Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

Diseño de estructuras hidráulicas para depósito de desmontes de Hualgayoc-Cajamarca

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Harold Omar RIVERA NUNURA

ASESOR

Edmundo Diógenes RENDÓN VÁSQUEZ

Lima, Perú

2008

Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rivera, H. (2008). *Diseño de estructuras hidráulicas para depósito de desmontes de Hualgayoc-Cajamarca*. Monografía Técnica para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Dedicatoria

A mis queridos padres Mercedes y Walter
por todo su apoyo constante y enseñanzas que
enriquecen mi vida, día a día.

Agradecimientos

Al Ing. Edmundo Rendón Vásquez, por la asesoría para el mejor desarrollo de la presente monografía.

A los ingenieros Saúl Horqque y Bernardino Salvador por sus consejos para la versión final de esta monografía.

A mis queridos amigos Fernando Inocente, Alexander Diaz y Corín Chauca por sus invalorables enseñanzas y concejos, quienes me brindaron todo su apoyo para la realización de la monografía.

A mis compañeros de trabajo ingenieros Daniel Loyaga y Miguel Zubiaur, por su apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A los ingenieros Luis Moreno y Cesar Moreno por su apoyo invalorable para la realización de este trabajo.

A todos mis amigos y familiares que contribuyeron de algún modo con su motivación y recomendaciones, a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PARA DEPOSITOS DE DESMONTES DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

INDICE GENERAL

1.0	RESUMEN DE LA MONOGRAFÍA	01
2.0	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	01
2.1	INTRODUCCIÓN	01
2.2	OBJETIVOS	02
3.0	PRESENTACIÓN DEL TEMA	03
4.0	PROBLEMÁTICA A RESOLVER	03
5.0	LA REGIÓN	03
5.1	ASPECTOS GENERALES	05
6.0	ACTIVIDAD MINERA	14
6.1	DESCRIPCIÓN	14
6.2	RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
6.3	SELECCIÓN DEL TIPO DE EXPLOTACIÓN	21
6.4	TRABAJOS EN LABORES SUBTERRÁNEAS	22
6.5	RECUPERACIÓN DEL MATERIAL ÚTIL	22
6.6	PROBLEMÁTICA DE LOS DESECHOS	24
7.0	TRATAMIENTO DEL PROBLEMA	24
7.1	ALTERNATIVAS DEL MANEJO DE RESIDUOS	25
7.2	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	28
7.3	SELECCIÓN EFECTUADA	30

8.0 INGENIERÍA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA 30

8.1 PROBLEMÁTICA A ATENDER 31

8.2 UBICACIÓN DEL DEPÓSITO 31

8.3 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 31

8.4 DISEÑO DE CANALES 45

8.5 COMPONENTE DE ESTUDIO: DEPÓSITO DE DESMONTES 51

9.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57

9.1 CONCLUSIONES 57

9.2 RECOMENDACIONES 58

10.0 BIBLIOGRAFÍA 59

ANEXOS 60

I. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 61

II. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS 64

III. ANÁLISIS DE AJUSTE DE BONDAD 68

IV. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD 69

V. SECCIÓN DE CANAL 74

VI. PLANOS 75

VII. ALBUM FOTOGRÁFICO 78

DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PARA DEPOSITOS DE DESMONTES DE HUALGAYOC – CAJAMARCA

1.0 RESUMEN DE LA MONOGRAFIA

En este trabajo se describen las características climáticas y hidrológicas, teniendo énfasis en una microcuenca, dentro de la que se encuentra ubicado el depósito de desmontes materia de este estudio, para el cual se elaboró el diseño de las estructuras hidráulicas (canales y sub-drenajes) requeridas para la estabilización hidrológica de este depósito, al momento del cierre. Este depósito de desmontes se encontrará conformado por material proveniente del desbroce minero que en contacto con el agua puede generar problemas físicos como cárcavas e inestabilidad.

La microcuenca de estudio se encuentra ubicada en la margen izquierda de la sub-cuenca del río Hualgayoc, en el distrito de Hualgayoc perteneciente al departamento de Cajamarca. Las obras propuestas en este informe se constituirán en las medidas de estabilización hidrológica para el cierre definitivo de este Depósito de Desmontes una vez que se haya completado su vida útil.

El diseño de estas medidas de estabilización busca garantizar que las obras de cierre definitivo consigan aislar el depósito de desmontes de los factores externos (clima, derrumbes, cárcavas, socavación, erosión, etc.) de manera que esta zona pueda tener un nuevo uso de manera segura.

2.0 INTRODUCCION Y OBJETIVOS

2.1 INTRODUCCION

Un depósito de desmontes es un componente minero, generados por la acumulación de los desechos, producto del desbroce, de las actividades de explotación minera, que pueden tener su origen en labores mineras subterráneas (bocaminas y chimeneas) o labores mineras superficiales (tajos abiertos y rajos).

El depósito de desmontes, materia de esta monografía se encontrará ubicado en el distrito de Hualgayoc – Cajamarca, corresponde a labores mineras a desarrollar y

estará expuesto al ambiente y a factores físicos que lo afectarán, destacando entre ellos: la precipitación (generadora de erosión en la superficie del depósito, arrastre de partículas hacia las quebradas inferiores), los vientos (generadores del traslado de las partículas más finas del depósito, contaminando zonas aledañas) y la sismicidad (generadora de derrumbes e inestabilidades en los taludes del depósito de desmontes).

Esta monografía analizará las características hidrológicas y fisiográficas de un sector del distrito de Hualgayoc, que sirvieron para realizar el diseño de las estructuras hidráulicas (canales y sub-drenes) requeridas para el cierre del depósito de desmontes, de manera que se consiga a largo plazo la Estabilidad Hidrológica de las obras de cierre.

2.2 OBJETIVOS

a) Generales

Determinar las características hidrológicas del área de estudio, mediante el análisis estadístico de los datos hidrológicos.

b) Específicos

Determinar los caudales que puede conducir la microcuenca de estudio y realizar el diseño de las obras de drenaje, requeridas para el cierre del depósito de desmontes, a nivel de factibilidad.

3.0 PRESENTACION DEL TEMA

Se denomina depósito de desmontes a la acumulación de material de desbroce (desmonte) al exterior de las labores mineras subterráneas (bocaminas). La estabilización del depósito de desmontes corresponde a obras de carácter físico, químico e hidrológico requerido para garantizar el cierre del depósito de desmontes.

Las obras de estabilización física corresponden a la conformación final del desmonte (muro principal, taludes y banquetas), en este caso por encontrarse en una zona de altas pendientes la estabilización se realizará de forma manual.

Las obras de estabilización química corresponden a la colocación de coberturas (capas de sustrato) sobre el depósito de desmontes ya estabilizado físicamente. Estas

capas de material son: impermeable en la capa más profunda, material permeable en la capa intermedia y material orgánico en la capa superficial. Esta cobertura permitirá el aislamiento del material (desmonte) de la geodinámica externa (generación de derrumbes y cárcavas)

Finalmente las obras de estabilización hidrológica, materia de este estudio, corresponden al diseño de las estructuras de captación del drenaje, tanto a nivel superficial (canales) como sub-superficial (dren francés y tubería colectora).

4.0 PROBLEMÁTICA A RESOLVER

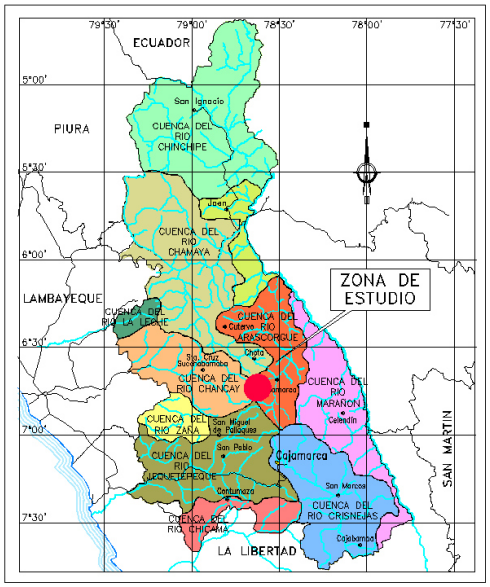
La ubicación de los depósitos de desmontes al aire libre es siempre un riesgo que puede ser minimizado mediante medidas de mitigación, tanto para evitar el efecto de las lluvias sobre esta estructura como para evitar los derrumbes de la misma.

Los depósitos de desmonte corresponden a material inerte retirado del interior de labores subterráneas y que puede tener un potencial de generación de acidez. Dicho material de desmonte al entrar en contacto tanto con el oxígeno como con el agua, pueden generar drenajes ácidos que afectarían los cuerpos receptores (ríos) pudiendo constituirse por ello en una de las causas de contaminación al medio ambiente en la zona.

5.0 LA REGION

La zona de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del río Arascorge, departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, a 94 km de la ciudad de Cajamarca, correspondiente a la sierra Nor – Occidental del Perú.
En la Figura N° 5.0-1 se muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio.

Figura N° 5.0-1: Ubicación geográfica de la zona de estudio



La zona de estudio ha sido dividida en microcuencas, como se puede ver en el Plano N° 02, ubicado en el Anexo VI: Planos. Las características de las microcuencas del río Arascorgue se muestran en el Cuadro N° 5.0-1.

Cuadro N° 5.0-1: Características de las microcuencas del río Arascorgue

CARACTERÍSTICAS	MICROCUENCAS							
	Z-1	**Z-2**	**Z-3**	**Z-4**	**Z-5**	**Z-6**	**Z-7**	**Z-8**
Área (km^2)	2.35	0.06	0.13	0.01	0.01	0.03	0.06	**0.51**
Perímetro (km)	7.18	1.26	1.73	0.45	0.46	0.81	1.33	**3.01**
Cota máxima (msnm)	3975	3775	3900	3625	3625	3675	3800	**3900**
Cota mínima (msnm)	3475	3450	3425	3425	3425	3400	3550	**3550**
Cota media (msnm)	3725	3613	3663	3525	3525	3538	3675	**3725**

CARACTERÍSTICAS	MICROCUENCAS							
	Z-1	**Z-2**	**Z-3**	**Z-4**	**Z-5**	**Z-6**	**Z-7**	**Z-8**
Pendiente (%)	16.00	53.00	64.00	94.00	94.00	79.00	39.00	**26.00**
Longitud del cauce (km)	3.19	0.61	0.75	0.21	0.21	0.35	0.64	**1.33**

5.1 ASPECTOS GENERALES

5.1.1 DEMOGRAFIA

Las zonas pobladas que se encuentran próximas a la zona de estudio son el pueblo de Hualgayoc y los caseríos de El Tingo y Pilancones, ubicados ambos en el distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. Estas poblaciones de tipo rural no pertenecen a ningún grupo étnico local o regional, siendo poblaciones castellano hablantes hace muchas décadas, producto de su historia local a partir de la conquista y la colonia. Cabe señalar que el pueblo de Hualgayoc fue fundado en las últimas décadas de la colonia por españoles dedicados a la minería, es decir, podemos hablar de una identidad sin vestigios culturales prehispánicos (idioma, danzas, costumbres), identificada fuertemente con la actividad minera. En el Cuadro N° 5.1.1-1 se muestran los principales indicadores del distrito y provincia de Hualgayoc.

Cuadro N° 5.1.1-1: Indicadores demográficos, sociales y económicos del distrito y provincia de Hualgayoc

DEMOGRAFICOS	PROVINCIAL	DISTRITAL
Población	94076	15803
Densidad (hab. x km^2)	125	70
Índice de Masculinidad (hombres x c/100 mujeres)	95	95
Población menor de 15 años	32%	35%
Población de 65 años y mas	0	0
SOCIALES	**PROVINCIAL**	**DISTRITAL**
Analfabetismo	33%	39%

DEMOGRAFICOS	PROVINCIAL	DISTRITAL
Tasa de mortalidad infantil (por cada 100 nacidos vivos)	33	39
Tasa global de fecundidad (promedio de hijos por mujer)	4.2	4
Esperanza de vida (años)	68.3	66
Viviendas con paredes de material noble (%)	2.92%	0.65%
Viviendas con paredes de adobe (%)	92.10%	97.06%
Viviendas con techo de material noble (%)	2.38%	0.15%
Viviendas con techo en base a calamina u otros (%)	45.64%	76.73%
Vivienda con piso de cemento u otros acabados (%)	10.58%	5.88%
Vivienda con piso de tierra (%)	89.41%	94.12%
Vivienda con energía eléctrica a la red pública (%)	14.20%	7.39%
Vivienda con energía en base a kerosene u otros (%)	75.53%	66.84%
Vivienda con servicios higiénicos conectado a red pública (%)	13.56%	5.14%
Número de hogares	21577	3369
ECONOMICOS	**PROVINCIAL**	**DISTRITAL**
Ingresos en soles	600	700
PEA	38%	33%
PEA Ocupada	92%	94%
PEA dedicada a actividades agrícolas (%)	51.38%	67%
PEA dedicada a actividades mineras (%)	7%	8%
PEA dedicada a actividades de manufactura (%)	13.56%	7%
PEA dedicada a otras actividades (%)	5.34%	4%
Índice de Desarrollo Humano	0.4542	0.4542

Fuente: INEI, Censos de Población y Vivienda 2005. PNUD, Informe de Desarrollo Urbano 2005.

5.1.2 OROGRAFIA

El cerro Jesús, es la elevación más importante que se presenta dentro de la zona de estudio y junto a este se encuentran los cerros María y Candela o Corona que forman parte del relieve cordillerano; estos cerros tienen crestas de formas algo irregulares a

parcialmente onduladas, con laderas de contornos ondulados y pendientes variadas, desde moderadas hasta abruptas.

5.1.3 FISIOGRAFIA

La zona de estudio comprende los siguientes rasgos fisiográficos: zona de valles, zona de quebradas, zona de laderas y zona de cumbres. En forma general la zona de estudio se caracteriza por presentar un relieve semi - accidentado tipo Puna, situado en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes.

La zona de valles representada por la cuenca alta y baja del río Hualgayoc-Arascorgue, longitudinal a la zona de estudio, discurre en dirección SO – NE a una altitud promedio de 3500 msnm, el drenaje de las aguas de estos ríos es hacia la vertiente del Atlántico.

La zona de quebradas está representada por la quebrada Lambayeque, quebrada Honda, quebrada Mesa de Plata, quebrada Loreto - Mansita y quebrada Lechería que son tributarios menores del río Hualgayoc. Estas quebradas en general presentan pendientes suaves excepto en las zonas próximas a la descarga al río Hualgayoc donde presentan escarpas.

Las quebradas presentan secciones transversales en forma de "V" y localmente en forma de "U" y en algunos pequeños tramos algo encañonados, las principales quebradas presentan drenaje permanente y las aguas provienen de algunos afloramientos y labores subterráneas.

La zona de laderas a lo largo del río Hualgayoc presenta una pendiente media a empinada (5% - 40%). Algunas laderas están cubiertas por depósitos coluviales o de gravedad.

Las cumbres en la zona de estudio presentan la topografía más accidentada de la zona y tiene altitudes mayores de 3800 msnm. En la margen derecha del río Hualgayoc las cumbres están representadas por los cerros San José, Molino Pampa y Tororco. En la margen izquierda las cumbres están representadas por el cerro Candela, cerro La Gorda, cerro María y cerro Jesús.

La fisiografía de la zona de estudio se puede ver en el Plano N° 01 del Anexo VI: Planos.

5.1.4 CLIMA

En la zona de estudio el clima es por lo general frio y húmedo durante todo el año, así como estacionario lluvioso; la precipitación es muy variable para los diferentes niveles altitudinales, debido a las diferentes condiciones orográficas locales; los meses de lluvia van desde el mes de octubre al mes de abril, en este periodo se descarga aproximadamente entre el 75% y 95% del total de precipitaciones pluviales.

Las estaciones utilizadas en este estudio se observan en el Cuadro N° 5.1.4-1.

Cuadro Nº 5.1.4-1: Estaciones utilizadas para el estudio

Estación	Coordenadas Geográficas	Altitud (msnm)	Período de Registro
Hualgayoc	S 06° 46’ W 78° 37’	3510	Julio 1961 a Junio 1983 (23 años)
Granja Porcón	S 07° 02’ W 78° 38’	3000	Julio 1966 a Diciembre 1997 (32 años)
Maqui Maqui	S 06° 57’ W 78° 28’	3969	Enero 1995 a Diciembre 2002 (08 años)
La Quinua	S 06° 55’ W 78° 46’	3585	Febrero 1999 a Diciembre 2002 (04 años)
Llapa	S 06° 59’ W 78° 49’	2798	Julio 1987 a Diciembre 2004 (18 años)

A. Precipitación

La precipitación en la zona de estudio de acuerdo con los datos de la estación Hualgayoc (estación más cercana, ubicada a una distancia aproximada de 1 km del distrito de Hualgayoc), muestra un comportamiento acorde al año hidrológico en la sierra, es decir, con lluvias intensas entre los meses de Octubre a Abril. Durante los meses de Mayo y Setiembre las precipitaciones se reducen en casi la mitad; la reducción llega a casi la cuarta parte para los meses de Junio a Agosto, como se puede ver en el Cuadro Nº 5.1.4-2.

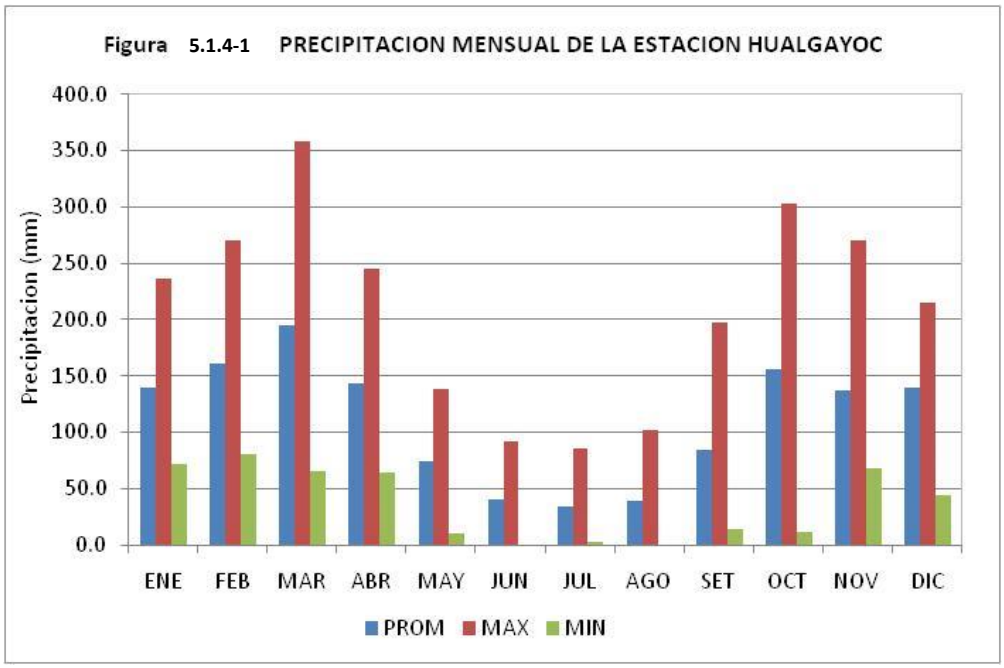
Cuadro Nº 5.1.4-2: Resumen de la Precipitación (mm)
Estación Hualgayoc

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Prom.	140.0	161.2	195.5	143.9	74.7	39.7	34.4	38.6	84.1	156.2	137.4	139.0	1344.6
Max.	236.9	271.0	358.5	245.2	137.8	92.1	85.3	101.7	197.7	303.0	270.4	214.5	358.5
Min.	71.3	81.0	65.9	64.5	10.5	0.0	2.3	0.0	13.5	11.5	67.9	44.1	0.0

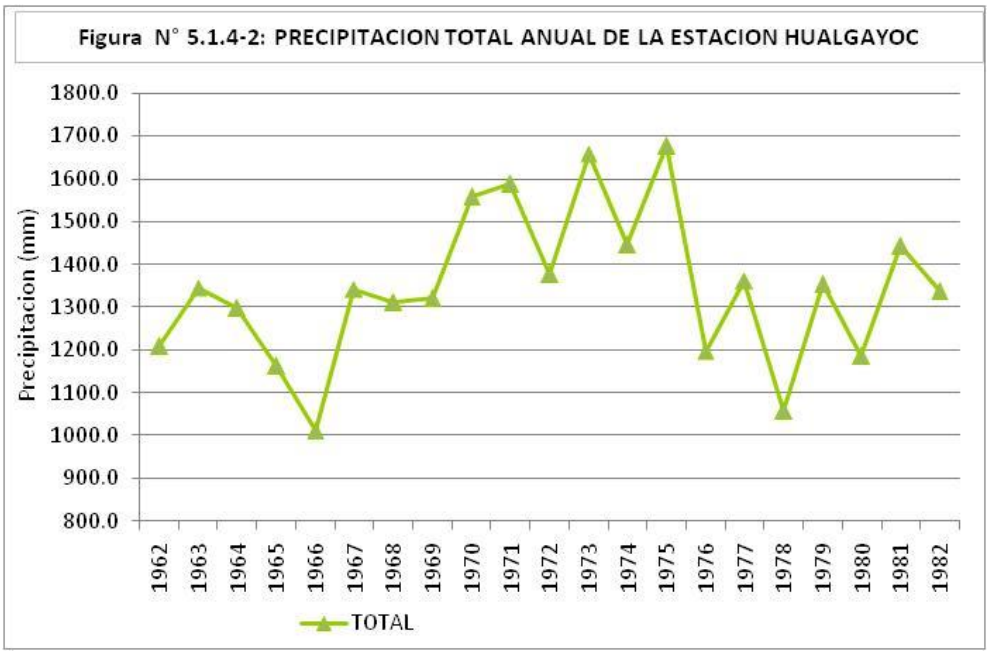
Fuente: SENAMHI

Para mayor detalle sobre la Precipitación Total de la estación Hualgayoc se puede ver la información en el Anexo I: Información Meteorológica.

En la Figura N° 5.1.4-1 se puede ver el comportamiento mensual de la precipitación en la estación Hualgayoc, nótese que la mayor cantidad de precipitación sucede de Octubre a Marzo, mes en el que alcanza su valor pico.



En la Figura N° 5.1.4-2 se puede ver el comportamiento anual de la precipitación en la estación Hualgayoc.



B. Temperatura

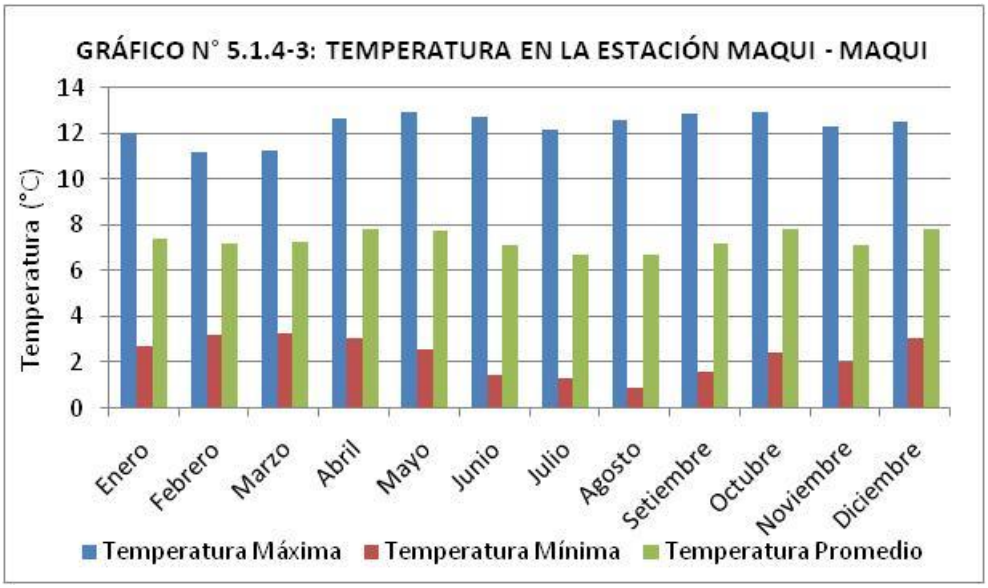
El comportamiento de la temperatura en la zona de estudio muestra como característica que la diferencia aproximada entre la temperatura máxima y mínima en las estaciones Maqui Maqui y La Quinua se encuentra entre 8 a 10 ºC, como se puede ver en el Cuadro N° 5.1.4-3 y en los Gráficos N° 5.1.4-3 y 5.1.4-4.

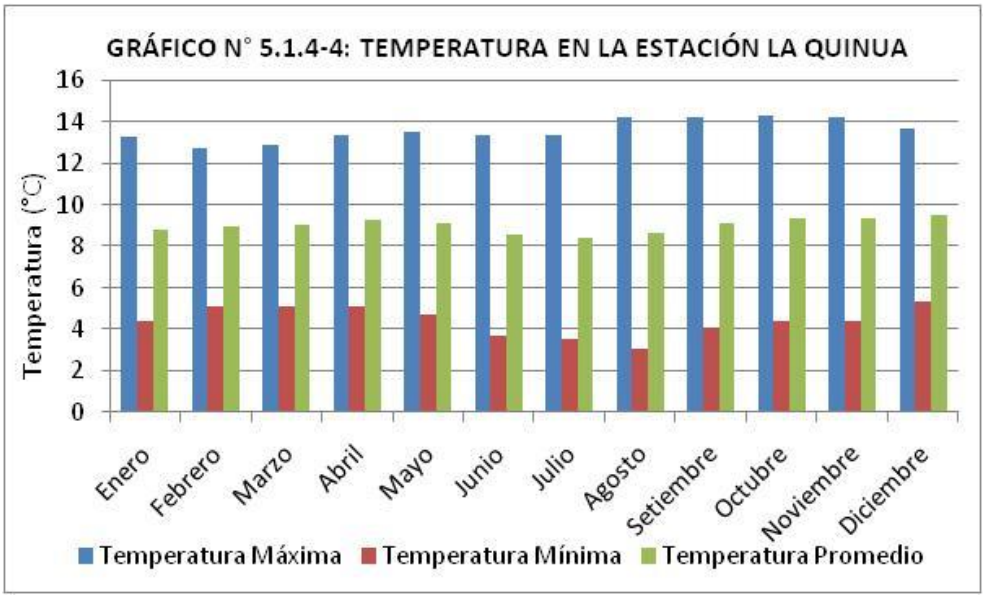
Cuadro Nº 5.1.4-3: Resumen de la Temperatura (°C)

Meses	Temperatura					
	Estación Maqui Maqui (3969 msnm)			Estación La Quinua (3585 msnm)		
	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio
Enero	12.04	2.75	7.4	13.31	4.41	8.86
Febrero	11.21	3.23	7.22	12.76	5.16	8.96
Marzo	11.24	3.27	7.26	12.92	5.16	9.04
Abril	12.65	3.09	7.87	13.39	5.14	9.27
Mayo	12.94	2.59	7.76	13.53	4.69	9.11

Meses	Temperatura					
	Estación Maqui Maqui			Estación La Quinua		
	(3969 msnm)			(3585 msnm)		
	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio
Junio	12.75	1.47	7.11	13.38	3.73	8.56
Julio	12.20	1.30	6.75	13.36	3.54	8.45
Agosto	12.60	0.88	6.74	14.23	3.07	8.65
Setiembre	12.85	1.64	7.24	14.28	4.08	9.18
Octubre	12.94	2.47	7.84	14.34	4.44	9.39
Noviembre	12.29	2.03	7.16	14.30	4.41	9.36
Diciembre	12.51	3.11	7.81	13.70	5.38	9.54

Fuente: SENAMHI





C. Humedad Relativa

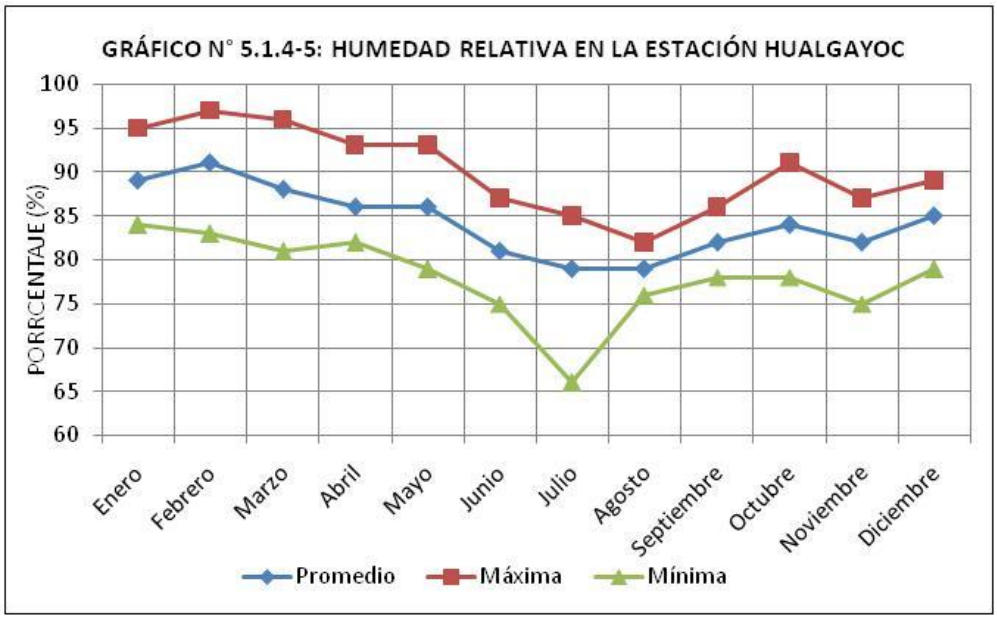
De acuerdo al análisis de los datos de la estación Hualgayoc, se observa que en la zona de estudio, entre los meses de Enero a Marzo, se presentan los índices más altos de humedad relativa y en el mes de Julio se presenta el índice más bajo, como se puede ver en el Cuadro Nº 5.1.4-4.

Cuadro Nº 5.1.4-4: Resumen de la Humedad Relativa (%)
Estación Hualgayoc

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom.	89	91	88	86	86	81	79	79	82	84	82	85
Máx.	95	97	96	93	93	87	85	82	86	91	87	89
Mín.	84	83	81	82	79	75	66	76	78	78	75	79

Fuente: SENAMHI

En el Gráfico Nº 5.1.4-5 se observa una tendencia a la disminución de la humedad relativa en el mes de Julio, en relación de otros meses donde los valores se mantienen casi constantes.



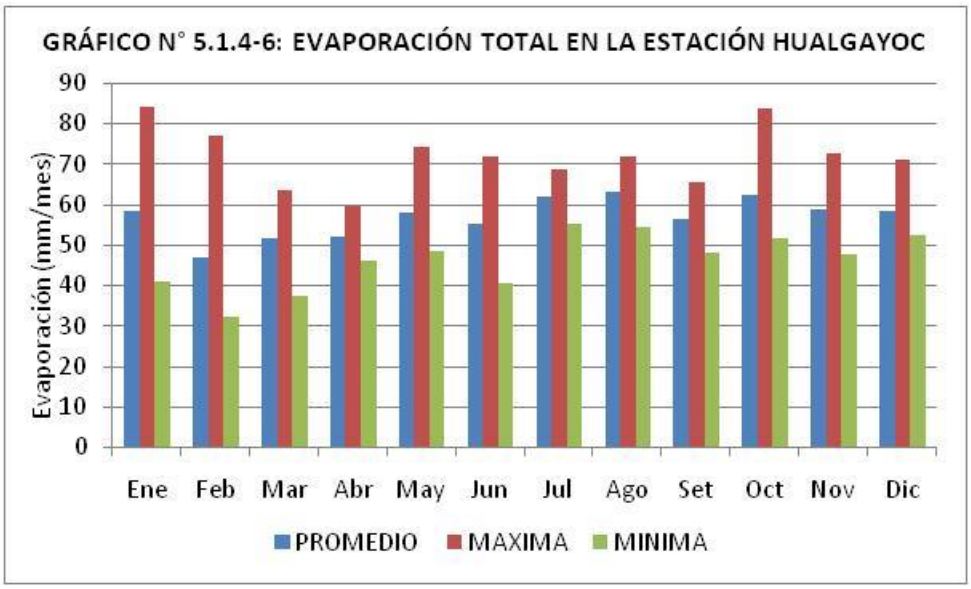
D. Evaporación

Los datos meteorológicos de la estación Hualgayoc, mostrados en el Cuadro N° 5.1.4-5, muestran que los promedios mensuales son bastante uniformes, siendo la mínima evaporación de 32 mm/mes y la máxima de 84 mm/mes; los valores registrados para la máxima como mínima evaporación, tanto en verano como en invierno no presentan diferencias significativas.

Cuadro N° 5.1.4-5: Resumen de la Evaporación Total
Estación Hualgayoc

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	58	47	52	52	58	55	62	63	56	62	59	58
Máxima	84	77	64	60	74	72	69	72	66	84	73	71
Mínima	41	32	37	46	48	41	55	54	48	52	48	52

Fuente: SENAMHI



6.0 ACTIVIDAD MINERA

6.1 DESCRIPCION

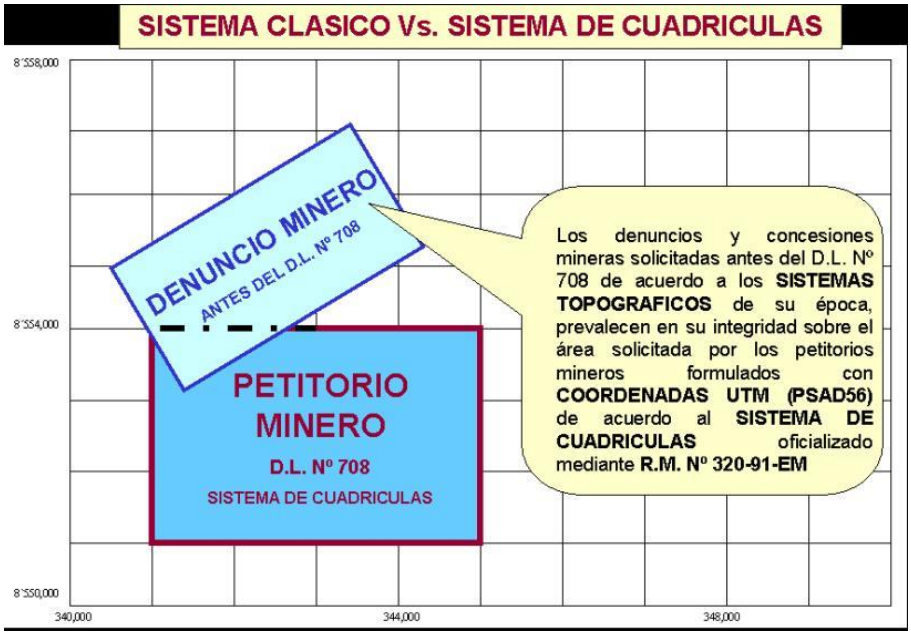
Son actividades de la industria minera, las siguientes: cateo, prospección, labor general, beneficio, comercialización y transporte minero. El ejercicio de las actividades mineras excepto el cateo, la prospección y la comercialización, se realiza exclusivamente bajo el sistema de concesiones, al que se accede bajo procedimientos que son de orden público.

6.1.1 CATEO Y PROSPECCIÓN

Estas actividades corresponden a la búsqueda de zonas geológicas susceptibles de explotación (vetas, mantos, lavaderos) en las zonas que se presume existe un yacimiento minero.

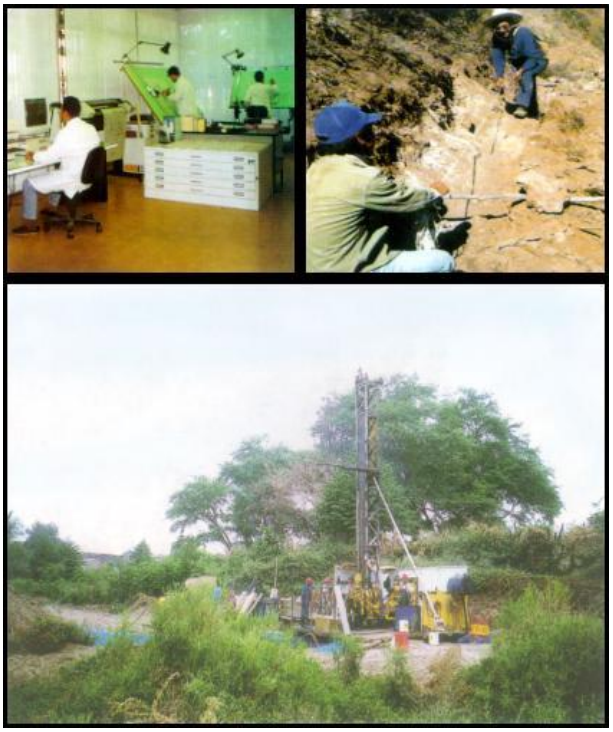
6.1.2 CONCESION MINERA

Si los resultados de las actividades de cateo y prospección son positivos se solicita ante la autoridad competente una concesión minera. La solicitud de concesión minera en trámite se conoce como "Petitorio Minero".



6.1.3 EXPLORACION MINERA

Con la información del campo se conforma un archivo. Se realiza un análisis de las muestras para determinar la cantidad y calidad del mineral posible de extraer. Se realiza el estudio de Factibilidad del Proyecto y se determinan las reservas, tonelaje y leyes.

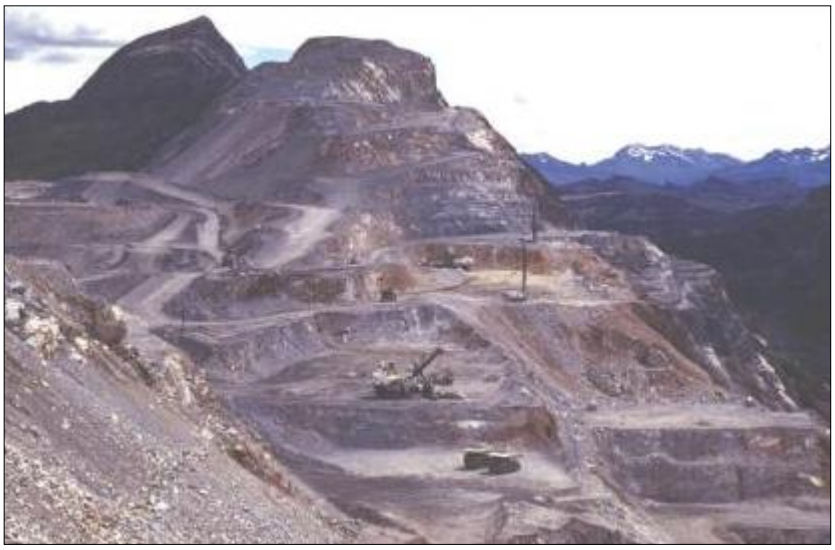


6.1.4 DESARROLLO Y EXPLOTACION MINERA

Se define “Desarrollo” como la operación que se realiza para hacer posible la explotación del mineral contenido en un yacimiento.

Se denomina “Explotación” a la actividad de extracción de los minerales contenidos en un yacimiento.

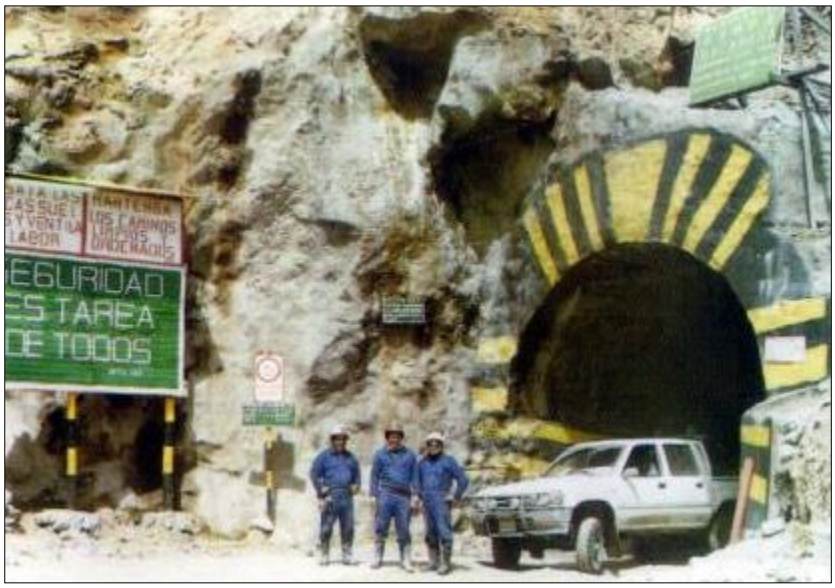
En el caso de minas superficiales se realiza una labor de desbroce hasta llegar al mineral, luego se realizan labores de acceso al yacimiento.



En minas subterráneas se realizan labores tanto verticales como horizontales, de acuerdo a la ubicación del mineral, tales como: galerías, piques, chimeneas, rampas, etc.

A. EXPLOTACION SUBTERRANEA

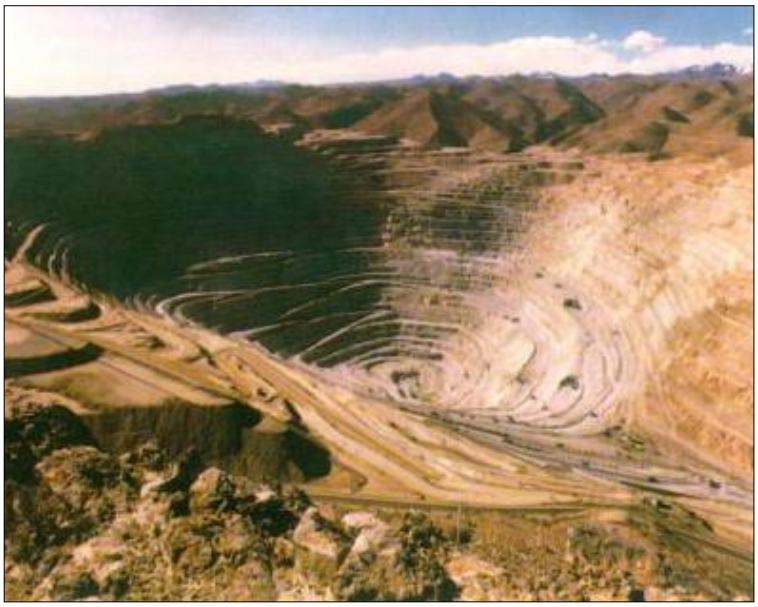
El ciclo típico en minería subterránea es: perforación, voladura, acarreo y transporte fuera de la mina (a través de rieles).



En minas subterráneas se realizan galerías (conexión entre labores horizontales), piques (obras verticales para el traslado de personal y/o material), chimeneas (labores con fines de ventilación y/o traslado de mineral), rampas (labores para comunicar niveles verticales, es decir, ubicados a diferentes cotas), etc.

B. EXPLOTACION SUPERFICIAL

El proceso cíclico en minas superficiales comprende: perforación, voladura, carguío y transporte.



El método de explotación superficial es empleado por la gran minería e implica altas producciones.

6.1.5 BENEFICIO

En las fundiciones el concentrado es llevado a altas temperaturas para eliminar impurezas y poder refinarlo posteriormente.

El mineral que sale de la mina se somete a un proceso metalúrgico llamado concentración para mejorar su ley.

6.1.6 COMERCIALIZACIÓN

Se constituye en la venta al mercado del concentrado producido de la etapa de Beneficio.

Los concentrados se venden a fundiciones y refinerías en el país como: La Oroya, Cajamarquilla, Ilo o en el extranjero principalmente: Japón, USA, Brasil y Europa.

6.2 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se halla en las estribaciones superiores y occidentales de la Cordillera Occidental, cuya geomorfología es el resultado de diversos ciclos tectónicos consistentes en levantamiento de los Andes, procesos de intrusión, sobre los cuales han actuado y actúan los procesos de geodinámica externa desde la glaciación, que después del Pleistoceno son acompañados por la erosión y meteorización y que ha originado las unidades denominadas: Relieve Cordillerano y el Valle del río Hualgayoc, con sus respectivas subunidades conformadas por cerros, laderas y quebradas.

6.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE EXPLOTACION

El tipo de explotación depende de la ubicación que tengan el mineral, el que puede encontrarse en forma de vetas, mantos detectadas por el geólogo, durante su investigación y los resultados del laboratorio respecto a las leyes con que cuenta el mineral.

Los métodos de explotación más comunes son:

- Corte y Relleno ascendente, el que se aplica cuando la extracción del mineral no genera debilitamientos mayores en la estructura rocosa ubicada sobre el mineral extraído, motivo por el cual se puede extraer el mineral de abajo hacia arriba.

- Corte y Relleno descendente, el que se aplica cuando al extraer el mineral se generan inestabilidades en la estructura rocosa, pudiendo generarse desprendimiento (desate de rocas), motivo por el cual se extrae de arriba hacia abajo.

- Shiringue el que consiste en el reemplazo del material removido (mineral y desbroce) por material excedente traído de otro lugar.

- Relleno hidráulico, el que corresponde al reemplazo del material removido (mineral y desbroce) por material excedente del proceso planta (relaves).

6.4 TRABAJOS EN LABORES SUBTERRANEAS

Los trabajos en labores subterráneas están constituidos por el avance en frentes de perforación y voladura para la extracción de mineral a través de galerías, chimeneas y piques. Estos trabajos han requerido previamente la inspección del geólogo, que constantemente evalúa la mineralización en la zona del proyecto e indica tanto al Ingeniero de Minas como al topógrafo la ubicación de las vetas o mantos, para que el Ingeniero de Minas se encargue de la extracción del mineral, mediante perforación y voladura.

Una vez que el mineral es retirado y llevado a la planta concentradora para su tratamiento se procede a ampliar la labor subterránea por donde se extrajo el mineral, de manera que se pueda seguir trabajando con maquinaria y personal en condiciones seguras.

Por tal motivo se debe realizar el “desquinche” o “desate de rocas” aledañas en la zona de extracción del mineral (galerías). Estas rocas extraídas posteriormente constituyen el material que conforma el depósito de desmontes ubicados por lo general a la salida de las bocaminas.

6.5 RECUPERACION DEL MATERIAL UTIL

Para la recuperación del material útil se consta de tres etapas, como se describen a continuación:

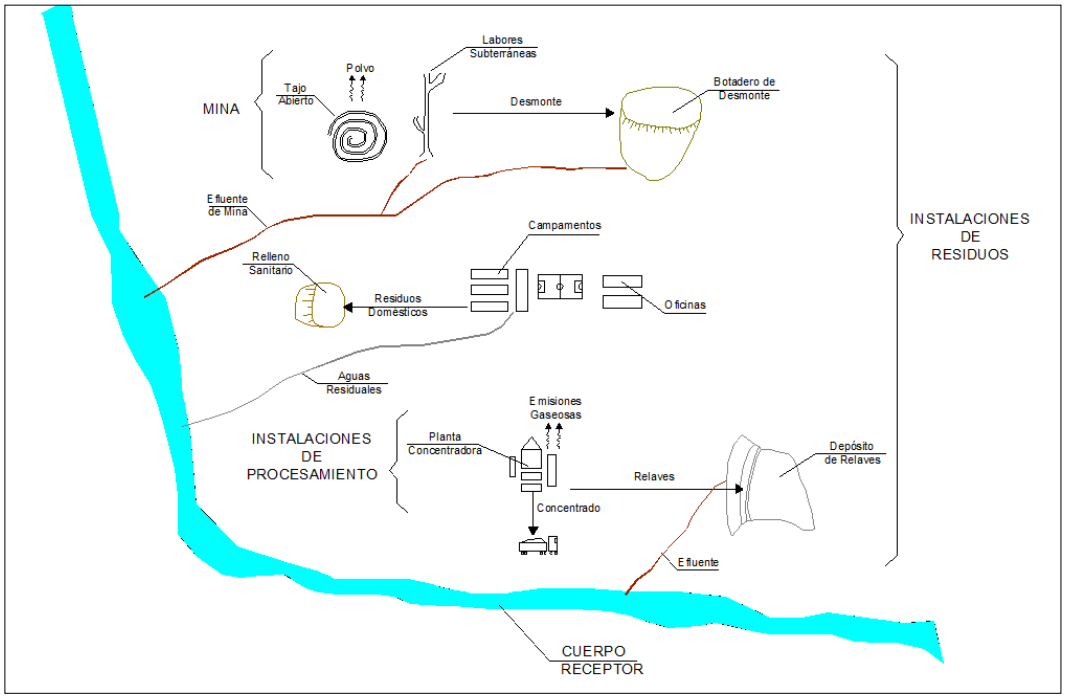
- Primera etapa: Desbroce. El proceso de perforación y voladura permite extraer el mineral previamente identificado por el geólogo; con la finalidad de seguir avanzando los frentes de extracción se procede a ampliar los frentes de trabajo, realizando el desate de rocas. De manera que en esta etapa se tienen dos productos: mineral y desmonte.

- Segunda etapa: Concentrado. Una vez extraído el mineral de las labores subterráneas, este es llevado a planta concentradora, de manera que eleven las leyes del mineral a trabajar. De manera que en esta etapa se tienen dos productos: concentrado y relave.

- Tercera etapa: Clasificación. Corresponde al tratamiento aplicado al mineral para obtener metales. De manera que en esta etapa se tienen dos productos: metal y escoria (impurezas).

En la Figura N° 6.5-1: se ha resumido el proceso que genera los residuos de la primera y segunda etapa de recuperación del material útil.

Figura N° 6.5-1: Generación de residuos durante la primera y segunda etapa



6.5.1 LOS DESECHOS

Como resultado de las etapas mencionadas en el ítem anterior se generan desechos, provenientes de: desmontes debido al dequinche, relaves provenientes del proceso de planta concentradora y escorias provenientes del proceso de fundición.

Cada uno de estos residuos, por su naturaleza tiene un manejo distinto para conseguir su correcta disposición y cierre final de los componentes donde se van a almacenar dichos residuos.

Para esta monografía se desarrollaron trabajos sobre los residuos provenientes de la primera etapa, denominada "desbroce", dicho material es depositado generalmente al exterior (salida) de la galería principal (denominada "Bocamina"), constituyendo los denominados depósitos de desmontes.

6.6 PROBLEMÁTICA DE LOS DESECHOS

Los desechos de las actividades mineras se constituyen en un severo problema para el medio ambiente y por ende para la vida del ser humano que forma parte del mismo, en vista que la disposición de los desechos requiere de áreas apropiadamente preparadas para recibir los mismos y con la capacidad de aislar estos desechos de la acción de la geodinámica externa (precipitación, deslizamientos, etc.), en vista que en la mayoría de los casos estos desechos son depositados en la superficie, tanto por factores económicos como operativos.

Cabe señalar que los desechos tienen una carga contaminante que va en aumento a razón del paso de una etapa a otra del procesamiento (desbroce, concentrado y clasificación).

7.0 TRATAMIENTO DEL PROBLEMA

La solución al problema de los desechos se puede dar a través del cierre de estas labores mineras, cierre que debe tener como criterios básicos los siguientes:

- Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar procesos de inestabilidad mediante la saturación y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.

- Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.

- Asegurar la estabilidad de las coberturas superficiales para la revegetación con un ángulo de estabilidad que permita lograr este fin.

- Asegurar, con pequeñas obras de contención, en el pie de los taludes contra la influencia de erosión por causa de las escorrentías o flujos que puedan desestabilizar los taludes.

7.1 ALTERNATIVAS DEL MANEJO DE RESIDUOS

Las alternativas para el manejo de residuos, considerando que esta monografía solo ha trabajado el caso de los depósitos de desmontes como residuo de la actividad minera, corresponden a las medidas de cierre para estos componentes, alternativas que se pueden resumir en:

A. Reubicación del depósito de desmontes

Para definir si la ubicación actual del depósito de desmonte es adecuada o no, se deben tener en consideración los siguientes criterios:

- Si este componente se encuentra ubicado en el cauce de una quebrada.
- Si este componente se encuentra en una zona donde no permite hacer las obras de protección de las escorrentías. Este criterio es muy importante si se trata de un depósito de desmontes generador de acidez.
- Si este componente causa una contaminación visual, con un paisaje no acorde a la zona.
- Si es económicamente muy costoso hacer las obras de cierre por no tener el relieve adecuado.

Si el depósito de desmontes debe ser reubicado, entonces se tendrá que sacar todo el material que conforma dicho depósito y finalmente se tiene que limpiar completamente la zona, perfilar y revegetar si las condiciones lo permite.

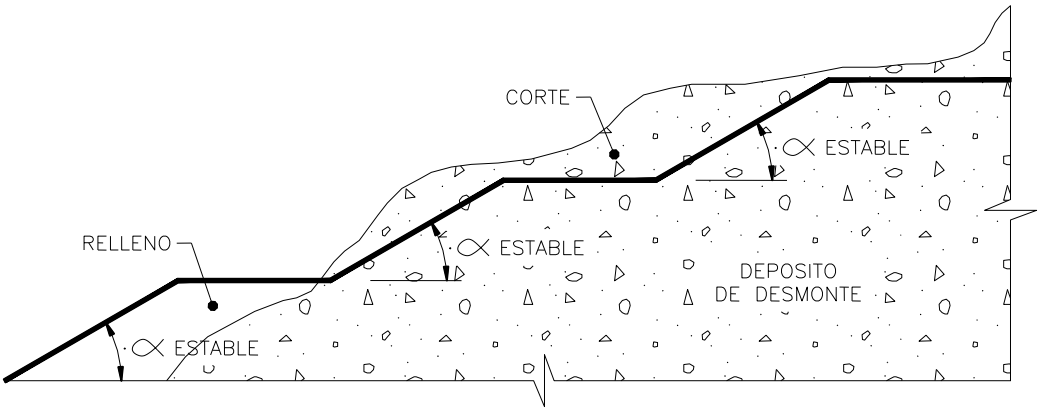
Si el depósito de desmonte no será reubicado se tendrá que evaluar si es físicamente estable o no para poder hacerle un diseño de estabilidad para el cierre.

B. Método de banquetas

El método de banquetas usa el mismo material del depósito de desmonte tanto en el corte como en el relleno y se llega a estabilizar físicamente el depósito en el mismo lugar, pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior; para poder usar el método del banqueteo, muchas veces se necesita tener una topografía de pendiente baja en la parte del pie de talud. Este se constituye en el método más económico pero a veces no se puede utilizar por las condiciones del terreno.

Se recomienda como opción muy buena pues no emplea el uso de insumos para la construcción, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Figura N° 7.1-1: Método de banquetas

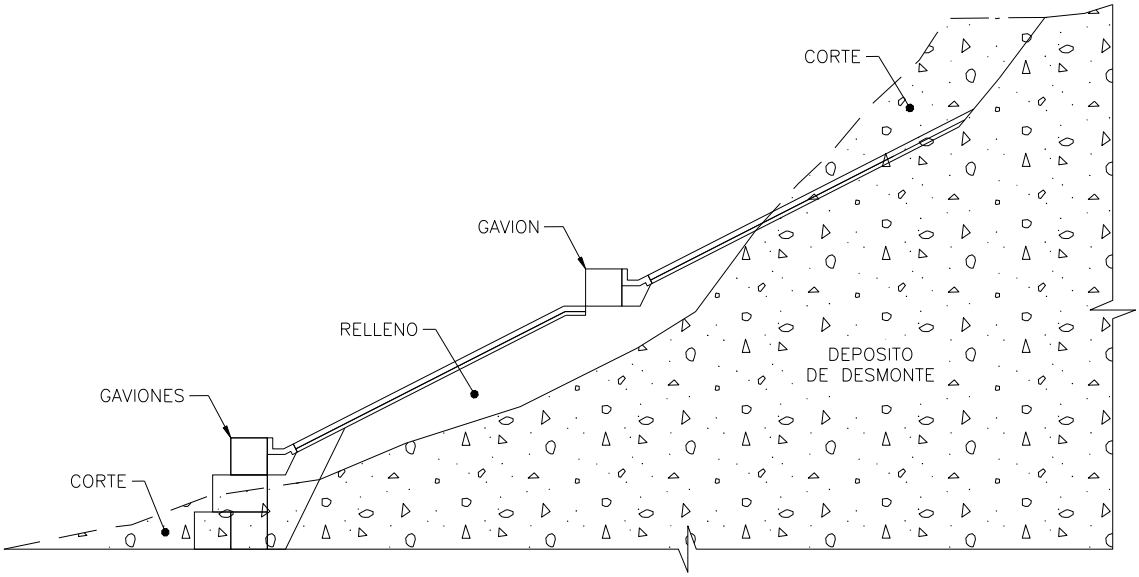


C. Método de gaviones

El método de gaviones es muy usado para la contención del pie de talud, se utiliza como muros de contención, lo cual ayuda a no desplazar el desmonte dándole una altura adecuada para lograr el ángulo de estabilidad, esto permite tener alturas de taludes mayores a las que se puede obtener con el método de banquetas, este método puede ser también mixto, es decir, usar gaviones y banquetas, esto depende de las características del desmonte y del terreno donde está emplazado.

Económicamente es a veces muy costoso pues los insumos requeridos como las piedras que conforman los gaviones no se encuentran en la cercanía.

Figura N° 7.1-2: Método de gaviones

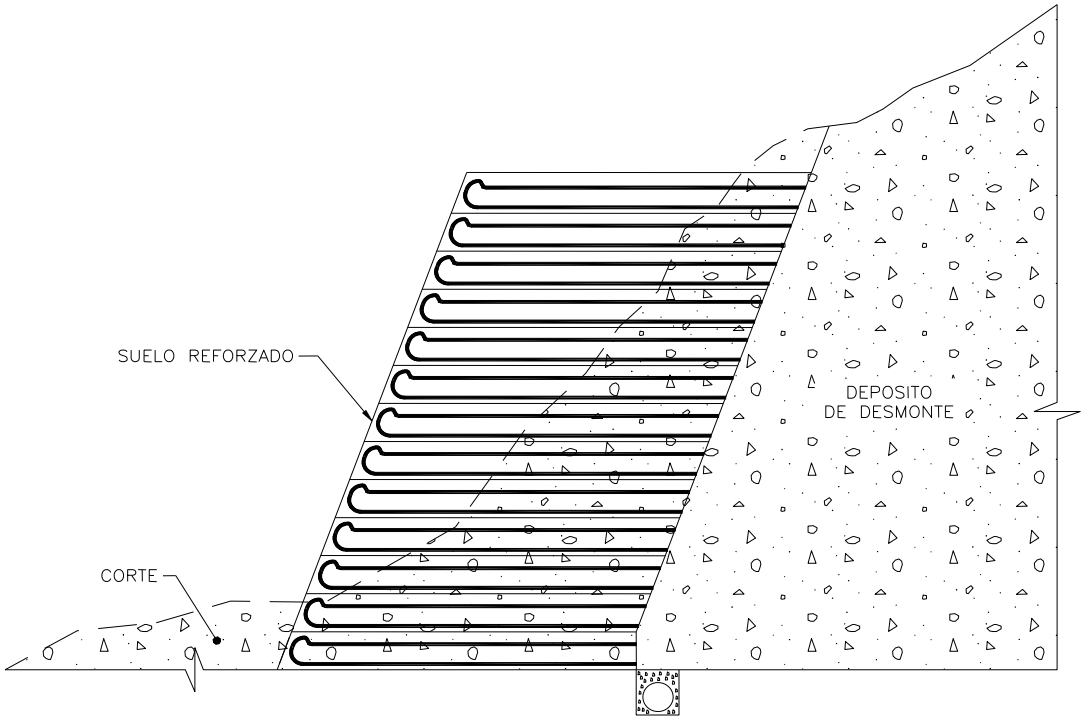


D. Método de suelo reforzado

El método del suelo reforzado nos permite utilizar ángulos mayores en el talud en comparación con los métodos anteriores, pues el uso de la geomalla permite lograr esto, lo que nos lleva a contener mejor el pie de talud no dejando que éste se prolongue más, económicamente es el método menos recomendado por el costo de sus insumos (gavión como muro y colas de acero como soporte al interior del desmonte).

Cuando la topografía no permite utilizar los métodos anteriores y económicamente es muy costoso remover parcial o totalmente el depósito de desmonte, este método es una opción muy buena a considerar.

Figura N° 7.1-3: Método de suelo reforzado



7.2 COMPARACION DE ALTERNATIVAS

Una vez determinadas las alternativas de cierre para los depósitos de desmontes se procede a evaluar la viabilidad de aplicar las soluciones de estabilización para la disposición de los desmontes.

Con esta finalidad se elaboró un diagrama de flujo que resume la interacción de las alternativas de cierre para el depósito de desmonte respecto de las condiciones reales de disposición que tendrá en el terreno.

Como se puede ver en este análisis se evaluó en primer término si el depósito de desmontes es físicamente estable, es decir, si reúne las condiciones que permitan que el material que conforma el depósito de desmontes alcance su ángulo de reposo y no se produzca ningún derrumbe.

En segundo lugar se evalúa si es necesario reubicar el desmonte, de acuerdo a las condiciones del lugar donde se encuentra depositado, hacia otra zona o se puede estabilizar en el mismo lugar.

En tercer lugar se evalúa si se puede estabilizar en el mismo lugar, presentando tres alternativas para tal fin:

- Estabilizar mediante el método de banquetas, es decir, realizando corte y relleno con el material propio, hasta alcanzar el ángulo de reposo del material, conforme se explicó en el ítem 7.1 B.

- Estabilizar mediante el método de gaviones, es decir, conformar muros de contención, elaborados a partir de mallas de forma cúbica, trenzadas de acero rellenadas por rocas, de manera que se realice un corte y relleno soportado en estos muros, conforme se explicó en el ítem 7.1 C. Cabe señalar que el muro de contención puede ser de diversos tipos: muros de tierras, concreto simple, concreto armado, concreto ciclópeo, etc., sin embargo en la práctica estos muros se suelen hacer de gaviones debido a que este último tiene una mayor tolerancia a los esfuerzos, no son rígidos y el costo es menor respecto a las otras alternativas.

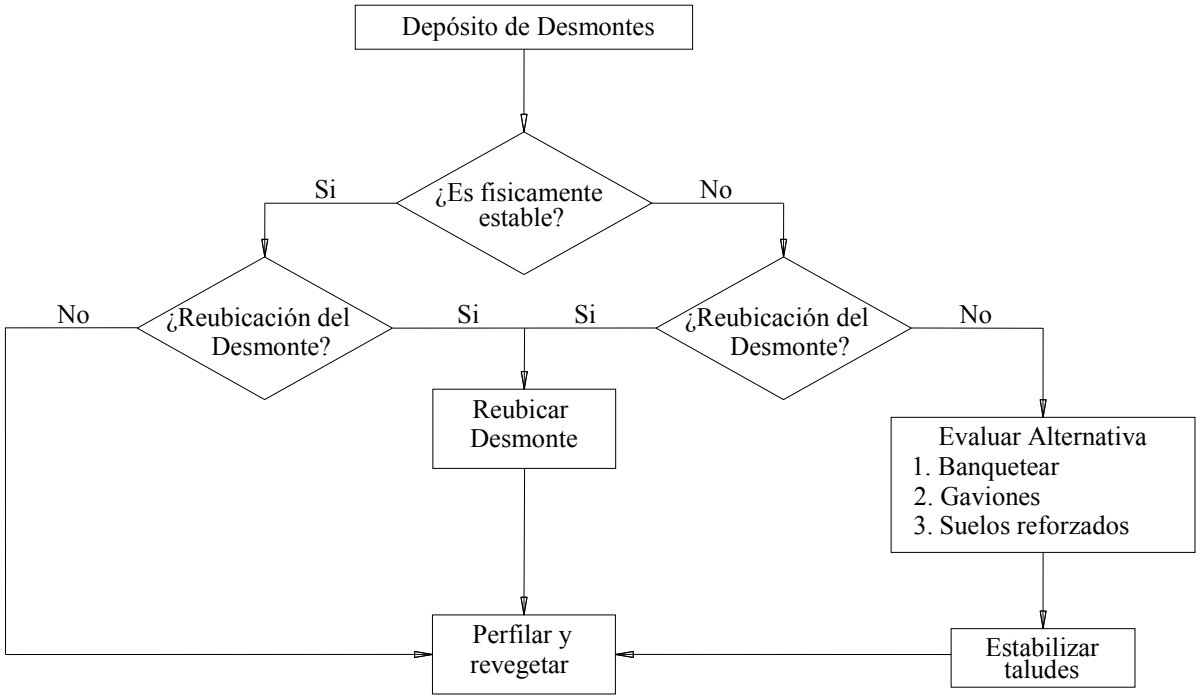
- Estabilizar mediante el método de suelo reforzado, es decir, distribuir el desmonte, utilizando muros de gavión que tienen colas de acero las que ingresan al desmonte, de manera que se ancla el muro al material mismo, brindándole mayor estabilidad, esta alternativa es utilizada en depósitos con poca área, conforme se explicó en el ítem 7.1 D.

Cualquiera de estas tres alternativas nos obliga a realizar obras de estabilización de taludes y aseguran que el depósito será físicamente estable en el lugar donde se encuentra depositado.

Finalmente se debe perfilar el terreno y revegetar la zona ya estabilizada, esto último siempre y cuando las condiciones del área lo permitan.

Cabe señalar que la estabilización del depósito de desmontes, materia de este estudio, se realizó con la finalidad de concretar el cierre de las labores propuestas por el titular del proyecto, ante el Ministerio de Energía y Minas (MEM) mediante un instrumento ambiental denominado Evaluación Ambiental (E.A.) del Proyecto, donde se han considerado los riesgos y se categorizan los impactos, así como se proponen las medidas de mitigación antes estos riesgos. Por tanto la evaluación de riesgos de la ubicación del depósito de desmontes no es materia de este estudio. Este estudio propone las medidas de cierre de un proyecto previamente delineado y establecido por el titular, así como aprobado por el MEM.

Figura N° 7.2-1: Diagrama de flujo para la elección de alternativas de cierre del depósito de desmontes



7.3 SELECION EFECTUADA

De acuerdo a la selección de alternativas se pudo ver que el desmonte puede alcanzar la estabilidad física en el área destinada para su ubicación, pero al tener esta área una pendiente elevada, conviene utilizar el método de suelos reforzados, para que los taludes del depósito de desmontes puedan alcanzar ángulos de reposo estables.

8.0 INGENIERIA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

La alternativa seleccionada corresponde a la estabilización del depósito de desmontes en la etapa final de su vida útil, como se explicó en el ítem 7.3 se estabilizará físicamente el depósito de desmontes mediante el método de suelos reforzados.

Con respecto a la estabilización química, una vez concluida la estabilización física se realizará la cobertura tanto de las plataformas como de los taludes del depósito para poder aislar el desmonte de la acción de la geodinámica externa. Esta cobertura comprende de abajo hacia arriba una capa de 0.20 m. de arcilla, que permite aislar el desmonte de la superficie, seguidamente una capa de material drenante en este caso gravas pequeñas y finalmente una capa de materia orgánica, de manera que se propicie la revegetación en la zona remediada.

Finalmente se realizarán las obras de estabilización hidrológica que corresponden a las obras para el drenaje superficial y sub-superficial. Cabe señalar que el término "Estabilidad Hidrológica" se tomó de la Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Mina del Sub-Sector Minería de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros – Abril 2006, donde se hacen referencias al mismo y en el sentido a aplicar en este estudio (estabilización de Depósito de desmonte) estabilización hidrológica es un conjunto de medidas para prevenir la erosión por drenaje de agua de los depósitos de desmontes, como puede ser la construcción de estructuras hidráulicas para tal fin.

Para el drenaje superficial se consideró para tal fin el diseño de canales laterales que permitan evacuar las aguas de escorrentía que provienen de las áreas ubicadas aguas arriba de donde se encuentra emplazado el depósito de desmontes. Para el drenaje sub-superficial se propone realizar la captación del agua que percola tanto en las plataformas como en los taludes para ser captada por la capa drenante de la cobertura y pueda ser colectada por el sistema de dren francés con una tubería colectora al interior.

Para este estudio se ha desarrollado los aspectos comprendidos dentro de la estabilidad hidrológica del depósito de desmontes, motivo por el que todos los cálculos se orientan al diseño del sistema de drenaje superficial y sub-superficial requerido para el cierre del depósito de desmontes.

8.1 PROBLEMÁTICA A ATENDER

El trabajo desarrollado, dentro del manejo de los desechos de la actividad minera provenientes de la primera etapa: Desbroce, se orienta a determinar las medidas de cierre del depósito de desmontes, en lo referido solo a la estabilidad hidrológica del mismo, mediante el diseño del drenaje superficial y sub-superficial.

8.2 UBICACIÓN DEL DEPOSITO

El Depósito de Desmontes materia de este estudio se encuentra ubicado en la ladera occidental del cerro Jesús, cerca de la trocha carrozable que une Hualgayoc con el caserío de La Tahona, a 3475 msnm.

8.3 ANALISIS HIDROLOGICO

Se trabajó la zona de estudio al nivel de microcuencas, dentro de la microcuenca Z-8 se encuentra ubicado el depósito de desmontes, materia de este estudio. Estas microcuencas se pueden ver en el Plano N° 02 del Anexo VI: Planos.

8.3.1 Información hidrometeorologica

En el Cuadro Nº 8.3.1-1 se muestra la información hidrometeorologica analizada.

Cuadro Nº 8.3.1-1: Información Hidrometeorologica

Estación	Coordenadas Geográficas	Altitud (msnm)	Período de registro
Hualgayoc	S 06° 46’ W 78° 37’	3510	Julio 1961 a Junio 1983 (23 años)
Granja Porcón	S 07° 02’ W 78° 38’	3000	Julio 1966 a Diciembre 1997 (32 años)
Llapa	S 06° 59’ W 78° 49’	2798	Enero 1987 a Diciembre 2004 (18 años)

Cabe señalar que para los fines de este estudio, en cuanto a la precipitación se utilizó la información histórica de la estación Hualgayoc, ubicada a una distancia aproximada de 1 km del distrito de Hualgayoc, a una altitud de 3 510 msnm y con las coordenadas aproximadas 9 251 623 N y 764 477 E. La ubicación de esta estación se puede ver en el Plano N° 01 del Anexo VI: Planos.

8.3.2 Información cartográfica

En el Cuadro N° 8.3.2-1 se muestra la información cartográfica utilizada en este estudio.

Cuadro Nº 8.3.2-1: Información cartográfica utilizada en el estudio

Denominación	Hoja	Escala	Entidad
Chota	14 –f	1: 100000	IGN

Fuente: IGN

8.3.3 Precipitación máxima en 24 horas

Los datos de precipitación máxima en 24 horas se muestran en el Cuadro N° 8.3.3-1.

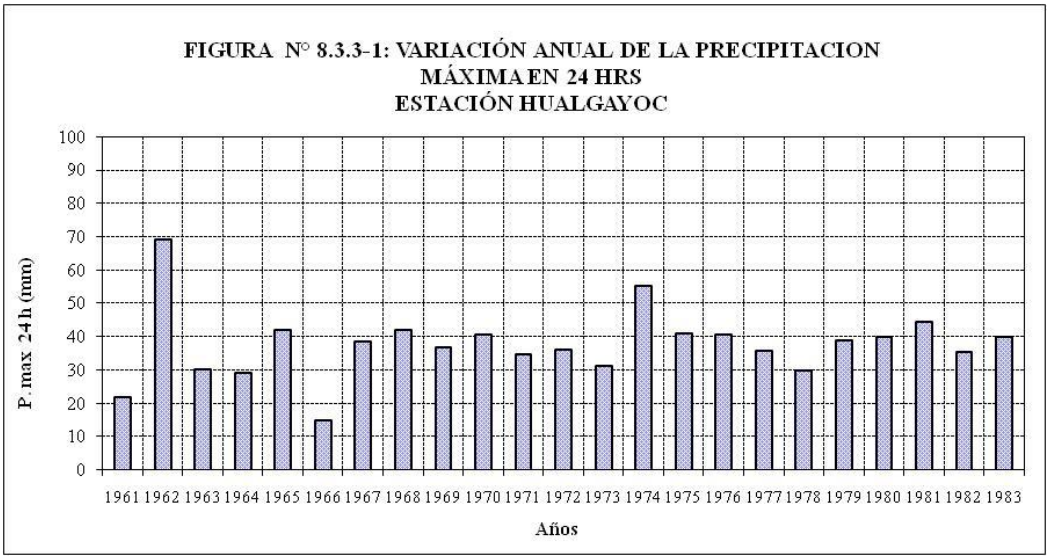
Cuadro N° 8.3.3-1: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

N°	Año	Estación		
		Granja Porcón	Hualgayoc	Llapa
1	1961		22	
2	1962		69.1	
3	1963		30.4	
4	1964		29.2	
5	1965		42	
6	1966		15.1	
7	1967	38	38.5	
8	1968	48	42	
9	1969	35	37	
10	1970	37	40.8	
11	1971	77	34.6	
12	1972	59	36.1	
13	1973	59	31.2	
14	1974	29	55.2	
15	1975	32	41	
16	1976	41	40.8	
17	1977	43	35.8	
18	1978	35	30	
19	1979	52.2	39	
20	1980	44.6	40	
21	1981	50.5	44.5	
22	1982		35.5	

N°	Año	Estación		
		Granja Porcón	Hualgayoc	Llapa
23	1983		40	
24	1984			
25	1985			
26	1986	28		
27	1987	53.5		32
28	1988	30		24.4
29	1989	30.6		29.2
30	1990	43		27.2
31	1991	50.5		37
32	1992	37.5		45
33	1993	35.9		32
34	1994	40.2		30.8
35	1995	41.7		21.4
36	1996	72		47.4
37	1997	48.2		28.1
38	1998	53.7		43.7
39	1999	59.1		46.3
40	2000	44.7		53.7
41	2001	53.3		38.1
42	2002	45.1		40.7
43	2003	45.1		30.1
44	2004	47.1		36.1

La estación Granja Porcón presenta mayor longitud de datos (32 años) con respecto a la estación Hualgayoc (23 años) y Llapa (18 años), sin embargo la estación Hualgayoc es la más representativa, debido a que es la única que se encuentra en la

zona de estudio. En la Figura N° 8.3.3-1 se puede ver la variación anual de la Precipitación máxima en 24 horas de la Estación Hualgayoc.



8.3.4 ANALISIS DE LA INFORMACION PLUVIOMETRICA

A. Análisis de frecuencias

Se realizó un análisis estadístico de las distribuciones probabilísticas de las precipitaciones máximas en 24 horas para la estación Hualgayoc. Los modelos probabilísticos empleados fueron: Normal, LogNormal, Log-Pearson III y Gumbel. Los datos utilizados se muestran en el Anexo I: Información Meteorológica.

Para tal efecto, se ordenaron los valores de la precipitación máxima en 24 horas anual, en orden decreciente, designando con "m" al número de orden asignado a cada precipitación y con "n" al total de datos estadísticos.

Se definió los datos estadísticos "x_i" correspondientes a los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas y los datos estadísticos "y_i" correspondientes a la forma logarítmica de los mismos ($y_i = \log x_i$)

Para cada uno de los datos referidos, se calculó el promedio (μ), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de asimetría (g), de acuerdo a las siguientes relaciones.

$$\mu = \frac{\sum (x)}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\mu)^2}{n-1}}$$

$$g = \frac{n}{(n-1)(n-2)(\sigma)^3} * \sum (x-\mu)^3$$

a.1 Análisis de distribución Normal

Para el análisis de la distribución normal, se definió la probabilidad de excedencia del evento "p" como la inversa del periodo de retorno "T".

$$p = \frac{1}{T}$$

Se calculó el valor del parámetro "z" correspondiente a una probabilidad de excedencia "p" calculando para tal efecto una variable intermedia "w":

$$w = \left[\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)\right]^{1/2}$$

Luego el valor de "z" se calculó mediante la aproximación de Abramowitz y Stegun (1965).

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

El valor de "z" es igual al factor de frecuencia "K" de una distribución normal.

$$z = K = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

El valor de "x" es igual a la precipitación "P" para un determinado período de retorno:

$$x = P = z\sigma + \mu$$

a.2 Análisis de distribución Log – Normal

El ajuste estadístico Log-Normal es una extensión de la distribución normal, donde los valores logarítmicos de una secuencia son considerados como normalmente distribuidos. La función densidad de probabilidad y todas las demás propiedades de la distribución normal, son aplicables a esta distribución.

Para el análisis de distribución Log-Normal, se utilizó el mismo procedimiento que el usado en el análisis de la distribución normal, con la diferencia que el valor de "x" calculado corresponde a la relación x = log x_i. El valor de la precipitación "P" para un período de retorno dado será:

$$P = 10^x$$

a.3 Análisis de distribución Log – Pearson III

Para el análisis de la distribución Log-Pearson III, se calculó los parámetros "w" y "z" mediante las relaciones señaladas anteriormente. El factor de frecuencia "K", fue calculado mediante la función de aproximación de Kite (1977).

$$K = z + \left(z^2 - 1\right)k + \frac{1}{3}\left(z^3 - 6z\right)k^2 - \left(z^2 - 1\right)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Donde el valor de k es igual a 1/6 del coeficiente de asimetría "g". El valor de x = log (P) y viene dado por la relación:

$$x = \log P = z\sigma + \mu$$

Luego el valor de P es:

$$P = 10^x$$

a.4 Análisis de distribución Gumbel

Para la distribución Gumbel la precipitación "P" para un determinado período de retorno se ha calculado mediante la siguiente relación:

$$P = K\sigma + \mu$$

Donde los valores de σ y μ representan la desviación estándar y la media de los datos estadísticos "x_i".

B. Aplicación de la distribución de frecuencias

Las distribuciones de frecuencia usadas en el tratamiento de la precipitación fueron:

- Distribución Normal
- Distribución LogNormal
- Distribución Log Pearson III
- Distribución Gumbel

En el Anexo II se muestra el Análisis de Frecuencias realizado para los datos de la estación Hualgayoc.

C. Análisis de Ajuste de Bondad

Para los modelos referidos, se realizó el análisis de Ajuste de Bondad, aplicando la prueba de Smirnov-Kolmogorov (los resultados para los datos analizados se pueden ver en el Anexo III: Análisis de Ajuste de Bondad). Cabe resaltar que no se utilizó la prueba de Chi-cuadrado en vista que este método solo se debe aplicar para la distribución Normal, no permitiendo comparar el ajuste de las otras distribuciones calculadas en este informe

El método de Smirnov-Kolmogorov consiste en comparar el máximo valor absoluto de las diferencias entre la función de distribución de probabilidad observada $P_{o\ (x_m)}$ y la estimada $P(x_m)$:

$$D = max\left|P_o(x_m) - P(x_m)\right|$$

El valor de "D" debe ser comparado con uno crítico determinado en el Cuadro N° 8.3.4-1 ("D" depende del número de datos y el nivel de significancia):

Cuadro N° 8.3.4-1: Valor crítico para la prueba de Smirnov-Kolmogorov

Tamaño de la muestra N	Nivel de Significación α		
	0.10	**0.05**	**0.01**
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
N grande	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Fuente: PROBABILITY AND STATICS IN HYDROLOGY, Vujica Yevjevich, Water Resources Publication, 3rd Printing 1982, Pág. 229.

En el Cuadro N° 8.3.4-2 se muestra el resumen de los resultados obtenidos para cada distribución de frecuencia para la estación Hualgayoc. Así mismo de acuerdo al Análisis de Ajuste de Bondad realizado, a través de la ejecución de la prueba de Smirnov-Kolmogorov, para todas las distribuciones usadas, se determinó que la función de distribución que mejor se ajusta a los datos es la **distribución LogNormal**.

Cuadro N° 8.3.4-2: Precipitación máxima en 24 horas para diferente distribuciones

Tiempo de retorno (años)	Normal	Log Normal	Log Pearson III	Gumbel I
5	46.65	**46.60**	46.72	46.74
10	51.27	**53.05**	50.88	49.78
20	55.08	***59.04***	54.02	51.91
50	59.37	**66.59**	57.19	53.95
100	62.23	**72.15**	59.08	55.10
500	68.02	**84.87**	62.30	57.00

8.3.5 CALCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

Para el cálculo de los caudales de diseño se utilizó el método racional debido a que la microcuenca de estudio registra un área menor a 2.5 km^2, como se puede ver en el Cuadro N° 3.0-1. La expresión del método racional es la siguiente:

$$Q = C * I * A / 3.6$$

Q = Caudal (m^3/s)
C = Coeficiente de escorrentía
I = Intensidad máxima de la lluvia (mm/h)
A = Área de la cuenca (km^2)

Se consideró como **tiempo de retorno** el valor de 20 años, porque los canales a diseñar son estructuras que se asemejan a la recomendación de Ven Te Chow en su Tabla 13.1.1 Criterios de diseños generalizados para estructuras de control de agua, para alcantarillas de carretera para volúmenes de tráfico intermedios. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú dentro del Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, en el Cuadro N° 4.1.1.b: Periodos de retorno para diseño de obras de drenaje en carreteras de bajo volumen de tránsito, considera para las Alcantarillas de alivio un periodo de retorno entre 10-20 años. Por esta razón se optó por utilizar el Tiempo de retorno de 20 años.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía "C" se utilizó la Tabla 15.1.1: Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional, de donde se consideró el valor de C = 0.45 debido a que esta microcuenca corresponden a zona de áreas no desarrolladas de pendiente superior al 7% considerando un tiempo de retorno de 20 años.

Para el cálculo de la intensidad se elaboraron las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia utilizando los datos de Precipitación Máxima en 24 horas de la estación Hualgayoc.

En primer lugar se tomó la precipitación máxima en 24 horas de la estación Hualgayoc y se realizó el cálculo de la precipitación en función de la duración (en minutos) mediante la siguiente relación:

$$P_d = P_{24h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25}$$

Donde:

P_d = Precipitación ajustada, en mm.
d = Duración, en minutos.
P_{24h} = Precipitación máxima en 24 horas, en mm.

Con esta relación se volvió a construir el cuadro de precipitaciones para duraciones de 15, 30, 60, 120, 180 y 240 minutos. Los resultados de este cálculo se pueden ver en el Cuadro N° 2: Lluvias Máximas – estación Hualgayoc, del Anexo IV: Cálculo de la Intensidad.

Se procedió a calcular la intensidad realizando la división de la precipitación ajustada con la duración, como se puede ver en el Cuadro N° 3: Intensidades máximas – estación Hualgayoc, del Anexo IV.

Las intensidades máximas se calcularon en función de la duración y el tiempo de retorno, el detalle del cálculo se puede ver en el Cuadro N° 4 del Anexo IV.

Con estos datos se realizó el análisis de regresión adoptando los parámetros que permitan aproximar mejor la Intensidad, obteniéndose la siguiente relación:

$$I = 170.80 \frac{T^{0.230}}{t^{0.750}}$$

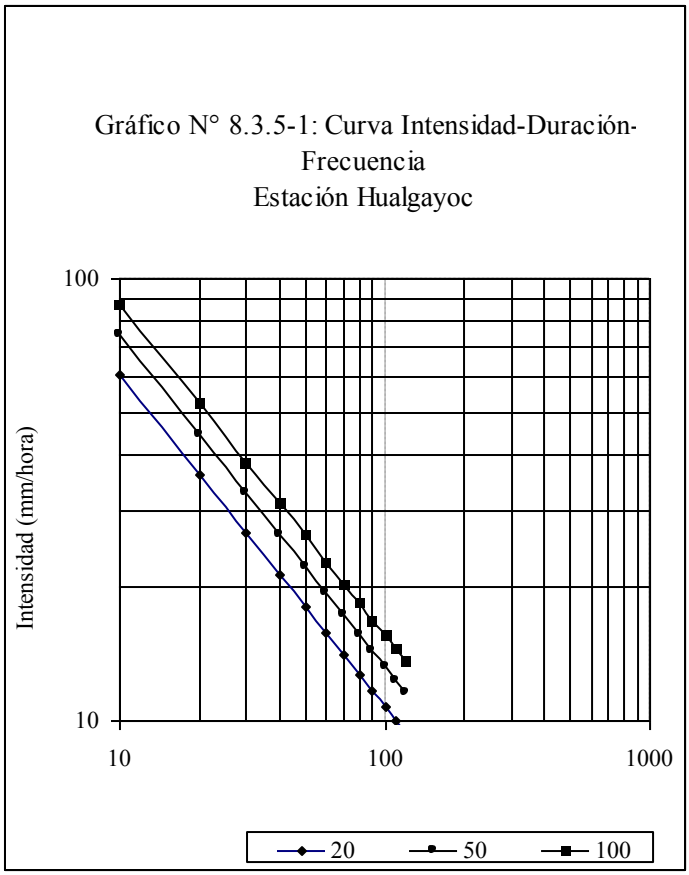
Donde:
I = Intensidad, en mm/hora.
T = Período de retorno, en años.
t = Duración, en minutos.

Finalmente con la relación obtenida se calculó la Intensidad para distintos tiempos de retorno, valores que se muestran en el Cuadro N° 8.3.5-1.

Cuadro N° 8.3.5-1: Intensidades máximas

Duración	Período de Retorno		
	20	**50**	**100**
10	60.57	74.80	87.76
20	36.01	44.48	52.18
30	26.57	32.82	38.50
40	21.41	26.45	31.03
50	18.11	22.37	26.25
60	15.80	19.51	22.89
70	14.07	17.38	20.39
80	12.73	15.73	18.45
90	11.66	14.40	16.89
100	10.77	13.30	15.61
110	10.03	12.38	14.53
120	9.39	11.60	13.61

Los datos mostrados en el Cuadro N° 8.3.5-1 se han graficado y se muestran en el Gráfico N° 8.3.5-1.



Para el cálculo de la **Intensidad** se tiene que ingresar a la Gráfica N° 8.3.5-1 tanto con el tiempo de concentración en el eje de las abscisas y con el período de retorno para elegir la curva que determine la intensidad a utilizar.

El **tiempo de concentración** es una de las variables que caracteriza la escorrentía superficial, mide el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial. Para su determinación se utilizaron las fórmulas planteadas por Kirpich, US Corps of Engineers y Bransby – Williams.

<u>Fórmula de Kirpich</u>:

$$T_c = 0{,}06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en kilómetros.

S = Pendiente entre altitudes máximas y mínimas del cauce, en m/m.

<u>Fórmula del US Corps of Engineers</u>:

$$T_c = 0{,}3\frac{L^{0{,}76}}{S^{0{,}19}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración, en horas.
L = Longitud del cauce principal, en kilómetros.
S = Pendiente, en m/m.

<u>Fórmula de Bransby – Williams</u>:

$$T_c = 0{,}2433LA^{-0{,}1}\left(\frac{L^{-0{,}1}}{S^{0{,}2}}\right)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración, en horas.
L = Longitud del cauce principal, en kilómetros.
S = Pendiente, en m/m.
A = Área de la microcuenca, en km^2.

Para tal fin se realizaron los cálculos de acuerdo a las características de las microcuencas de estudio y se calculó el tiempo de concentración como el promedio de los resultados obtenidos de las fórmulas de Kirpich, US Corps of Engineers y Bransby – Williams.

Finalmente con todos estos datos se calcularon los **caudales de diseño** para los canales requeridos. Los datos que resumen el cálculo de los caudales de diseño se pueden ver en el Cuadro N° 8.3.5-2.

Cuadro N° 8.3.5-2: Resumen del cálculo de los caudales de diseño

Nombre	Área	Lc	Pendiente	Tiempo de Concentración Tc			Tc elegido	Tc elegido	Intensidad Tr=20	C	Caudal
Micro-cuenca	(km^2)	(km)	(m/m)	Kirpich	Corps of Engineers	B-W	(hr.)	(min.)	(mm/hr)		(m^3/s)
Z-1	2.35	3.19	0.16	0.33	1.03	1.03	0.80	48.00	19.00	0.45	5.58
Z-2	0.06	0.61	0.53	0.06	0.23	0.22	0.17	10.20	60.00	0.45	0.45
Z-3	0.13	0.75	0.64	0.06	0.26	0.24	0.19	11.40	58.00	0.45	0.94
Z-4	0.01	0.21	0.94	0.02	0.09	0.08	0.06	3.60	60.00	0.45	0.08
Z-5	0.01	0.21	0.94	0.02	0.09	0.08	0.06	3.60	60.00	0.45	0.08
Z-6	0.03	0.35	0.79	0.03	0.14	0.13	0.10	6.00	60.00	0.45	0.23
Z-7	0.06	0.64	0.39	0.07	0.26	0.25	0.19	11.40	58.00	0.45	0.44
Z-8	**0.51**	**1.33**	**0.26**	**0.14**	**0.48**	**0.45**	**0.36**	**21.60**	**37.00**	**0.45**	**2.36**

Donde:

Lc = Longitud de la cuenca, en kilómetros.

Tc = Tiempo de concentración.

Tr = Tiempo de retorno, en años.

C = Coeficiente de escorrentía.

8.4 DISEÑO DE CANALES

En este informe se efectuaron todos los cálculos para flujo uniforme, es decir, considerando que el agua que va a escurrir por los canales reúne las dos condiciones de flujo uniforme[1], estas son:

- ✓ El tirante, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección del canal son constantes.
- ✓ La línea de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos, es decir, $S_f = S_w = S_o = S$.

[1] CHOW, Ven Te, "Hidráulica de canales abiertos", Colombia, 1994, 667 p.

8.4.1 ELEMENTOS DE DISEÑO DE UN CANAL

El diseño hidráulico de los canales se define en función de tres tipos de elementos: geométricos, cinéticos y dinámicos, como se puede ver en el Cuadro Nº 8.4.1-1.

Cuadro Nº 8.4.1-1: Elementos de diseño de un canal

Elementos Geométricos	
Tirante	y
Ancho del fondo	b
Área mojada	A
Perímetro mojado	P
Ancho de la superficie	T
Talud	Z
Radio hidráulico	R
Borde libre	Bl
Elementos cinéticos	
Gasto	Q
Velocidad media	v
Energía	E
Elementos dinámicos	
Coeficiente de rugosidad	n
Pendiente hidráulica	s

8.4.2 TIPO DE SECCION

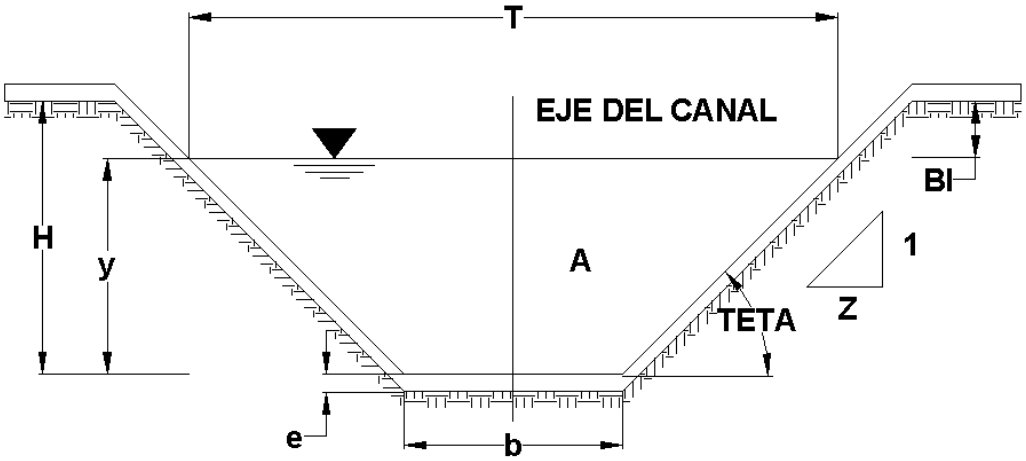
En este informe se utilizó la sección de canal tipo trapezoidal, tanto por la facilidad en el método constructivo, resistencia ante los procesos de erosión, así como por su facilidad para el mantenimiento.

En el Cuadro Nº 8.4.2-1 se muestran las características geométricas de la sección de canal trapezoidal.

Cuadro Nº 8.4.2-1: Características geométricas de la sección trapezoidal

Tipo de sección	Área de la sección transversal	Perímetro mojado, "P"	Radio Hidráulico "R" = A / P	Ancho de la parte superior
Trapezoidal	$by + Zy^2$	$b + 2y\sqrt{Z^2 + 1}$	$\frac{by + Zy^2}{b + 2y\sqrt{Z^2 + 1}}$	$T = b + 2yZ$

Figura N 8.4.2-1: Características de la sección de canal trapezoidal



8.4.3 TALUD DEL CANAL

De acuerdo a las características de la microcuenca de estudio se determinó que el material sobre el que se construirá el canal corresponde a arcilla firme, para la cual se considera como talud 0.5:1[2].

8.4.4 BORDE LIBRE

El borde libre para un canal puede variar entre 5% al 30% de la profundidad de flujo (tirante)[3].

[2] Valor tomado de la Tabla 7-1 Pendientes laterales apropiadas para canales construidos en diferentes clases de materiales, del libro de Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, pág. 155.
[3] Valores tomados del libro de Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, pág. 156.

Para el diseño de los canales en este informe se consideró utilizar aproximadamente el 20% del tirante, como medida de seguridad para evitar desbordes frente a la avenida de diseño.

En el Cuadro N° 8.4.4-1 se muestra el borde libre calculado para las secciones de canal de cada microcuenca analizada.

Cuadro Nº 8.4.4-1: Bordes libres de los canales diseñados

Microcuencas	Tirante (m)	Borde libre (m)
Z-1	1.26	0.25
Z-2	0.52	0.10
Z-3	0.65	0.15
Z-4	0.28	0.06
Z-5	0.28	0.06
Z-6	0.41	0.08
Z-7	0.52	0.10
Z-8	1.07	0.21

8.4.5 REVESTIMIENTO DE LOS CANALES

Los canales diseñados en este informe consideraron utilizar como revestimiento el concreto simple de espesor 0.10 m.
En vista que el tipo de revestimiento a utilizar será de concreto simple, en este informe se consideró como coeficiente de rugosidad del canal el valor de n = 0.014 que corresponde a canales de concreto sin pulir, encofrado en madera lisa[4].

8.4.6 VELOCIDAD DE DISEÑO

En el diseño hidráulico de los canales es recomendable diseñar un canal estable, es decir, que no presente procesos de erosión ni genere la acumulación de material en el

[4] CHOW, Ven Te, "Hidráulica de Canales Abiertos", Colombia, 2004, pág. 108.

fondo del canal. En otras palabras, el canal debe estar en equilibrio respecto a los sedimentos que arrastra en forma tal que la cantidad de material transportado permanezca constante en tramos de igual caudal. Para conseguirlo es necesario que la velocidad sea lo suficientemente grande para arrastrar todos los sedimentos que lleva el agua sin llegar a erosionar las paredes ni el fondo del canal.

La mayoría de los canales artificiales revestidos se consideran como no erosionables. Sin embargo debe tenerse en cuenta una velocidad mínima permisible o velocidad no sedimentable, la cual se define como: "… la menor velocidad que no permite el inicio de la sedimentación y no induce el crecimiento de plantas acuáticas y de musgo…", considerando que esta velocidad debe encontrarse entre 2 a 3 pies/s (0.61 a 0.91 m/s)[5].

En este informe se consideran los canales como no erosionables, debido a que se realizará un revestimiento de concreto simple de 0.10 m. y se consideró como velocidad mínima permisible, el menor valor, es decir, 0.61 m/s (2 pies/s) debido a que en la mayoría de las microcuencas de estudio los caudales que se presentan no son muy altos.

En el Cuadro N° 8.4.6-1 se muestran las velocidades consideradas para el cálculo de las secciones de canal de cada una de las microcuencas de estudio.

Cuadro Nº 8.4.6-1: Velocidad de diseño para los canales

Microcuencas	Velocidad (m/s)
Z-1	2.91
Z-2	1.30
Z-3	1.57
Z-4	0.84
Z-5	0.84
Z-6	1.10
Z-7	1.30
Z-8	1.95

[5] CHOW, Ven Te, "Hidráulica de Canales Abiertos", Colombia, 2004, pág. 155.

8.4.7 CAPACIDAD DEL CANAL

El canal debe estar construido de tal manera que conduzca el escurrimiento de diseño a velocidades promedio menores o iguales a la velocidad permisible. Esto se logra al aplicar la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} s^{1/2}$$

Donde:

V = velocidad promedio del flujo, en m/s.
n = coeficiente de rugosidad del canal.
R = área de la sección transversal entre el perímetro mojado.
S = gradiente hidráulico.

8.4.8 RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS CANALES DISEÑADOS EN CONDICIONES NORMALES

El cálculo de las dimensiones de los canales para la microcuenca de estudio se resume, de manera general, en el Cuadro N° 8.4.8-1.

La salida del programa HCanales para la microcuenca Z-8 se puede ver en el Anexo V: Sección de canal.

Cuadro Nº 8.4.8-1: Dimensiones del canal requerido para la microcuenca Z-8, en condiciones normales

Microcuencas	Caudal (m^3/s)	Base (m)	Tirante (m)	Pendiente (m/m)	Borde Libre (m)	Talud (Z)
Z-8	**2.36**	0.60	1.07	0.0025	0.21	0.5:1

8.5 COMPONENTE DE ESTUDIO: DEPÓSITO DE DESMONTES

8.5.1 IDENTIFICACIÓN DEL DEPÓSITO DE DESMONTES

El depósito de desmontes materia de estudio se encuentra ubicado en microcuenca Z-8, como se puede ver en el Plano N° 02 del Anexo VI: Planos.
Las principales características del Depósito se muestran en el Cuadro N° 8.5.1-1.

Cuadro N° 8.5.1-1: Cuadro resumen de las características del Depósito de Desmontes

UBICACIÓN	CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO DE DESMONTES			
	AREA (m^2)	VOLUMEN (m3)	COORDENADAS UTM	
			NORTE	ESTE
MICROCUENCA Z-8	5611.50	37140.00	9252940	765457

8.5.2 DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE DESMONTES

El depósito de desmontes, materia de este estudio, se encuentra ubicado en la ladera occidental del cerro Jesús, cerca de la trocha carrozable que une Hualgayoc con el caserío de La Tahona, a 3475 msnm. Este lugar constituye parte de la ladera occidental y media del Cerro Jesús; cuyo relieve local está conformado por una ladera de contorno algo irregular a ondulado que tiene declives de 22° a más de 35º que, en dirección hacia el Este disminuye de pendiente originando una depresión en forma de una llanura pequeña e irregular, geoforma que tiene un largo cercano a 200 m y anchos de 30 a 50 m.

El lugar de interés ha sido modelado en rocas intrusivas y rocas sedimentarias del cretáceo, que se hallan parcialmente tapizadas por los depósitos de cobertura, cuyos espesores aumentan en la parte llana. En el lugar, las laderas rocosas presentan declives desde 20° a más de 38º; estas laderas son estables.

El depósito de desmontes tendrá la siguiente configuración:

- Área de botadero: 5611.50 m^2.
- Capacidad de almacenamiento: 37140.00 m^3.
- Ángulo de talud del desmonte a acumularse: 27º de inclinación.
- Altura de los bancos: 9.00 m proyectado.

- Ancho de bermas de estabilidad: 2.00 m.

- Altura final proyectada: 33.00 m.

8.5.3 ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DEL DEPÓSITO DE DESMONTES

A. DISEÑO DE CANALES PARA LA CAPTACION DEL DRENAJE SUPERFICIAL

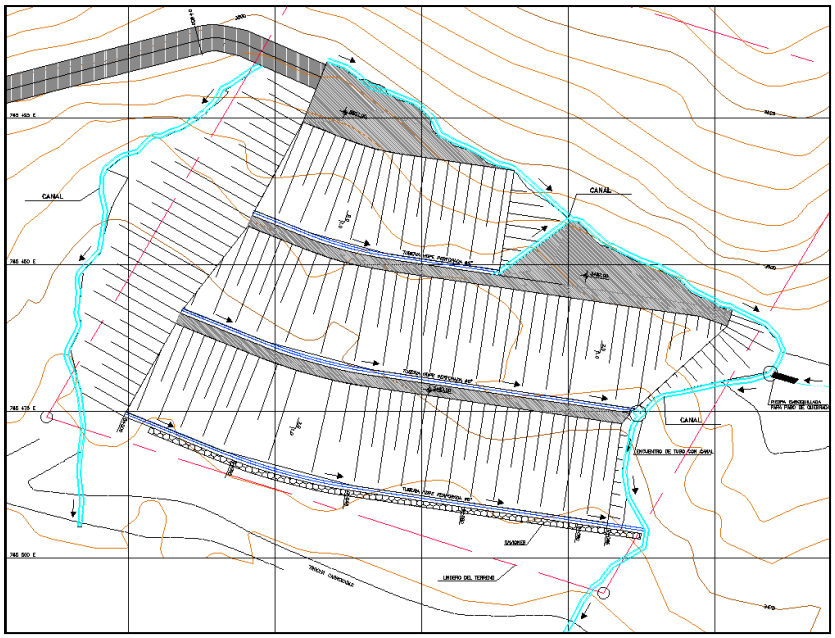
Los canales de captación se han dividido en dos partes: canal de coronación y canales laterales.

El canal de coronación servirán para evitar que el agua que discurre por la microcuenca Z-8, proveniente de la zona aguas arriba del depósito de desmontes, ingresen a este componente, de tal manera que esta agua limpias no entren en contacto con el material dispuesto en el depósito de desmontes y puedan ser conducidas hacia los canales laterales.

Los canales laterales tienen la función de evacuar el agua proveniente del canal de coronación hacia una zona segura, en este caso una quebrada natural, de manera que el agua continúe con su curso y se evite el contacto de las aguas limpias con material de desmonte, para evitar la generación de cárcavas e inestabilidades.

En la Figura N° 8.5.3-1 se tiene una vista de planta del depósito de desmontes estabilizado con el trazo de los canales.

Figura N° 8.5.3-1: Vista de planta del depósito de desmontes estabilizado



Tanto para el canal de coronación como para los canales laterales se ha considerado utilizar los parámetros mostrados en el Cuadro N° 8.5.3-1.

Cuadro N° 8.5.3-1: Parámetros para el área de interés de la microcuenca Z-8

Nombre	Área	Lc	Pendiente	Tiempo de Concentración Tc			Tc elegido	Tc elegido	Intensidad Tr=20	C	Caudal
Micro-cuenca	(km^2)	(km)	(m/m)	Kirpich	Corps of Engineers	B-W	(hr)	(min.)	(mm/hr)		(m^3/s)
Z-8	0.24	0.8	0.5	0.07	0.29	0.26	0.21	12.60	37.00	0.45	1.11

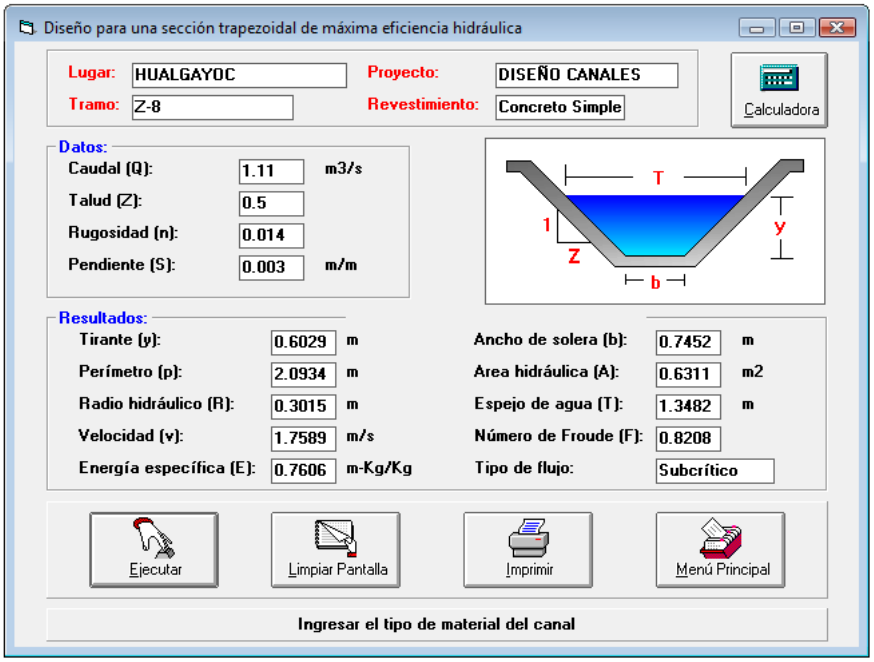
De acuerdo a las consideraciones del ítem 8.4 Diseño de Canales y tomando en cuenta un diseño para una máxima eficiencia hidráulica se presenta el Cuadro N° 8.5.3-2 con el resumen de los parámetros para el diseño de los canales del sector de interés de la microcuenca Z-8.

Cuadro N° 8.5.3-2: Resumen de los parámetros de diseño para una máxima eficiencia hidráulica

Caudal (m^3/s)	Base (m)	Tirante (m)	Pendiente (m/m)	Borde Libre (m)	Talud (Z)
1.11	0.75	0.60	0.003	0.12	0.5:1

En la Figura N° 8.5.3-2 se muestra las características del programa Hcanales para el sector de interés de la microcuenca Z-8.

Figura N° 8.5.3-2: Resultados del programa Hcanales



El trazo tanto del canal de coronación como de los canales laterales se puede ver en el Plano N° 03 del Anexo VI: Planos.

B. DISEÑO DE FILTRO – DREN PARA LA CAPTACION DEL DRENAJE SUB-SUPERFICIAL

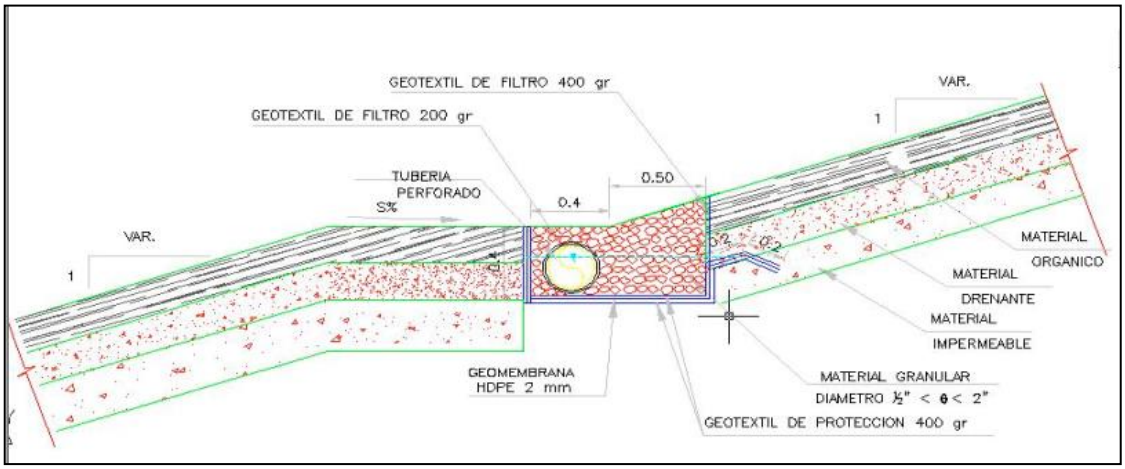
El depósito de desmontes no solo debe considerar el aislamiento de las aguas superficiales mediante los canales de coronación y canales laterales sino que debe evacuar el agua que producto de la precipitación directa sobre la plataforma y taludes puede infiltrar hacia el interior del depósito.

Estas filtraciones se suceden debido a que el agua producto de la precipitación que cae sobre los taludes y plataforma del depósito de desmontes por efecto de la gravedad intenta ingresar al interior del depósito, lo que debe ser evitado para garantizar una adecuada estabilidad del mismo, es por ello que es necesario que el depósito cuente con un sistema de drenaje sub-superficial que permita evacuar estas aguas.

Por tal motivo una vez estabilizado físicamente el depósito de desmontes se procede al perfilado y colocación de una cobertura, compuesta por tres capas: la capa inferior de material impermeable (puede ser arcilla o geomembrana) que aisla el material conformante del depósito del contacto con el exterior y contraresta el paso del agua hacia el interior del depósito, la capa intermedia de material drenante (será material granular de diámetro mayor a ½" y menor a 2") este material permite el desplazamiento del agua de precipitación que ha escurrido de la capa superior y finalmente la capa superior de material orgánico sobre la cual se pueden colocar plantones para propiciar la revegetación del área del depósito de desmontes.

En la Figura N° 8.5.3-3 se muestra un esquema de la descripción realizada.

Figura N° 8.5.3-3: Características del drenaje sub-superficial



Dentro de este sistema de drenaje sub-superficial la función de filtro la cumple el geotextil de protección de 400 gr. que evita que el material fino ingrese al dren francés que contiene la tubería HDPE perforada (HDPE=Polietileno de Alta Densidad) dejando pasar únicamente el agua percolada a través de la capa intermedia de material drenante de la cobertura. La función de drenaje la realizará la tubería HDPE perforada que se instalará al interior de un dren francés de manera que se asegure que toda el agua escurrida sea captada y orientada hacia la tubería. Para evitar alguna perdida a través del dren francés se colocará por debajo de este una geomembrana que evitará el escape del agua hacia el interior del depósito de desmontes.

Para la captación del drenaje sub-superficial del depósito de desmontes se calculó las dimensiones requeridas para que la tubería perforada de HDPE colecte las filtraciones en cada plataforma así como en la cabecera del muro de gavión, ubicado en la parte baja del depósito de desmontes.

El agua colectada en la tubería HDPE perforada será conducida hacia los canales laterales, pertenecientes al drenaje superficial, explicado en el ítem 8.5.3-A.

El dimensionamiento de las tuberías para la captación del drenaje sub-superficial se realizó calculando el caudal que evacuará cada talud del depósito de desmontes. Posterior a ello se calculó a través del programa Hcanales los diámetros adecuados para cada una de los taludes. En el Cuadro N° 8.5.3-3 se muestra los caudales y los diámetros requeridos para cada una de los taludes.

Cuadro N° 8.5.3-3: Resumen de las características del Filtro - dren

Talud	Área	Intensidad Tr=20	C	Caudal	Diámetro
	(km^2)	(mm/hora)		(m^3/s)	(Pulg.)
Talud 1	0.0007	37.00	0.45	**0.0032**	4.0
Talud 2	0.0014	37.00	0.45	**0.0065**	6.0
Talud 3	0.0014	37.00	0.45	**0.0065**	6.0

En las Figuras N° 8.5.3-4 y 8.5.3-5 se muestran los resultados del programa Hcanales para los cálculos realizados de las tuberías de sub-drenaje.

Figura N° 8.5.3-4: Características de la tubería para el Talud 1

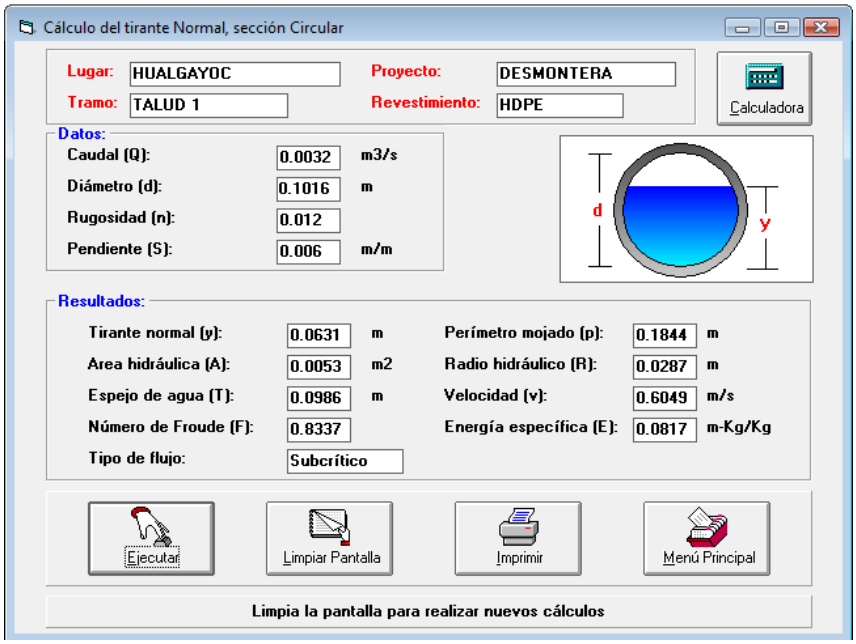
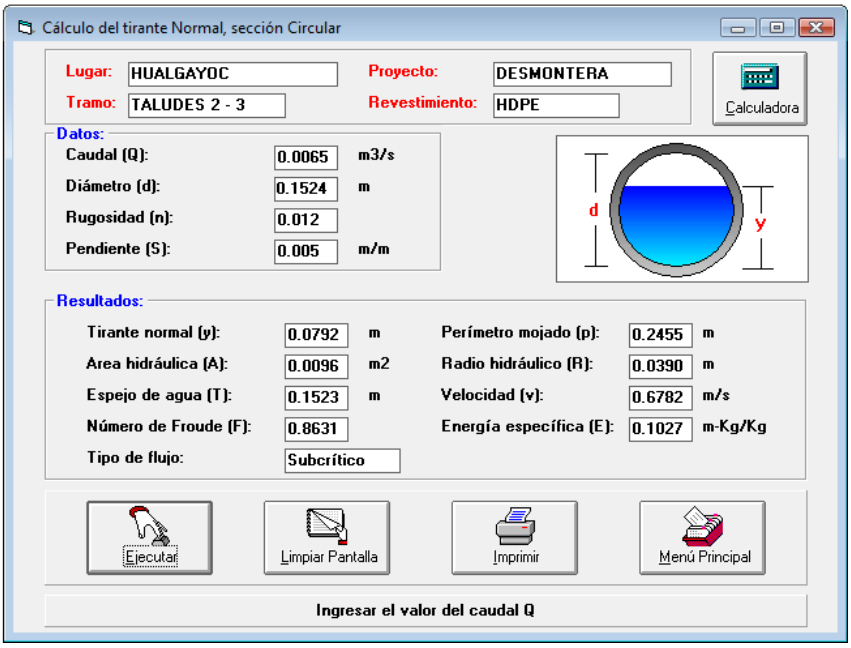


Figura N° 8.5.3-5: Características de la tubería para el Talud 2 y 3



9.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones del manejo de los desechos de la actividad minera, producto de la primera etapa (desbroce) se tienen:

- Se realizó el análisis hidrológico de la zona de estudio (microcuenca Z-8) haciendo uso de la data correspondiente a la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica Hualgayoc, en vista que es la estación más próxima a la microcuenca Z-8. Se realizó el análisis de frecuencias concluyéndose que la distribución que mejor se ajusta es LogNormal utilizando el método de Smirnov-Kolmogorov, no se utilizó la prueba Chi-cuadrado en vista que este método solo se debe aplicar a la distribución Normal. Finalmente se obtuvo el caudal de diseño haciendo uso del método racional, obteniéndose un caudal de 2.36 m^3/s para la microcuenca Z-8.

- Se analizaron las alternativas de cierre para el depósito de desmontes ubicado en la microcuenca Z-8, concluyéndose que la mejor forma para alcanzar la estabilización física era mediante el método de suelo reforzado.

- Se propone la cobertura del depósito de desmontes, en taludes y plataformas, de manera que se encapsule el desmonte del medio ambiente, mediante la colocación de capas de cobertura, como se mostró en la Figura N° 8.5.3-3, en el siguiente orden: una capa de arcilla para encapsular el desmonte, una capa de material drenante que permita evacuar las aguas percoladas por precipitación en las plataformas y taludes y una capa de materia orgánica que permita propiciar la revegetación en el depósito remediado.

- Se diseñó como medidas de estabilización hidrológica un sistema de drenaje tanto para el control de la escorrentía superficial (mediante el diseño de canales trapezoidales) como para el control del drenaje sub-superficial (mediante dren francés con tubería colectora al interior, drenes que deben estar ubicados en las plataformas, entre la cobertura del depósito de desmonte y el mismo desmonte, considerando que debe estar aislado del desmonte, como se mostró en la Figura N° 8.5.3-3) de manera que colecten las aguas infiltradas, producto de la precipitación en el depósito de desmonte.

- Las características de la zona de estudio, en cuanto al clima hacen prever que las fuerte precipitaciones pueden arrastrar material proveniente de los suelos ubicados aguas arriba del depósito de desmontes, dentro de la microcuenca Z-8, y acumularse en los canales.

9.2 RECOMENDACIONES

Como recomendaciones de este estudio se presentan las siguientes:

- Realizar un programa de monitoreo del estado de conservación de las obras de la estabilización hidrológica, para determinar posibles problemas que puedan darse en las obras una vez que estas hayan sido ejecutadas, siendo la falla más común la ruptura del concreto por asentamientos diferenciados.

- Implementar un programa de mantenimiento y limpieza, en la etapa de post - cierre del depósito de desmontes, para que las obras de estabilidad hidrológica planteadas en el estudio, canales y sub-drenes, puedan tener un funcionamiento óptimo, de acuerdo a lo previsto en el diseño.

10.0 BIBLIOGRAFIA

- CHOW, Ven Te, Hidráulica de canales abiertos, Colombia, 1994, 667 pp.
- VILLÓN, Máximo, Hidrología, Costa Rica, 2002, 433 pp.
- VILLÓN, Máximo, Hidrología Estadística, Costa Rica, 2002, 380 pp.
- GUEVARA, Edilberto, Hidrología, Venezuela, 1991, 358 pp.
- ROCHA, Arturo, Hidráulica de tuberías y canales VI, Perú, 1981, 62 pp.

ANEXOS

I. INFORMACION METEOROLOGICA

II. ANALISIS DE FRECUENCIAS

III. ANALISIS DE AJUSTE DE BONDAD

IV. CALCULO DE LA INTENSIDAD

V. SECCIÓN DE CANAL

VI. PLANOS

VII. ALBUM FOTOGRAFICO