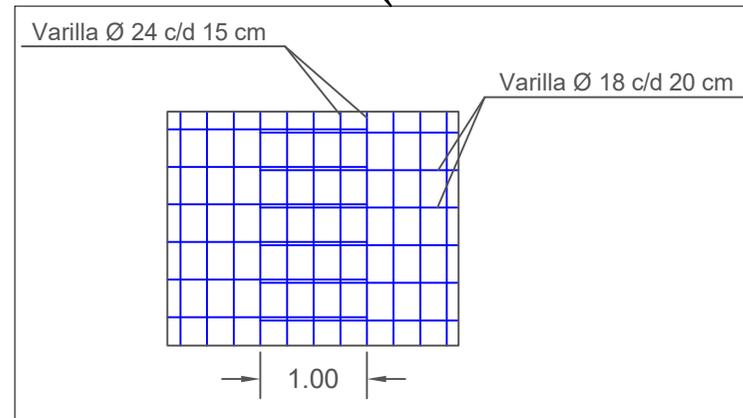
ESC 1:50



ESC 1:50



ESC 1:25



Especificaciones técnicas

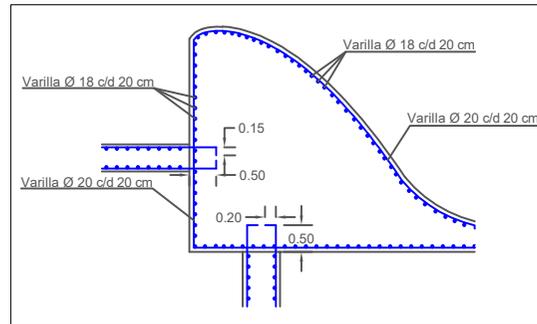
1. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f_c = 38 \text{ MPa}$ y un acero de $f_y = 420 \text{ MPa}$.
2. Para el muro de contención se debe usar un hormigón de $f_c = 28 \text{ MPa}$ y un acero de $f_y = 420 \text{ MPa}$.
3. El recubrimiento del vertedero es de 8 cm, mientras que en el muro de contención es de 4 cm en la pantalla y de 7 cm en el talón.
4. El traslape del acero de refuerzo en el vertedero es de 1 metro, con una doblez a 90° y un anclaje de 10 cm.
6. Antes de aplicar el sellador (poliuretano) en las juntas de construcción (vertedero y muro de contención), las superficies de la junta deben estar limpias, secas y libres de polvo o residuos.

	Terreno natural
	Terraplén
	Acero
	Hormigón
	Enrocado
	Mejoramiento
	Terreno natural

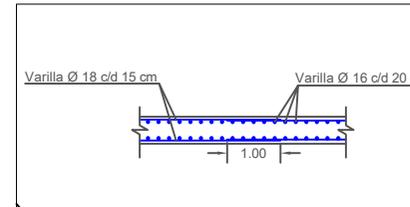
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena			
CONTENIDO: PLANO ESTRUCTURAL DEL DIQUE PRINCIPAL			
Tutor de Materia Integradora: PhD. Mijail Arias Hidalgo	Tutor de Conocimientos: MSc. Lenin Dender Aguilar	Estudiantes: Génesis Tábara Obando Yoselin Zambrano Ganchozo	Fecha de entrega: 30/08/2024 Lámina: A4/8 Escala: Indicadas

PLANO ESTRUCTURAL - DIQUE PRINCIPAL

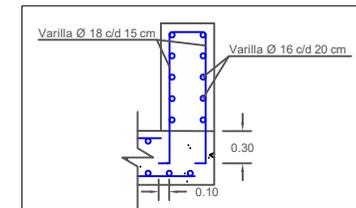
ESC 1:50



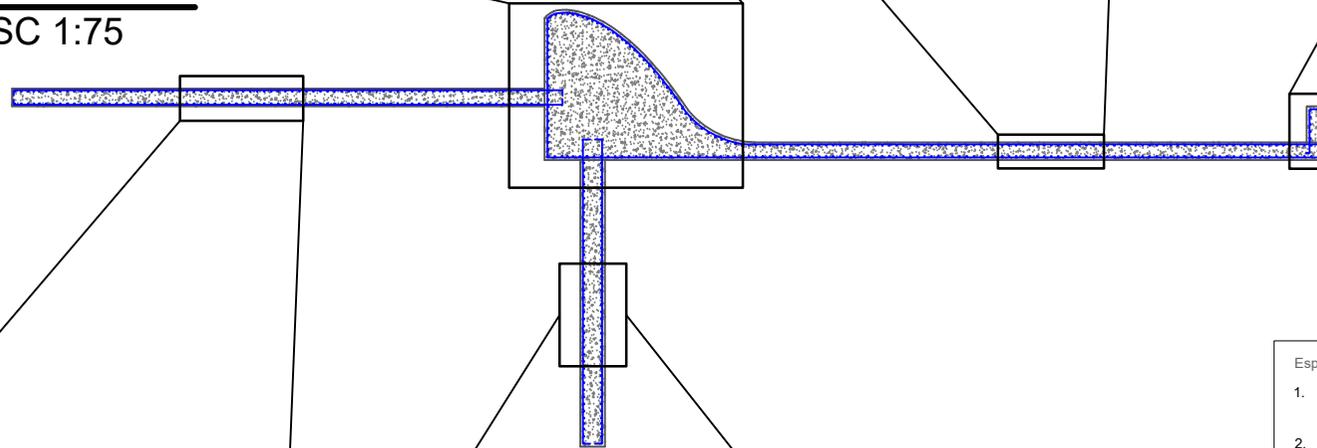
ESC 1:50



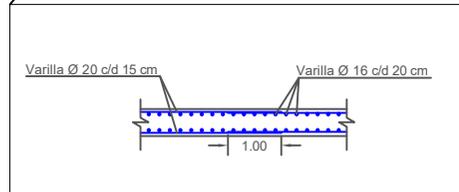
ESC 1:25



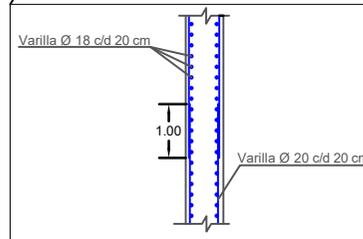
CORTE C-C'
ESC 1:75



ESC 1:50



ESC 1:50



Especificaciones técnicas

1. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f_c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
2. Para la pantalla y el delantal se debe usar un hormigón de $f_c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. Para las protecciones aguas abajo y la risberma se debe usar un hormigón de $f_c = 45$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
4. El recubrimiento de la protección aguas abajo y la risberma es de 8 cm. El delantal y la pantalla tienen un recubrimiento de 4 cm.
5. El traspase del acero de refuerzo en el vertedero es de 1 metro, con una doblez a 90° y un anclaje de 10 cm.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

CONTENIDO:

PLANO ESTRUCTURAL DEL VERTEDERO PRINCIPAL

Tutor de Materia
Integradora:
PhD. Mijail Arias Hidalgo

Tutor de
Conocimientos:
MSc. Lenin Dender Aguilar

Estudiantes:
Génesis Tabara Obando
Yoselin Zambrano Ganchozo

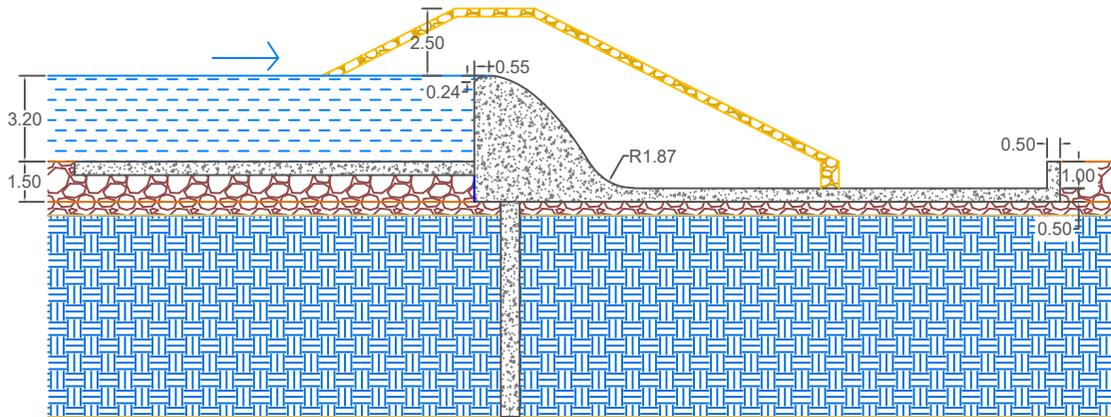
Fecha de entrega:
30/08/2024

Lámina:
A5/8

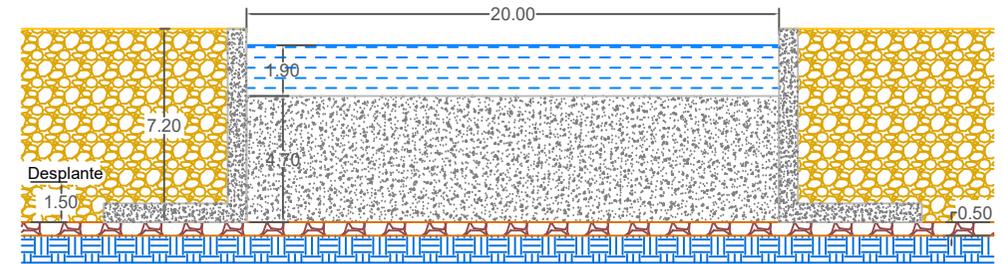
Escala:
Indicadas

CORTES DEL DIQUE LATERAL

CORTE E-E'
ESC 1:100

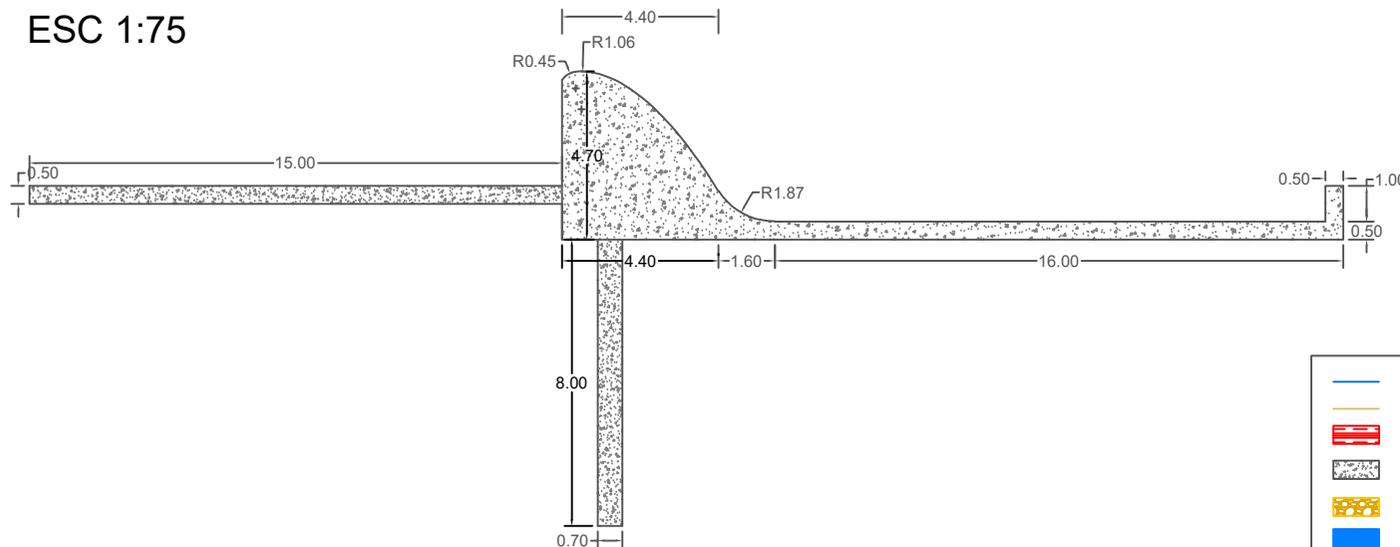


CORTE F-F'
ESC 1:100



DIQUE LATERAL

ESC 1:75



	Terreno natural
	Terraplén
	Arcilla
	Hormigón
	Enrocado
	Espejo de agua
	Mejoramiento
	Terreno natural

Especificaciones técnicas

1. El material arcilloso para el núcleo impermeable del dique debe ser una arcilla que cumpla con los límites de Atterberg establecidos en la memoria técnica, y no debe ser una arcilla expansiva.
2. El material de relleno para el mejoramiento debe ser extraído de una cantera cercana y cumplir con los requisitos técnicos establecidos en la memoria técnica.
3. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f'c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. Para el muro de contención, pantalla y delantar se debe usar un hormigón de $f'c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
4. Para las protecciones aguas abajo y la risberma se debe usar un hormigón de $f'c = 45$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
5. Las protecciones de taludes y en el fondo del río aguas abajo y aguas arriba son de piedra clase I con un diámetro de 12 cm, se hacer uso del grouting para estas protecciones.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

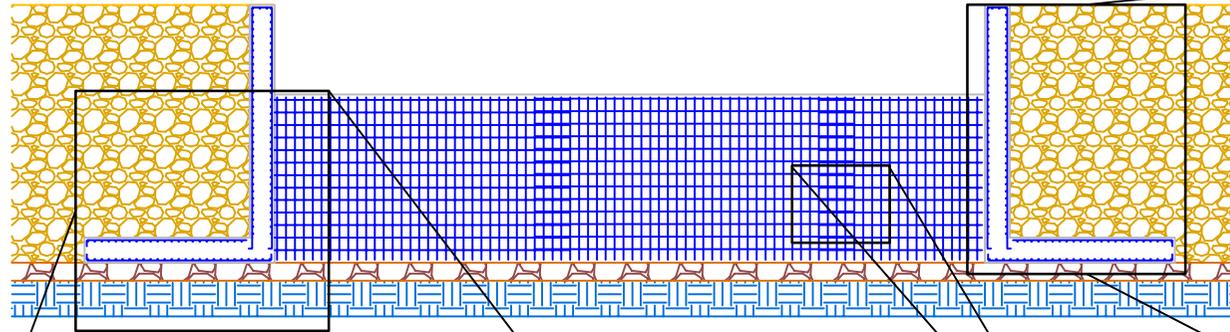
CONTENIDO:
CORTES DEL DIQUE LATERAL

Tutor de Materia Integradora: PhD. Mijail Arias Hidalgo	Tutor de Conocimientos: MSc. Lenin Dender Aguilar	Estudiantes: Génesis Tábora Obando Yoselin Zambrano Ganchozo	Fecha de entrega: 30/08/2024
Lámina: A6/8		Escala: Escala Indicadas	

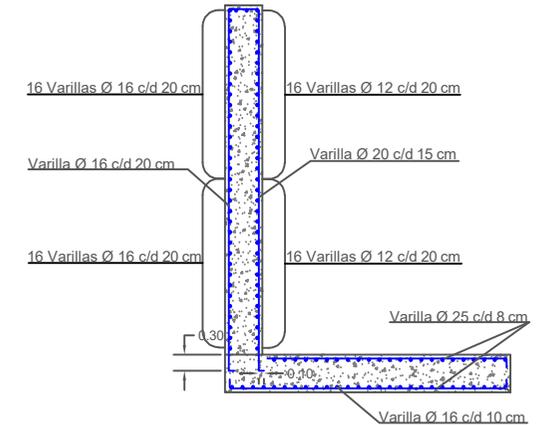
PLANO ESTRUCTURAL - DIQUE LATERAL

CORTE F-F'

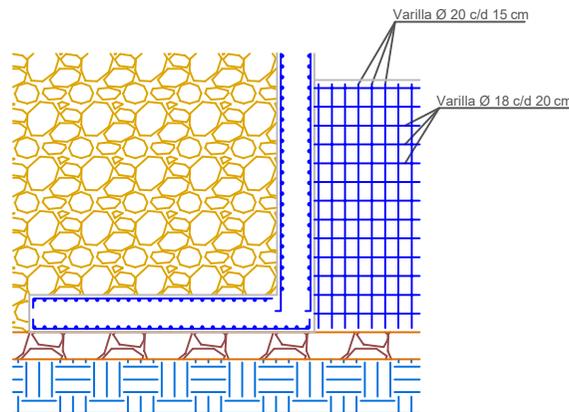
ESC 1:75



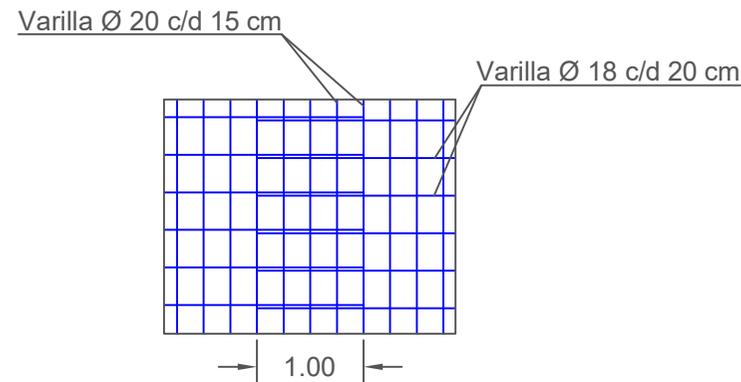
ESC 1:50



ESC 1:50



ESC 1:25



Especificaciones técnicas

1. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f_c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
2. Para el muro de contención se debe usar un hormigón de $f_c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. El recubrimiento del vertedero es de 8 cm, mientras que en el muro de contención es de 4 cm en la pantalla y de 7 cm en el talón.
4. El traslape del acero de refuerzo en el vertedero es de 1 metro, con una doblez a 90° y un anclaje de 10 cm.
6. Antes de aplicar el sellador (poliuretano) en las juntas de construcción (vertedero y muro de contención), las superficies de la junta deben estar limpias, secas y libres de polvo o residuos.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

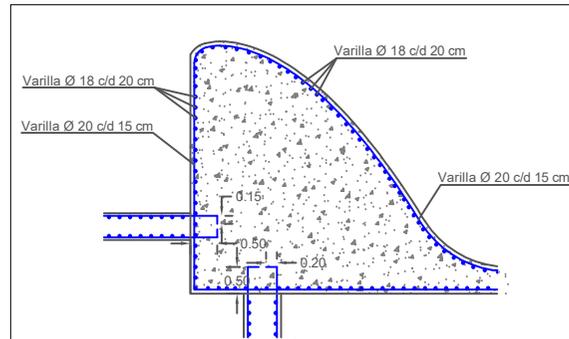
PROYECTO:
Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

CONTENIDO:
PLANO ESTRUCTURAL DEL DIQUE LATERAL

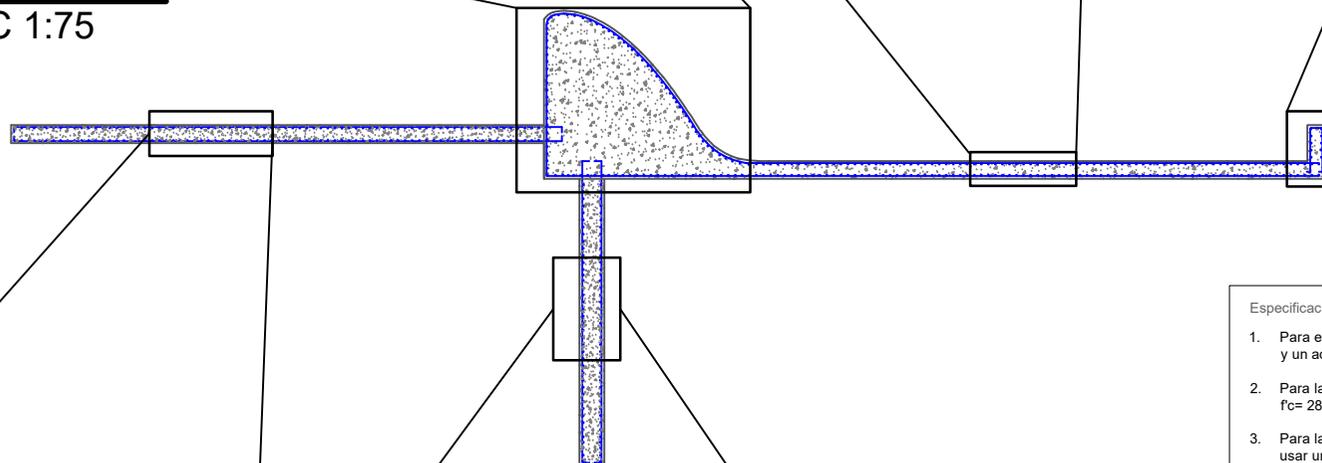
Tutor de Materia Integradora: PhD. Mijail Arias Hidalgo	Tutor de Conocimientos: MSc. Lenin Dender Aguilar	Estudiantes: Génesis Tabara Obando Yoselin Zambrano Ganchezo	Fecha de entrega: 30/08/2024 Lámina: A7/8 Escala: Indicadas
---	--	--	--

PLANO ESTRUCTURAL - DIQUE LATERAL

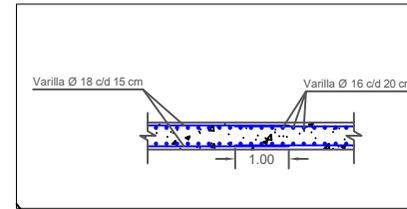
ESC 1:50



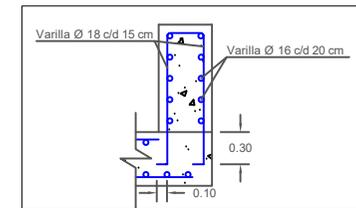
CORTE E-E'
ESC 1:75



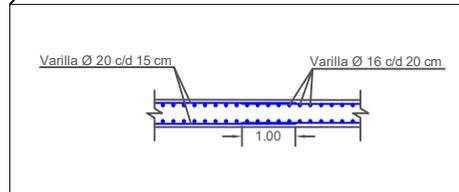
ESC 1:50



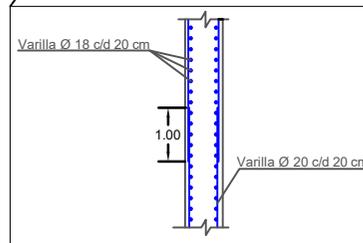
ESC 1:25



ESC 1:50



ESC 1:50



Especificaciones técnicas

1. Para el vertedero se debe usar un hormigón de $f_c = 38$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
2. Para la pantalla y el delantal se debe usar un hormigón de $f_c = 28$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
3. Para las protecciones aguas abajo y la risberma se debe usar un hormigón de $f_c = 45$ MPa y un acero de $f_y = 420$ MPa.
4. El recubrimiento de la protección aguas abajo y la risberma es de 8 cm. El delantal y la pantalla tienen un recubrimiento de 4 cm.
5. El traslape del acero de refuerzo en el vertedero es de 1 metro, con una doblez a 90° y un anclaje de 10 cm.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena

CONTENIDO:

PLANO ESTRUCTURAL DEL VERTEDERO LATERAL

Tutor de Materia
Integradora:
PhD. Mijail Arias Hidalgo

Tutor de
Conocimientos:
MSc. Lenin Dender Aguilar

Estudiantes:
Génesis Tábara Obando
Yoselin Zambrano Ganchozo

Fecha de entrega:
30/08/2024

Lámina:
A8/8 Escalas
Indicadas

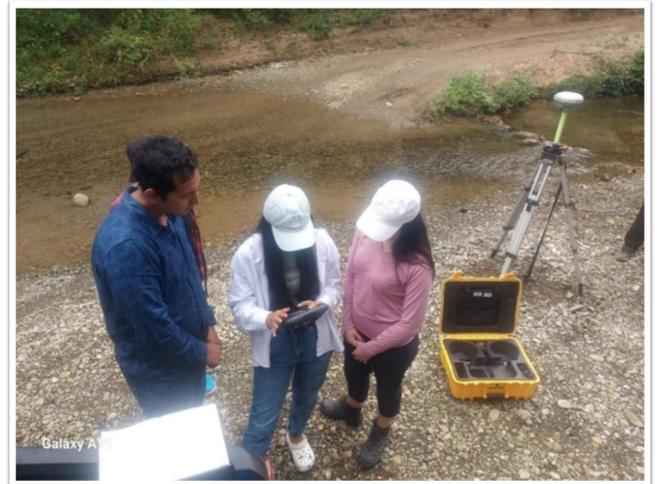
Diseño de un dique en el río Valdivia - California para el aprovechamiento hídrico de la comuna en el sector Loma Alta, Santa Elena.

PROBLEMA

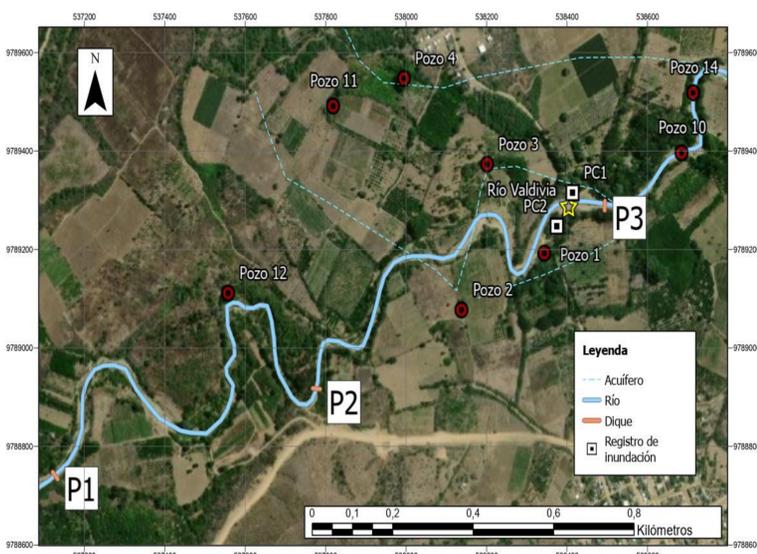
La región agrícola de Loma Alta en Santa Elena enfrenta escasez hídrica estacional, reduciendo la disponibilidad de agua para riego, afectando la producción y la economía local.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un dique en Santa Elena, basándose en datos topográficos, modelos de inundación y estudios hidráulicos, para el suministro hídrico y controlar inundaciones en la comuna Loma Alta.



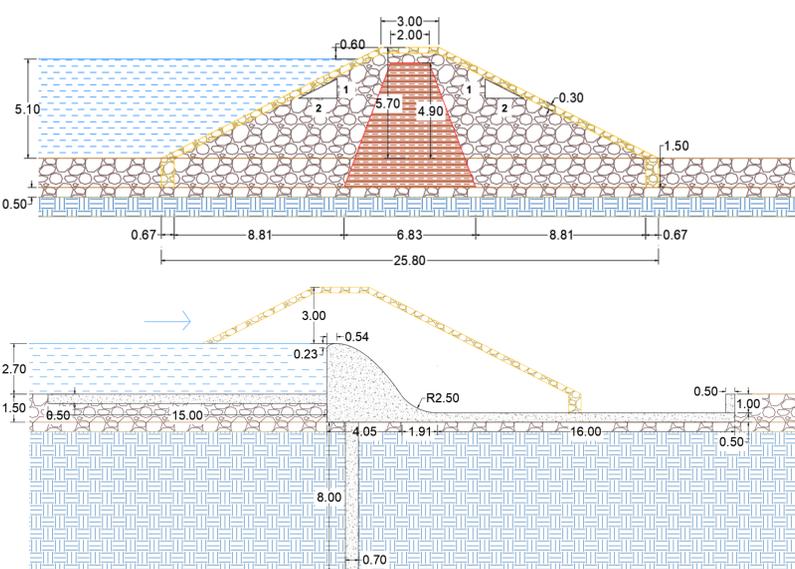
PROPUESTA



- Área de estudio: Batimetría registrada 2 km aguas arriba y aguas abajo.
- Alternativas de ubicación: Mediante curvas de nivel obtenidas del procesamiento topográfico.
- Zonas potenciales para la construcción evaluadas en función de:
 - Accesibilidad al sitio
 - Recarga de acuíferos
 - Ancho del cauce

Se seleccionó la alternativa 3, considerando demás criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos.

RESULTADOS



- El núcleo está compuesto de un material arcilloso impermeable, con plasticidad de baja a media, y no debe ser expansivo.
- El relleno para el cuerpo debe consistir en un componente de mejoramiento que cumpla con las especificaciones técnicas.

Resultados	Valor
Caudal de diseño (T=100 años)	96.6 m ³ /s
Volumen de almacenamiento	105019.37 m ³
Altura del dique	5.7 m
Altura del vertedero principal - Paramento	2.7 m
Altura del vertedero de emergencia - Paramento	3.2 m
Longitud del vertedero principal	20 m
Longitud del vertedero de emergencia	20 m

CONCLUSIONES

- Se determinó un caudal máximo de 127.3 m³/s para un retorno de 200 años, y se seleccionó el sitio óptimo para un dique de 105,019.37 m³ con un costo de \$850,799.44.
- Se diseñó dos vertederos: uno en el eje del río a 46.7 msnm y otro lateral para emergencias a 48.2 msnm, con un borde libre mínimo de 0.6 m.
- Los impactos clave, como la excavación y cambios en la cubierta terrestre, se identificaron y clasificaron en riesgos bajos, medios y altos mediante la matriz de Leopold.

