

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA



La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RELAVES DEL PLAN DE MANEJO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN EL SECTOR MINERO PORTOVELO”

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

JAMIL GUSTAVO GUAMÁN BALCÁZAR

DIRECTOR:

Ing. Carmen Esparza.

Loja-Ecuador

2009

CONTENIDO

Índice	i
Cesión de derechos	ii
Certificación	iii
Autoría	x
Agradecimiento	xi
Dedicatoria	xii
Simbología.....	xiii

CAPÍTULO UNO

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción.....	1
1.2. Definición del problema	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1Objetivo General.....	3
1.4.2Objetivos específicos.....	3
1.5. Diseño metodológico.....	3

CAPÍTULO DOS

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades	5
2.2. Métodos constructivos para depósitos de relaves.....	5
2.2.1.Método aguas arriba.....	6
2.2.2.Método aguas abajo	6
2.2.3.Método de línea central.....	7
2.3. Componentes principales de un depósito de relaves	8
2.4. Consideraciones previas a la construcción de un depósito de relaves.....	9
2.5. Características para elegir la ubicación de un depósito de relaves.....	11
2.6. Campaña de exploración	12
2.7. Investigación de campo	13
2.8. Ensayos de laboratorio	16
2.9. Trabajos de oficina	17

CAPÍTULO TRES

3. ESTUDIO Y DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

3.1. Exploración del área destina al proyecto.....	19
3.1.1Ubicación del proyecto.....	19
3.1.2Exploración sector El Tablón.....	19
3.2. Diseño del depósito de relaves.....	26
3.2.1.Diseño del dique principal de la relavera.....	26
3.2.2.Diseño del dique de arranque.....	42
3.2.3.Drenaje de la relavera.....	43
3.2.3.1. Diseño del dren interno del dique.....	44
3.2.3.2. Diseño del colector para la quebrada El Salado.....	45
3.2.3.3. Diseño del vertedero Morning Glory.....	50
3.2.3.4. Diseño de canales de coronación.....	52
3.2.3.5. Diseño del desarenador.....	53
3.2.4.Vía de acceso a la relavera.....	68
3.2.5.Análisis de rutas y frecuencia de recorrido de los camiones transportadores de relaves desde las plantas de beneficio de minerales hasta la relavera.....	70
3.3. Metodología de construcción de la obra.....	74
3.4. Presupuesto referencial de la obra.....	76

CAPÍTULO CUATRO

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	78
4.2. Recomendaciones.....	80

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de suelos.....	81
Anexo 2. Diseño completo del colector de la quebrada El Saldado.....	94
Lámina 1. Topografía, área de construcción del proyecto, dique principal.....	95
Lámina 2. Ubicación de las líneas para ensayos de geofísica y puntos de toma de muestras de suelos.....	96
Lámina 3. Cortes longitudinales de los diques.....	97

Lámina 4. Canales de coronación.....	98
Lámina 5. Colector, emplazamiento del desarenador, desarenador	99
Lámina 6. Detalle de tuberías obras complementarias.....	100
Referencias bibliográficas	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 3.1 Intensidad máxima de lluvia	24
Ec. 3.2 Longitud de la base del muro	27
Ec. 3.3 Producción de relaves finos	29
Ec. 3.4 Producción de relaves gruesos	29
Ec. 3.5 Factor de seguridad por volteo.....	31
Ec. 3.6 Presión activa de Rankine	31
Ec. 3.7 Coeficiente de presión pasiva de tierra de Rankine	31
Ec. 3.8 Momento resistente al volteo	32
Ec. 3.9 Momento de volcamiento.....	33
Ec. 3.10 Factor de seguridad por deslizamiento.....	33
Ec. 3.11 Factor de seguridad por capacidad de carga	35
Ec. 3.12 Excentricidad.....	35
Ec. 3.13 Distancia desde al centro al punto de aplicación de la fuerza resultante	35
Ec. 3.14 Presión vertical máxima.....	36
Ec. 3.15 Presión vertical mínima	36
Ec. 3.16 Capacidad portante del suelo (Meyerhof).....	36
Ec. 3.17 Esfuerzo efectivo a nivel de cimentación.....	36
Ec. 3.18 Ancho de la cimentación menos veces la excentricidad	36
Ec. 3.19 Factor de profundidad de Hazen (F_{cd})	37
Ec. 3.20 Factor de profundidad de Hazen (F_{qd})	37
Ec. 3.21 Factor de profundidad de Hazen (F_{gd})	37
Ec. 3.22 Factor de inclinación (F_{ci} , F_{qi})	37
Ec. 3.23 Factor de inclinación (F_{gi}).....	38
Ec. 3.24 Inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical	38
Ec. 3.25 Esfuerzo neto transmitido	40
Ec. 3.26 Asentamiento neto inmediato.....	41
Ec. 3.27 Área equivalente	46

Ec. 3.28 Caudal de diseño (Método racional)	47
Ec. 3.29 Velocidad a sección llena.....	47
Ec. 3.30 Caudal a sección llena	48
Ec. 3.31 Tiempo de flujo a lo largo de la tubería	48
Ec. 3.32 Desnivel entre los extremos del tramo	48
Ec. 3.33 Coeficiente libre (q/Q)	48
Ec. 3.34 Velocidad real en la tubería a superficie libre.....	49
Ec. 3.35 Cota inicial del proyecto	50
Ec. 3.36 Caudal de diseño vertedero Morning Glory.....	51
Ec. 3.37 Diámetro del vertedero Morning Glory	51
Ec. 3.38 Longitud del vertedero	52
Ec. 3.39 Ecuación del perfil Creager del vertedero Morning Glory	52
Ec. 3.40 Ecuación del perfil Creager del vertedero Morning Glory adaptada	52
Ec. 3.41 Tirante de agua.....	55
Ec. 3.42 Máxima eficiencia hidráulica para secciones rectangulares	55
Ec. 3.43 Altura del canal de coronación.....	55
Ec. 3.44 Sección transversal (rectangular)	57
Ec. 3.45 Perímetro mojado	58
Ec. 3.46 Radio hidráulico	58
Ec. 3.47 Velocidad en el canal	58
Ec. 3.48 Pendiente	58
Ec. 3.49 Base de la rápida	58
Ec. 3.50 Tirante crítico en la sección de control	59
Ec. 3.51 Velocidad crítica	59
Ec. 3.52 Altura de velocidad	59
Ec. 3.53 Variación de altura de velocidad.....	59
Ec. 3.54 Energía aguas arriba de la sección de control	60
Ec. 3.55 Energía mínima.....	60
Ec. 3.56 Longitud de transición	61
Ec. 3.57 Velocidad (Ec. Chezy)	61
Ec. 3.58 Sección transversal de la rápida	62
Ec. 3.59 Tirante de agua en la rápida	62
Ec. 3.60 Carga de agua en la rápida	62
Ec. 3.61 Perímetro mojado en la rápida	62

Ec. 3.62 Radio hidráulico en la rápida	62
Ec. 3.63 Diferencia de altura entre el tirante y la carga de agua	62
Ec. 3.64 Coeficiente de Chezy	62
Ec. 3.65 Número de Froude	63
Ec. 3.66 Conjugado mayor	63
Ec. 3.67 Longitud del colchón de agua al final de la rápida	63
Ec. 3.68 Velocidad de circulación del agua en el desarenador	65
Ec. 3.69 Ecuación de máxima eficiencia hidráulica para secciones rectangulares	66
Ec. 3.70 Área en secciones rectangulares en función de la ecuación de máxima eficiencia hidráulica.....	66
Ec. 3.71 Altura de agua en el desarenador	66
Ec. 3.72 Área en función del caudal de diseño	66
Ec. 3.73 Ancho de solera del desarenador en función de la sección transversal del mismo	67
Ec. 3.74 Longitud activa del desarenador según Sokovov.....	67
Ec. 3.75 Altura al final del desarenador	67
Ec. 3.76 Número de vehículos necesarios en función de la cantidad de residuos a recolectar	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Depósito de relaves	5
Fig. 2.2. Método aguas arriba.....	6
Fig. 2.3. Método aguas abajo	7
Fig. 2.4. Método de línea central.....	7
Fig. 2.5. Componentes de un depósito de relaves	9
Fig. 2.6. Drenaje de chimenea al interior del muro	9
Fig. 2.7. Esquema de vertedero morning glory	10
Fig. 2.8. Fallas del dique	11
Fig. 2.9. Diagrama de flujo explicando la problemática ambiental de de la pequeña minería para el tratamiento auríferos en distrito minero de Zaruma Portovelo.....	12
Fig. 2.10. Ubicación de las anternativas propuestas.....	15
Fig. 3.1. Ubicación de la relavera.....	19
Fig. 3.2. Zonas geotécnicas presentes en el lugar	22

Fig. 3.3. Sondeos en la zona de estudio	22
Fig. 3.4. Zonas litológicas	23
Fig. 3.5. Modelo de Témez para el cálculo de aportaciones	24
Fig. 3.6. Datos preliminares para el diseño del dique principal	26
Fig. 3.7. Tipos de falla en un muro	30
Fig. 3.8. Comprobación de estabilidad por volteo	32
Fig. 3.9. Revisión de falla por capacidad de carga.....	34
Fig. 3.10. Vista en planta del dique principal.....	38
Fig. 3.11. Perfil del terreno y del dique en una determinada abs. A lo largo de la corona del dique	39
Fig. 3.12. Falla del muro por infiltración	44
Fig. 3.13. Vertedero morning glory de planta circular	50
Fig. 3.14. Elementos de una rápida	56
Fig. 3.15. Esquema de un desarenador	64
Fig. 3.16. Vía de acceso a la relavera.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Graf. 3.1. Curva de variación estacional de la quebrada El Salado.....	25
Graf. 3.2. Volumen vs. Cota de llenado	28
Graf. 3.3. Producción de relaves finos vs. Vida útil del depósito.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 2.1. Unidades para el proceso de molienda, lixiviación y amalgamación de minerales en el sector	14
Tabla. 2.2. Ubicación de las perforaciones.....	16
Tabla. 3.1. Producción diaria en plantas con tanques de agitación	20
Tabla. 3.2. Producción diaria en plantas con sistema de recuperación de Ag por flotación.....	20
Tabla. 3.2. Producción diaria en plantas con sistema de recuperación de Ag por flotación.....	20
Tabla. 3.3. Características de los suelos existentes en el lugar.....	21
Tabla. 3.4. Características geotécnicas de los suelos a utilizar	22
Tabla. 3.5. Estaciones de caudal consideradas	24

Tabla. 3.6. Caudales máximos de crecida quebrada El Salado	25
Tabla. 3.7. Datos preliminares para el diseño del dique principal.....	26
Tabla. 3.8. Capacidad de almacenaje del depósito de acuerdo a la cota de llenado.....	28
Tabla. 3.9. Vida útil del depósito de acuerdo a la cota de llenado	29
Tabla. 3.10. Cálculo de los momentos resistentes al volteo	32
Tabla. 3.11. Factores de capacidad de carga	37
Tabla. 3.12. Cálculo del volumen del dique	39
Tabla. 3.13. Módulo de elasticidad según el tipo de suelo	40
Tabla. 3.14. Relación Poisson para diferentes tipos de suelos.....	41
Tabla. 3.15. Valores de Iw según Bowles	42
Tabla. 3.16. Diseño final del dique principal	42
Tabla. 3.17. Factores de seguridad y datos geométricos del dique de arranque.....	43
Tabla. 3.18. Relaciones hidráulicas	49
Tabla. 3.19. Coeficientes de escorrentía.....	54
Tabla. 3.20. Cálculo del caudal de diseño para cada tramo de los canales de coronación	54
Tabla. 3.21. Sección de los tramos de las cunetas de coronación	56
Tabla. 3.22. Cálculo del tirante crítico y ancho de solera de la rápida N° 1.....	60
Tabla. 3.23. Cálculo del valor de la velocidad en la rápida.....	62
Tabla. 3.24. Datos hidráulicos de las rápidas diseñadas.....	64
Tabla. 3.25. Coeficiente a	65
Tabla. 3.26. Velocidad de cimentación de las partículas.....	66
Tabla. 3.27. Tiempo empleado para transporte de relaves desde las plantas de beneficio de minerales (sector El Pache) a la relavera	71
Tabla. 3.28. Tiempo empleado para transporte de relaves desde las plantas de beneficio de minerales (sector El Salado) a la relavera.....	73
Tabla. 3.29. Cronograma de actividades para la construcción de la relavera.....	76
Tabla. 3.30. Cuadro de cantidades de obra y precios	77

CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS

Yo, Jamil Gustavo Guamán Balcázar declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y de tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

Loja, julio de 2009

Jamil Gustavo Guamán Balcázar

CERTIFICACIÓN

Ing. Carmen Esparza V.

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA UTPL

DIRECTORA DE TESIS:

Certifico:

Haber dirigido la presente investigación “**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RELAVES DEL PLAN DE MANEJO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EL SECTOR MINERO PORTOVELO**”, la misma que reúne todos los requisitos que exige los reglamentos de la Escuela de Ingeniería Civil, por lo que autorizo su presentación.

Ing. Carmen Esparza

DIRECTORA DE TESIS

Loja, Julio de 2009

AUTORÍA

Todas las definiciones, diseños, análisis y opiniones vertidas en la presente investigación, son responsabilidad directa del autor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Particular de Loja por acogerme durante los últimos cinco años y darme la oportunidad de cursar esta carrera.

A la Ingeniera Carmen Esparza por el aporte desinteresado de su conocimientos para la realización del presente proyecto.

A mis padres Germán y María Carmelina por el apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida.

A mi hermana María del Cisne que ha sido como mi segunda madre durante el transcurso de mi vida.

A Julia Jhoana Delgado mi compañera durante los últimos 10 meses y para toda la vida.

A los ingenieros Holger Benavides y Stalin Angamarca por el aporte realizado a esta investigación.

A todos quienes de otra forma fueron parte de este proyecto.

EL AUTOR

DEDICATORIA

Dedicado a Dios ya que gracias a Él he logrado cumplir con las metas propuestas.

A mis padres Germán y María Carmelina por su apoyo, confianza, cariño y entrega durante mi formación profesional y más aun durante mi formación como persona.

A mi hermana María del Cisne que pese a mis errores y tropiezos nunca dejo de creer en mí.

A Julia Jhoana quien vivió parte de mi formación profesional, por su apoyo para llegar a ser mejor persona.

A mis amigos de toda la vida Patricio Ortega, Xavier Malacatus, Edgar Bravo, Diego Quezada e Israel Gonzaga, gracias por haber crecido juntos.

Jamil Gustavo

SIMBOLOGÍA

ASTM	American society for testing of materials.
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno.
DQO	Demanda química de oxígeno.
Hg	Mercurio.
INAMHI	Instituto nacional de meteorología e hidrología.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
Perf.	Perforación
UCG	Unidad de ingeniería civil y geología y minas

Expresiones geotécnicas

A	Área.
A_{dique}	Área del dique.
C	Cohesión.
c'	Cohesión del relave fino colocado en el vaso del depósito.
D	Profundidad de cimentación.
D_f	Profundidad del nivel freático.
Es	Modulo de elasticidad.
F_{cd}, F_{qd}, F_{γd}	Factores de profundidad.
F_{ci}, F_{qi}, F_{γi}	Factores por inclinación de la carga.
F_d	Fuerzas horizontales de empuje.
F_R	Fuerzas horizontales resistentes.
FS_(C.de carga)	Factor de seguridad por capacidad de carga.
FS_(desliz.)	Factor de seguridad por deslizamiento.
FS_(volteo)	Factor de seguridad por volteo.
H	Altura del dique.
I	Intensidad máxima.
I_d	Intensidad máxima diaria para un período de retorno determinado.
I_w	Factor de influencia.
K_a	Coefficiente de presión activa de tierra de Rankine
Lc	Longitud de corona.
LL	Límite líquido.

LP	Límite Plástico.
M_o	Momentos que tienden a voltear el muro con respecto a la punta del dique.
M_R	Momentos generados por las fuerzas que impiden el volteo del dique.
N_c, N_q, N_γ	Factores de capacidad de carga.
P_a	Presión activa de Rankine
PDM	Producción media diaria de relaves
Prof.	Profundidad.
P₁	Presión mínima transmitida por el dique al muro.
P₂	Presión máxima transmitida por el dique al muro.
q	Esfuerzo efectivo a nivel de la cimentación.
q_{max}	Presión máxima vertical transmitida por el dique al suelo.
q_u	Capacidad de carga del suelo.
q_s	Esfuerzo neto transmitido.
RF	Porcentaje de relave fino.
RG	Porcentaje de relave grueso.
t	Duración de la tormenta.
V_{dique}	Volumen del dique.
W	Contenido de humedad.
α₁	Ángulo del talud aguas abajo.
α₂	Ángulo del talud aguas arriba.
β	Inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la horizontal.
δ	Coefficiente de deslizamiento muro – suelo.
φ	Ángulo de fricción.
φ'	Ángulo de fricción del relave fino.
γ	Peso específico.
μ	Módulo de Poison.

Expresiones hidráulicas

a	Coeficiente dependiente del tamaño de las partículas a sedimentar.
A_{eq}	Área equivalente.
A_r	Sección transversal en la rápida.

b	Solera del canal de entrada.
B	Ancho de solera del canal.
b_{rap}	Solera de la rápida.
C	Coefficiente de escurrimiento.
C	Coefficiente de variación de descarga.
CFP	Cota final del proyecto.
C_r	Coefficiente para el cálculo de caudal por medio del método racional.
d	Tirante de agua de la sección.
D	Diámetro interno de la tubería
d₁	Conjugado mayor.
d₂	Conjugado menor.
d_p	Diámetro de las partículas.
E_{a.arriba}	Energía aguas arriba de la sección de control.
E_{min}	Energía mínima.
F₁	Número de Froude.
g	aceleración de la gravedad.
h	Altura del canal.
H	Desnivel entre los extremos del tramo.
H_d	Carga sobre la cresta del vertedero.
h_e	Variación de altura de velocidad.
h_r	Carga de agua en la rápida.
h_v	Altura de velocidad.
h_{vc}	Altura de velocidad crítica.
h₁	Profundidad al final del desarenador.
i	Pendiente de la rápida.
J	Pendiente del tramo.
K	Factor de seguridad según la importancia de la obra.
L	Longitud del tramo.
L_r	Longitud del colchón disipador de energía.
L_t	Longitud de transición del vertedero.
m	Talud del canal.
n	Coefficiente de rugosidad de Manning.
P	Perímetro mojado.

P_r	Perímetro mojado en la rápida.
q	Caudal de diseño.
Q	Caudal a sección llena.
R	Radio hidráulico.
R_r	Radio hidráulica en la rápida.
S	Diferencia de altura entre el tirante y la carga de agua.
T_f	Tiempo de flujo a lo largo de la tubería.
T_r	Período de retorno.
v	Velocidad a superficie libre.
V	Velocidad a sección llena.
V_c	Velocidad crítica.
V_r	Velocidad en la rápida.
w	Velocidad de sedimentación de las partículas.
y	Tirante normal.
y_c	Tirante crítico.
y_r	Tirante de agua en la rápida.

Expresiones para el cálculo de frecuencia de recorrido y número de vehículos recolectores de residuos.

C	Capacidad de cada vehículo.
n	Número de recorridos por vehículo.
N	Número de vehículos.
W	Cantidad de residuos a recolectar por día

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

El presente proyecto está incluido dentro del Plan de manejo de las plantas de beneficio en el distrito minero Zaruma – Portovelo, propuesto por el Ministerio del Ambiente en el año 2008; con la realización del mismo se intenta dotar de un depósito final para los residuos producidos en las plantas de beneficio de minerales y así, de esta manera evitar que éstos sean arrojados directamente a los ríos del sector o en su defecto acumulados en las orillas de los mismos.

El proyecto se realizará cumpliendo distintas etapas de estudio y análisis de las condiciones del sector: topografía, hidrología, geomorfología, mecánica de suelos, influencia sísmica, impacto ambiental así como también de las propiedades físico – mecánicas del material de relave; estudios que serán realizados por un equipo interdisciplinar conformado por docentes investigadores y estudiantes de la U.T.P.L.

Teniendo en cuenta las características del sector se elegirá el lugar más apropiado para la implantación del proyecto a fin de evaluar las condiciones de estabilización física del lugar y diseño del depósito de relaves, así como también las obras de drenaje necesarias tanto para escorrentías como para aguas subsuperficiales.

1.2. Definición del problema

A pesar de la larga tradición minera de este pueblo (desde comienzos del siglo XX), se ha realizado pocos estudios sobre el impacto que ocasiona en el ambiente y en la salud humana [1]. Varios estudios señalan que las plantas de beneficio de minerales son las responsables de la mayor parte de la contaminación existente en el río Puyango [2], ésta es producida por la descarga directa de los desechos de la minería (relaves) directamente a los ríos Calera y Amarillo afluentes del Puyango; en cuyas orillas se encuentran muchas plantas de beneficio de mineral aurífero.

En la cuenca alta del Puyango cerca de las plantas de beneficio de minerales se han encontrado concentraciones de mercurio (Hg) en los sedimentos que alcanzan los 1650 ppm y de plomo hasta los 8350 ppm [2], superando entre 20 a 90 veces los

valores de fondo en relación con los de Estados Unidos y Canadá; en las zonas de mayor descarga de relaves se han encontrado concentraciones de cianuro de 1200 $\mu\text{g/l}$, “como consecuencia de las descargas de los procesos de cianuración en la cuenca baja las concentraciones de cianuro total y cianuro libre exceden los criterios ambientales para la protección de la vida acuática”[1]

Las plantas de beneficio de minería artesanal del distrito minero Portovelo – Zaruma descargan aproximadamente 136000 toneladas por año de desechos mineros a los ríos [2], en estas descargas van los metales pesados y el cianuro que son transportados a lo largo del río, no sólo afectando a los habitantes y ecosistema del sector, así como también, a las comunidades ubicadas aguas abajo del mismo.

1.3. Justificación

La contaminación y el impacto relacionados con las actividades mineras en el sur del Ecuador específicamente en el distrito minero Portovelo – Zaruma fueron monitoreados y evaluados durante seis ocasiones entre los años 1996 a 1998 en el proyecto de desarrollo minero y control ambiental, del Ministerio de Energía y Minas. Los principales medios investigados fueron el agua de ríos y estuarios, los sedimentos de ríos y la fauna acuática.

Los resultados del monitoreo mostraron que la minería ha causado considerables impactos ambientales, cuyos principales contaminantes son cianuro, mercurio, plomo y otros metales pesados presentes en los ríos Calera y Amarillo afluentes del río Puyango. Las fuentes más importantes de contaminantes son las colas y relaves descargados directamente a los ríos antes mencionados, debido a sistemas inadecuados de disposición de estos residuos mineros. La descarga de estos contaminantes ha causado la extinción de toda forma de vida acuática superior en ciertos tramos de río. Además, en varios lugares, la mala calidad del agua hace que ésta no sea apta para ser usada como agua potable, para irrigación, o para criaderos acuáticos.

“La mayor parte de los impactos ambientales están relacionados con el control deficiente o inexistente de la disposición de los relaves. Si estos fueran confinados



en diques de retención adecuados (depósitos de relaves), se podría solucionar casi todos los problemas referentes a la contaminación con cianuro, mercurio, plomo y otros metales pesados. Además debido a las benéficas condiciones naturales, la rehabilitación de los ríos actualmente afectados podría ser rápida”. [3]

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

REALIZAR EL “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RELAVES DENTRO DEL PLAN DE MANEJO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN EL SECTOR MINERO PORTOVELO”

1.4.2. Objetivos específicos.

- Evaluar las características geotécnicas del suelo de cimentación del depósito y las propiedades físico – mecánicas del material de relave.
- Evaluar la condición de estabilidad física, para luego proyectar obras de estabilización física.
- Diseñar el dique de arranque y el dique final del depósito de acuerdo a las características del sector.
- Diseñar obras de drenaje de las aguas superficiales y subsuperficiales.
- Proponer un cronograma de construcción del depósito.
- Realizar un presupuesto referencial del costo final de la construcción del depósito y de las obras complementarias.

1.5. Diseño metodológico

Para el presente estudio se llevará a cabo las siguientes etapas:

- Marco teórico referencial
- Caracterización geotécnica del suelo para la cimentación.
- Estudio de las propiedades físico – mecánicas del material de relave.
- Evaluación de la condición de estabilidad física para proyectar la estabilización.



ESTUDIO Y DISEÑO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RELAVES DEL PLAN DE MANEJO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN EL SECTOR MINERO PORTOVELO

CAPITULO I

- Diseño del depósito de relaves para el almacenamiento.
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

Relaves.- “Son residuos sólidos correspondientes a una “Suspensión fina de sólidos en líquido”, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente insitu en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera y desecha en las plantas de concentración húmeda de especies minerales y estériles que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina”. [4]

Depósito de relaves.- Un depósito de relaves es una obra que se construye para mantener de forma segura los relaves (pasivos mineros), provenientes de una planta de beneficio de minerales.

Está constituido principalmente por un dique de cierre, construido con la porción gruesa del relave a almacenar, y un vaso o depósito propiamente dicho, en el cual se almacenara la fracción fina (Partículas que pasan el tamiz N° 200) de los relaves.

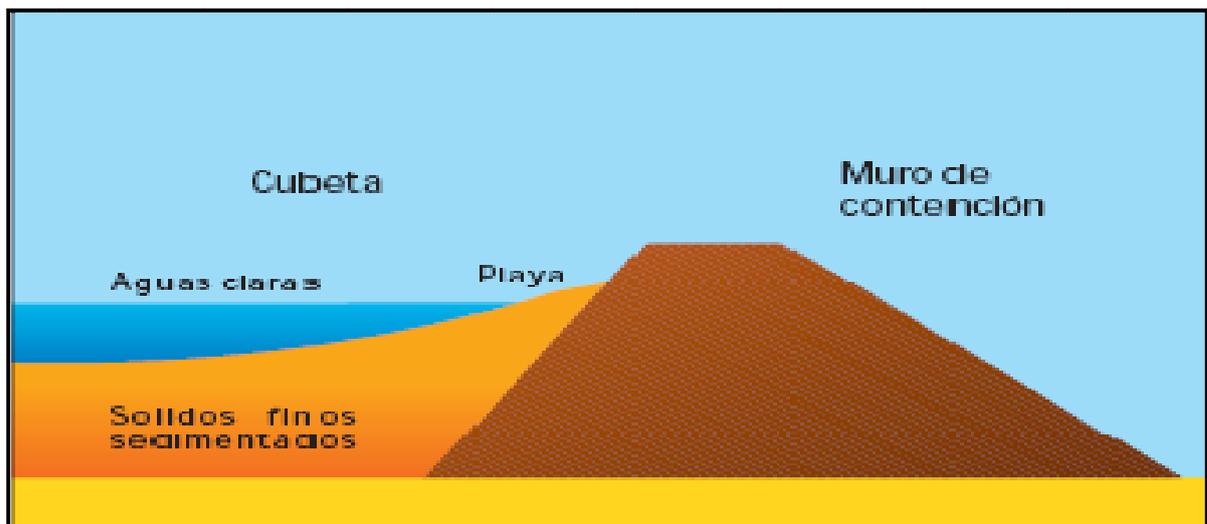


Figura 2.1: Depósito de relaves
Fuente: Sociedad Nacional de Minería. Chile [9]

2.2. Métodos constructivos para depósitos de relaves

Al utilizar la porción gruesa como parte del dique principal del depósito, se puede considerar algunos métodos constructivos.

2.2.1. Método aguas arriba.- En este método se construye una represa aguas abajo. “Es importante que esta represa inicial sea lo suficientemente permeable al paso del agua de filtración y que la porción aguas abajo de la represa sea diseñada para resistir los poros de agua y aire retenido” [10].

Los relaves son descargados hacia la parte superior del dique de arranque usando hidrociclones, separando la parte fina de la gruesa. Conforme el dique va creciendo la línea central va cambiando hacia aguas arriba, ya que el extremo aguas abajo de la nueva etapa (nuevo dique) es apoyado sobre el dique anterior y la porción aguas arriba es ubicada sobre los relaves finos.

Los relaves finos poseen una resistencia al corte baja [10]; conforme la altura del depósito aumenta, la superficie potencial de falla se hace más grande. Es decir la estabilidad física de estos diques disminuye conforme aumenta la altura.

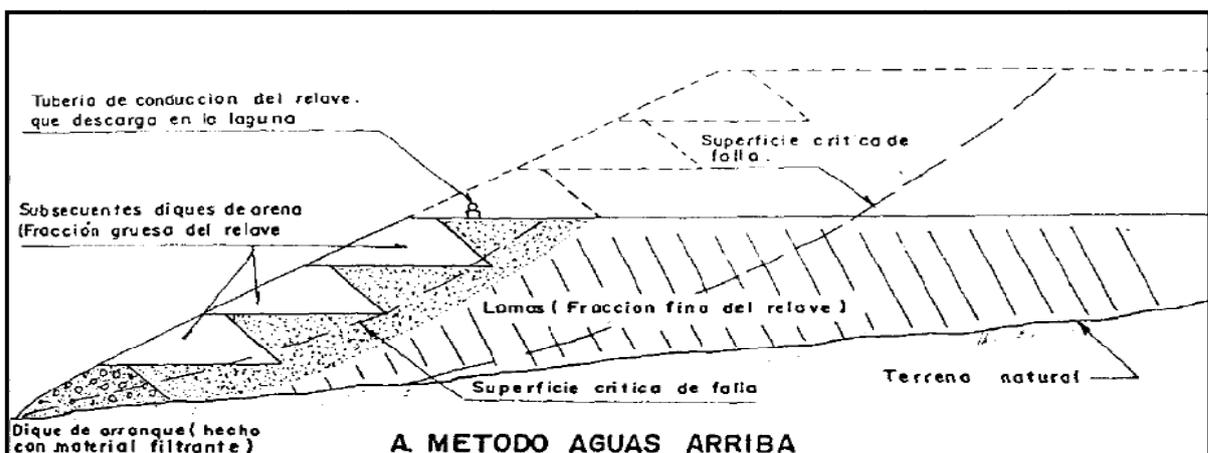


Figura 2.2: Método aguas arriba
Fuente: Ordoñez, 1984 [10]

2.2.2. Método de aguas abajo.- En el método de aguas abajo también se requiere la construcción de un dique de arranque, pero contrastando con el método anterior, se requiere que la presa inicial sea impermeable a la menor infiltración, por lo que se la construye con material de préstamo debidamente compactado. Cada etapa nueva del dique es apoyada en la parte superior porción aguas abajo del dique anterior. Antes de la extensión aguas abajo del dique, se deberá prepara una cama impermeable de drenaje de por lo menos 0.90 m de espesor o drenaje alternativo con la finalidad de reducir la formación de poros de agua, los cuales reducen el

esfuerzo cortante [10]. Para depósitos con alturas superiores a 15 m se recomienda compactar la porción aguas abajo, extendida con el crecimiento del muro [10]. El talud aguas arriba del dique debe ser impermeabilizado con el fin de evitar infiltraciones que disminuyan el esfuerzo cortante del suelo; esto se lo puede realizar ya sea colocando una capa de suelo impermeable o bien recubriendo el talud con geomalla.

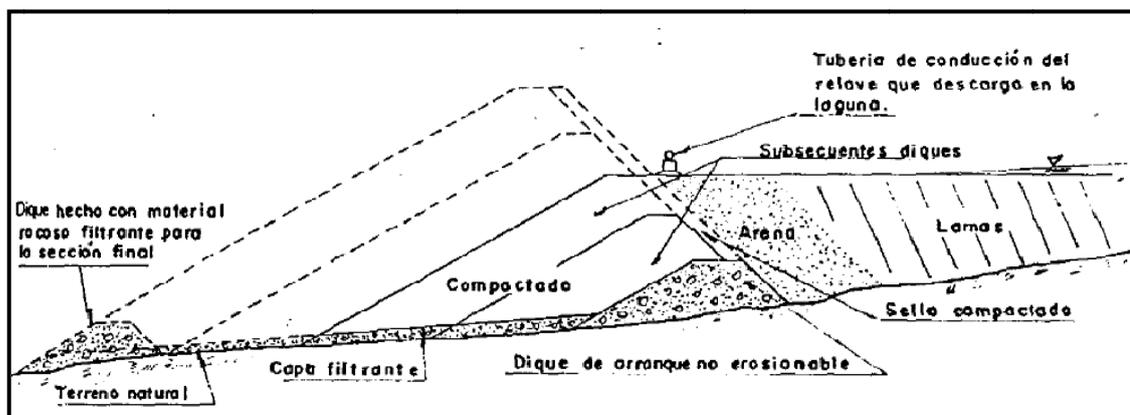


Figura 2.3: Método aguas abajo
Fuente: Ordoñez. 1984 [10]

2.2.3. Método de línea central.- Al igual que los métodos anteriores, se inicia con un dique de arranque, la presa se eleva extendiendo y compactando el relave grueso en la parte superior, sobre las caras aguas arriba y aguas abajo. Los relaves ubicados en el talud aguas abajo deben ir siempre compactados, ya que “uno de los criterios para lograr la estabilidad de presas de tierra es desarrollar la máxima estabilidad en el extremo y áreas del talud aguas abajo” [10].

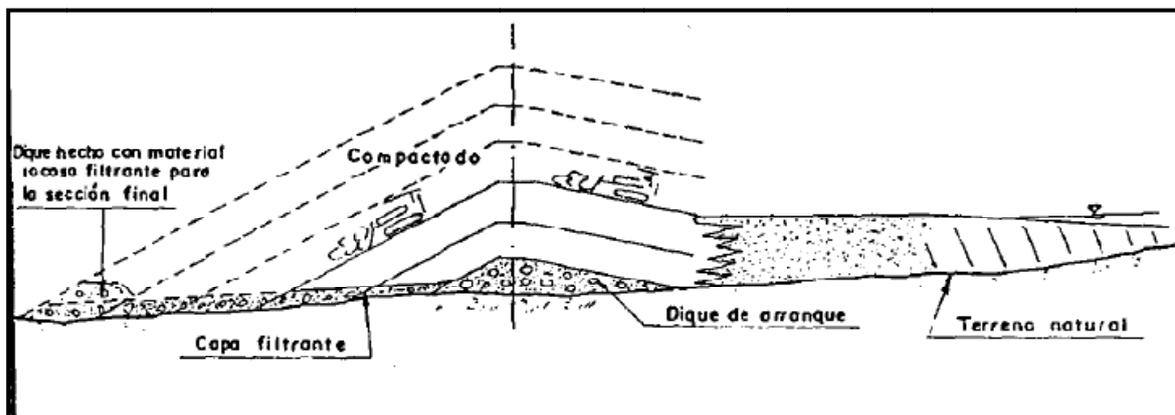


Figura 2.4: Método de línea central
Fuente: Ordoñez. 1984 [10]

2.3. Componentes principales de un depósito de relaves [4]

Vaso (cubeta o depósito).- Es el volumen disponible para depositar los relaves finos. Este es el componente más importante en la relación con la vida útil de la relavera.

Dique principal.- Se lo denomina también dique de cierre ya que delimita el vaso, permitiendo contener los relaves que en él se depositan, es el componente más importante en cuanto a la estabilidad y seguridad del depósito. Este muro se va construyendo con la porción gruesa del relave (partículas retenidas en el tamiz N° 200) durante la vida útil de la obra.

Sistema de descarga de relaves.- Permite depositar los residuos mineros en el vaso, además en esta etapa también se separa la porción gruesa de los relaves de la porción fina, con el objetivo de que ésta sea usada para la construcción del dique.

Impermeabilización del vaso del depósito.- Se impermeabiliza el interior del depósito con la finalidad de impedir la infiltración de las aguas presentes en los relaves, ya que éstas están contaminadas con metales pesados utilizados en las plantas de beneficio de minerales, estas aguas deben de ser conducidas a través de estratos drenantes a las plantas donde serán tratadas previamente a su devolución a los causes naturales.

Canales de desvío.- Estos canales o tunes en determinados casos, son construidos con la finalidad de captar y desviar escorrentías superficiales que naturalmente atraviesan la zona donde se construirá el depósito, impidiendo de esta forma el ingreso de las aguas al depósito.

Cunetas de coronación.- Son canales que se construyen siguiendo el perímetro del depósito, pero a una cota superior; el objetivo de su construcción es que estas capturen el agua procedente de las precipitaciones y escorrentía superficial e impedir que ingresen al vaso del depósito.

Altura de seguridad mínima.- Se denomina así a la diferencia de cota existente entre la cota de la corona del dique principal y la cota a la que se encuentran el relave fino dentro del vaso.

Dique de arranque.- Es un muro construido con material de préstamo, para el método de aguas abajo este debe de ser impermeable para impedir infiltraciones al interior del mismo. “La altura del muro de partida queda determinada por el avance en altura del prisma de arenas, en relación al avance en altura del nivel de relave” [4].

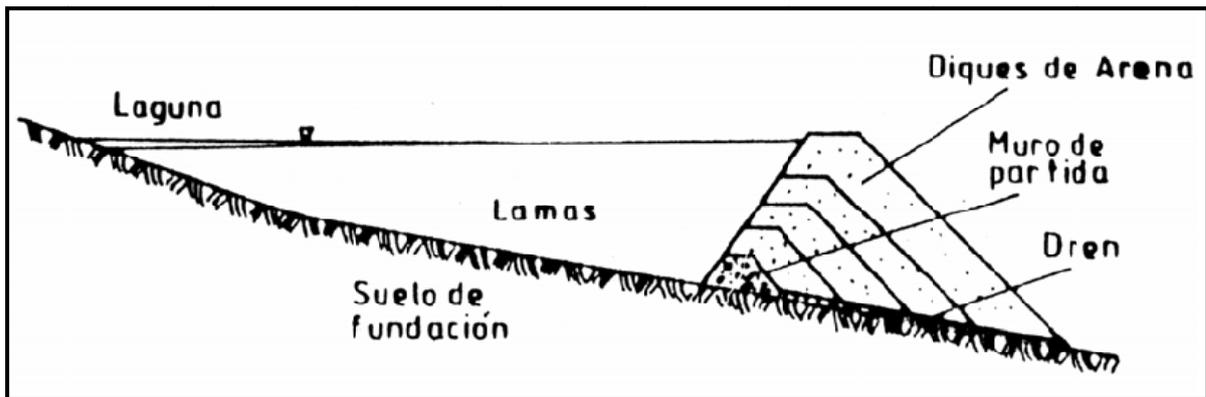


Figura 2.5: Componentes de un depósito de relaves
Fuente: Ramírez. 2007 [4]

Drenaje.- El sistema de drenaje permite disminuir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro, para impedir el arrastre de las partículas de suelo con los flujos de agua y posibles fallas del dique por licuefacción.

- **Drenaje en el interior del muro (dren de chimenea).-** Este tipo de drenaje se construye con el fin de evacuar el agua que logra penetrar en el interior del muro, ya que ésta puede licuar el suelo y así poner en riesgo la estabilidad del dique. La posición e inclinación del dren dependen de la geometría del dique y de las propiedades isotrópicas del suelo que lo conforma.

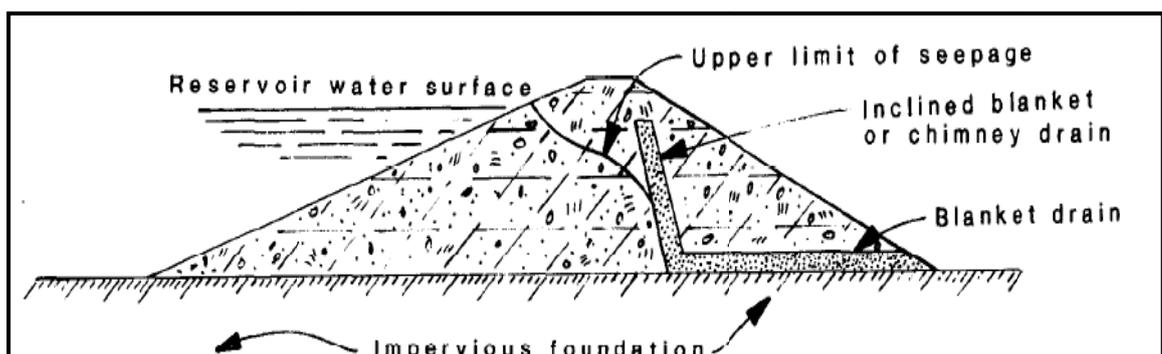


Figura 2.6: Drenaje de chimenea la interior del muro
Fuente: Desing of SmallDams

- **Vertedero Morning Glory.**- “Los aliviaderos en pozo, también denominados “morning glory”, fueron utilizados con cierta profusión por los proyectistas de presas del mundo, hace algunas décadas, sobre todo en presas de materiales sueltos, debido a la ventaja que supone la sustitución del canal de descarga en la ladera por una galería trazada bajo el cuerpo de presa” (Revista de obras hidráulicas. 1997. N° 3371).

El funcionamiento de un aliviadero tipo morning glory, es similar al de un aliviadero de superficie, con sección de control en el vertedero. A lo largo del tramo en pozo vertical, el agua transferida por este vertedero circula en régimen de caída libre, hasta llegar a una determinada altura sobre el codo inferior de descarga, el agua debe circular en régimen de lámina libre, para lo cual se aduce aire por la parte superior del conducto de descarga. [13]

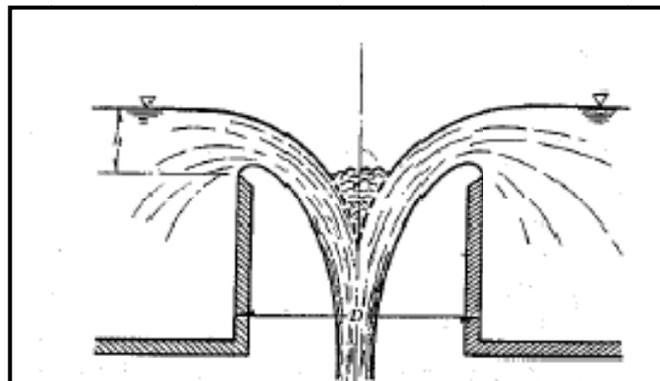


Figura 2.7: Esquema de vertedero Morning glory
Fuente: Sotelo. 1997 [21]

2.4. Consideraciones previas a la construcción de un depósito de relaves.

El principal objetivo al construir un depósito de relaves es minimizar el daño que causa la minería a la salud humana, así como también daños a bienes físicos y al medioambiente. Por tal razón al construir y operar un depósito de relaves debe tratarse de minimizar riesgos tales como:

- Falla del dique principal, por licuefacción del suelo que lo conforma lo que ocasionaría el vaciamiento de los relaves a zonas aguas abajo del depósito.
- Arrastre de relaves a consecuencia de precipitaciones intensas.

- Filtración de aguas de relave al entorno e infiltración bajo el depósito.
- Levantamiento y arrastre de material fino por acción del viento. [9]

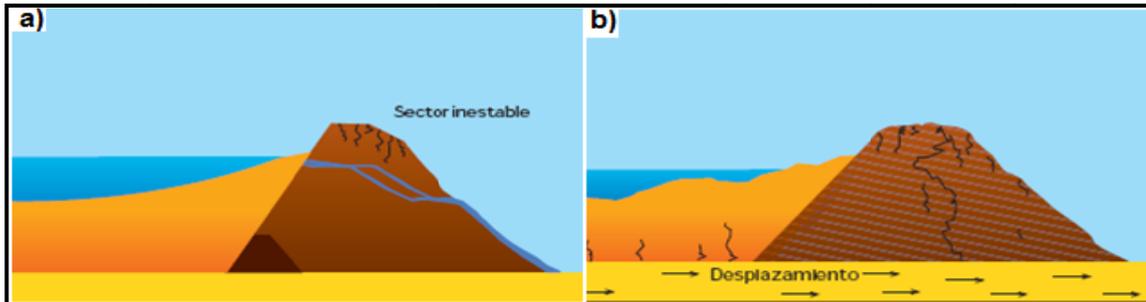


Figura 2.8: Fallas del dique. a) Colapso por presencia de agua. b) Falla por inestabilidad.
Fuente: Sociedad Nacional de Minería. Chile [9]

Tomando en cuenta los riesgos que podrían ocurrir con la construcción de un proyecto de esta naturaleza, se debe tener en cuenta algunas consideraciones previas:

- Selección de un sitio seguro y adecuado.
- Estudio de las condiciones climáticas del lugar.
- Elección del método más seguro para depositar los relaves.

2.5. Características para elegir la ubicación del depósito de relaves

Para escoger el lugar más adecuado para la implantación de un depósito de relaves, se debe tener en cuenta que el sitio en cuestión cumpla con ciertos requisitos mínimos.

- *Características topográficas.*- La topografía del lugar debe de permitir la construcción del dique de contención con la menor cantidad de material posible, esto se logra haciendo que los relaves sean contenidos en su mayoría por taludes naturales del terreno.
- *Características geotécnicas.*- El suelo sobre el cual se va a cimentar la relavera debe de ser resistente, además los materiales con los que se conformará el muro deben presentar baja permeabilidad.
- *No deben de existir viviendas, ni centros poblados* en las cercanías del depósito, ni aguas abajo del mismo, ya que estos podrían verse afectados si llegará a ocurrir un colapso de la presa.

- *El lugar debe de ser accesible para poder introducir la maquinaria de construcción.*

2.6. Campaña de exploración

Caracterización ambiental

La mayoría de los procesos que se aplican en el sector de pequeña minería de Portovelo, se basan en un diagrama que implica el tratamiento, transformación y recuperación del metal; los componentes necesarios para estos sistemas son materia prima (mineral) e insumos (agua y reactivos) para finalmente obtener el producto (oro) y desechos (gases, soluciones, sólidos), estos últimos generan contaminación al medio físico (agua, suelos, aire), biótico (flora y fauna) y antrópico (ser humano)[16].

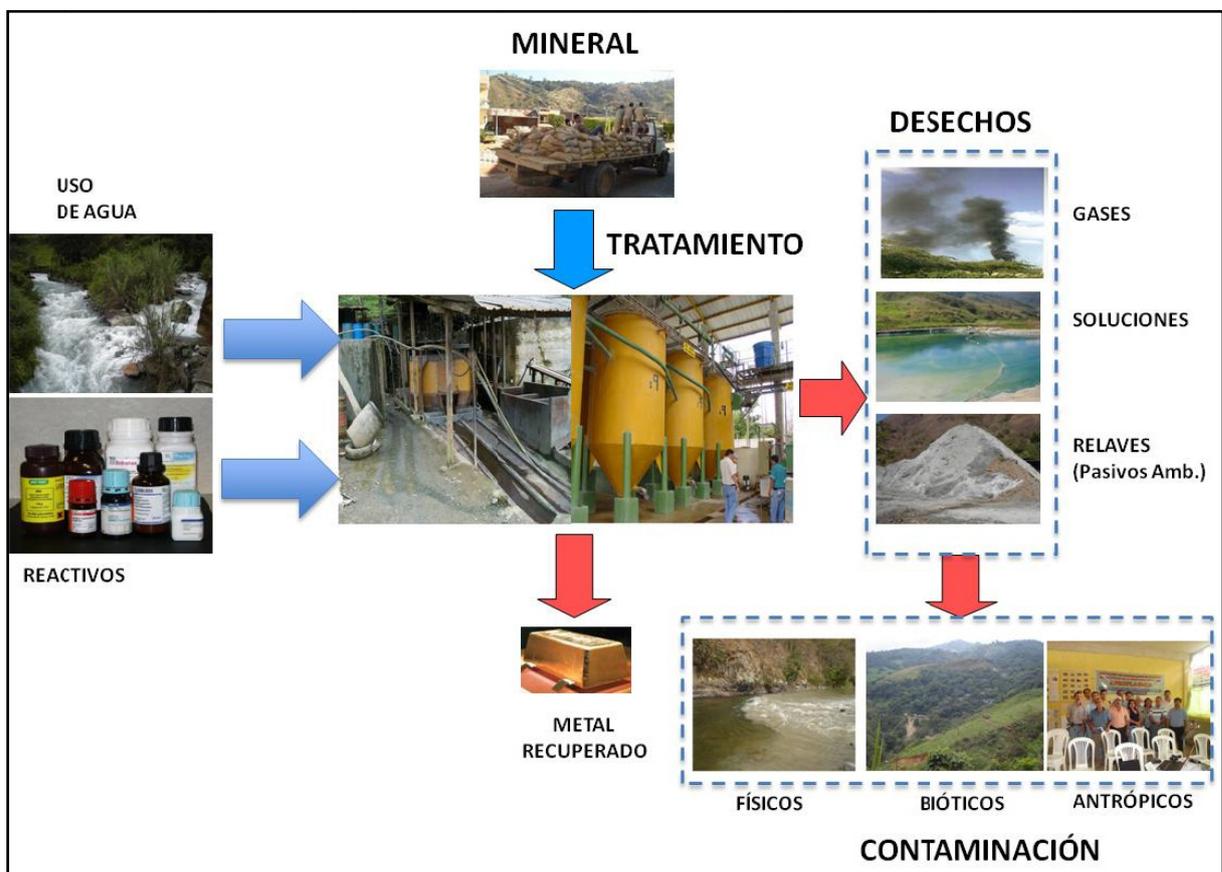


Figura 2.9: Diagrama de Flujo explicando la problemática ambiental de la pequeña minería para el tratamiento de minerales auríferos en el distrito minero de Zaruma-Portovelo.

Fuente: E.I.A., Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio [16].



El problema ambiental depende del tipo de tecnología utilizado para el procesamiento de los minerales, los insumos que se utilicen y el tipo de tratamiento de los desechos. La evaluación de cada una de estas actividades se analiza las diferentes variables de las fases que realizan los pequeños mineros en el sector, definiendo los procesos físico-químicos que se utilizan para concentración y lixiviación de minerales [16]. Mediante el estudio de impacto ambiental se comprobado que existe un sobredimensionamiento en las cantidades de cianuro de potasio utilizados para los procesos de cianuración, se presume, que esto se debe a la poca asesoría técnica que reciben los mineros, ya que, las plantas de beneficio en su mayoría son artesanales; otra fuente de contaminación muy grande es el consumo de mercurio utilizado para la amalgamación, se estima que se consume 739 kg de Hg al año [16]. “La exposición a este metal puede causar efectos en la salud de los mineros y de quienes estén directa o indirectamente en contacto con él”.

De todos los componentes ambientales investigados se encontró que el factor más afectado es el agua presentando características que sobrepasan los límites permisibles de calidad ambiental (TULAS); en varios de los sitios los parámetros sobre los límites permisibles más evidentes son: color, turbiedad, sólidos suspendidos y sedimentables, DBO y DQO, así como coliformes totales y fecales, esto como muestra general de todas las actividades cotidianas y de desarrollo que se realizan en el Distrito [16].

Ubicación de las plantas de beneficio de minerales dentro del distrito minero

“La mayor concentración de instalaciones para los procesos de molienda y cianuración son los sectores El Pache y El Salado, con el 53% de las unidades de molienda con trapiche y el 71% de unidades de agitación; esta condición es directamente proporcional al volumen de mineral procesado, al gasto de energía, la mano de obra, reactivos e insumos utilizados; por lo tanto los sectores con más contaminación y riesgo ambiental” [16]. La tabla 2.1 muestra el número de unidades para el proceso de molienda, lixiviación y amalgamación de minerales según los sectores donde se encuentran ubicados.

SECTOR	UNIDADES DE PROCESAMIENTO				Chanchas
	Molinos		Cianuración		
	Ruedas	Bolas	Percolación	Agitación	
Arcapamba	13	1	0	8	4
Pache	50	5	34	92	17
El Salado	23	0	31	33	0
Malvas	3	0	2	2	1
Puente Negro	4	1	6	4	0
Huertas	2	0	4	1	2
El Paraíso	4	0	0	0	0
Curipamba	6	0	0	0	1
Buza	1	2	1	0	0
Portovelo	6	0	0	0	0
Quebrada del Banco	0	0	1	0	0
San Antonio	6	0	0	0	0
Malvas Arcapamba	1	0	1	0	0
Muluncay Grande	1	0	0	0	0
Malvas Muluncay	5	0	0	0	0
La Florida	7	0	0	0	0
Zaruma	1	0	0	0	0
Roma	3	0	0	0	0
Minas Nuevas	1	0	0	0	1
TOTAL	137	9	80	140	26

Tabla 2.1: Unidades para el proceso de molienda, lixiviación y amalgamación de minerales en el sector.

Fuente: E.I.A., Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio.

Determinación del lugar de implantación de la relavera

Para determinar el lugar de implantación del depósito de relaves tomando en cuenta la ubicación de la mayoría de las plantas de beneficio (sectores El Pache y El Salado), así como también varios estudios preliminares de algunas zonas en el cantón Portovelo utilizando cartas topográficas del Instituto geográfico militar y fotografías satelitales (Escuela de geología y minas, UTPL. 2004); llegándose a determinar cuatro posibles alternativas para la ubicación del depósito (Figura 2.10). Estos cuatro sectores fueron elegidos por características como: topografía del sector, ubicación (cercanía a las plantas de beneficio, cercanía a centros poblados) y magnitud del impacto ambiental causado en la zona de implantación.

Las alternativas uno y cuatro fueron descartadas ya que, las quebradas sobre las cuales se proyecta la obra son afluentes del río Pindo, el cual está libre de

contaminación por materiales pesados producto de la minería y podría verse afectado en caso de una posible falla del dique o bien por infiltraciones de aguas de relave.

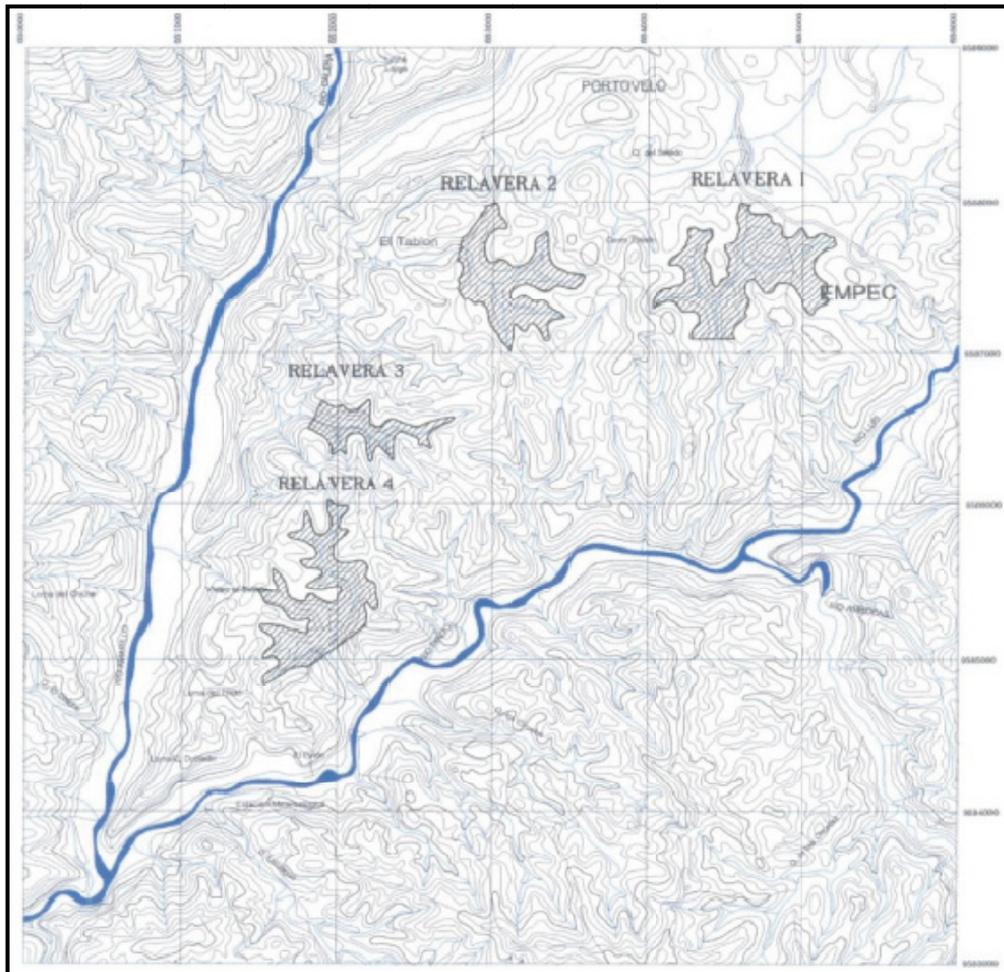


Figura 2.10: Ubicación de las alternativas propuestas
Fuente: Ing. José Tamay

De entre las alternativas restantes, la alternativa tres fue elegida por ubicarse en un lugar de fácil acceso, cercano a las plantas de beneficio de minerales y sobre todo alejada de lugares habitados. De esta forma el depósito de relaves será implantado en el sector El Tablón en terrenos del Estado.

2.7. Investigaciones de campo

Luego de determinar el lugar donde estará ubicada la relavera se procedió establecer puntos a lo largo del sitio de implantación del dique para la toma de muestras las cuales nos permiten conocer las propiedades geotécnicas (tipo de

suelo, humedad, resistencia, permeabilidad) del suelo de cimentación. En total se excavaron cuatro calicatas hasta una profundidad de cuatro metros, de las cuales se extrajo muestras para los respectivos ensayos de laboratorio, los cuales nos permiten determinar parámetros geotécnicos para el análisis de la estabilidad y taludes de diseño del dique de la relavera.

N ° Perf.	Prof. (m)	Ubicación (N,E)	
1	4	9 586 751	652 257
2	4	9 586 654	652 128
3	4	9 586 598	652 132
4	4	9 586 442	652 096

Tabla 2.2: Ubicación de las perforaciones
Fuente: El autor

Con la finalidad de realizar un estudio más completo de la geología del lugar se realizó también un ensayo de geofísica (Escuela de geología y minas U.T.P.L.), para lo cual se trazó cuatro líneas sobre las cuáles se realizó el ensayo. Estas líneas se encuentran ubicadas a en el lugar donde se implantará el dique dispuestas sobre los puntos donde se realizó las calicatas.

El estudio hidrológico estuvo a cargo del departamento de Sistemas de Información Geográfica de la U.T.P.L. (Oñate, Fernando. 2008) con el cual se pueden determinar el caudal de máxima crecida de la quebrada El Salado, así como también el caudal producto de la escorrentía presente en las laderas de la microcuenca donde estará ubicado el depósito de relaves.

Finalmente se realizó un estudio de Impacto ambiental (Escuela de Gestión Ambiental U.T.P.L.), con el fin de medir la afectación así como también los beneficios que tendrá la zona con la realización del proyecto.

2.8. Ensayos de laboratorio

Con las muestras alteradas e inalteradas obtenidas en las perforaciones se determino las características físico mecánicas del suelo de cimentación y material de la relavera mediante ensayos de laboratorio; los mismos que fueron realizados por técnicos del laboratorio de mecánica de suelos de la Unidad de Ingeniería Civil,

Geología y Minas (UCG) de la U.T.P.L. de acuerdo a las normas ASTM citadas a continuación:

- | | |
|------------------------|---------------------|
| • Granulometría | ASTM D – 422 |
| • Contenido de humedad | ASTM D – 2216 |
| • Límite líquido | ASTM D – 423 |
| • Límite plástico | ASTM D – 424 |
| • Permeabilidad | ASTM D – 5084 |
| • Densidad máxima | ASTM D – 4253 |
| • Compactación | ASTM D – 1557 – 698 |

2.9. Trabajos de oficina

Dentro de los trabajos de oficina se citan:

- Diseño del dique de la relavera.
- Diseño del dique de arranque.
- Diseño del colector para la quebrada El Salado y anclajes.
- Diseño de vertederos Morning Glory para evacuar el agua del interior del depósito de relaves.
- Diseño del dren interno del dique.
- Diseño de cunetas de coronación para evitar el ingreso de aguas al depósito producto de escorrentía superficial.
- Diseño de un desarenador para tratar las aguas provenientes de la relavera.
- Elaboración de planos de todos los componentes del depósito.
- Elaboración de informe final del proyecto.

CAPÍTULO III

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL DEPÓSITO DE
RELAVES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS**

3. ESTUDIO Y DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS.

3.1. Exploración del área destinada al proyecto

3.1.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se ubicará en el sector El Tablón a 2,2 Km de la ciudad de Portovelo y una altura promedio de 700 m.s.n.m., comprende un área de 15,63 ha.

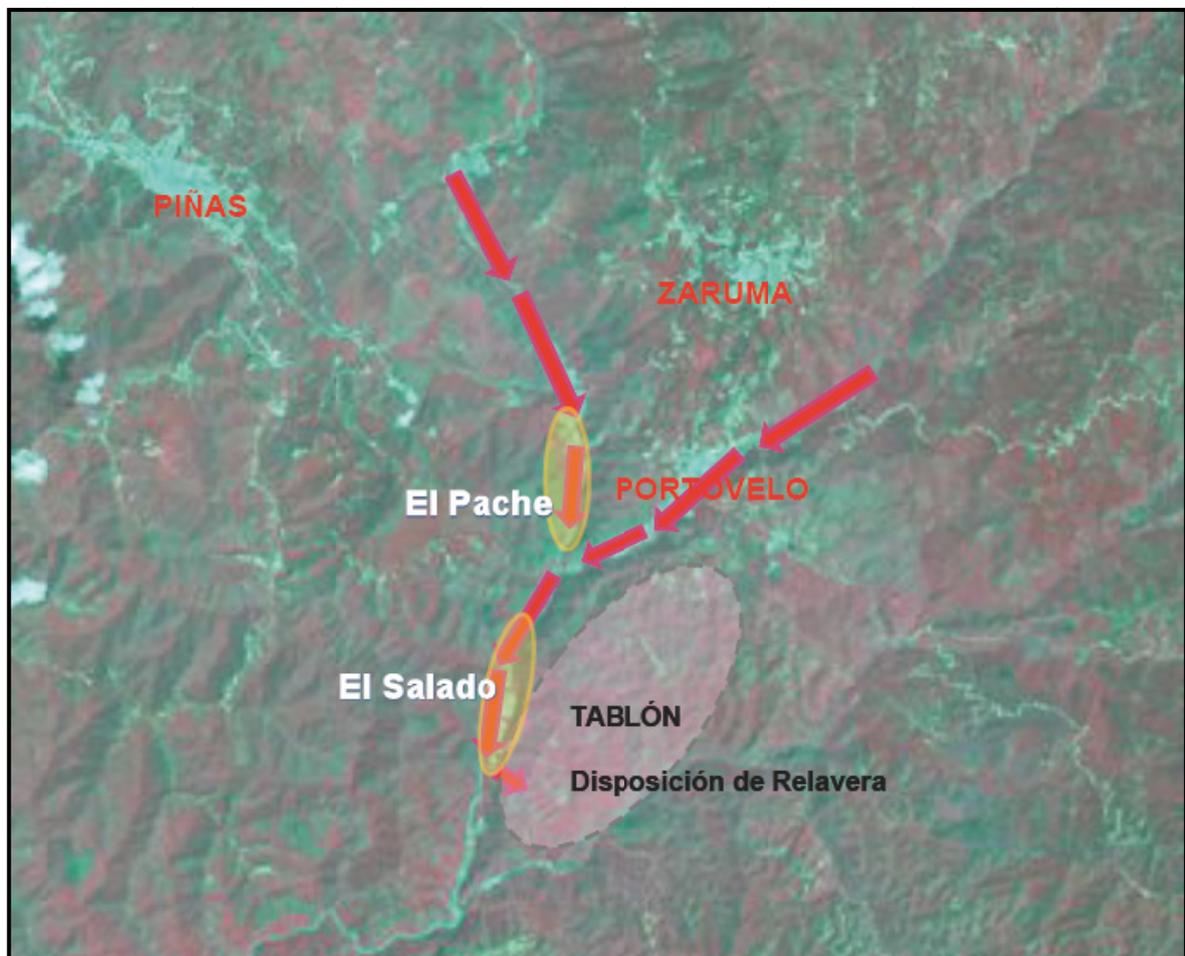


Figura 3.1: Ubicación de la relavera
Fuente: Ing. José Tamay

3.1.2. Exploración sector El Tablón

Producción diaria de relaves.- Según el censo realizado en el 2008 por la dirección general de minería de El Oro existen un total de 80 plantas de beneficio de minerales en el distrito minero Zaruma – Portovelo, con una producción en promedio de 20 ton/día, éstas se encuentran concentradas principalmente en dos sectores: El

Pache (aguas arriba de la relave) y El salado (aguas abajo de la relavera). Estos datos fueron ratificados por la UTPL, a través de encuestas realizadas a finales del mismo año.

PARÁMETRO	MAGNITUD
Nº de plantas que tienen tanques de agitación	35
Nº de tanques de agitación (actual)	85
Nº de tanques de agitación (proyectada)	110
Capacidad máxima de cada tanque por planta (ton)	10
Capacidad mínima de cada tanque por planta (ton)	2
Descargas máxima por día	3
Descargas mínima por día	1
Total de descargas máximas (ton/día)	30
Total de descargas mínimas (ton/día)	2
Descarga de diseño (ton/día)	1760

Tabla 3.1: Producción diaria en plantas con tanques de agitación
Fuente: Cades U.T.P.L.

PARÁMETRO	MAGNITUD
Nº de plantas con sistema de recuperación de Ag por flotación	4
Nº de tanques de agitación (proyectada)	6
Capacidad de cada tanque por planta (ton/día)	40
Descarga de diseño (ton/día)	240

Tabla 3.2: Producción diaria en plantas con sistema de recuperación de Ag por flotación
Fuente: Cades U.T.P.L.

Topografía del lugar.- Después de seleccionar el lugar exacto donde se implantará la relavera, se contrata el levantamiento topográfico, con la finalidad de tener un mayor detalle del sector. (Ver lámina 1).

Estudio geotécnico.- La exploración geotécnica se realizó con la ayuda de técnicos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la U.T.P.L. mediante perforaciones con barrenos manuales, los cuales permiten determinar la conformación de la estratigrafía o perfiles del suelo. En cada una de estas se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas a diferentes profundidades del material existente en el subsuelo, las mismas que fueron sometidas a los ensayos de clasificación, límite

líquido y límite plástico, granulometría, contenido de humedad; con las muestras inalteradas se realizaron ensayos de compresión triaxial (ver anexo 1).

De acuerdo a la configuración del sitio de estudio se planificó la exploración subterránea en cuatro puntos (ver lámina 2) estratégicos para definir la estratigrafía y las propiedades de consistencia de los suelos existentes en el lugar.

A continuación se muestra los resultados obtenidos en cada perforación:

Perforación	Prof. (m)	Granulometría			Límites		W (%)	Clasificación		φ	C (Kg/cm ²)
		G	S	F	LL (%)	LP (%)		SUCS	AASHTO		
1	1	0	51	49	56	28	15.65	SC	A - 7 - 6		
	2	0	51	49	47	19	12.58	SC	A - 7 - 6		
	3	0	52	48	47	19	11.28	SC	A - 7 - 6	26°	0.4
	4	0	53	47	47	18	8.65	SC	A - 7 - 6		
2	1	0	35	65	45	14	14.45	ML	A - 7 - 5		
	2	0	23	77	44	22	20.29	CL	A - 7 - 6		
	3	0	38	62	35	13	15.11	CL	A - 6		
	4	0	86	14	34	12	22.65	SC	A - 2 - 6		
3	1	0	78	22	32	14	7.28	SC	A - 2 - 6		
	2	0	86	14	32	11	8.95	SC	A - 2 - 6		
	3	0	89	11	35	15	7.68	SC	A - 2 - 6		
	4	0	84	16	31	13	6.43	SC	A - 2 - 6		
4	1	0	79	21	35	11	5.36	SC	A - 2 - 6		
	2	0	83	17	35	12	8.95	SC	A - 2 - 6		
	3	0	81	19	35	11	8.68	SC	A - 2 - 6	29°	0.2
	4	0	77	23	34	7	7.63	SC	A - 2 - 4		

Tabla 3.3: Características de los suelos existentes en el lugar

Fuente: Laboratorios UCG – UTPL

El estudio de mecánica de suelos indica la existencia de dos tipos de suelos que servirán como material de construcción, un suelo arcilla arenosa de color rojo (ZONA A, perforaciones 1 y 2) y suelo de arena arcillosa de color café claro (ZONA B, perforaciones 3 y 4), observándose volúmenes apreciables de estos materiales, los que de acuerdo al estudio de mecánica de suelos tienen una permeabilidad de muy baja (ver anexo 1).

El material puede usarse tal como se presenta, retirando solamente componentes orgánicos como raíces, troncos etc.; o se puede mezclar estos dos materiales, un

60% de arena de color café claro con un 40% de suelo rojo logrando de esta manera mayor permeabilidad y cohesión(ver anexo 1).

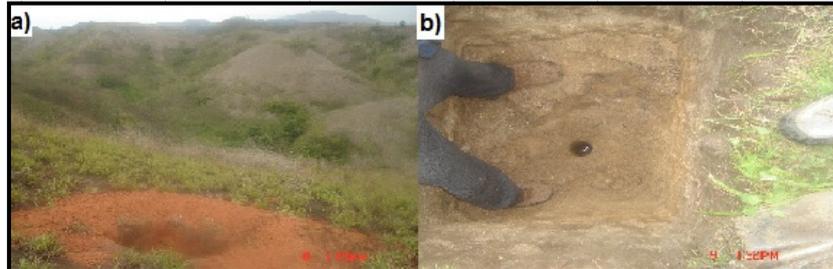


Figura 3.2: Zonas geotécnicas presentes en el lugar. a) Zona A, b) Zona B
Fuente: Ing. Ángel Tapia

De acuerdo al informe de mecánica de suelos se llegó a determinar los parámetros mostrados en la tabla 3.4, con los que se determinará las condiciones de estabilidad del dique principal de la relavera.

TIPO DE SUELO	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (kN/m ³)
Material de préstamo	15.7	2.9	28	
Material que conforma el dique	24.5	0	28	
Relave fino	22.6	0	19	
Suelo de Cimentación	15.7	2.9	28	20

Tabla 3.4: Características Geotécnicas de los suelos a utilizar
Fuente: UCG – UTPL

Estudio geológico.- El estudio de la geología regional como de la geología local fue realizada por la Escuela de Geología y Minas de la U.T.P.L., para conocer la estratigrafía del sector donde está ubicada la relavera fue necesario realizar exploración directa del lugar mediante calicatas y sondeos superficiales hasta cuatro metros de profundidad; complementando este análisis con métodos indirectos mediante ensayos geofísicos (sísmica de refracción), para conocer como está conformado el suelo a mayor profundidad. [15]

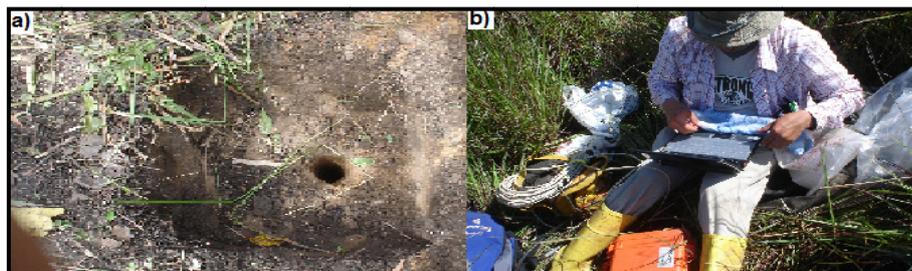


Figura 3.3: Sondeos en la zona de estudio. a) Exploración directa: Perforaciones manuales. b) Exploración indirecta: Refracción sísmica.
Fuente: Escuela de Geología y Minas UTPL.

El sector presenta superficies onduladas con pendientes suaves a moderadas, su elevación va de 657 msnm desde el Oeste y 780 msnm al Este, en él discurren pequeñas quebradas con presencia de caudales en época invernal, permaneciendo secas el resto del año. Se ha determinado dos tipos de unidades geomorfológicas (UG) en la zona: La UG Acolinada, que comprende las cumbres de la parte alta del área con crestas redondeadas y pendientes moderadas entre el 15 y 30 % y mayores al 30% en la zona de emplazamiento del dique cubierto con vegetación herbácea, y la UG de planicie, corresponde a las zonas bajas de quebradas con presencia de pequeñas terrazas utilizadas para la agricultura con pendientes entre el 5 y 15%. [15]

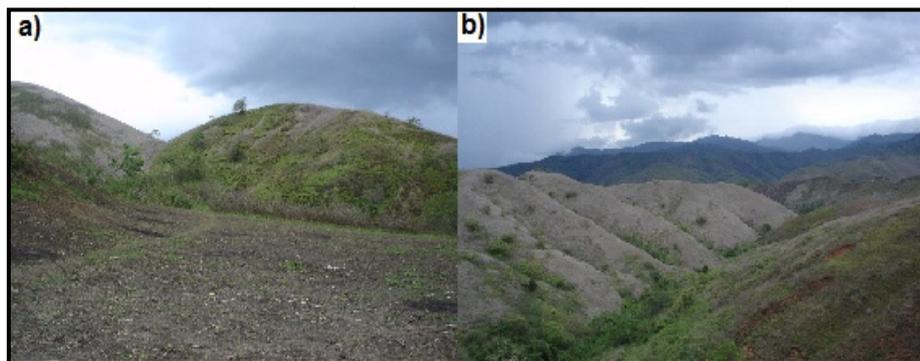


Figura 3.4: Zonas litológicas. a) Z. geomorfológica de planicie. b) Z. geomorfológica acolinada
Fuente: Informe geológico proyecto Zaruma – Portovelo.

En sectores aledaños al área de estudio, se ha podido determinar rocas metamórficas tipo gneis micáceo con presencia de vetas de cuarzo y pegmatitas, la meteorización de estas rocas, nos dan como resultado material rocoso totalmente inconsistente tipo arenoso color pardo rojizo, que dentro de la clasificación de suelos desde el criterio preliminar de campo podría clasificárselas como SM (arenas limosas). [15] Mediante perforaciones se pudo verificar que este estrato se extiende hasta una profundidad de 5 metros a partir de los cuales se encuentra el estrato rocoso (comprobación mediante ensayos de refracción sísmica).

Estudio hidrológico.- A cargo de el Citte de Sistemas de Información Geográfica (GIS) de la UTPL, para el cual se procedió a obtener los datos hidrológicos de los Ríos Calera y Amarillo, así como también de la quebrada que está ubicada en la microcuenca donde se ubicará la relavera.

Se realizó análisis de régimen de caudales y de máximas crecidas en las dos estaciones hidrológicas presentes en la zona, éstas pertenecen a la red del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Información de las estaciones consideradas en el estudio se incluye en la Tabla 3.5.

Cuenca	Área	Estación	X (UTM)	Y (UTM)	Período
Calera	234.1	Calera AJ Amarillo	650643	9593371	1964-1990
Amarillo	262.0	Amarillo en Portovelo	654093	9589557	1964-1990

Tabla 3.5: Estaciones de caudal consideradas
Fuente: Informe Hidrológico Proyecto Zaruma – Portovelo

“En la zona de la relavera se determinaron caudales medios mensuales de la quebrada existente mediante el modelo de Témez para el cálculo de aportaciones, implementado para la cuenca del río Pindo el que fue calibrado con los caudales registrados en la estación Pindo AJ Amarillo del INAMHI. Con los parámetros calibrados se procedió a determinar los caudales medios mensuales en la quebrada existente elaborándose luego una curva de variación estacional de la misma. Los caudales de crecida en la zona de la relavera se determinaron aplicando el método racional considerando que el área de la cuenca de drenaje es inferior a 1 Km² y se determinó el total de precipitación a ser retenida por el suelo aplicando el concepto de infiltración potencial”. [14]

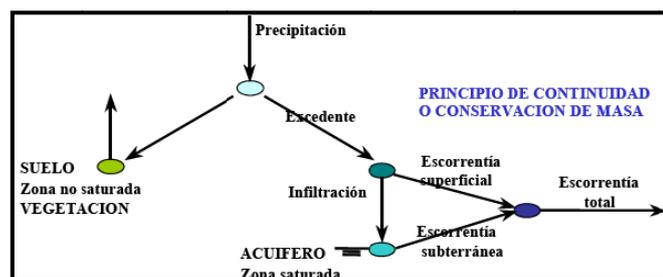


Figura 3.5: Modelo de Témez para el cálculo de aportaciones.
Fuente: Informe hidrológico proyecto Zaruma – Portovelo.

Las intensidades máximas se obtuvieron mediante la ecuación correspondiente a la zona 28 de intensidades definida por el INAMHI:

$$I = \frac{8.756}{t^{0.4722}} I_d \quad (3.1)$$

Donde:

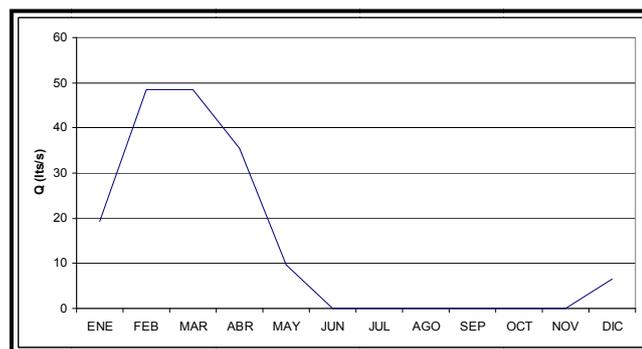
I = Intensidad máxima en mm/h

t = Es la duración de la tormenta.

I_d = Es la intensidad máxima diaria para un período de retorno determinado.

La precipitación mensual se la determino a través de polígonos de Thiessen. El coeficiente de escorrentía se lo obtuvo considerando que el área de la relavera presenta un suelo arenoso sin cobertura vegetal y una pendiente que oscila entre el 2% y 3%.

De acuerdo a este estudio se puede apreciar que la quebrada El Salado, existente en la zona de la relavera presenta caudales solo en temporada lluviosa (de noviembre a junio); sin presentar caudales considerables el resto del año. A continuación se muestra la curva de variación estacional de la quebrada El Salado.



Gráfica 3.1: Curva de variación estacional de la Quebrada El Salado
Fuente: Informe Hidrológico proyecto Zaruma – Portovelo.

Los caudales de máxima crecida en función del período de retorno se muestran en la tabla 3.6:

PARÁMETRO	Tr				
	5	10	25	50	100
$I_{d_{Tr}}$	3.50	4.00	5.00	6.00	7.00
C	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
I (mm/h)	93.00	106.20	132.80	159.30	185.90
A (km ²)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Q (m ³ /s)	4.00	4.83	6.67	8.57	10.89

Tabla 3.6: Caudales máximos de crecida quebrada El Salado
Fuente: Informe hidrológico proyecto Zaruma – Portovelo

“La quebrada existente en la zona de estudio presenta un caudal apreciable solo en la temporada lluviosa y sus caudales de crecida requieren el diseño de obras que permitan el drenaje de las aguas que asegure la estabilidad de la relavera en el período de crecidas”. [14]

3.2. Diseño del depósito de relaves

3.2.1. Diseño del dique principal de la relavera

Datos preliminares para el diseño

Para empezar con el diseño del dique del depósito es necesario conocer previamente los siguientes datos:

- Predimensionamiento del muro.
- Características geotécnicas del suelo de la cimentación así como también del material que conformará el dique (porción gruesa del relave) y del relave fino.
- Profundidad de cimentación.
- Profundidad del nivel freático.
- Cota máxima de llenado del dique.

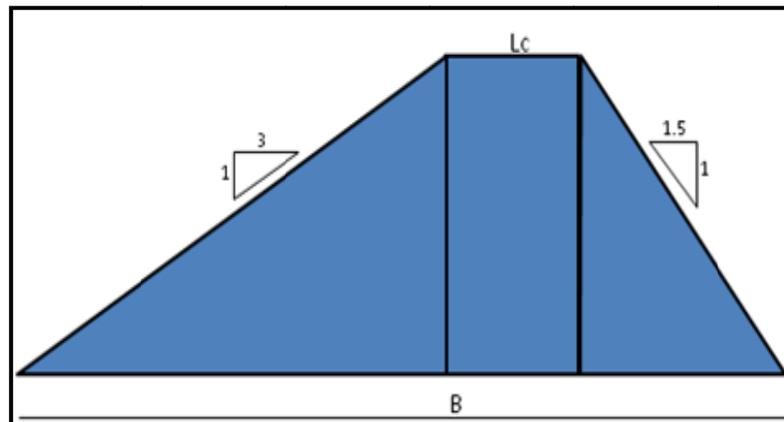


Figura 3.6: Datos preliminares para el diseño del dique principal
Fuente: El autor

Elemento	Magnitud
Longitud de corona (L_c)	10.00 m
Talud aguas abajo (T_1)	3:1 °
Talud aguas arriba, (T_2)	1.5:1 °
Altura del dique (H)	60.00 m
Profundidad de cimentación (D)	2.00 m
Profundidad del nivel freático (D_f)	2.30 m
Cota máxima de llenado	720 M

Tabla 3.7: Datos preliminares para el diseño del dique principal
Fuente: El autor

Longitud de la base del dique (B).- La longitud de la base del dique se la calcula en función de la inclinación de los taludes aguas arriba y aguas abajo del dique, altura del dique y longitud de corona, previamente dimensionados en función de normas existentes en el caso de los taludes [3] y de las características propias del depósito, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$B = \frac{H}{\tan\alpha_1} + \frac{H}{\tan\alpha_2} + L_c \quad (3.2)$$

Donde:

α_1 = Ángulo del talud aguas abajo respecto a la horizontal.

α_2 = Ángulo del talud aguas arriba respecto a la horizontal.

H = Altura del dique.

Lc = Longitud de la corona del dique

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{1}{3} = \mathbf{18,43^\circ}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{1}{1,5} = \mathbf{33,69^\circ}$$

$$B = \frac{60 \text{ m}}{\tan 18,43^\circ} + \frac{60 \text{ m}}{\tan 33,69^\circ} + 10 \text{ m}$$

$$B = 180 \text{ m} + 90 \text{ m} + 10 \text{ m}$$

$$B = \mathbf{280 \text{ m}}$$

Taludes de diseño.- Los taludes del dique dependen de las características del suelo que conformara el dique (peso específico, granulometría), área de deposición y concentración de las arenas, experiencias previas en diseño de depósitos de relaves, recomiendan diseñar taludes en el rango de H:V 3:1 a 6:1. [8].

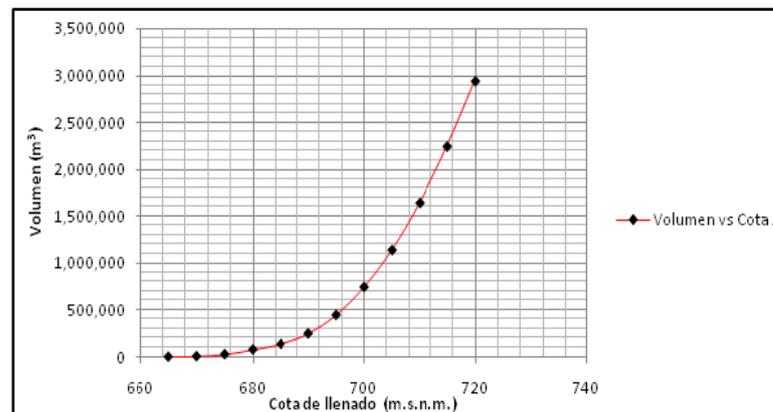
Para este proyecto se ha seleccionado taludes con relación 3:1, para el talud aguas abajo y 1.5:1 para el talud aguas arriba.

Capacidad de almacenaje del depósito.- La capacidad de almacenaje del depósito se cálculo de acuerdo a la máxima cota de llenado (720 m.s.n.m.) y a la topografía

del lugar. A continuación se muestra la capacidad del depósito de acuerdo a la cota de llenado del dique, datos que fueron obtenidos con la ayuda del software CivilCad.

COTA (m.s.n.m.)	VOLUMEN (m ³)
665	0.000
670	4,969.334
675	26,382.732
680	77,187.430
685	136,313.360
690	249,449.342
695	447,194.920
700	745,858.896
705	1,141,041.206
710	1,643,750.578
715	2,247,874.050
720	2,946,174.786

Tabla 3.8: Capacidad de almacenaje del depósito de acuerdo a la cota de llenado
Fuente: El Autor



Gráfica 3.2: Volumen vs Cota de llenado
Fuente: El autor

Período de vida útil del depósito.- De acuerdo al máximo volumen de llenado que se alcanza a la cota 720 m.s.n.m. y a la producción media diaria de relaves en las plantas de beneficios de minerales se ha calculado una vida útil del depósito de 15 años

- Capacidad del depósito a la cota 720 m.s.n.m.: 2'946 175 m³.
- Producción media diaria de relaves (PMD): 2 000 ton/día
- Densidad del relave seco(δ): 2,6 ton/m³
- Relave fino(RF) 70%: 1 400 ton/día

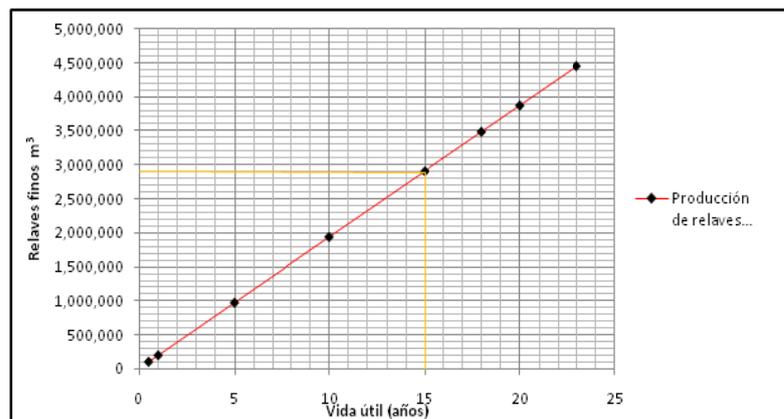
- Relave Grueso que va al dique (RG) 30%: 510 ton/día

$$\text{Prod. relave fino} = \frac{\text{PMD.}\% \text{RF.T}}{8.360} \quad (3.3)$$

$$\text{Prod. relave fino} = \frac{\text{PMD.}\% \text{RG.T}}{8.360} \quad (3.4)$$

Vida útil (años)	FINO (m ³)	GRUESO (m ³)
0.5	96,923	35,308
1	193,846	70,615
5	969,231	353,077
10	1,938,462	706,154
15	2,907,692	1,059,231
18	3,489,231	1,271,077
20	3,876,923	1,412,308
23	4,458,462	1,624,154

Tabla 3.9: Vida útil del depósito de acuerdo a la cota de llenado
Fuente: El Autor



Gráfica 3.3: Producción de relaves finos vs vida útil del depósito
Fuente: El autor.

Sección transversal del dique del depósito

Cimentación

Para calcular la capacidad de carga y asentamientos presentes en la cimentación del dique principal se tiene en cuenta algunas hipótesis básicas [6]:

- Se considera que la cimentación del depósito de relaves se comporta como una base flexible, homogénea e isotrópica.

- Se asume que la máxima carga actuante en el suelo de cimentación corresponde al tramo central del dique, es decir en el lugar donde se alcanzará la mayor altura.
- Se considera una base de tipo rectangular en la cual se distribuirá la carga, la cual actuará como una carga tipo trapezoidal.

Estabilidad del dique principal

Para la comprobación de la estabilidad del dique principal de la relavera, realizamos el proceso de cálculo tal y como se lo hace para calcular la estabilidad de un muro de contención, es decir tomando en cuenta las siguientes consideraciones de falla:

- El dique se puede voltear respecto a su talón.
- El dique se puede deslizar a lo largo de su base.
- El dique podría fallar por la pérdida de capacidad de carga del suelo de cimentación.
- El dique puede fallar por cortante del terreno a mayor profundidad.
- Finalmente el dique podría sufrir asentamientos excesivos.

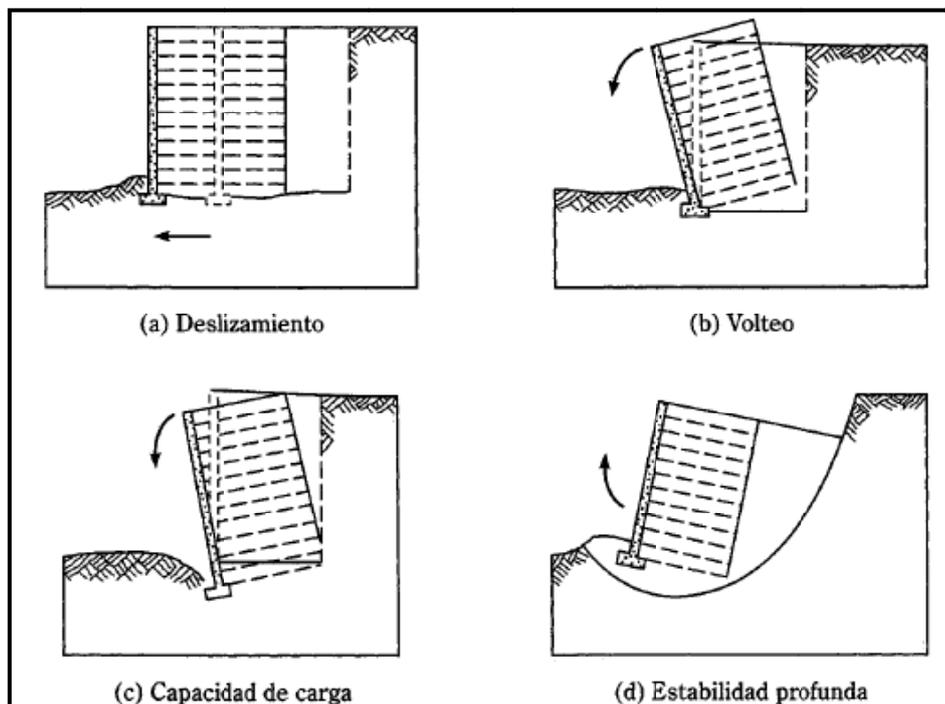


Figura 3.7: Tipos de falla en un muro
Fuente: Principio de ingeniería de cimentaciones [27]



1. Comprobación de la estabilidad por volteo del dique.

Para que el dique sea estable respecto al volteo que puede provocar la presión lateral ejercida por el suelo contenido en el vaso del depósito, es necesario obtener un factor de seguridad respecto al volteo ($FS_{(volteo)}$) mínimo establecido en 2 o 3 [5] según la importancia de la obra.

El $FS_{(volteo)}$ se define por la siguiente ecuación:

$$FS_{(volteo)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \quad (3.5)$$

Donde:

- $\sum M_o$ = Momentos que tienen a voltear el muro con respecto a la punta del dique.
- $\sum M_R$ = Suma de los momentos generados por las fuerzas que impiden el volteo del dique.

En este caso, el momento que tiende a voltear el muro es el generado por la presión Activa de Rankine, y el brazo de esta respecto al centro de gravedad del dique. La magnitud de la Presión pasiva se la obtiene de acuerdo a la expresión:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2 + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a} \cdot H \quad (3.6)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3.7)$$

Donde:

- P_a = Presión activa de Rankine.
- K_a = Coeficiente de presión pasiva de tierra de Rankine.
- c' = Cohesión del relave fino, colocado en el vaso del depósito.
- ϕ' = Ángulo de fricción del relave fino.
- H = Altura total del dique del depósito.

Cálculo del factor de seguridad por volteo

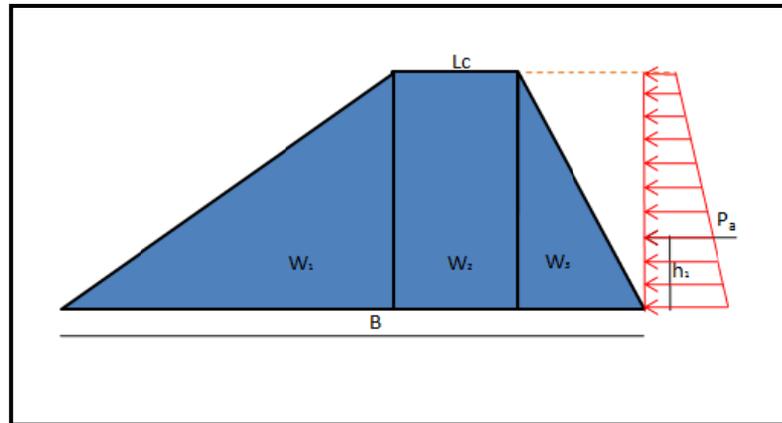


Figura 3.8: Comprobación de estabilidad por volteo
Fuente: El autor

- Momento resistente al volteo (\$M_r\$):

$$M_r = \sum w_n \cdot d_n \quad (3.8)$$

	Carga (KN)	Brazo (m)	Momento (KN.m)
\$w_1\$	132300	120	15876000
\$w_2\$	14700	185	2719500
\$w_3\$	66150	220	14553000

$$M_r = 33148500$$

Tabla 3.10: Cálculo de los momentos resistentes al volteo
Fuente: El autor

- Momento de volcamiento (\$M_o\$):

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{19^\circ}{2} \right) = 0.509$$

$$P_a = \frac{1}{2} 0,509 \cdot 22,6 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cdot (60\text{m})^2 + 2.0 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cdot \sqrt{0,509} \cdot 60\text{m}$$

$$P_a = 20697,455 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$M_o = P_a \cdot \frac{H^*}{3} \quad (3.09)$$

$$M_o = 20697,455 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \cdot \frac{60\text{m}}{3}$$

$$M_o = \mathbf{413949,104 \text{ KN.m}}$$

H*.- Debido a que la distribución de la presión activa a lo largo de la pared aguas arriba del dique es triangular, ésta actúa a H/3 m desde la cota de cimentación.

- Factor de seguridad por volteo (FS_{volteo}):

$$FS_{(\text{volteo})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o}$$

$$FS_{(\text{volteo})} = \frac{33148500,000 \text{ KN.m}}{413949,104 \text{ KN.m}}$$

$$FS_{(\text{volteo})} = \mathbf{80.79}$$

2. Comprobación por deslizamiento a lo largo de la base

Para que el diseño del dique cumpla con el criterio de estabilidad por deslizamiento se debe comprobar que se cumpla que las fuerzas horizontales resistentes al deslizamiento del dique a lo largo de su base sean por lo menos 1.5 veces mayores a las fuerzas horizontales que obligan al dique a deslizarse. A este criterio denominamos Factor de seguridad por deslizamiento y se obtiene de acuerdo a la ecuación:

$$FS_{(\text{deslizamiento})} = \delta \frac{\sum F_R}{\sum F_d} \quad (3.10)$$

Donde:

$\sum F_R$ = Sumatoria de las fuerzas horizontales resistentes.

$\sum F_d$ = Sumatoria de las fuerzas horizontales de empuje.

δ = Coeficiente de deslizamiento muro – suelo.

En caso de que el diseño no llegara a cumplir el criterio de estabilidad por deslizamiento es decir $FS_{(\text{deslizamiento})} \leq 1.5$ [5], se puede incrementar la base del dique, y consecuentemente se incrementará las fuerzas resistentes al deslizamiento.

Cálculo del factor de seguridad por deslizamiento

- Fuerzas horizontales resistentes

$$\sum F_r = \sum W_n$$

$$\sum F_r = 132300\text{KN} + 14700\text{KN} + 66150\text{KN}$$

$$\sum F_r = \mathbf{213150\text{ KN}}$$

- Fuerzas horizontales de empuje

$$\sum F_d = P_a$$

$$\sum F_d = \mathbf{20697,455 \frac{KN}{m}}$$

- Factor de seguridad por deslizamiento

$$FS_{(\text{deslizamiento})} = \delta \frac{\sum F_R}{\sum F_d}$$

$$FS_{(\text{deslizamiento})} = \tan 19^\circ \frac{213150,000}{20697,455}$$

$$FS_{(\text{deslizamiento})} = \mathbf{3,55}$$

3. Comprobación de falla por capacidad de carga.

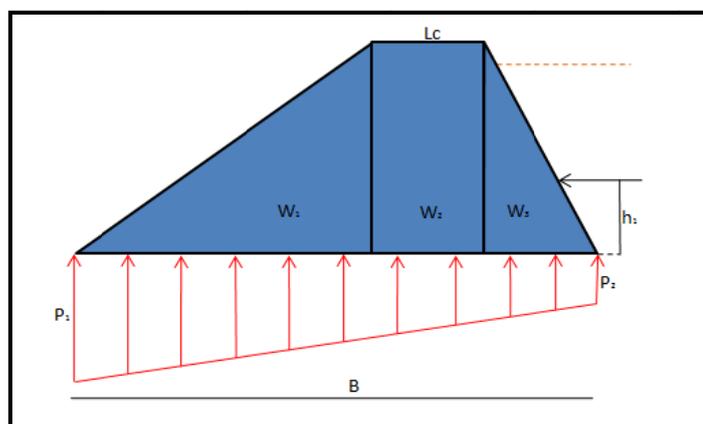


Figura 3.9: Revisión de falla por capacidad de carga

Fuente: El autor

La presión vertical, tal como es transmitida al suelo por la base del dique, “debe revisarse contra la capacidad de carga última del suelo” [5].

Para el cálculo del Factor de seguridad por capacidad de carga $FS_{(\text{capacidad de carga})}$ es necesario conocer las presiones máximas y mínimas que ocurren en los extremos de la punta y talón del dique (P_1 , P_2 respectivamente) y la capacidad de carga del suelo q_u , conocidos estos valores el $FS_{(\text{capacidad de carga})}$ se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$FS_{(\text{capacidad de carga})} = \frac{q_u}{q_{\max}} \quad (3.11)$$

Donde:

q_u = Capacidad de carga del suelo.

q_{\max} = Presión máxima vertical transmitida por el dique al suelo.

Cálculo del factor de seguridad por capacidad de carga:

- Excentricidad

$$e = \frac{B}{2} - \bar{X} \quad (3.12)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum F_R} \quad (3.13)$$

$$\bar{X} = \frac{31148500 \text{ KN.m} - 413940,104 \text{ KN.m}}{213150 \text{ KN}}$$

$$\bar{X} = 153.58 \text{ m}$$

$$e = \frac{280\text{m}}{2} - 153,58\text{m}$$

$$e = -13,575 \text{ m}$$

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

$$-13,575 < \frac{280}{6} \quad -13,575 < 46,67 \text{ OK}$$

- Presiones verticales máxima y mínima transmitidas al suelo.

$$P_1 = \frac{\sum F_r}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (3.14)$$

$$P_1 = \frac{213150 \text{ KN}}{280 \text{ m}} \left(1 + \frac{6 \cdot -13,575 \text{ m}}{280 \text{ m}} \right)$$

$$P_1 = 539,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$P_2 = \frac{\sum F_r}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (3.15)$$

$$P_2 = \frac{213150 \text{ KN}}{280 \text{ m}} \left(1 - \frac{6 \cdot -13,575}{280} \right)$$

$$P_2 = 982,70 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

- Capacidad portante del suelo

Conociendo los valores de c' y ϕ' se puede calcular la capacidad de carga última del suelo (q_u) aplicando la ecuación general de capacidad de carga propuesta por Meyerhof (1963) [5]

$$Q_u = c' N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (3.16)$$

$$q = \gamma D \quad (3.17)$$

$$B' = B - 2e \quad (3.18)$$

Donde:

c'	=	Cohesión del suelo de cimentación.
q	=	Esfuerzo efectivo al nivel de la cimentación.
γ	=	Peso específico del suelo.
B	=	Ancho de la cimentación.
D	=	Profundidad de cimentación
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	=	Factores de profundidad.
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	=	Factores por inclinación de la carga.
N_c, N_q, N_γ	=	Factores de capacidad de carga.

Los factores de capacidad de carga se los puede obtener de la tabla 3.1, éstos dependen del ángulo de fricción del suelo.

φ'	N_c	N_q	N_q
0	5,14	1	0
1	5,38	1,09	0,07
2	5,63	1,2	0,15
3	5,9	1,31	0,24
4	6,19	1,43	0,34
5	6,49	1,57	0,45
6	6,81	1,72	0,57
7	7,16	1,88	0,71
8	7,53	2,06	0,86
9	7,92	2,25	1,03
10	8,35	2,47	1,22
11	8,8	2,71	1,44
12	9,28	2,97	1,69
13	9,81	3,26	1,97
14	10,37	3,59	2,29
15	10,98	3,94	2,65
16	11,63	4,34	3,06
17	12,34	4,77	3,53
18	13,1	5,26	4,07
19	13,93	5,8	4,68
20	14,83	6,4	5,39
21	15,82	7,07	6,2
22	16,88	7,82	7,13
23	18,05	8,66	8,2
24	19,32	9,6	9,44
25	20,72	10,66	10,88
26	22,25	11,85	12,54
27	23,94	13,2	14,47
28	25,8	14,72	16,72
29	27,86	16,44	19,34
30	30,14	18,4	22,4

Tabla 3.11: Factores de capacidad de carga
Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones

Para el cálculo de los factores de profundidad se utiliza las ecuaciones propuestas por Hazen (1970):

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B} \right) \quad (3.19)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \frac{D_f}{B} \quad (3.20)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (3.21)$$

Los factores de inclinación a utilizar en la ecuación (3.1) se calculan de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Hanna y Meyerhof (1981)):

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90^\circ} \right)^2 \quad (3.22)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)^2 \quad (3.23)$$

Donde:

β = Inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{P_a \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \quad (3.24)$$

4. Área de implantación y volumen del dique principal

Área de implantación.- El área de implantación se la determinó mediante el software CivilCAD, obteniendo perfiles longitudinales cada 15 m a lo largo del muro y de esta forma poder determinar el lugar exacto donde interseca el muro con la superficie del terreno natural en cada punto.

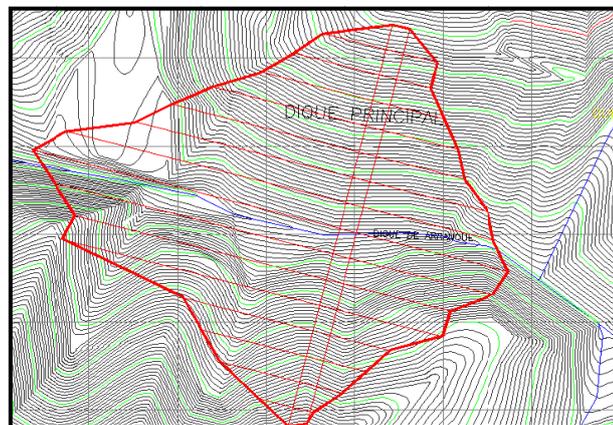


Figura 3.10: Vista en planta del Dique principal
Fuente: El autor

El área de implantación del dique principal es de 35 020,96 m².

Volumen del dique principal.- El software antes mencionado sirvió también para el cálculo del volumen del dique, siguiendo un procedimiento similar que el que se utilizó para calcular el área de implantación del dique. Obteniendo los perfiles longitudinales del terreno cada 15 m, se calcula a través del software el área

transversal que ocupa el dique en cada perfil; posteriormente se procede a calcular el volumen de cada franja de 15 m de dique.

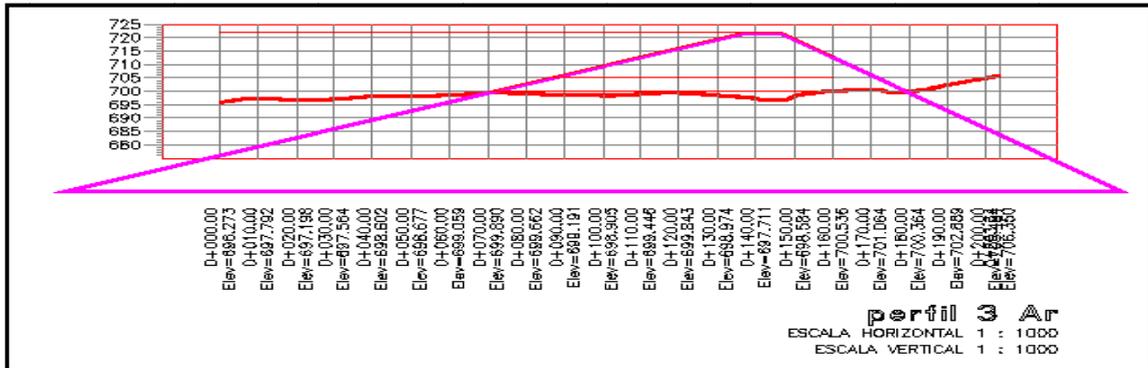


Figura 3.11: Perfil del terreno y del dique en una determinada abs. a lo largo de la corona del dique
Fuente: El Autor

Finalmente el volumen total del dique se obtiene sumando los volúmenes de todas las franjas en las que se dividió el dique. En la tabla 3.12 se muestra el volumen de cada franja de 15 m de dique y el volumen total.

N° Perfil	Área	Volumen	Volumen Acumulado
1	832.765	12491.475	12491.475
2	1357.9199	20368.7985	32860.2735
3	3752.06	56280.9	89141.1735
4	5195.56	77933.4	167074.574
5	5680	85200	252274.574
6	5609.49	84142.35	336416.924
7	5410.21	81153.15	417570.074
8	5423.33	81349.95	498920.024
9	5153.84	77307.6	576227.624
10	4282.69	64240.35	640467.974
11	3694.88	55423.2	695891.174
12	2117.5	31762.5	727653.674
13	413.58	6203.7	733857.374

Tabla 3.12: Cálculo del volumen del dique

Fuente: El autor

5. Cálculo de asentamientos

Para tener en cuenta el asentamiento teórico probable, se seguirá la teoría de los asentamientos elásticos de acuerdo a los siguientes parámetros:

Área de implantación del dique:	3,50 ha
Volumen del dique:	733 853 m ³
Peso específico γ	24,50 KN/ m ³
Ancho unitario de la cimentación	B = 1 m

Esfuerzo neto transmitido:

$$q_s = \frac{\gamma \cdot V_{\text{dique}}}{A_{\text{dique}} \cdot 100} \quad (3.25)$$

Donde:

q_s	=	Esfuerzo neto transmitido
V_{dique}	=	Volumen del dique
A_{dique}	=	Área del dique
γ	=	Peso específico

$$q_s = \frac{24,5 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \cdot 733853 \text{m}^3}{35020,96 \text{m}^2}$$

$$q_s = 2061,1 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Módulo de elasticidad.- Se tomo de la tabla 3.13 de acuerdo al tipo de suelo de la cimentación, tal como se muestra a continuación:

TIPO DE SUELO	Es (ton/m ²)
ARCILLA MUY BLANDA	30 - 300
BLANDA	200 - 400
MEDIA	450 - 900
DURA	700 - 2000
ARCILLA ARENOSA	3000 - 4250
SUELOS GRACIARES	1000 - 16000
LOESS	1500 - 6000
ARENA LIMOSA	500 - 2000
ARENA : SUELTA	1000 - 2500
DENSA	5000 - 10000
GRAVA ARENOSA : DENSA	8000 - 20000
SUELTA	5000 - 14 000
ARCILLA ESQUISTOSA	14000 - 140000
LIMOS	200 - 2000

Tabla 3.13: Módulo de elasticidad según el tipo de suelo
Fuente: Bowles, 1977

Para efectos de diseño se tomó el valor de $E_s = 4\,250 \text{ ton/m}^2$

Relación de Poison.- La relación de Poison se determinó de acuerdo al tipo de suelo y las condiciones de humedad del mismo, considerando la siguiente tabla:

TIPO DE SUELO	μ (-)
ARCILLA: SATURADA	0.4 – 0.5
NO SATURADA	0.1 – 0.3
ARENOSA	0.2 – 0.3
LIMO	0.3 – 0.35
ARENA : DENSA	0.2 – 0.4
DE GRANO GRUESO	0.15
DE GRANO FINO	0.25
ROCA	0.1 – 0.4
LOESS	0.1 – 0.3
HIELO	0.36
CONCRETO	0.15

Tabla 3.14: Relación de Poison para diferentes tipos de suelo
Fuente: Bowles, 1977

Factor de influencia.- Este se determinó tomando en cuenta la forma de la cimentación (rectangular, circular o cuadrada) y si ésta es rígida o flexible; para nuestro caso se considera una cimentación flexible de forma rectangular, con lo cual procedemos a obtener el valor del factor de influencia (I_w) de la tabla 3.15:

FORMA DE LA ZAPATA	VALORES DE I_r (cm/m)			
	CIM. FLEXIBLE			RIGIDA
UBICACION	CENTRO	ESQ.	MEDIO	---
RECTANGULAR $L/B = 2$	153	77	130	120
$L/B = 5$	210	105	183	170
$L/B = 10$	254	127	225	210
CUADRADA	112	56	95	82
CIRCULAR	100	64	85	88

Tabla 3.15: Valores de I_w según Bowles
Fuente: Bowles, 1977

Luego de obtener los datos explicados en los literales anteriores, se calcula el asentamiento inmediato de acuerdo a la ecuación 3.26:

$$\delta = \frac{q_s B (1 - \theta^2) I_w}{E_s} \quad (3.26)$$

Donde:

- q_s = Esfuerzo neto transmitido por el dique
 B = Valor unitario de la base.

I_w = Factor de influencia
 E_s = Modulo de elasticidad
 ν = Relación de Poison

$$\delta = \frac{2061,1 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cdot 1\text{m}(1 - 0.4^2) \cdot 153 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \cdot \frac{1\text{m}}{100\text{cm}}}{41202 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}$$

$$\delta = 0.064 \text{ m}$$

6. Diseño final del dique principal

La tabla 3.17 muestra un resumen del diseño final del dique principal:

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
CAPACIDAD DEL DIQUE	2,946,175	m ³
PORCENTAJE DE ALMACENAMIENTO	100	%
COTA INICIAL	662.000	m
COTA FINAL	722.000	m
TALUD AGUAS ABAJO	1:3	H:V
TALUD AGUAS ARRIBA	1,5:1	H:V
VOLUMEN DEL DIQUE	733,857	m ³
AREA QUE OCUPA EL DIQUE	3.50	ha
LONGITUD DE LA CORONA	236.630	m
ALTURA DEL DIQUE	60.000	m
ASENTAMIENTO PROVABLE EN EL CENTRO DEL DIQUE	0.064	m

Tabla 3.16: Diseño final del dique principal
Fuente: El autor

3.2.2. Diseño del dique de arranque

El dique de arranque se lo diseña empleando el mismo procedimiento y ecuaciones que se utilizó, para el cálculo y diseño de los factores de seguridad y dimensiones del dique principal; la única diferencia entre los dos es el período de vida útil para el que son diseñados; empleando un periodo de 1 año de vida útil para el dique de arranque [9]. A continuación se muestra un resumen de los factores de seguridad y dimensiones obtenidas par el dique de arranque:

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
FACTORES DE SEGURIDAD			
1	Seguridad por volcamiento	180,35	OK
2	Seguridad por deslizamiento	5,66	OK
3	Excentricidad	0,45	OK
4	Capacidad de carga admisible	5471,53	KN/m ²
DATOS DEL DIQUE DE ARRANQUE			
1	CAPACIDAD DEL DIQUE DE ARRANQUE	193846,15	m ³
2	PORCENTAJE DE ALMACENAMIENTO	4,35	%
3	COTA INICIAL	668,00	m
4	COTA FINAL	690,00	m
5	TALUD AGUAS ARRIBA	1,5:1	H:V
6	TALUD AGUAS ABAJO	1,5:1	H:V
7	VOLUMEN DEL DIQUE	176156,51	m ³
8	ÁREA QUE OCUPA EL DIQUE	4524,54	m ²
9	LONGITUD DE LA CORONA	110,95	m
10	ANCHO DE LA CORONA	95,00	m
11	LONGITUD DEL DIQUE	161,00	m
12	PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN	2,00	m
13	ÁREA DE LA RELAVERA A LA COTA FINAL	2,50	ha
14	ALTURA DEL DIQUE	22,00	m

Tabla 3.17: Factores de seguridad y datos geométricos del dique de arranque
Fuente: El autor

Con el objetivo de compensar el déficit de material de relave grueso existente durante los 5 primeros años de operación de la relavera, se ha optado por incrementar las dimensiones de ancho de corona del dique de arranque, lo que incrementa su volumen a 176 156,5 m³ y se compensa el déficit antes mencionado.

3.2.3. Drenaje de la relavera

Con el fin de salvaguardar la integridad de la relavera y sobretodo del dique principal, se propone un sistema completo de drenaje, para evacuar las aguas procedentes de la quebrada El Salado, así como también las aguas lluvias y aguas de los relaves.

Para impedir el ingreso de aguas procedentes de escorrentía, se ha diseñado canales de coronación que circundan todo el perímetro de la relavera dos metros por arriba de la cota máxima de llenado calculada. Finalmente estas aguas serán evacuadas a las vertientes más cercanas.

Para evacuar las aguas de la quebrada El Salado se diseñará un colector en el cual se encausarán sus aguas, recorriendo toda la quebrada, y pasando por debajo del dique de la relavera hasta desembocar en el desarenador.

El agua que logre ingresar a la relavera, así como el agua procedente de los relaves, será evacuada a través de un vertedero de demasías tipo morning glory (circular), que se conectará en su parte inferior al colector de la quebrada.

Finalmente para proteger el dique principal se ha planificado colocar un dren de material granular tipo chimenea en su interior, y así, de esta forma evitar que el dique pueda fallar por problemas de licuación del suelo por la presencia de agua.

3.2.3.1. Diseño del dren interno del dique

Uno de los principales problemas que se presentan en los muros de tierra es la erosión interna y canalización por el transporte del material que conforma el relave (figura 3.12a) debido a la presencia de agua; por tal razón se incluye en el diseño un dren central del dique tipo chimenea, el cual, captará el agua que se infiltre en el muro y la descartará por la parte inferior del dique, evitando de esta manera que la línea de infiltración del agua (figura 3.12b) atraviese el muro longitudinalmente ocasione una desestabilización del mismo.

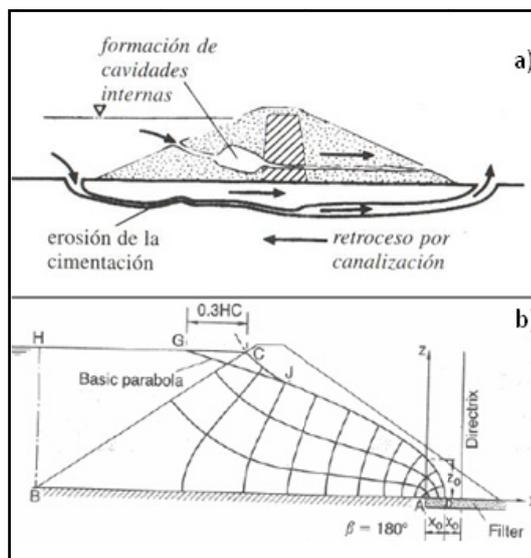


Figura 3.12: Falla del muro por infiltración de agua: a) Licuación del suelo por presencia de agua. b) Línea de infiltración del agua

Fuente: Estructuras hidráulicas [24]



Para el cálculo de las dimensiones del dren, se considera como datos iniciales los siguientes:

- Tipo de suelo que conforma el muro.
- Velocidad de infiltración del agua en el suelo.
- Características geotécnicas del suelo de relave.
- Dimensiones del muro.

La velocidad de infiltración del suelo que conforma el muro es muy baja ($8,95 \times 10^{-3}$ cm/s) al igual que el contenido de humedad del suelo de relave, ya que, antes de ser depositado en la relavera, pasa por un proceso de secado; aplicando estos dos parámetros como criterios de diseño, se debería diseñar un dren con dimensiones demasiado pequeñas, para la magnitud del muro.

Las dimensiones que se escogió para el dren tipo chimenea teniendo en cuenta sus dimensiones (60 m de altura) y experiencias previas en diseños semejantes son de 2 m en la parte superior y 4 m en la parte inferior del dique, además conectado a un colchón filtrante que puede ser de 2 a 3 m de altura, el cual drenará el agua hasta el pie del talud para luego ser evacuadas (ver lámina 3). El material que conformará el dren será de tipo granular de $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ pulgadas [16].

3.2.3.2. Diseño del colector para la quebrada El Salado

Como se explica en el apartado 3.2.3 el colector servirá para captar y canalizar las aguas de la quebrada El Salado y evacuarlas fuera de la relavera, con el fin de que no afecten la estabilidad del muro diseñando.

La tubería se extiende en una longitud de 720 m a lo largo de la relavera, para su colocación se requiere realizar cortes de volúmenes de tierra que permiten controlar su pendiente, así como también la construcción de cajas de cambio de dirección con sus respectivos disipadores de energía para reducir la energía cinética proveniente de cada tramo. El colector estará anclado cada 20 m así como también en los cambios de dirección.

A continuación se muestra el proceso y criterios de diseño aplicados para la primera línea de conducción del colector, el cálculo para todo el sistema se muestra en la en el anexo 2:

Caudal de diseño: 3,61 m³/s

Área de aporte del sistema: 19,66 ha

Coefficiente de rugosidad de Manning: 0,009 (Tubería de PVC)

Coefficiente de escurrimiento: 0,4404 (Depende del tipo suelo, cobertura vegetal, pendiente, etc.)

Periodo de retorno: 50 años

Intensidad: 150 mm/h

Coefficiente C para cálculo de caudal por medio del método racional: 0,278025

Velocidad máxima: 7,00 m/s [23]

Velocidad mínima: 0,45 m/s [23]

Longitud del tramo: 20 m

Cota inicial del terreno: 719,776 m.s.n.m.

Cota final del terreno: 711,004 m.s.n.m

Pendiente del tramo: 1,86 % (menor del 2,2 % [23])

Diámetro nominal: 1090 mm (supuesto, el diámetro real se lo conoce después de varias iteraciones, hasta cumplir con los requerimientos de velocidades, así como también de pendiente).

$$A_{eq} = A \cdot C \quad (3.27)$$

Donde:

A_{eq}	=	Área equivalente
A	=	Área de aportación del sistema
C	=	Coefficiente de escurrimiento

$$A_{eq} = 0,197 \text{ Km}^2 \cdot 0,4404$$

$$A_{eq} = \mathbf{0,087 \text{ Km}^2}$$



$$q = C_r \cdot I \cdot A \quad (3.28)$$

Donde:

- q = Caudal de diseño
- C_r = Coef. para cálculo de caudal por medio del método racional.
- I = Intensidad de lluvia

$$q = 0,2780 \cdot 150 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \cdot 197 \text{ m}$$
$$q = 3610,16 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{J} \quad (3.29)$$

Donde:

- V = Velocidad a sección llena.
- n = Coeficiente de Manning
- D = Diámetro interno de la tubería.
- J = Pendiente del tramo.

$$V = \frac{1}{0,009} \cdot \left(\frac{1\text{m}}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{1,86}$$

$$V = \frac{1}{0,009} \cdot \left(\frac{1\text{m}}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{1,86}$$

$$V = 6,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot V \quad (3.30)$$

$$Q = \pi \cdot \frac{(1\text{m})^2}{4} \cdot 6,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 4723,38 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$T_f = \frac{L}{V} \quad (3.31)$$

Donde:

- T_f = Tiempo de flujo a lo largo de la tubería.
 L = Longitud del tramo.
 V = Velocidad a sección llena.

$$H = L \cdot J \quad (3.32)$$

Donde:

- H = Desnivel entre los extremos del tramo
 L = Longitud del tramo.
 J = Pendiente del tramo

$$H = 20\text{m} \cdot 1,86\%$$

$$H = 0,37\text{m}$$

$$\text{COEF. LIBRE} = \frac{q}{Q} \quad (3.33)$$

$$\text{COEF. LIBRE} = \frac{3610,16 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{4723,38 \frac{\text{l}}{\text{s}}}$$

$$\text{COEF. LIBRE} = 0,764$$

Con la Relación hidráulica q/Q se obtiene la relación v/V de la tabla 3.18:

q/Q	v/V										
0,0010	0,200	0,0265	0,433	0,0730	0,578	0,2200	0,805	0,4750	0,993	0,7350	1,096
0,0015	0,215	0,0270	0,435	0,0740	0,580	0,2250	0,812	0,4800	0,995	0,7400	1,097
0,0020	0,230	0,0275	0,438	0,0750	0,583	0,2300	0,820	0,4850	0,997	0,7450	1,099
0,0025	0,235	0,0280	0,440	0,0760	0,585	0,2350	0,823	0,4900	0,998	0,7500	1,100
0,0030	0,240	0,0285	0,443	0,0770	0,588	0,2400	0,825	0,4950	0,999	0,7550	1,101
0,0035	0,248	0,0290	0,445	0,0780	0,590	0,2450	0,828	0,5000	1,000	0,7600	1,103
0,0040	0,255	0,0295	0,448	0,0790	0,593	0,2500	0,830	0,5100	1,005	0,7650	1,105
0,0045	0,263	0,0300	0,450	0,0800	0,595	0,2550	0,835	0,5150	1,007	0,7700	1,106
0,0050	0,270	0,0305	0,451	0,0810	0,598	0,2600	0,840	0,5200	1,010	0,7750	1,108
0,0055	0,275	0,0310	0,453	0,0820	0,600	0,2650	0,845	0,5250	1,013	0,7800	1,110
0,0060	0,280	0,0320	0,455	0,0830	0,603	0,2700	0,850	0,5300	1,015	0,7850	1,112
0,0065	0,285	0,0330	0,458	0,0840	0,605	0,2750	0,855	0,5350	1,018	0,7900	1,113
0,0070	0,290	0,0340	0,460	0,0850	0,608	0,2800	0,860	0,5400	1,020	0,7950	1,115
0,0075	0,295	0,0350	0,465	0,0860	0,610	0,2850	0,865	0,5450	1,023	0,8000	1,116
0,0080	0,300	0,0360	0,470	0,0870	0,613	0,2900	0,870	0,5500	1,025	0,8050	1,117
0,0085	0,305	0,0370	0,475	0,0880	0,615	0,2950	0,873	0,5550	1,028	0,8100	1,118
0,0090	0,310	0,0380	0,480	0,0890	0,618	0,3000	0,875	0,5600	1,030	0,8200	1,120
0,0095	0,320	0,0390	0,485	0,0900	0,620	0,3050	0,878	0,5650	1,033	0,8300	1,122
0,0100	0,330	0,0400	0,490	0,0910	0,623	0,3100	0,880	0,5700	1,035	0,8400	1,123
0,0105	0,335	0,0410	0,495	0,0920	0,625	0,3150	0,885	0,5750	1,038	0,8500	1,124
0,0110	0,340	0,0420	0,500	0,0930	0,628	0,3200	0,890	0,5800	1,040	0,8600	1,125
0,0115	0,345	0,0430	0,503	0,0940	0,630	0,3250	0,893	0,5850	1,043	0,8700	1,127
0,0120	0,350	0,0440	0,505	0,0950	0,633	0,3300	0,895	0,5900	1,045	0,8800	1,128
0,0125	0,353	0,0450	0,508	0,0960	0,635	0,3350	0,900	0,5950	1,048	0,8900	1,130
0,0130	0,355	0,0460	0,510	0,0970	0,638	0,3400	0,905	0,6000	1,050	0,9000	1,132
0,0135	0,358	0,0470	0,513	0,0980	0,640	0,3450	0,908	0,6050	1,052	0,9100	1,134
0,0140	0,360	0,0480	0,515	0,0990	0,643	0,3500	0,915	0,6100	1,054	0,9200	1,136
0,0145	0,363	0,0490	0,518	0,1000	0,645	0,3550	0,918	0,6150	1,056	0,9300	1,137
0,0150	0,365	0,0500	0,520	0,1050	0,650	0,3600	0,920	0,6200	1,058	0,9400	1,138
0,0155	0,368	0,0510	0,523	0,1100	0,660	0,3650	0,923	0,6250	1,060	0,9500	1,138
0,0160	0,370	0,0520	0,525	0,1150	0,670	0,3700	0,925	0,6300	1,061	0,9600	1,139
0,0165	0,373	0,0530	0,528	0,1200	0,675	0,3750	0,928	0,6350	1,062	0,9700	1,139
0,0170	0,375	0,0540	0,530	0,1250	0,680	0,3800	0,930	0,6400	1,063	0,9800	1,139
0,0175	0,378	0,0550	0,533	0,1300	0,690	0,3850	0,935	0,6450	1,065	0,9900	1,140
0,0180	0,380	0,0560	0,535	0,1350	0,695	0,3900	0,940	0,6500	1,066	1,0000	1,140
0,0185	0,385	0,0570	0,538	0,1400	0,700	0,3950	0,945	0,6550	1,068	1,0100	1,139
0,0190	0,390	0,0580	0,540	0,1450	0,710	0,4000	0,950	0,6600	1,070	1,0200	1,138
0,0195	0,395	0,0590	0,543	0,1500	0,720	0,4050	0,953	0,6650	1,073	1,0300	1,137

Tabla 3.18: Relaciones hidráulicas

Fuente: Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados [23]

$$v = \left(\frac{v}{V}\right) \cdot V \quad (3.34)$$

$$v = 1,103.6,01 \frac{m}{s}$$

$$v = 6,6334 \frac{m}{s}$$

Comprobamos que la velocidad este dentro del rango establecido para el cálculo (0,45 m/s a 7,00 m/s) y que el caudal a sección llena sea mayor que el caudal de diseño ($Q > q$).

Finalmente calculamos las cotas de proyecto para cumplir con la pendiente establecida, para este tramo la cota final de proyecto es igual que la cota final de terreno, por lo tanto solo se necesita calcular la cota inicial de proyecto:

$$\text{Cota Inicial P.} = J \cdot \text{CFP} \quad (3.35)$$

Donde:

CFP = Cota final del proyecto

$$\text{Cota Inicial P.} = 1,86\% \cdot 711,004 \text{ m. s. n. m.}$$

$$\text{Cota Inicial P.} = \mathbf{711,376 \text{ m. s. n. m.}}$$

3.2.3.3. Diseño de vertedero Morning Glory

“Se proyecta cada cierto período ubicar en la parte inicial de la tubería un pozo con la proyección de una tubería en sentido vertical con un vertedero Morning Glory (Ver figura 3.13) de planta circular, de labio fijo que permita evacuar las aguas de crecidas extraordinarias, evitando el sobrepaso por sobre el coronamiento de la presa y conducir los caudales excedentes a una tubería de descarga de un metro de diámetro. “ [16]

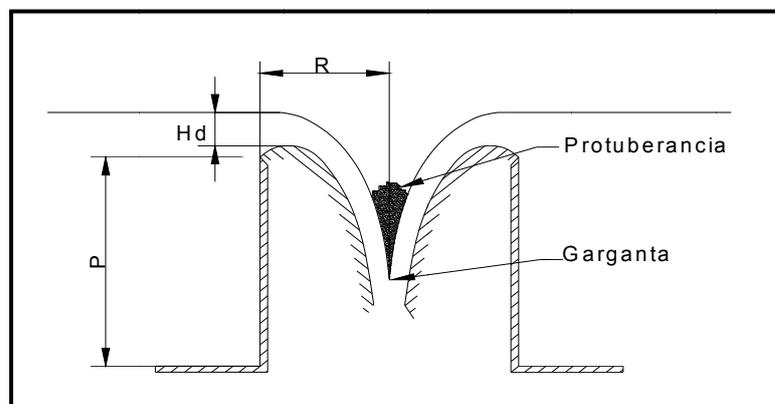


Figura 3.13: Veredero morning glory de planta circular

Fuente: E.I.A. Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio.



El diseño de este vertedero se basa en los datos hidrológicos de la zona obtenidos por SIG – UTPL, a continuación mostramos los datos que servirán como punto de partida para el Morning Glory:

Caudal de diseño: 3,61 m³/s

Carga de agua sobre la cresta del vertedero: 0,25 m

Diámetro interno de la tubería vertical: 1,00 m

Coefficiente de variación de descarga C: 2 (Se tomo este valor ya que se diseñará el perfil del morning glory como perfil Creager).

El cálculo del diámetro del vertedero, se lo realizó según la ecuación propuesta por Gourley [21]:

$$Q = C. L. H_d^{1,42} \quad (3.36)$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño
- C = Coeficiente de variación de descarga [22]
- L = Longitud de desarrollo de la cresta ($L = \pi D$)
- H_d = Carga sobre la cresta
- D = Diámetro del vertedero morning glory.

De la ecuación 3.36 se obtiene:

$$D = \frac{Q}{C. \pi. H_d^{1,42}} \quad (3.37)$$

$$D = \frac{3,61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2. \pi. 0,25^{1,42}}$$

$$D = 4.10 \text{ m}$$

A continuación calculamos la longitud del vertedero P:

$$L_t = \frac{T_1 - T_2}{2 \cdot \tan 12.5^\circ} \quad (3.38)$$

Donde:

- L_t = Longitud de transición del vertedero
- T_1 = Diámetro del vertedero Morning Glory
- T_2 = Radio de la tubería vertical

$$L_t = \frac{4,10 \text{ m} - 0,5 \text{ m}}{2 \cdot \tan 12.5^\circ}$$

$$L_t = \mathbf{8,11 \text{ m}}$$

Para el cálculo del perfil Creager del vertedero se adoptó los valores propuestos por Sviatoslav Krochin [22], en función de la ecuación:

$$y = 0,319 \cdot x^2 - 0,021 \cdot x - 0,009 \quad (3.39)$$

Esta ecuación tuvo que ser adaptada a nuestro proyecto, expresándose de la siguiente forma:

$$y = 0,319 \cdot x^{2,295} - 0,021 \cdot x - 0,009 \quad (3.40)$$

Proceso constructivo.- Los vertederos morning glory se construirán en cuatro etapas (ver lámina 6), según avance el proceso de llenado de la relavera, así, al final del período de vida útil de la relavera se contará con cuatro vertederos construidos, los cuales captarán las aguas a diferentes cotas y en diferentes ubicaciones dentro del área del proyecto.

3.2.3.4. Diseño de canales de coronación

Dentro de las obras de protección del depósito, se contempla el diseño de estos canales con la finalidad de impedir que el agua procedente de la escorrentía



superficial de la microcuenca de El Salado ingrese al depósito. El estudio hidrológico realizado en la zona correspondiente a la relavera es la base para el diseño de los canales de coronación.

Los canales de coronación estarán ubicados 2 metros por arriba de la máxima cota de llenado es decir a 724 m.s.n.m. (ver lámina 4).

Criterio de diseño

El diseño de los canales de coronación se lo realizó dividiendo la longitud total de canales a diseñar en dos grupos, canales que evacuarán el agua por el norte de la relavera y canales que evacuará el agua por el sur de la relavera; estos dos tramos a su vez se los dividió en subtramos, tomando en cuenta el área de aportación de caudal para cada uno.

Cálculo del caudal de diseño

El caudal del diseño se lo cálculo aplicando el método racional; este método toma en cuenta el área de la cuenca de aportación y la intensidad de precipitación [17]

$$Q = 0,287. CIA \quad (3.28)$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño para el subtramo
- C = Coeficiente de esorrentía.
- I = Intensidad mm/h para un período de retorno de 50 años
- A = Área de aportación (Km²)

El coeficiente de esorrentía se lo obtiene de la tabla 3.19 tomando en cuenta parámetros como: tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente.

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA, C
PRADOS:	
Suelos arenosos, planos, 2%	0,05 - 0,10
Suelos arenosos, promedio, 2 - 7%	0,15 - 0,20
Suelos pesados, planos, 2%	0,13 - 0,17
Suelos pesados, promedio, 2 - 7%	0,18 - 0,22
Suelos pesados, pendientes, 7%	0,25 - 0,35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de la ciudad	0,70 - 0,95
Áreas vecinas	0,50 - 0,70
RESIDENCIAL	
Áreas casas individuales separadas	0,30 - 0,50
Casas multifamiliares separadas	0,40 - 0,60
Casas multifamiliares unidas	0,60 - 0,75
Suburbana	0,25 - 0,40
Áreas de apartamentos de vivienda	0,50 - 0,70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0,50 - 0,80
Áreas pesadas	0,60 - 0,90
PARQUES, CEMENTERIOS	0,10 - 0,25
CAMPOS DE JUEGOS	0,20 - 0,35
ÁREAS DE PATIOS FERROCARRILES	0,20 - 0,40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0,10 - 0,20
CALLES:	
Asfaltadas	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 - 0,95
Ladrillo	0,70 - 0,85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0,75 - 0,85
TECHOS	0,75 - 0,95

Tabla 3.19: Coeficientes de escorrentía

Fuente: Hidrología en la ingeniería [28]

La tabla 3.20 muestra el cálculo de los caudales de diseño para cada subtramo de los canales de coronación Norte y Sur.

CAUDAL QUE SE EVACUARÁ POR EL SUR DE LA RELAVERA						
Tramo	ÁREA (km ²)	ÁREA acumulada	I	k	C	Q(m ³ /s)
1	0,030	0,0302	150	0,278	0,440	0,555
2	0,006	0,036	150	0,278	0,440	0,666
3	0,016	0,052	150	0,278	0,440	0,951
4	0,009	0,061	150	0,278	0,440	1,112
5	0,008	0,069	150	0,278	0,440	1,259

Viene pág. 54

CAUDAL QUE SE EVACUARÁ POR EL NORTE DE LA RELAVERA						
Tramo	ÁREA (km ²)	ÁREA acumulada	I	k	C	Q(m ³ /s)
1	0,015	0,0146	150	0,278	0,440	0,268
2	0,008	0,023	150	0,278	0,440	0,419
1	0,009	0,0088	150	0,278	0,440	0,162
1	0,006	0,0059	150	0,278	0,440	0,108

Tabla 3.20: Cálculo del caudal de diseño para cada tramo de los canales de coronación
Fuente: El autor

Cálculo de la sección de los canales de coronación

Conocido el caudal de diseño se procede a diseñar las secciones del canal para cada tramo, de acuerdo al siguiente procedimiento:

Tirante de agua en la sección:

$$d^{8/3} = \frac{n \cdot Q \cdot 2^{2/3}}{J^{1/2} \cdot (2 \cdot \sqrt{m^2 + 1} - m)} \quad (3.41)$$

Donde:

- d = Tirante de agua de la sección.
- n = Coeficiente de Manning dependiente de la rugosidad del canal (0,013 para concreto [18]).
- Q = Caudal de diseño.
- J = Pendiente del canal.
- m = Talud del canal

De acuerdo a la ecuación de máxima eficiencia hidráulica para una sección rectangular la solera del canal se calculará mediante la expresión:

$$B = 2 \cdot d \quad (3.42)$$

Finalmente la altura del canal corresponde a la altura del tirante de agua más un 30% de esta misma altura correspondiente al borde libre [18]

$$h = d + 0,3 \cdot d \quad (3.43)$$

La tabla 3.21 muestra las secciones típicas de canal para cada tramo y los datos que fueron utilizados para su cálculo:

CAUDAL QUE SE EVACUARA POR EL SUR DE LA RELAVERA							
Tramo	ÁREA (km ²)	m	J	n	Q(m ³ /s)	Sección	
						Base (m)	Altura (m)
1	0,030	0	0,001	0,013	0,555	1,05	0,91
2	0,006	0	0,001	0,013	0,666	1,15	0,98
3	0,016	0	0,001	0,013	0,951	1,30	1,11
4	0,009	0	0,001	0,013	1,112	1,40	1,17
5	0,008	0	0,001	0,013	1,259	1,45	1,24
CAUDAL QUE SE EVACUARA POR EL NORTE DE LA RELAVERA							
Tramo	ÁREA (km ²)	m	J	n	Q(m ³ /s)	Sección	
						Base (m)	Altura (m)
1	0,015	0	0,001	0,013	0,268	0,80	0,72
2	0,008	0	0,001	0,013	0,419	0,95	0,85
1	0,009	0	0,001	0,013	0,162	0,80	0,59
1	0,006	0	0,001	0,013	0,108	0,60	0,52

Tabla 3.21: Sección de los tramos de las cunetas de coronación
Fuente: El autor

Para complementar el diseño de los canales de coronación es necesario el diseño de tres rápidas ya que se requiere evacuar el agua desde grandes alturas hacia los causes naturales ubicados en la cota de cimentación del dique (ver láminas 4 y 6). Estas estructuras constan de una transición de entrada, un tramo inclinado que presenta pendientes fuertes, un dissipador de energía y una transición de salida. El cálculo hidráulico de una rápida está en función del caudal y de la topografía del tramo a desnivel.

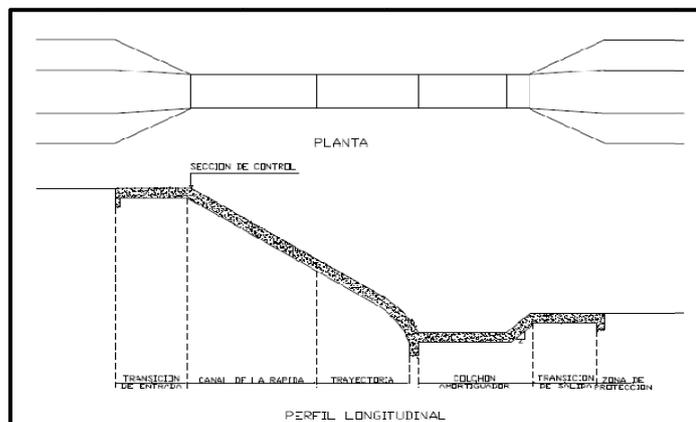


Figura 3.14: Elementos de una rápida
Fuente: Ing. Holger Benavides [19]

Procedimiento para el diseño de rápidas [19]

Para explicar el procedimiento de cálculo para el diseño de rápidas, se calculará la rápida N° 1.

Datos iniciales:

Tipo de sección: Rectangular.

Caudal de diseño: 0,108 m³/s.

Rugosidad (n): 0,013 (n correspondiente a concreto).

Solera del canal de entrada: 0,600 m

Altura del canal de entrada: 0,520

Pendiente del canal de entrada: 0,001

Abs. Inicial: 1 + 000,000

Abs. Final: 1 + 097,320

Cota inicial: 724,950 m.s.n.m.

Cota final: 681,880 m.s.n.m.

Cálculo del tirante en el canal de entrada:

$$d^{8/3} = \frac{n \cdot Q \cdot 2^{2/3}}{J^{1/2} \cdot (2 \cdot \sqrt{1 + m^2} - m)}$$

$$d = \left(\frac{0,013 \cdot 0,108 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 2^{2/3}}{0,001^{1/2} \cdot (2 \cdot \sqrt{1 + 0^2} - 0)} \right)^{3/8}$$

d = 0,29 m

Elementos del canal de entrada:

$$A = d \cdot b \tag{3.44}$$

Donde:

- A = Área (m²).
- d = Tirante (m).
- b = Solera del canal de entrada (m).

$$A = 0,17 \text{ m}^2$$



$$P = 2 \cdot d + b \quad (3.45)$$

Donde:

$$P = \text{Perímetro mojado (m)}$$
$$P = \mathbf{1,18 \text{ m}}$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.46)$$

Donde:

$$R = \text{Radio hidráulico}$$
$$R = \mathbf{0,15 \text{ m}}$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.47)$$

Donde:

$$V = \text{Velocidad}$$
$$Q = \text{Caudal de diseño}$$
$$V = \mathbf{0,62 \frac{m}{s}}$$

Pendiente de la rápida:

$$\text{Pendiente (i)} = \frac{\text{Abs.final} - \text{Abs.Inicial}}{\text{Cota inicial} - \text{Cota final}} \quad (3.48)$$
$$i = \frac{97,32 - 00,00}{724,95 - 681,88}$$
$$i = \mathbf{0,44 \frac{m}{m}}$$

Ancho asumido de la rápida (Según Dadenkov):

$$b_{\text{rap}} = 0,765Q^{2/5} \quad (3.49)$$
$$b_{\text{rap}} = 0,765 \cdot 0,108^{2/5}$$
$$b_{\text{rap}} = \mathbf{0,31 \text{ m}}$$

Cálculo del ancho real de la rápida y el tirante en la sección de control:

Se empieza calculando el tirante crítico, es decir, el tirante en el punto donde empieza la rápida, la velocidad crítica, altura de velocidad, altura de velocidad crítica, variación de altura de velocidad, energía aguas arriba y energía mínima de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$y_c = \left(\frac{Q^2}{b_{rap}^2 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.50)$$

Donde:

- y_c = Tirante crítico en la sección de control
- b_{rap} = Ancho de solera de la rápida
- g = Aceleración de la gravedad

$$V_c = \sqrt{g \cdot y_c} \quad (3.51)$$

Donde:

- V_c = Velocidad crítica.
- y_c = Tirante crítico

$$h_v = \frac{V_c^2}{2 \cdot g} \quad (3.52)$$

Donde:

- h_v = Altura de velocidad
- V_c = Velocidad crítica.

$$h_e = 0,5 \cdot \left(\frac{V_c^2 - V^2}{2 \cdot g} \right) \quad (3.53)$$

Donde:

- h_e = Variación de altura de velocidad
- V_c = Velocidad crítica
- V = Velocidad normal

$$E_{a.arriba} = y + h_v \quad (3.54)$$

Donde:

- $E_{a.arriba}$ = Energía aguas arriba de la sección de control
 y = Tirante normal
 h_v = Altura del velocidad normal

$$E_{min} = y_c + h_{vc} + h_e \quad (3.55)$$

Donde:

- E_{min} = Energía mínima
 y_c = Tirante crítica
 h_{vc} = Altura de velocidad crítica
 h_e = Variación de altura de velocidad

Luego de calcular todos estos datos se realiza varias iteraciones hasta que la energía normal aguas arriba de la sección de control sea igual a la energía mínima. Finalmente se toma el dato de tirante crítico y ancho de solera de la rápida de la última iteración.

En la tabla 3.22 se muestra varias iteraciones hasta llegar al valor de de tirante crítico y ancho de solera de la rápida:

y_c	V_c	h_{vc}	h_e	E_{min}	Nueva b_{rap}	$E_{ag\ arrb.}$
0,23	1,50	0,11	0,047	0,39	0,36	0,31
0,21	1,43	0,10	0,042	0,35	0,41	0,31
0,19	1,37	0,10	0,038	0,32	0,46	0,31
0,18	1,32	0,09	0,034	0,30	0,41	0,31
0,19	1,37	0,10	0,038	0,32	0,46	0,31
0,18	1,32	0,09	0,034	0,30	0,41	0,31
0,19	1,37	0,10	0,038	0,32	0,46	0,31
0,18	1,32	0,09	0,034	0,30	0,41	0,31
0,19	1,37	0,10	0,038	0,32	0,45	0,31

Tabla 3.22: Cálculo de tirante crítico y ancho de solera de la rápida N° 1

Fuente: El autor

Longitud de transición de la rápida:

Esta se calcula según la ecuación 3.56 recomendada por la Bureau of Reclamation:

$$L_t = \frac{T_1 - T_2}{2 \cdot \tan 12.5^\circ} \quad (3.56)$$

Donde:

T_1 = Base del canal de entrada.

T_2 = Base de la rápida.

L_t = Longitud de transición.

$$L_t = \frac{0,6 \text{ m} - 0,45 \text{ m}}{2 \cdot \tan 12.5^\circ}$$

$$L_t = \mathbf{0,35 \text{ m}}$$

Cálculo de la velocidad en la rápida:

La velocidad de la rápida se la calcula aplicando la ecuación de Chezy:

$$V_r = C \cdot \sqrt{R_r \cdot i} \quad (3.57)$$

Donde:

V_r = Velocidad

C = Coeficiente de Chezy

R = Rádio hidráulico en la rápida.

i = Pendiente

En el cálculo de la velocidad en la rápida se empieza suponiendo un valor de velocidad, luego de aplicar el proceso que se describe a continuación, se comprueba que $V_{r(\text{calculada})} \leq V_{r(\text{asumida})}$, si se da el caso se adopta el valor calculado de V_r , sino, se aumenta o disminuye el valor de V_r asumida según sea mayor o menor el valor de V_r calculado.

$V_{r(\text{asumido})}$: 2,5 m/s

$$A_r = \frac{Q}{V_{r(\text{asumida})}} \quad (3.58)$$

Donde:

A_r = Sección transversal de la rápida

Q = Caudal de diseño.

V_r = Velocidad asumida de la rápida

$$y_r = \frac{A_r}{B_r} \quad (3.59)$$

Donde:

y_r = Tirante de agua en la rápida.
 B_r = Ancho de solera de la rápida.

$$h_r = \frac{8}{9} y_r \quad (3.60)$$

Donde:

h_r = Carga de agua en la rápida

$$P_r = B_r + 2 \cdot y_r \quad (3.61)$$

Donde:

P_r = Perímetro mojado
 B_r = Ancho de solera de la rápida

$$R_r = \frac{A_r}{P_r} \quad (3.62)$$

Donde:

R_r = Radio hidráulico

$$S = y_r - h_r \quad (3.63)$$

Donde:

S = Diferencia de altura entre el tirante de agua y la carga

$$C = \frac{1000}{85,8 - 3,9 \cdot \left(\frac{h_r}{S}\right) - 0,8 \cdot \left(\frac{B_r}{h_r}\right)} \quad (3.64)$$

Donde:

C = Coeficiente de Chezy

V_r (supuesto)	A_r (m ²)	y_r (m)	h_r (m)	P_r (m)	R_r (m)	S (m)	C	V_r (m/s)
2,5	0,0431	0,10	0,09	0,64	0,07	0,01	20,68	3,73
2,8	0,0385	0,09	0,08	0,62	0,06	0,01	19,45	3,37
2,9	0,0372	0,08	0,07	0,62	0,06	0,01	19,14	3,27
3	0,0359	0,08	0,07	0,61	0,06	0,01	18,85	3,18
3,1	0,0348	0,08	0,07	0,60	0,06	0,01	18,60	3,1

Tabla 3.23: Cálculo del valor de la velocidad en la rápida

Fuente: El autor

Diseño del disipador de energía:

Con el objetivo de evitar la socavación al final de la relavera se diseña un colchón de agua, para lo cual primero se comprueba la existencia del resalto hidráulico, calculado el Número de Froude:

$$F_1 = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_r}} \quad (3.65)$$

Donde:

- F_1 = Número de Froude
- V = Velocidad de la rápida
- g = Aceleración de la gravedad
- y_r = Tirante de agua

$$F_1 = \frac{3,1 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 0,01 \cdot 0,08 \text{ m}}} = 3,56$$

Por lo tanto se puede concluir que existe un resalto hidráulico Oscilante [18].

La longitud del colchón de agua se la diseña en función de las alturas conjugadas que se presente a la salida de la rápida, así tenemos:

$$d_2 = \frac{d_1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot F_1} - 1) \quad (3.66)$$

Donde:

- d_2 = Conjugado mayor
- d_1 = Conjugado menor
- F_1 = Número de Froude

$$d_2 = \frac{0,08 \text{ m}}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 3,56} - 1) = 0,17 \text{ m}$$

Como el conjugado mayor es menor que el tirante de agua en la rápida y_r , no se necesita profundizar el colchón de agua.

$$L_r = 2,5 \cdot (1,9 \cdot d_2 - d_1) \quad (3.67)$$

$$L_r = 2,5 \cdot (1,9 \cdot 0,17 \text{ m} - 0,08 \text{ m}) = 0,81 \text{ m}$$

Por facilidad de construcción se adopta una longitud de colchón de agua de 1 m.

RÁPIDA 1		RÁPIDA 2		RÁPIDA 3	
Canal de llegada		Canal de llegada		Canal de llegada	
Ancho	0,60 m	Ancho	0,80 m	Ancho	1,45 m
Altura	0,40 m	Altura	0,45 m	Altura	0,95 m
Transición		Transición		Transición	
Longitud	0,35 m	Longitud	0,60 m	Longitud	0,60 m
Rápida		Rápida		Rápida	
Ancho	0,45 m	Ancho	0,55 m	Ancho	1,20 m
Colchón	1,00 m	Colchón	1,00 m	Colchón	2,00 m
Pendiente	48,37 %	Pendiente	49,06 %	Pendiente	53,14 %

Tabla 3.24: Datos hidráulicos de las rápidas diseñadas

Fuente: El autor

3.2.3.5. Diseño del desarenador

El desarenador se incluye en este diseño con la finalidad de reducir la velocidad de los efluentes, y permitir la separación de sólidos minerales (arena), por sedimentación.

Este diseño se basa en los procesos de diseño propuestos por Máximo Villón [26] y Sviatoslav Krochin [22], tal como se detalla a continuación:

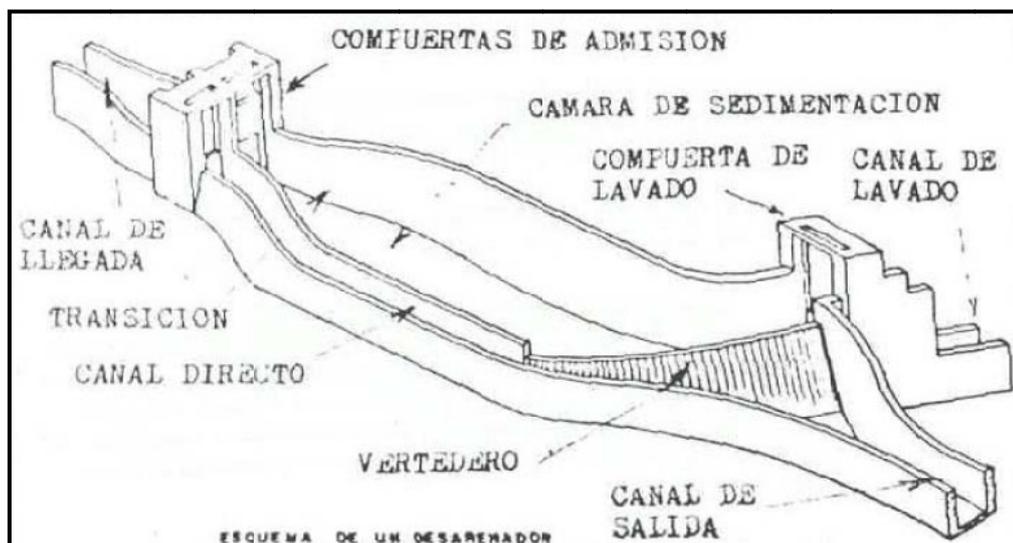


Figura 3.15: Esquema de un desarenador

Fuente: Diseño hidráulico [22]

Consideraciones previas:

- La transición de entrada y salida deben de presentar un ángulo de divergencia no mayor a 12,5°.
- La velocidad de circulación del agua en el desarenador será menor a 0,4 m/s.
- La profundidad del desarenador está entre 1,5 m y 4,0 m dependiendo del tamaño de las partículas a sedimentar.

Datos iniciales:

Tipo de partículas a sedimentar: arena fina

Diámetro de las partículas a sedimentar: 0,50 mm [25]

Caudal de diseño: 3,60 m³/s

Pendiente: 3,00%

Proceso de cálculo:

1.- Se puede calcular la velocidad de circulación con la siguiente expresión [26]:

$$v = a \cdot d_p^2 \quad (3.68)$$

Donde:

- v = Velocidad de circulación.
a = Coef. depende del tamaño de las partículas a sedimentar
d_p = Diámetro de las partículas.

Coeficiente a	d _p (mm)
51	0,1
44	0,1 - 1
36	1

Tabla 3.25: Coeficiente a

Fuente: Diseño de estructuras hidráulicas [26]

$$v = 44 \times 0,5^2$$

$$v = 31,11 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

2.- De la tabla 3.26 se obtiene la velocidad de cimentación de partículas en función del tamaño de las mismas:

d (mm)	w (cm/s)	d (mm)	w (cm/s)
0,05	0,178	0,5	5,4
0,1	0,692	0,55	5,94
0,15	1,56	0,6	6,48
0,2	2,16	0,7	7,32
0,25	2,7	0,8	8,07
0,3	3,24	1	9,44
0,35	3,78	2	15,29
0,4	4,32	3	19,25
0,45	4,86	5	24,9

Tabla 3.26: Velocidad de cimentación de las partículas
Fuente: diseño hidráulico [22]

3.- Dimensiones del tanque:

Se utiliza la ecuación de máxima eficiencia hidráulica par canales rectangulares

$$\frac{b}{h} = 2 \quad (3.69)$$

Donde:

b = Ancho de solera

h = Altura.

Reemplazando la ecuación 3.69 en la ecuación de Área para secciones rectangulares tenemos:

$$A = b \cdot h$$

$$A = 2h \cdot h \quad (3.70)$$

De donde:

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (3.71)$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (3.72)$$

$$A = \frac{3,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 11,61 \text{ m}^2$$

$$h = \sqrt{\frac{11,61 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h = 2,41 \approx 2,50 \text{ m}$$

$$b = \frac{A}{h} \tag{3.73}$$

$$b = \frac{11,61 \text{ m}^2}{2,5 \text{ m}}$$

$$b = 4,60 \text{ m}$$

Luego de haber obtenido las dimensiones de la sección transversal del desarenador, se calcula la longitud activa del mismo de acuerdo a la expresión propuesta por Sokolov [22], multiplicada por un factor de seguridad K que va desde 1,2 a 1,5 de acuerdo a la importancia de la obra.

$$L = K \cdot h \cdot \frac{v}{w} \tag{3.74}$$

Donde:

- L = Longitud de activa del desarenador.
- K = Factor de seguridad según la importancia de la obra (1,5)
- h = Altura del desarenador.
- v = Velocidad de circulación del fluido dentro del desarenador
- w = Velocidad de sedimentación de partículas

$$L = 1,5 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \frac{31,11 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{5,4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$$

$$L = 21,60 \text{ m}$$

4.- Profundidad al final del desarenador:

$$h_1 = h + L \cdot J \tag{3.75}$$

Donde:

- h = Altura a la entrada del vertedero.

h_1 = Altura al final del desarenador.
 L = Longitud del desarenador.
 J = Pendiente del desarenador.

$$h_1 = 2,50 \text{ m} + 21,60 \text{ m} \cdot 3\%$$

$$h_1 = 3,14 \text{ m}$$

5.- Longitud de transición:

$$L_T = \frac{T_1 - T_2}{2 \tan(12,5^\circ)}$$
$$L_T = \frac{4,80 \text{ m} - 1,00 \text{ m}}{2 \tan(12,5^\circ)}$$
$$L_T = 8,10 \text{ m}$$

6.- Diseño del acero de refuerzo del canal:

Para el cálculo del acero de refuerzo en las paredes, se aplicó el mismo criterio que se utiliza para el cálculo de refuerzo en un muro [5], considerando la presión ejercida por el suelo (carga externa) y la presión del agua (carga interna). Por otra parte la solera fue calculada de acuerdo al procedimiento para el cálculo de refuerzo en losas de cimentación descrito en el código ACI 318.

La cantidad de acero de refuerzo así como el armado del mismo se muestra en la lámina 6.

3.2.4. Vía de acceso a la relavera

Aún cuando no está considerado el análisis de alternativas de acceso vehicular a la relavera y su diseño geométrico dentro de este estudio, se propone una posible ruta para el acceso vehicular, para su posterior análisis y diseño geométrico. Esta vía se ha pensado como un acceso para maquinaria pesada durante el proceso de construcción del dique de la relavera y el tránsito de volquetas con relaves hacia la planta de tratamiento junto al dique de la relavera.

La vía se conecta desde el sector El Salado; esto debido a dos razones principales:

a) por que presta las mejores condiciones topográficas para realizara el acceso

desde la vía principal siguiendo la quebrada El Salado y b) debido a que la mayor parte de plantas de beneficios de minerales se concentran en el sector (alrededor del 70%), reduciendo significativamente el costo por transporte de relaves desde las plantas de beneficio a su ubicación final (relavera).

Características de la vía:

La vía tiene aproximadamente 2,2 Km de longitud con 8 metros de ancho desde el sector El Salado hasta la relavera; se construirá de estéril de mina, dotada de alcantarillas para evacuar las escorrentías superficiales fuera de la vía. Se requieren también vías secundarias que bordeen el perfil de la relavera para acceso infrecuente por mantenimiento, estas vías serán tipo caminos para vehículos 4x4 [16].

Sitios de donde se tomará Material de Préstamo para las Construcciones y Carreteras:

“El sitio más cercano para tomar material de préstamo es la cantera ubicada en la vía Portovelo- Trapiche. Queda a 300 m del sector EL Salado” [16].

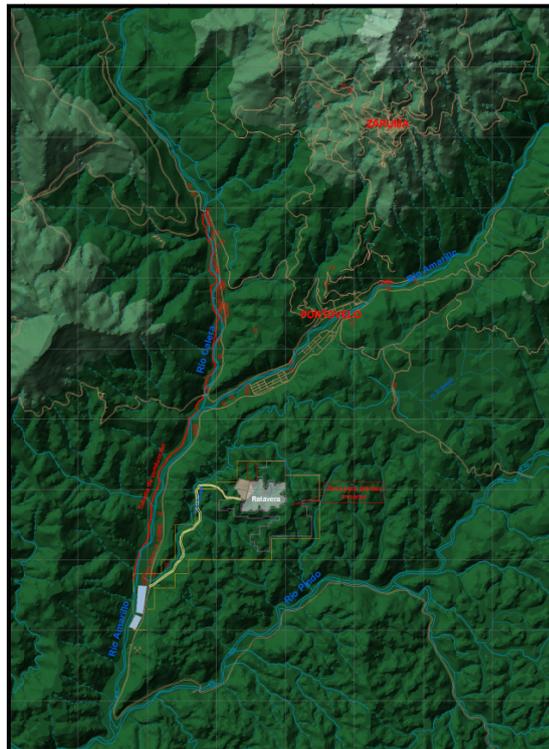


Figura 3.16: Vía de acceso a la relavera

Fuente: E.I.A, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio.



3.2.5. Análisis de rutas y frecuencia de recorrido de los camiones transportadores de relaves desde las plantas de beneficio de minerales hasta la relavera [20].

Para estimar el número de volquetas necesarias para el transporte de relaves y la frecuencia de recorridos se consideró la producción de 80 plantas de beneficio de minerales ubicadas en el sector de El Pache y El Salado, a lo largo del río Calera y Amarillo; además se ha calculado un producción de relaves aproximada de 1600 ton/día en el distrito minero, en promedio 20 ton/día en cada planta de beneficio, y peso específico del material de 1.7 ton/m^3 .

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo y los criterios elegidos para proyectar el número de vehículos que se utilizará para el transporte de relaves y la frecuencia de los recorridos:

1. Debido a que las plantas de beneficio se encuentran dispuestas longitudinalmente a lo largo del río Calera y Amarillo, se ha diseñado dos recorridos; el primero aguas arriba de la vía de acceso, cubriendo el sector del Pache y el segundo aguas abajo de la vía cubriendo el sector del Salado.
2. La velocidad promedio de circulación de los vehículos por motivos de seguridad y tráfico en la vía se han considerado de 30 Km/h cuando los vehículos estén cargados y 45 Km/h cuando los vehículos estén descargados.
3. Considerando la utilización de cargadoras mecánicas, se establece un tiempo de carga y descarga de 15 min. en cada planta de beneficio de minerales.
4. Basados en la producción promedio de relaves de cada planta de beneficio de minerales, la capacidad de los vehículos de carga a utilizar se establecen en 12 m^3 .
5. Para establecer la frecuencia de los recorridos de los vehículos fue necesario establecer la distancia entre cada una de las plantas de beneficio y la relavera; esto a su vez sirvió para estimar el tiempo necesario para transportar el material desde cada planta de beneficio hasta la relavera, incluido el tiempo de carga y descarga, según con se indica en las tablas 3.27 y 3.28.

Sector El Pache

N°	Planta N°	Distancia a la relavera (Km)	Tiempo de recorrido cargado (min)	Tiempo de recorrido cescargado (min)	Tiempo de carga y descarga (min)	Tiempo total de recorrido (min)
1	300317	12.581	25.16	16.77	15	56.94
2	390116	12.227	24.45	16.30	15	55.76
3	390006	11.957	23.91	15.94	15	54.86
4	390296	11.25	22.50	15.00	15	52.50
5	Sr Buele	10.409	20.82	13.88	15	49.70
6	390128	6.9365	13.87	9.25	15	38.12
7	390115	6.681	13.36	8.91	15	37.27
8	390105	4.2378	8.48	5.65	15	29.13
9	390295	3.9717	7.94	5.30	15	28.24
10	390300	3.6184	7.24	4.82	15	27.06
11	390008	3.5505	7.10	4.73	15	26.84
12	390058	3.5505	7.10	4.73	15	26.84
13	390092	3.4404	6.88	4.59	15	26.47
14	390296	3.4404	6.88	4.59	15	26.47
15	390060	3.4404	6.88	4.59	15	26.47
16	390227	3.2679	6.54	4.36	15	25.89
17	390293	3.2679	6.54	4.36	15	25.89
18	390015	3.1362	6.27	4.18	15	25.45
19	390017	3.1362	6.27	4.18	15	25.45
20	390108	3.1362	6.27	4.18	15	25.45
21	390003	2.9856	5.97	3.98	15	24.95
22	390297	2.8627	5.73	3.82	15	24.54
23	390020	2.7829	5.57	3.71	15	24.28
24	390056	2.6989	5.40	3.60	15	24.00
25	390007	2.6556	5.31	3.54	15	23.85
26	390009	2.5962	5.19	3.46	15	23.65
27	390025	2.5107	5.02	3.35	15	23.37
28	390232	2.5107	5.02	3.35	15	23.37
29	390050	2.5107	5.02	3.35	15	23.37
30	390183	2.31	4.62	3.08	15	22.70
31	390014	2.31	4.62	3.08	15	22.70

Tabla 3.27: Tiempo empleado para transporte de relaves desde las plantas de beneficio de minerales (Sector El Pache) a la relavera.

Fuente: El autor

Sector El Salado

N°	Planta N°	Distancia a la relavera (Km)	Tiempo de recorrido cargado (min)	Tiempo de recorrido descargado (min)	Tiempo de carga y descarga (min)	Tiempo total de recorrido (min)
32	390027	20.353	4.07	2.71	15	21.78
33	LUIKAR	20.353	4.07	2.71	15	21.78
34	390313	23.887	4.78	3.18	15	22.96
35	390024	23.887	4.78	3.18	15	22.96
36	390012	23.887	4.78	3.18	15	22.96
37	390324	23.887	4.78	3.18	15	22.96
38	390032	24.697	4.94	3.29	15	23.23
39	390282	24.697	4.94	3.29	15	23.23
40	390021	24.697	4.94	3.29	15	23.23
41	390129	25.578	5.12	3.41	15	23.53
42	390055	28.333	5.67	3.78	15	24.44
43	390033	31.034	6.21	4.14	15	25.34
44	DURANGORO	35.976	7.20	4.80	15	26.99
45	390046	12.65	25.30	16.87	15	57.17
46	390204	42.455	8.49	5.66	15	29.15
47	390283	43.222	8.64	5.76	15	29.41
48	309104	4.633	9.27	6.18	15	30.44
49	390285	56.681	11.34	7.56	15	33.89
50	390230	5.86	11.72	7.81	15	34.53
51	390273	5.86	11.72	7.81	15	34.53
52	390288	59.284	11.86	7.90	15	34.76
53	390314	59.284	11.86	7.90	15	34.76
54	390277	6.048	12.10	8.06	15	35.16
55	390118	61.448	12.29	8.19	15	35.48
56	390276	62.543	12.51	8.34	15	35.85
57	390190	64.058	12.81	8.54	15	36.35
58	390192	64.058	12.81	8.54	15	36.35
59	39019	64.058	12.81	8.54	15	36.35
60	390274	64.782	12.96	8.64	15	36.59
61	390292	65.233	13.05	8.70	15	36.74
62	390040	6.555	13.11	8.74	15	36.85
63	390231	66.111	13.22	8.81	15	37.04
64	390278	66.111	13.22	8.81	15	37.04
65	390311	66.828	13.37	8.91	15	37.28
66	390185	71.891	14.38	9.59	15	38.96
67	390298	41.118	8.22	5.48	15	28.71
68	390120	43.075	8.62	5.74	15	29.36
69	390284	45.523	9.10	6.07	15	30.17

Viene pág. 72

N°	Planta N°	Distancia a la relavera (Km)	Tiempo de recorrido cargado (min)	Tiempo recorrido descargado (min)	Tiempo de carga y descarga (min)	Tiempo total de recorrido (min)
70	390011	45.523	9.10	6.07	15	30.17
71	390290	52.211	10.44	6.96	15	32.40
72	390236	53.082	10.62	7.08	15	32.69
73	390306	64.635	12.93	8.62	15	36.55
74	390237	71.108	14.22	9.48	15	38.70
75	390294	71.108	14.22	9.48	15	38.70
76	390275	71.833	14.37	9.58	15	38.94
77	390288	71.833	14.37	9.58	15	38.94
78	390226	71.833	14.37	9.58	15	38.94
79	390289	71.833	14.37	9.58	15	38.94
80	390315	76.708	15.34	10.23	15	40.57

Tabla 3.28: Tiempo empleado para transporte de relaves desde las plantas de beneficio de minerales (Sector El Salado) a la relavera.

Fuente: El autor

6. Considerando el tiempo total de cada recorrido a las distintas plantas de beneficio se estima una frecuencia promedio de 2 recorridos por hora, es decir 16 recorridos en un período de 8 horas para el sector de EL PACHE y 17 recorridos diarios para el sector de EL SALADO.

7. Para el cálculo del número de vehículos se utilizó la ecuación:

$$N = 1,05 \left(\frac{W}{n.C} \right) \quad (3.76)$$

Donde:

- N** = Número de vehículos.
W = Cantidad de residuos a recoger por día (ton).
C = Capacidad de cada vehículo.
n = Número de recorridos por vehículo.

Sector El Pache

$$N = 1.05 * \left(\frac{620Tm}{2.5T/m3 * 10Tm} \right) = 2 \text{ veh\acute{u}culos}$$

Sector El Salado

$$N = 1.05 * \left(\frac{980Tm}{2.5Tm/m^3 * 10Tm} \right) = 3 \text{ vehiculos}$$

El número de vehículos a utilizar en el proyecto es de 5 volquetas con capacidad de 12 m³ cada uno, distribuidos de la siguiente manera; dos para el sector El Pache y 3 El sector El Salado, esto es debido a la mayor concentración de Plantas de Beneficio en el Sector El Saldado.

3.3. Metodología de construcción de la obra

Siendo este proyecto parte de un proyecto global que pretende implementarse en el distrito minero Zaruma – Portovelo para disminuir los impactos ambientales negativos causados por los pasivos ambientales producto de la actividad minera, es necesario construir algunas obras previas a la construcción del depósito de relaves. De esta manera tenemos:

Colector de aguas residuales.- Se construirá a lo largo de todas las plantas de beneficio de minerales, captará las aguas procedentes de la actividad minera y dirigirlas a las plantas de tratamiento antes de ser evacuadas a los cauces naturales.

Implementación de volquetas recolectores de relaves.- Como se describe en el apartado 3.2.5 se implementará dos rutas de los volquetes para la recolección del material de relaves (Recorrido 1: Sector El Pache; Recorrido 2: Sector El Salado), con frecuencias determinadas para cada caso (ver 3.2.5) las cuales dependen de la densidad de plantas de beneficio en cada sector.

Vía de acceso a la relavera.- De acuerdo a la alternativa propuesta en el proyecto (ver 3.2.4) se debe realizar la apertura de la vía de acceso a la relavera previo a la construcción de la misma, la cual, servirá para el ingreso de materiales de construcción, así como también de equipos y maquinaria que se utilizarán durante la ejecución y operación del proyecto.



Finalmente se construirá el depósito de relaves y las obras hidráulicas complementarias para su protección de acuerdo al siguiente detalle:

1. Limpieza y desbroce de la zona de construcción.
2. Replanteo manual y con equipo topográfico del muro de tierra y de las obras hidráulicas complementarias de protección.
3. Excavación a máquina para la colocación de la tubería del colector de la quebrada El Salado.
4. Colocación de tubería de PVC D = 1 m, para el colector de la quebrada El Salado, construcción de las cajas de cambio de dirección de la tubería y construcción de los vertederos morning glory a lo largo del colector (4 en total).
5. Construcción del desarenador.
6. Construcción de canales de coronación.
7. Colocación de ármico pp 100 mm D = 2,40 m en el tramo de tubería que estará ubicada debajo del muro (se coloca el ármico para efectos de mantenimiento de este tramo de tubería).
8. Realización del terraplén a la cota de cimentación, para la construcción del muro de arranque con material de préstamo impermeable debidamente compactado en capas de 20 cm de acuerdo a las especificaciones técnicas del MOP.
9. Revestimiento del interior de la relavera con geosintético para impermeabilizarla y de esta manera impedir las filtraciones de agua con metales pesados disueltos en el suelo, así como también el ingreso de agua al muro, la cual puede disminuir su estabilidad.
10. Colocación de hidrociclones en la corona del muro, para separación de la porción gruesa de los relaves, la cual servirá para el recrecimiento del muro, debidamente compactado por capas.
11. Cerramiento del perímetro de la relavera, para impedir el ingreso de personas o animales, ya que, pueden ser afectados por los metales pesados presentes en el material de relave.

12. Colocación de señalización de transporte y de precaución.

13. Transporte de relaves desde las plantas de beneficio hasta el depósito.

Actividad	Tiempo en meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apertura de la vía de acceso a la relavera	■	■	■									
Limpieza y desbroce zona de construcción				■								
Replanteo del muro de tierra y obras hidráulicas complementarias de protección				■								
Excavación a máquina para colocación de colector					■	■	■					
Colación de colector d = 1 m, incluye cajas de cambio de dirección H° 210 Kg/cm2 y anclajes cada 20 m					■	■	■					
Colocación de vertederos Morning Glory					■	■	■					
Construcción del desarenador					■	■	■					
Construcción de canales de coronación					■	■	■					
Colocación de ármico pp 100mm d = 2,40m								■	■			
Terraplén para dique de arranque								■	■	■		
Construcción de dique de arranque								■	■	■	■	
Colocación de geomembrana									■	■	■	■
Instalación de hidrociclones												■
Colocación de cerramiento perimetral												■
Colocación de letreros de señalización												■

Tabla 3.29: Cronograma de actividades para la construcción de la relavera
Fuente: El autor

3.4. Presupuesto referencial de la obra

El presupuesto referencial de la obra se lo realizó en base a los precios de los materiales y alquiler de equipos de mayo de 2009 (inec) en el lugar de la obra y el costo de mano de obra publicado por la contraloría en enero de 2009.

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
PMPZ-001	LIMPIEZA Y DESBROCE MANUAL DEL TERRENO	m ²	10000,00	1,32	13200,00
PMPZ-002	REPLANTEO Y NIVELACIÓN (TUBERIA DE DESCARGA, CANALES Y ZANJA)	Km	3,44	373,26	1284,01
PMPZ-003	REPLANTEO Y NIVELACIÓN (DESARENADOR)	m ²	185,00	1,28	236,80
PMPZ-004	EXCAVACIÓN A MAQUINA SIN CLASIFICAR	m ³	1500,00	1,00	1500,00
PMPZ-005	EXCAVACIÓN A MANO	m ³	1418,10	7,90	11202,99
PMPZ-006	REPLANTEO MANUAL PARA DIQUES	m ²	8932,00	0,66	5895,12
PMPZ-007	RELLENO COMPACTADO A MÁQUINA CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO (DIQUE DE ARRANQUE)	m ³	176157,00	8,56	1507903,92

PMPZ-008	RELLENO COMPACTADO EN CAPAS DE 20 cm DE ESPESOR (TUBERIA)	m ³	4441,67	12,58	55876,17
PMPZ-009	ENROCADO PARA DRENAJES DE DIQUE	m ³	17471,00	23,44	409520,24
PMPZ-010	REPLANTILLO DE HORMIGÓN SIMPLE f _c =180 Kg/cm ²	m ³	250,00	130,46	32615,00
PMPZ-011	HORMIGÓN SIMPLE f _c =210 Kg/cm ² (CANALES, RÁPIDAS Y DESARENADOR)	m ³	1279,00	207,62	265545,98
PMPZ-012	HORMIGÓN SIMPLE f _c =240 kg/cm ² (POZOS)	m ³	29,33	235,72	6914,45
PMPZ-013	ACERO DE REFUERZO f _y =4200 Kg/cm ²	Kg	3185,00	2,20	7007,00
PMPZ-014	ACERO ESTRUCTURAL (VERTEDERO MORNING GLORY)	Kg	6814,76	3,27	22284,27
PMPZ-015	TUBERIA NOVALOC D1035 mm x 6m SERIE 3	mL	410,00	121,51	49819,10
PMPZ-016	CODO DE ACERO PARA TUBERIA PVC 1035mm x 45 °	U	4,00	176,26	705,04
PMPZ-017	ÁRMICO D: 2.4m	mL	410,00	395,83	162290,30
PMPZ-018	TRANSPORTE DE RELAVE	m ³ *Km	264500,00	0,35	92575,00
PMPZ-019	GEOMEMBRANA (UN AÑO DE PROYECCIÓN)	m ²	33077,00	7,02	232200,54
PMPZ-020	PROTECCIÓN CON MALLA ELECTROSOLDADA (VERTEDERO)	m ²	77,00	42,07	3239,39
PMPZ-021	HORMIGÓN CICLOPEO f _c =180Kg/cm ² (SOPORTE DE TUBERIA DE DESCARGA Y MURO DE ALA)	m ³	74,01	194,47	14393,24
PMPZ-022	CERRAMIENTO CON MALLA (h = 2.0 m)	mL	2763,55	32,25	89124,42
PMPZ-023	PUERTA DE HIERRO DOBLE BATIENTE, DOBLE HOJA a = 1.4m	m ²	5,00	67,89	339,45
PMPZ-024	SEÑALIZACIÓN (LETREROS)	U	20,00	52,53	1050,60
PMPZ-025	IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	U	1,00	300,00	300,00
				TOTAL	2'973823,03

Tabla 3.30: Cuadro de cantidades de obra y precios
Fuente: Ing. Stalin Angamarca (Laboratorios UCG – UTPL), el autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Las actividades mineras son el principal contaminante de las aguas de los ríos Calera y Amarillo, presentando altos contenidos de metales pesados (concentraciones de Hg de 1650 ppm y Pb de 8350 ppm), cifras que sobrepasan los límites permisibles de calidad ambiental descritos en el TULAS.
- La mayor parte de planta de beneficio de minerales son artesanales y no cuentan con los medios necesarios para realizar un tratamiento eficiente de relaves, por lo que éstos son descargados directamente a los ríos, contaminando sus aguas.
- Las plantas de beneficio de minerales se encuentran ubicadas principalmente en dos sectores El Pache 31 plantas y El Salado 49 plantas.
- El sector de El Tablón presta las mejores condiciones para la construcción y funcionamiento del depósito de relaves por su cercanía a las plantas de beneficio de minerales, capacidad de almacenaje y menor impacto ambiental a los habitantes y flora y fauna del sector.
- El área de implantación del proyecto es de 15,63 ha.
- En el área de estudio existen dos zonas geológicas perfectamente marcadas con presencia de suelos tipo arcilla arenosa de color rojo SC (Zona A) y suelo tipo arena arcillosa color café claro SC (Zona B); encontrando el estrato rocoso a partir de 5 metros de profundidad de acuerdo a los ensayos de suelos y geofísica.
- La quebrada existente en la zona de estudio presenta un caudal apreciable solo en temporada lluviosa ($3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ de enero a abril), lo que hace que se requiera diseñar obras hidráulicas que permitan drenar el agua durante el periodo de crecidas, para asegurar la estabilidad del muro.
- La profundidad de cimentación se establece a 5 metros, a este nivel se encuentra el estrato rocoso.



- Existen dos tipos de unidades geomorfológicas: U.G. acolinada (cumbres de la parte alta de la cuenca, pendientes entre 15% y 30%) y U.G. de planicie (Zonas bajas junto a la quebrada El Salado, pendientes entre 5% y 15%).
- El método constructivo aguas abajo es el más eficiente, debido a que presente factores de seguridad superiores a los conseguidos por medio de otros métodos constructivos ($F.S._{volteo} = 80,79$; $F.S._{deslizamiento} = 3,55$; Asentamientos máximos = 0,064 m).
- Los taludes de diseño para el dique principal de la relavera son de 1:3 aguas abajo y 1:1,5 aguas arriba; con los cuales se obtiene condiciones de estabilidad en el muro.
- La capacidad final de la relavera será de 2'946 175 m³ lo que equivale a una vida útil del depósito de 15 años, el diseño final del dique principal puede verse en la tabla 3.16.
- Existe un déficit de material de relave grueso para conformar el dique durante los 5 primeros años de operación del depósito.
- Los asentamientos presentados debido a la presencia del dique en la zona son mínimos, $\delta = 0.064$ m.
- Los canales de coronación están ubicados 2 metros sobre la cota máxima de llenado, para impedir el ingreso de aguas procedentes de escorrentía superficial de las partes altas de la microcuenca.
- Es necesario la construcción de un dren central tipo chimenea en el dique como medida de protección para captar las aguas que logren ingresar en él, y así evitar que causen licuación del suelo que conforma el muro.
- La frecuencia de recorridos para la recolección de relaves en las plantas de beneficio de minerales es de 16 recorridos diarios en el sector El Pache y de 17

para el sector El Salado. Las volquetas recolectoras tienen una capacidad de 12 m³, se utilizará dos para el sector de El Pache y tres para el sector de El Salado.

- El precio de construcción del depósito de relaves, sin incluir el costo de apertura de la vía es de US\$ 2'973 823,03 (Dos millones novecientos setenta y tres mil ochocientos veinte y tres U.S. dólares con tres centavos).
- La construcción del depósito se la ha planificado para un año de acuerdo al cronograma propuesto en el presente trabajo.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener la vegetación existente en la zona de construcción de la relavera, ya que esta ayuda a mejorar la estabilidad de los taludes, los cuales están compuestos por suelos que se tornan muy inestables con la presencia de agua.
- Con la elevación de la cota máxima de llenado en 10 m, se podría incrementar la vida útil de la relavera de 15 a 23 años, sin embargo es necesario realizar algunas obras complementarias como diques secundarios en las partes altas de la microcuenca y muros de gaviones al pie del dique principal.
- Para la conformación del dique de arranque se puede utilizar una mezcla de los suelos existentes en el sector (60% suelo café claro y 40% suelo rojizo), debido a que esta mezcla presenta baja permeabilidad.
- Se recomienda compactar el suelo que conformará el dique de arranque en capas de no más de 20 cm de espesor de acuerdo a las normas propuestas por el MOP, al 95 % de su densidad seca máxima, con el contenido de humedad óptimo (parámetros determinados a través del ensayo de compresión simple).
- Se recomienda dejar una altura de seguridad mínima (1,5 m a 2 m) entre la superficie de los relaves y la cota de la corona del dique, para evitar que éstos sean transportados por el viento.

ANEXOS



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARU

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 1

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 1

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: (0.5 - 1.0) m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		206,56 182,41	188,34 165,78	68,47 62,53	15,20 16,11	15,65
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 26 35	77,82 76,24 82,49 77,45	73,37 71,61 78,16 72,56	65,52 63,40 70,41 63,68	56,69 56,39 55,87 55,07	55,90
3.- LÍMITE PLÁSTICO		11,60 15,37	11,38 15,08	10,58 14,04	27,50 27,88	27,69

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 506,03 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 506,03

GRAVA 0
ARENA 51
FINOS 49

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4		0	100
No. 10	4,39	1	99
No. 40	134,04	26	74
No. 200	258,09	51	49

LL = 56,00
LP = 28,00
IP = 28,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : CH

AASHTO: A-7-6

IG(86): 10

IG(45): 10



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla d elevada plasticidad (CH)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L. - U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 1

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 2

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 2.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

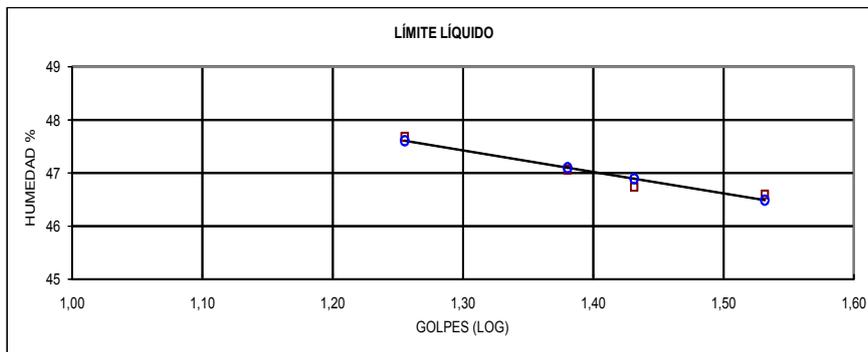
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		208,53 216,94	192,74 199,40	65,53 61,73	12,41 12,74	12,58
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 24 27 34	84,03 84,29 81,36 81,65	78,99 79,96 77,63 77,54	68,42 70,76 69,65 68,72	47,68 47,07 46,74 46,60	47,03
3.- LÍMITE PLÁSTICO		20,41 19,84	20,07 19,38	18,86 17,76	28,10 28,40	28,25

4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN
-------------------	-------------------

PESO IN= 505,31 (H/S) S	GRAVA 0
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 505,31	ARENA 51
	FINOS 49

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 47,00
1"	0,00	0	100	LP = 28,00
3/4"	0,00	0	100	IP = 19,00
1/2"	0,00	0	100	
3/8"	0,00	0	100	
No. 4	0,00	0	100	
No. 10	6,45	1	99	
No. 40	134,04	27	73	
No. 200	258,09	51	49	

CLASIFICACION
SUCS : SC
AASHTO: A-7-6
IG(86): 6
IG(45): 6



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 1

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 3

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 3.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		210,65 218,36	195,74 202,70	65,59 61,68	11,46 11,10	11,28
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 23 26 32	84,13 84,39 81,38 81,66	79,01 80,02 77,62 77,55	68,44 70,76 69,65 68,70	48,44 47,19 47,18 46,44	47,17
3.- LÍMITE PLÁSTICO		20,38 19,86	20,03 19,38	18,78 17,72	28,00 28,92	28,46

4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN
-------------------	-------------------

PESO IN= 506,03 (H/S) S	GRAVA 0
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 506,03	ARENA 52
	FINOS 48

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	
1"	0,00	0	100	LL = 47,00
3/4"	0,00	0	100	LP = 28,00
1/2"	0,00	0	100	IP = 19,00
3/8"	0,00	0	100	
No. 4	0,00	0	100	CLASIFICACION
No. 10	6,56	1	99	SUCS : SC
No. 40	143,80	28	72	AASHTO: A-7-6
No. 200	262,60	52	48	IG(86): 6
				IG(45): 6



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos de baja compresibilidad (A-7-6)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 1

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 4

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 4.0 m

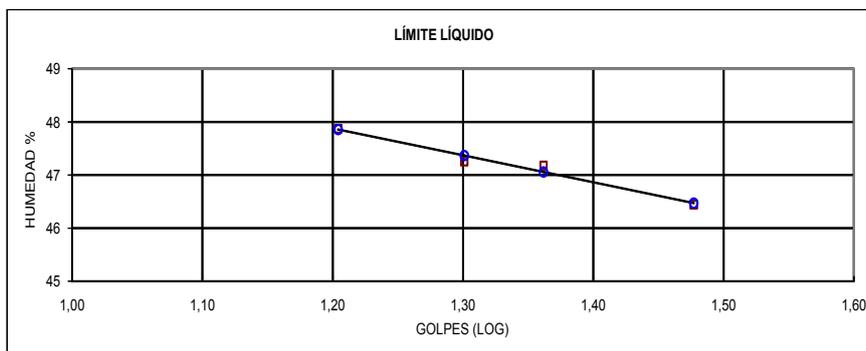
REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		206,62 228,43	195,74 214,74	65,58 61,64	8,36 8,94	8,65
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 20 23 30	84,10 84,43 81,38 81,66	79,03 80,04 77,62 77,55	68,44 70,75 69,65 68,70	47,88 47,26 47,18 46,44	46,87
3.- LÍMITE PLÁSTICO		20,34 19,89	19,96 19,38	18,65 17,67	29,01 29,79	29,40

4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN
-------------------	-------------------

PESO IN= 506,03 (H/S) S	GRAVA 0
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 506,03	ARENA 53
	FINOS 47

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	
1"	0,00	0	100	LL = 47,00
3/4"	0,00	0	100	LP = 29,00
1/2"	0,00	0	100	IP = 18,00
3/8"	0,00	0	100	
No. 4	0,00	0	100	CLASIFICACION
No. 10	7,02	1	99	SUCS : SC
No. 40	146,80	29	71	AASHTO: A-7-6
No. 200	268,60	53	47	IG(86): 5
				IG(45): 5



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG.

REGISTRO DE CALICATAS

NORMA . ASTM D1586, INEN 689

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

POZO: 1

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

PROFUNDIDAD: 4.00 M.

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

UBICADO:

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

REALIZADO: ING. A.T.

FECHA: 26-01-09

NIVEL FREÁTICO:

MUESTRA	PROF (m)	PER FIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOM.			LL %	IP %	w %	SUCS	ENSAYO C. simple		qad. Kg/cm2.
				G	S	F					ø	C (Kg/cm2.)	
	0.0-		Capa de suelo fino de color café oscuro (suelo orgánico), de un espesor de 25 cm.										
	0.0-		Capa de suelo fino de color café claro con motas rojizas, de un espesor de 0.80m, clasificado por la norma como arcilla de elevada plasticidad.	0	51	49	56	28	15,65	CH			
	1.0-												
	2.0-		Capa de suelo fino de color rojizo, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa, con un contenido de humedad bajo.	0	51	49	47	19	12,58	SC			
	3.0-		Capa de suelo fino de color rojizo, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa, con un contenido de humedad bajo.	0	52	48	47	19	11,28	SC	26°	0,4	
	4.0-		Capa de suelo fino de color rojizo, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa, con un contenido de humedad bajo.	0	53	47	47	18	8,65	SC			
	5.0-												
	6.0-												
	7.0-												
	8.0-												
	9.0-												

SPT	Penetración estándar
N	Número de golpes
qu	Compresión simple
w%	Contenido de humedad
R	Rechazo del ensayo de S.P.T.

OBSERVACIONES: Para la conformación del dique se utilizara materiales del sector en lo posible mezclas de suelo rojo con el suelo de café claro. Este estrato esta conformado por un solo tipo de material de arena fina arcillosa de color rojo que esta completamente alterado tiene un espesor aproximado de 10m, por debajo de este estrato se presenta la roca intrusiva poco alterada.

Ing. Ángel Tapia Chávez
RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIOS



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 2

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

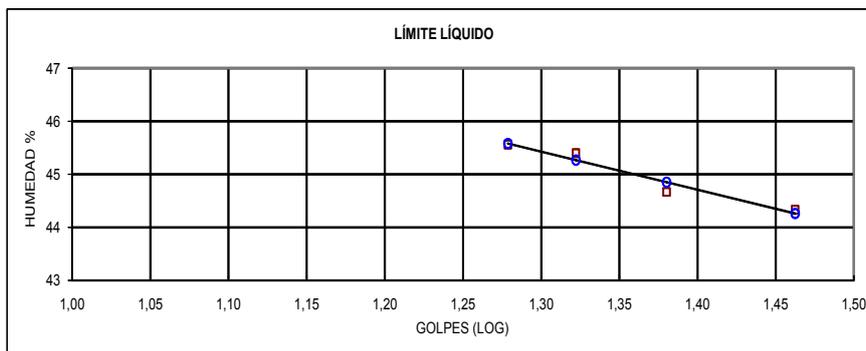
MUESTRA: 1

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 1.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		223,87 201,15	204,49 184,23	70,73 66,76	14,49 14,40	14,45
2.- LÍM. LÍQUIDO	19 21 24 29	80,76 79,79 80,13 79,59	77,63 76,24 76,61 76,54	70,76 68,42 68,73 69,66	45,56 45,40 44,67 44,33	44,72
3.- LÍMITE PLÁSTICO		18,52 19,12	18,33 18,93	17,73 18,32	31,67 31,15	31,41
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 504,10 (H/S)		S		GRAVA		0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		504,10		ARENA		35
				FINOS		65
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 45,00		
1"	0,00	0	100	LP = 31,00		
3/4"	0,00	0	100	IP = 14,00		
1/2"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : ML AASHTO: A-7-5 IG(86): 9 IG(45): 8		
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	5,73	1	99			
No. 40	106,00	21	79			
No. 200	174,34	35	65			



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos de compresibilidad media (ML)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 2

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 2

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 2.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		184,57 171,45	164,80 153,86	67,85 66,74	20,39 20,19	20,29
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 24 27	83,42 82,36 81,52 78,78	79,30 78,43 78,20 75,44	70,25 69,72 70,71 67,84	45,52 45,12 44,33 43,95	44,27
3.- LÍMITE PLÁSTICO		6,89 7,11	6,71 6,94	5,88 6,15	21,69 21,52	21,60

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 504,68 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 504,68

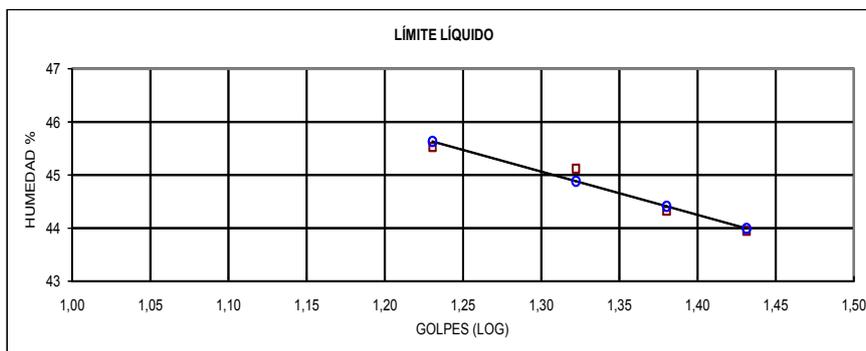
GRAVA 0
ARENA 23
FINOS 77

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	7,40	1	99
No. 40	80,42	16	84
No. 200	116,85	23	77

LL = 44,00
LP = 22,00
IP = 22,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : CL
AASHTO: A-7-6
IG(86): 17
IG(45): 14



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcillas de baja plasticidad (CL)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 2

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 3

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 3.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		172,81 191,39	157,50 175,34	56,47 68,75	15,15 15,06	15,11
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 21 24 27	82,12 83,64 68,92 74,12	78,57 80,70 65,70 71,70	68,85 72,46 56,48 64,57	36,52 35,68 34,92 33,94	34,54
3.- LÍMITE PLÁSTICO		21,89 22,74	21,20 22,23	18,08 19,97	22,12 22,57	22,34

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 502,45 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 502,45

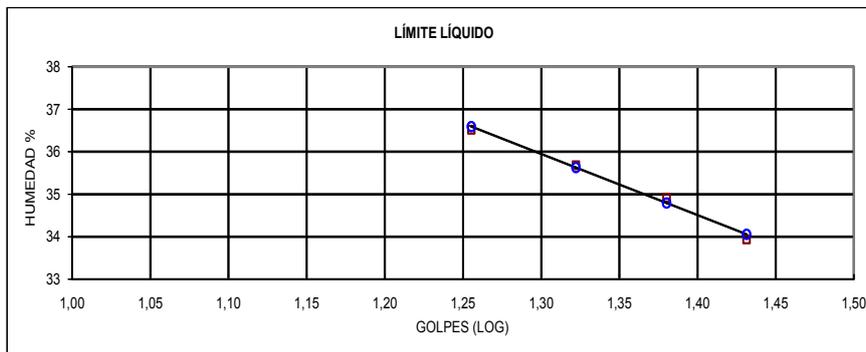
GRAVA 0
ARENA 38
FINOS 62

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	8,59	2	98
No. 40	115,08	23	77
No. 200	190,74	38	62

LL = 35,00
LP = 22,00
IP = 13,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : CL
AASHTO: A-6
IG(86): 7
IG(45): 7



CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla de plasticidad media (CL)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 2

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 4

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 4.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		242,29 244,48	209,62 212,31	65,18 70,42	22,62 22,67	22,65
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 19 22 25	81,84 84,26 68,27 78,24	78,34 81,13 65,20 74,75	68,81 72,45 56,46 64,55	36,73 36,06 35,13 34,22	34,33
3.- LÍMITE PLÁSTICO		21,99 22,63	21,26 22,16	18,03 20,00	22,60 21,76	22,18

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 506,03 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 506,03

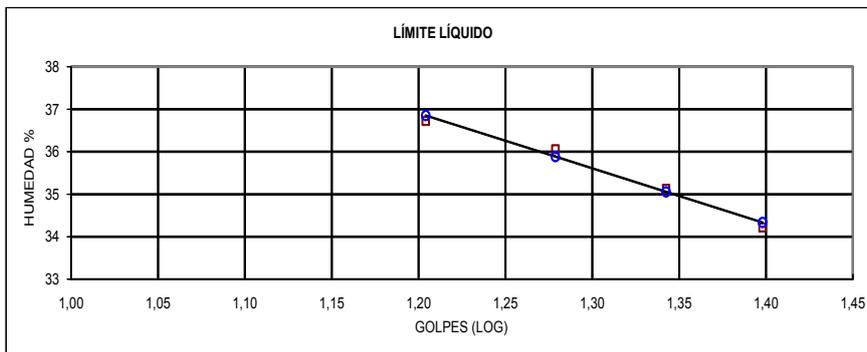
GRAVA 0
ARENA 86
FINOS 14

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	34,70	7	93
No. 40	331,35	65	35
No. 200	434,66	86	14

LL = 34,00
LP = 22,00
IP = 12,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA

LABORATORIOS UCG.

REGISTRO DE CALICATAS

NORMA . ASTM D1586, INEN 689

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA
 OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES
 LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN
 SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO
 FECHA: 26-01-09

POZO: 2
 PROFUNDIDAD: 4.0 M.
 UBICADO: AL PIE DE LA QUEBRADA MARGEN IZQ.
 REALIZADO: ING. A.T.
 NIVEL FREÁTICO:

MUES	PROF (m)	PER FIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOM.			LL %	IP %	w %	SUCS	ENSAYO C. simple		gad. Kg/cm2.
				G	S	F					Ø	C (Kg/cm2.)	
	0.0-		Capa de suelo limoso de color negro (suelo orgánico), de un espesor de 30cm.										
	1.0-		Capa de suelo fino de color café claro con motas rojas, de un espesor de 0.80m, clasificado por la norma como limos de compresibilidad media.	0	35	65	45	14	14,45	ML			
	2.0-		Capa de suelo fino de color café oscuro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arcillas inorganicas de plasticidad media. Nivel freático a la profundidad de 2.30m.	0	23	77	44	22	20,29	CL			
	3.0-		Capa de suelo fino de color café oscuro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arcillas inorganicas de plasticidad media.	0	38	62	35	13	15,11	CL			
	4.0-		Capa de suelo arenoso de color agris oscuro, de un espesor de 1.0m, se presenta saturado por la presencia del nivel freático, clasificado por la norma como arcilla arenosa, bajo esta capa aflora la roca intrusiva que esta poco alterada.	0	86	14	34	12	22,65	SC			
	5.0-		ESTRATO DE ROCA INTRUSIVA ALTERADA.										
	6.0-												
	7.0-												
	8.0-												
	9.0-												

SPT Penetración estándar
 N Número de golpes
 qu Compresión simple
 w% Contenido de humedad
 R Rechazo del ensayo de S.P.T.

OBSERVACIONES: Para la conformación del dique se utilizara materiales del sector en lo posible mezclas de suelo rojo con el suelo de cafe claro.
 Este estrato tiene un espesor aproximadamente de 5.0m, por debajo de estas capas se presenta el estrato de roca intrusiva poco alterada.

Ing. Ángel Tapia Chávez
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIOS



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 3

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 1

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 1.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		223,32 149,80	212,67 144,10	70,25 63,72	7,48 7,09	7,28
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 20 24 30	79,09 87,56 75,68 75,78	75,64 83,84 72,29 72,35	65,47 72,61 61,84 61,26	33,92 33,13 32,44 30,93	31,99
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15,91 19,49	15,69 19,08	14,47 16,89	18,03 18,72	18,38

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 504,85 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 504,85

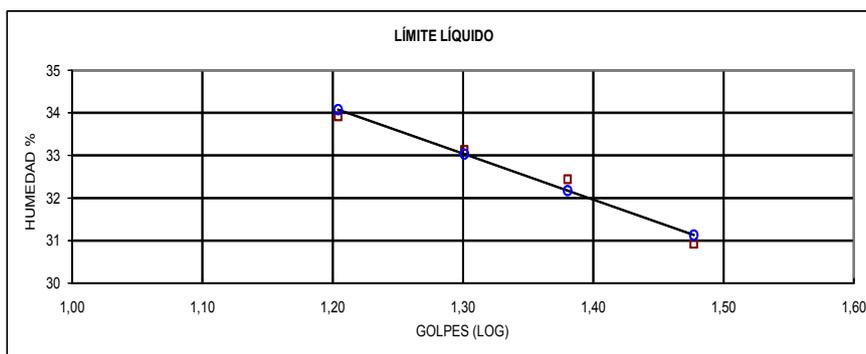
GRAVA 0
ARENA 78
FINOS 22

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	17,82	4	96
No. 40	220,48	44	56
No. 200	394,91	78	22

LL = 32,00
LP = 18,00
IP = 14,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 3

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 2

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 2.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1.CONTENIDO DE AGUA		197,90 198,70	187,66 187,75	69,74 68,82	8,68 9,21	8,95
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 20 24 27	75,09 79,93 73,27 88,13	71,75 76,36 70,43 84,35	61,71 65,35 61,62 72,50	33,27 32,43 32,24 31,90	32,06
3.- LÍMITE PLÁSTICO		24,35 16,51	23,63 16,16	20,17 14,46	20,81 20,59	20,70

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 505,59 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 505,59

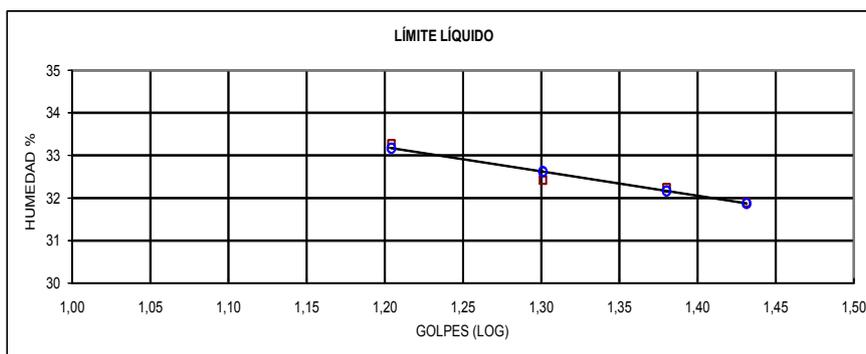
GRAVA 0
ARENA 86
FINOS 14

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	28,66	6	94
No. 40	282,41	56	44
No. 200	437,06	86	14

LL = 32,00
LP = 21,00
IP = 11,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 3

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 3

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 3.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		171,78 193,03	164,26 183,51	64,66 61,64	7,55 7,81	7,68
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 20 24 27	75,10 79,98 73,37 87,40	71,75 75,94 70,59 83,85	62,56 64,58 62,63 73,46	36,45 35,56 34,92 34,17	34,60
3.- LÍMITE PLÁSTICO		24,53 17,34	23,84 16,86	20,34 14,54	19,71 20,69	20,20

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 504,52 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 504,52

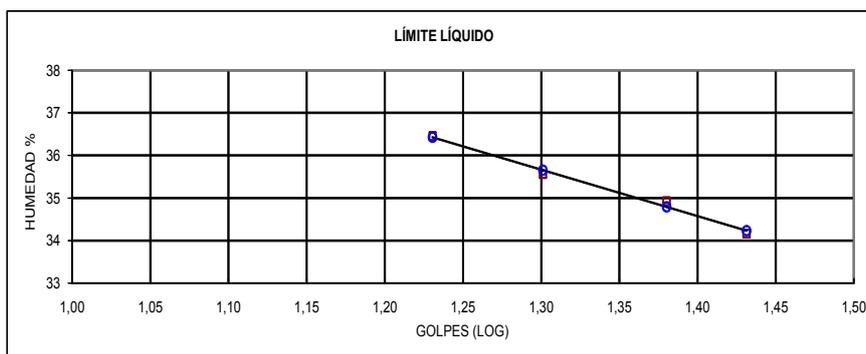
GRAVA 0
ARENA 89
FINOS 11

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	47,04	9	91
No. 40	301,65	60	40
No. 200	450,59	89	11

LL = 35,00
LP = 20,00
IP = 15,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 3

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 4

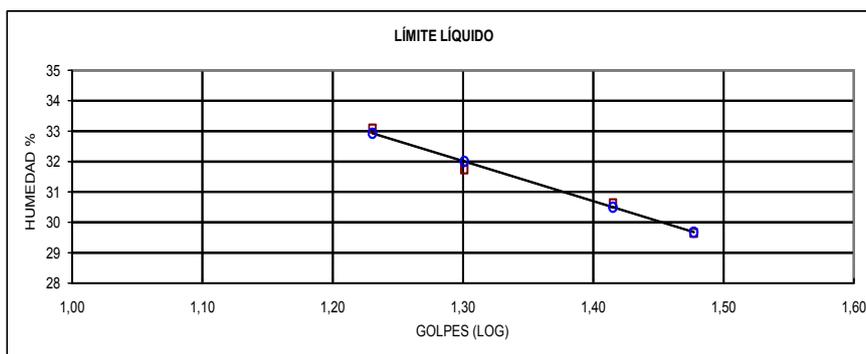
FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 4.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1.CONTENIDO DE AGUA		200,56	191,86	64,86	6,85	6,43
		204,56	196,51	62,34	6,00	
2.- LÍM. LÍQUIDO	17	77,89	74,78	65,38	33,09	30,72
	20	88,49	84,64	72,51	31,74	
	26	74,47	71,49	61,76	30,63	
	30	74,61	71,55	61,23	29,65	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		15,91	15,69	14,47	18,03	18,38
		19,49	19,08	16,89	18,72	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	503,65	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			503,65	ARENA	84
				FINOS	16
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL =	31,00
1"	0,00	0	100	LP =	18,00
3/4"	0,00	0	100	IP =	13,00
1/2"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN	
3/8"	0,00	0	100	SUCS :	SC
No. 4	0,00	0	100	AASHTO:	A-2-6
No. 10	52,34	10	90	IG(86):	0
No. 40	297,87	59	41	IG(45):	0
No. 200	420,76	84	16		



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG.

REGISTRO DE CALICATAS

NORMA . ASTM D1586, INEN 689

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA
 OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES
 LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN
 SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO
 FECHA: 26-01-09

POZO: 3
 PROFUNDIDAD: 4.0 M.
 UBICADO: PIE DE TALUD M. DER.
 RESPECTO AL NORTE
 REALIZADO: ING. A.T.
 NIVEL FREÁTICO:

MUESTRA	PROF. (m)	PER FIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOM.			LL %	IP %	w %	SUCS	ENSAYO C. simple		quad. Kg/cm2.
				G	S	F					Ø	C (Kg/cm2.)	
	0.0-		Capa de suelo fino de color negro (suelo orgánico), de un espesor de 20cm.										
	1.0-		Capa de suelo fino de color café claro, de un espesor de 0.80m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	78	22	32	14	7.28	SC			
	2.0-		Capa de suelo fino de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	86	14	32	11	8.95	SC			
	3.0-		Capa de suelo fino de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	89	11	35	15	7.68	SC			
	4.0-		Capa de suelo fino de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	84	16	31	13	6.43	SC			
	5.0-												
	6.0-												
	7.0-												
	8.0-												
	9.0-												

SPT Penetración estándar
 N Número de golpes
 qu Compresión simple
 w% Contenido de humedad
 R Rechazo del ensayo de S.P.T.

OBSERVACIONES: Para la conformación del dique se utilizara materiales del sector en lo posible mezclas de suelo rojo con el suelo de cafe claro.
 Este estrato esta conformado por un solo tipo de material de arena fina arcillosa de color café claro que esta completamente alterado
 tiene un espesor aproximado de 10m, por debajo de este estrato se presenta la roca intrusiva poco alterada.

Ing. Ángel Tapia Chávez
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIOS



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 4

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 1

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 1.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		187,28 248,16	181,50 238,75	68,79 70,72	5,13 5,60	5,36
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 23 27 34	87,95 86,30 79,37 76,77	83,87 82,70 75,77 73,46	72,42 72,50 65,36 63,68	35,63 35,29 34,58 33,84	34,82
3.- LÍMITE PLÁSTICO		64,70 70,46	64,11 70,14	61,71 68,80	24,58 23,88	24,23

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 505,60 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 505,60

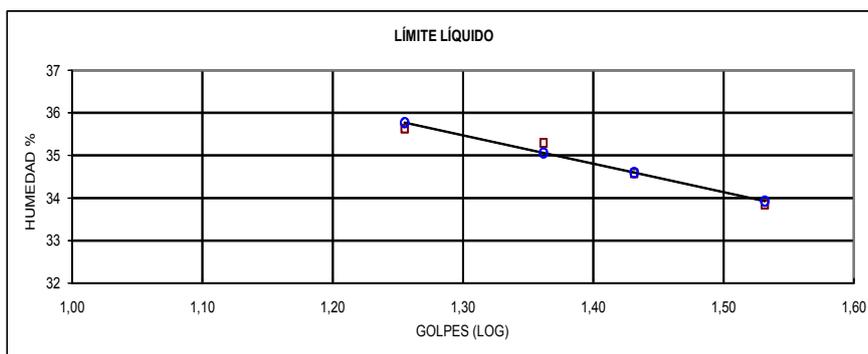
GRAVA 0
ARENA 79
FINOS 21

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	15,78	3	97
No. 40	233,61	46	54
No. 200	399,51	79	21

LL = 35,00
LP = 24,00
IP = 11,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 4

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 2

FECHA: 26-01-09

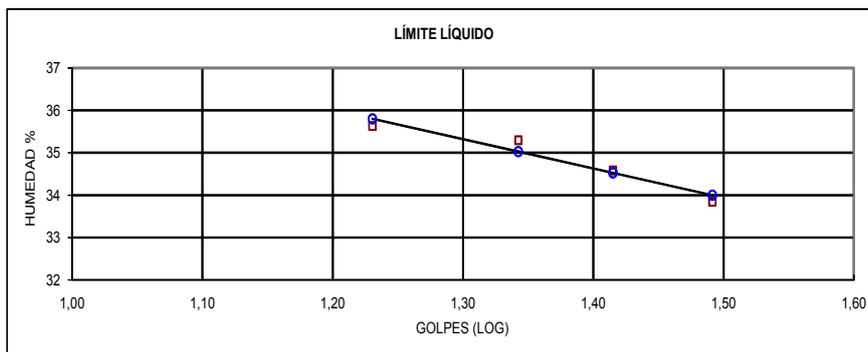
PROFUNDIDAD: 2.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		385,42 305,31	372,32 295,07	151,45 114,53	5,93 5,67	5,80
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 22 26 31	87,95 86,30 79,37 76,77	83,87 82,70 75,77 73,46	72,42 72,50 65,36 63,68	35,63 35,29 34,58 33,84	34,64
3.- LÍMITE PLÁSTICO		64,78 70,86	64,20 70,31	61,72 67,98	23,39 23,61	23,50

4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN
PESO IN= 505,76 (H/S) S	GRAVA 0
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 505,76	ARENA 83
	FINOS 17

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	
1"	0,00	0	100	LL = 35,00
3/4"	0,00	0	100	LP = 23,00
1/2"	0,00	0	100	IP = 12,00
3/8"	0,00	0	100	
No. 4	0,00	0	100	CLASIFICACION
No. 10	45,46	9	91	SUCS : SC
No. 40	298,68	59	41	AASHTO: A-2-6
No. 200	420,90	83	17	IG(86): 0
				IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 4

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 3

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 3.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		278,78	265,34	112,50	8,79	8,68
		384,35	365,88	150,39	8,57	
2.- LÍM. LÍQUIDO	15	83,87	80,28	70,27	35,86	34,51
	19	81,64	78,06	67,85	35,06	
	25	86,99	82,83	70,71	34,32	
	33	83,84	80,25	69,69	34,00	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		9,28	8,67	6,16	24,30	23,87
		7,47	7,17	5,89	23,44	

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 505,05 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 505,05

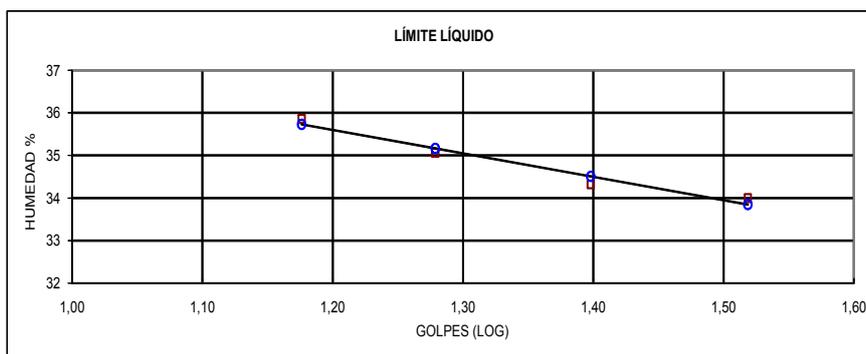
GRAVA 0
ARENA 81
FINOS 19

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	17,22	3	97
No. 40	263,05	52	48
No. 200	406,93	81	19

LL = 35,00
LP = 24,00
IP = 11,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-6
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

POZO: 4

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 4

FECHA: 26-01-09

PROFUNDIDAD: 4.0 m

REALIZADO: ING. A.T.

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1.CONTENIDO DE AGUA		314,47 251,33	297,91 239,02	84,37 75,03	7,75 7,51	7,63
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 19 24 27	85,61 82,67 82,81 87,47	81,39 79,00 79,23 83,28	69,65 68,42 68,71 70,76	35,95 34,69 34,03 33,47	33,77
3.- LÍMITE PLÁSTICO		8,67 8,60	8,13 8,07	6,12 6,15	26,87 27,60	27,23

4.- GRANULOMETRÍA

5.- CLASIFICACIÓN

PESO IN= 504,41 (H/S) S
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 504,41

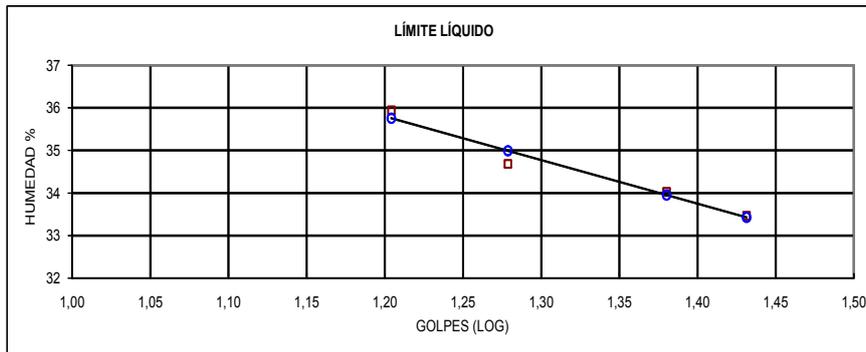
GRAVA 0
ARENA 77
FINOS 23

TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA
1"	0,00	0	100
3/4"	0,00	0	100
1/2"	0,00	0	100
3/8"	0,00	0	100
No. 4	0,00	0	100
No. 10	17,14	3	97
No. 40	248,01	49	51
No. 200	390,89	77	23

LL = 34,00
LP = 27,00
IP = 7,00

CLASIFICACIÓN

SUCS : SC
AASHTO: A-2-4
IG(86): 0
IG(45): 0



CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIOS UCG.

REGISTRO DE CALICATAS

NORMA . ASTM D1586, INEN 689

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA
 OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES
 LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN
 SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO
 FECHA: 26-01-09

POZO: 4
 PROFUNDIDAD: 4.0 M.
 UBICADO: PARTE ALTA DE LA LOMA
 RESPECTO AL NORTE
 REALIZADO: ING. A.T.
 NIVEL FREÁTICO:

MUESTRA	PROF. (m)	PER FIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOM.			LL %	IP %	w %	SUCS	ENSAYO Triaxial		qad. Kg/cm2.
				G	S	F					Ø	C (Kg/cm2)	
	0.0-		Capa de suelo fino de color negro (suelo orgánico), de un espesor de 40cm.										
	1.0-		Capa de suelo arenoso de color café claro, de un espesor de 0.80m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	79	21	35	11	5,36	SC			
	2.0-		Capa de suelo arenoso de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	83	17	35	12	5,8 8,95	SC			
	3.0-		Capa de suelo arenoso de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	81	19	35	11	8,68	SC	29°	0,2	
	4.0-		Capa de suelo arenoso de color café claro, de un espesor de 1.0m, clasificado por la norma como arena arcillosa.	0	77	23	34	7	7,63	SC			
	5.0-												
	6.0-												
	7.0-												
	8.0-												
	9.0-												

SPT Penetración estándar
 N Número de golpes
 qu Compresión simple
 w% Contenido de humedad
 R Rechazo del ensayo de S.P.T.

OBSERVACIONES: Para la conformación del dique se utilizara materiales del sector en lo posible mezclas de suelo rojo con el suelo de café claro. Este estrato esta conformado por un solo tipo de material de arena fina arcillosa de color café claro que esta completamente alterado tiene un espesor aproximado de 10m, por debajo de este estrato se presenta la roca intrusiva poco alterada.

Ing. Ángel Tapia Chávez
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE LABORATORIOS



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIO UCG

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (cabeza variable)

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

MUESTRA: 2 (Suelo café claro)

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

FECHA: 26-01-09

Datos del ensayo.

Diámetro de la muestra, (O) = 10,17 Área = 81,24 cm.

Altura (L) = 11,62 cm.

Peso del suelo + molde = 3582 gr.

Volumen = 944,02 cm³.

Peso del molde = 1933,7 gr.

W. Unitario = 1,746 gr/cm³

Peso del suelo = 1648,3 gr.

Ensayo N°	h1 (cm)	h2 (cm)	t seg	Q. inicial. cm3	Q. final. cm3	T C	Ensayo N°	h1 cm	h2 cm	t seg	T C
1	107,7	102,6	5340		4,5	19,2					
2											
3											
4											
Promedio								107,70	102,6	5340	19,2

Área de la tubería (a) = 1,12 cm.

$$nT/n20 = 0,99802$$

$$KT = (a \times L/At) \times \ln h1/h2 = 1,4553E-06 \text{ cm/seg}$$

$$K20 = KT \times nT/n20 = 1.45532 \times 10^{-6} \times 0.9 \text{ cm/seg}$$

$$K20 = 1,45242E-06 \text{ cm/seg}$$

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k20) = 1.45532×10^{-6} cm/seg.

CLASIFICACIÓN COMO : ARENA ARCILLOSA DE MUY BAJA PERMEABILIDAD

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO-MINERA
LABORATORIO UCG

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (cabeza variable)

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

SOLICITADO: H. CONSEJO PROVINCIAL DE EL ORO

MUESTRA: 1 (Suelo rojo)

FECHA: 26-01-09

Datos del ensayo.

Diámetro de la muestra, (O) = 10,17 Área = 81,24 cm.² Altura (L) = 11,62 cm.
Peso del suelo + molde = 3582 gr. Volumen = 944,02 cm³.
Peso del molde = 1933,7 gr. W. Unitario = 1,746 gr/cm³
Peso del suelo = 1648,3 gr.

Ensayo N°	h1 (cm)	h2 (cm)	t seg	Q. inicial. cm3	Q. final. cm3	T C	Ensayo N°	h1 cm	h2 cm	t seg	T C
1	107,7	100	2580		6,8	19,2					
2											
3											
4											
							Promedio	107,70	100	2580	19,2

Área de la tubería (a) = 1,12 cm.

$$nT/n20 = 0,99802$$

$$KT = (a \times L/At) \times \ln h1/h2 = 4,60588E-06 \text{ cm/seg}$$

$$K20 = KTx nT/n20 = 8.96967 \times 10^{-8} \times 0.99802 \text{ cm/seg}$$

$$K20 = 4,59676E-06 \text{ cm/seg}$$

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k20) = 8.9519x10⁻⁷ cm/seg.

CLASIFICACIÓN COMO : ARENA ARCILLOSA DE MUY BAJA PERMEABILIDAD

OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la U.T.P.L.- U.C.G.

Ing. Ángel Tapia Ch.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO



**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA
LABORATORIOS UCG**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR

INF-LAB-UCG-09-002

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO INTEGRADO DE RELAVES SECTOR PORTOVELO - ZARUMA

OBRA : DISEÑO DE DIQUES PARA RELAVES

NORMA : T 180-D

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

MUESTRA : (60% de suelo café claro y 40% de suelo rojo)

ABSCISA:

LOCALIZ.: POTOVELO - SECTOR TABLÓN

PROFUND.:

FECHA: 14-04-2008

REALIZADO: Ing. A.T.

NORMA ENSAYO:	T-99-A	
GOLPES/CAPA:	25	
No. DE CAPAS:	3	
PESO MARTILLO:	2,5	Kg.
ALT. DE CAÍDA:	30,5	cm.

DATOS DEL MOLDE	
DIÁMETRO:	10,18 cm.
ALTURA:	11,64 cm
VOLUMEN :	947 cm ³
PESO :	2.009 gramos

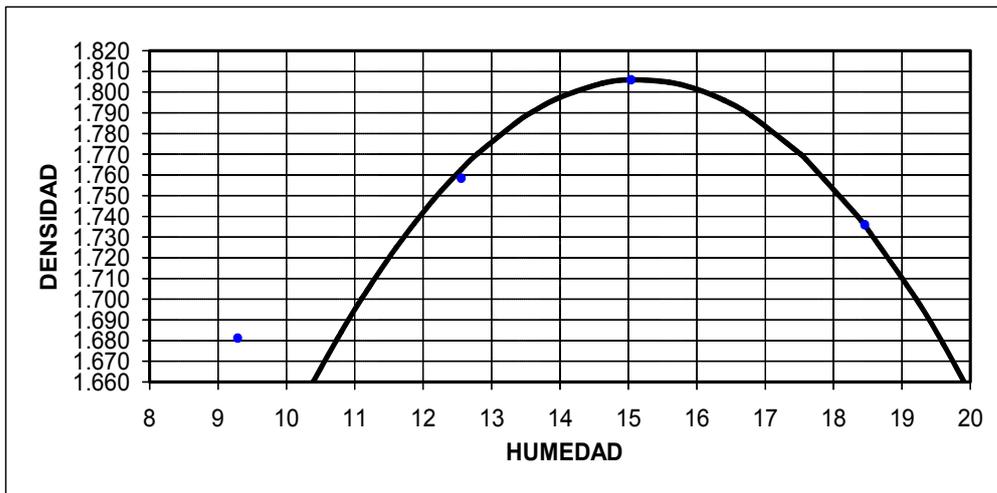
DATOS PARA LA CURVA:

PUNTO No.:	1	2	3	4
Peso comp.:	3.750	3.882	3.978	3.957
Peso suelo:	1.741	1.873	1.969	1.948
Dens. Hum :	1.838	1.977	2.079	2.056

CONTENIDOS DE HUMEDAD:

W. hum.:	384,87	354,11	349,90	333,41	351,03	342,34	384,51	378,42
W. seco:	358,15	329,40	318,50	303,77	314,03	306,22	334,72	329,26
W. caps:	70,70	64,51	66,71	64,67	68,79	66,65	65,07	62,53
w (%) :	9,30	9,33	12,47	12,40	15,09	15,08	18,46	18,43
promedio	9,31		12,43		15,08		18,45	
Dens. Seca:	1.681		1.759		1.806		1.736	

RESULTADOS: DENSIDAD SECA MAXIMA = 1.806 Kg/m³
CONT. DE AGUA OPTIMO = 15,15 %



OBSERVACIONES: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la UTPL -UCG.

Ing. Ángel Tapia Chávez
RESPONSABLE DEL ÁREA
DE LABORATORIO

ANEXO N # 2

DISEÑO DEL DREN PARA LA RELAVERA

DATOS GENERALES DE DISEÑO

Área de aporte del sistema : **19.66** ha. MATERIAL DE LA TUBERIA: PVC NOVALOC
 Coef. Manning : **0.009** para Tubería PVC DIAMETRO MINIMO NOMINAL: mm
 Tiem. Concentración Inicial (Tci) : **15** min Velocidad Máx.= ELEGID **7.00** m/s PVC
 Coef. Escurrimiento (C) : **0.4404** Velocidad Min.= **0.20** m/s PVC
 Periodo de Retorno (Tr) : **42** años Diámetro mínimo interno : mm
 Intensidad : **150** mm/h Relleno Mínimo = **2.00** m
 Constante para la fformula Q=CIA: **0.278025**

No. Tramo	De Pozo Abajo	Long. m	Area Parcial A (Km2)	Tiempo de Concent. Acum(min)	Coef. de Escurrim. C	Area eq. A * C	Intensid. mm/h	C.I.A q L / s	DIAM. NOMINAL mm	TUBERIA				Tiempo Flujo L/(60V) min.	Desniv. Tramo H (m)	COEF. Libre q/Q	v v/V m/s	COMPROB.		COTAS					OBSERV.		
										D mm	Pend. %	LLENA V (m/s)	Q(L/s)					Vel.	Diam.	Terreno	Pend. Terre.%	Proyecto	Pend. Proy.%	Salto			
1	1	20	0.197	15.00	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	19	6.01	4723.38	0.06	0.37	0.764	1.103	6.6334	SI	SI	719.776	43.86	711.376	1.86			inicio
	2																				711.004		711.004				
2	2	20	0.197	15.06	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	19	6.03	4735.95	0.06	0.37	0.762	1.103	6.6511	SI	SI	711.004	16.25	702.604	1.87	Salto		
	3																				707.753		702.231				
3	3	20	0.197	15.11	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	19	6.01	4723.38	0.06	0.37	0.764	1.103	6.6334	SI	SI	707.753	3.19	699.353	1.86	Salto		
	4																				707.116		698.981				
4	4	20	0.197	15.17	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	19	6.01	4723.38	0.06	0.37	0.764	1.103	6.6334	SI	SI	707.116	24.06	698.716	1.86	OK		
	5																				702.303		698.344				
5	5	20	0.197	15.22	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	19	6.03	4735.95	0.06	0.37	0.762	1.103	6.6511	SI	SI	702.303	28.53	693.903	1.87	Salto		
	6																				696.597		693.530				
6	6	20	0.197	15.28	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	21	6.44	5054.04	0.05	0.43	0.714	1.087	6.9948	SI	SI	696.597	28.47	691.330	2.13	Salto		
	7																				690.903		690.903				
7	7	20	0.197	15.33	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	21	6.38	5006.91	0.05	0.42	0.721	1.091	6.9551	SI	SI	690.903	10.59	689.203	2.09	Salto		
	8																				688.785		688.785				
8	8	140	0.197	15.38	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	21	6.41	5030.48	0.36	2.95	0.718	1.089	6.975	SI	SI	688.785	3.95	685.000	2.11	Salto		
	9																				683.248		682.048				
9	9	20	0.197	15.74	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	20	6.28	4933.87	0.05	0.41	0.732	1.094	6.8725	SI	SI	683.248	12.53	681.148	2.03	Salto		
	10																				680.742		680.742				
10	10	40	0.197	15.80	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	20	6.28	4933.87	0.11	0.81	0.732	1.094	6.8725	SI	SI	680.742	7.53	678.542	2.03	Salto		
	11																				677.731		677.731				
11	11	40	0.197	15.90	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	20	6.27	4922.09	0.11	0.81	0.733	1.094	6.8561	SI	SI	677.731	6.93	675.770	2.02	Salto		
	12																				674.960		674.960				
12	12	40	0.197	16.01	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	20	6.28	4933.87	0.11	0.81	0.732	1.094	6.8725	SI	SI	674.960	7.78	672.660	2.03	Salto		
	13																				671.849		671.849				
13	13	40	0.197	16.11	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	20	6.28	4933.87	0.11	0.81	0.732	1.094	6.8725	SI	SI	671.849	5.18	669.549	2.03	Salto		
	14																				669.779		668.739				
14	14	40	0.197	16.22	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	21	6.42	5042.26	0.10	0.85	0.716	1.089	6.9914	SI	SI	669.779	0.57	666.479	2.12	Salto		
	15																				669.550		665.633				
15	15	324.99	0.197	16.32	0.440	0.087	150.00	3610.16	1090	1000	21	6.41	5030.48	0.85	6.86	0.718	1.089	6.975	SI	SI	669.550	3.90	665.633	2.11	OK	dique	
	DESC																				656.873		658.773				

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Fundación Salud ambiente y desarrollo (FUNSAD). 2001.** La pequeña minería del oro: Impactos en el ambiente y la salud humana en la cuenca del río Puyango, sur del Ecuador.
- [2] **HRUSCHKA, F., SALINAS, C. 1996.** Estudio colectivo del impacto ambiental y plan de manejo ambiental para las plantas de beneficio mineral aurífero ubicadas en la vega del río Calera/Salado, CENDA – CONSUDE.
- [3] **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 1998.** Proyecto de desarrollo minero y control ambiental. Monitoreo ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador 1996 – 1998.
- [4] **RAMÍREZ MORANTE, Nelson. 2007.** Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves.
- [5] **DAS, Braja. 2006.** Principios de ingeniería de cimentaciones. Quinta edición.
- [6] **ASESORES Y CONSULTORES MINEROS S.A.** Estudio para el diseño del depósito de relaves proyecto Pichita – Caluga.
- [7] **DAS, Braja. 1993.** Fundamentos de ingeniería Geotecnia.
- [8] **LARA, José; BARRERA, Serio. 1998.** Presas de relaves con muros resistentes de arena. Experiencias de aplicación y posibilidades de uso en países andinos.
- [9] **SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA, CHILE. 2003.** Construcción y operación de tranques de relaves.
- [10] **ORDOÑEZ, Alberto. 1984.** Canchas de relaves de concentradoras mineras. Análisis de estabilidad de presas.
- [11] **BUREAU OF RECLAMATION. 1987.** Desing of smalldams. Thir edition.
- [12] **GUEVARA, M.** Estructuras hidráulicas. Embalses.
- [13] **REVISTA DE OBRAS HIDRÁULICAS. 1997. (N° 3371)** La transformación de aliviaderos auxiliares en pozo en desagües de medio fondo de gran capacidad.
- [14] **OÑATE, Fernando. 2008.** Informe hidrológico proyecto Zaruma Portovelo.
- [15] **ESCUELA DE GEOLOGÍA Y MINAS UTPL. 2008.** Informe geológico proyecto Zaruma – Portovelo.
- [16] **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. 2009.** Evaluación de Impacto Ambiental, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio.

- [17] APARICIO MIJARES, Francisco. 1987. Fundamentos de hidrología.
- [18] CHOW, Ven Te. 1994. Hidráulica de canales abiertos.
- [19] BENAVIDES, Holger. 2009. Apuntes de clase hidráulica III. Escuela de Ingeniería Civil UTPL.
- [20] BENAVIDES, Holger. 2008. Apuntes de clase Sanitaria IV. Escuela de Ingeniería Civil UTPL.
- [21] SOTELO. 1997. Hidráulica general.
- [22] KROCHIN, Sviatoslav. 1986. Diseño hidráulico.
- [23] LÓPEZ CUALLA, Ricardo A. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.
- [24] NOVAK, P., MOFFAT, A.I.B., NALLURI, C., NARAYAN. Estructuras hidráulicas. Segunda edición.
- [25] MATERÓN MUÑOZ, Hernán. Obras hidráulicas rurales.
- [26] VILLON, Máximo. Diseño de estructuras hidráulicas.
- [27] DAS, Braja. 1999. Principio de ingeniería de cimentaciones. Cuarta edición
- [28] MONSALVE, Germán. 1999. Hidrología en la ingeniería. Segunda edición.