

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN
QUEBRADA SANTO DOMINGO
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO CIVIL

ANDRES PEÑA CONTRERAS

Lima - Perú

2008

INDICE

	Pag.
RESUMEN	
INTRODUCCION.	1
CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	
1.1. Antecedentes	3
1.2. Ubicación y Extensión	3
1.3. Vías de Acceso	4
1.4. Clima	5
1.5. Hidrología de la zona	6
1.6. Geología de la Zona	9
CAPITULO 2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS EN QUEBRADAS	
2.1. Desastres Producidos por Huaycos	12
2.1.1. Los Huaycos	12
2.1.2. Formación de Huaycos	13
2.1.3. Subcuencas de Chosica	18
2.1.4. Desastres Producidos por los Huaycos	20
2.1.5. Medidas de Mitigación de Desastres en Zonas de Quebradas	21
2.2. Medidas Estructurales para Tratamiento de Huaycos en Quebradas	22
2.2.1. Diques Temporales o Presas de Retención	22
2.2.2. Diques para Escombros	24
2.2.3. Canalización del Lecho	27
2.3. Método de Corrección del Drenaje para evitar Huaycos.	29
2.3.1. Ideas Básica para la Solución de los Huaycos.	30
2.3.2. Método De Corrección del Drenaje	31
2.4. Tratamiento de Huaycos con Tecnología Propia	34
2.4.1. Rescate de la Tecnología Propia	34
2.4.2. Uso de la Roca como Alternativa	35
2.4.3. Tecnología Inca en Construcción de Muros Secos y Pircas	36
2.4.4. Bases del Rescate Tecnológico	39

CAPITULO 3. INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 Información Básica del Proyecto	43
3.1.1 Topografía	43
3.1.2 Geología y Geotecnia	44
3.1.3 Hidrología y Determinación del Flujo de Avenidas	48
3.2 Componentes y Características de las Alternativas de Solución	50
3.2.1 Alternativa 01: Encauzamiento con Trazo Actual del Cauce	50
3.2.2 Alternativa 02: Encauzamiento con Cambio de Trazo del Cauce	59
3.3 Presupuesto de las Alternativas de Solución	62
3.3.1 Presupuesto de obra de la Alternativa 01	63
3.3.2 Presupuesto de obra de la Alternativa 02	64
3.3.3 Montos de inversión de cada Alternativa	65
3.3.4 Costos de Mantenimiento.	66
3.4 Especificaciones Técnicas	67

CONCLUSIONES

RECOMEDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS:

- Anexo 01: Modelamiento del flujo de escombros en la quebrada
Santo Domingo, con fines de protección de la UNE "Enrique
Guzman y Valle"
- Anexo 02: Cronogramas de Obra de las Alternativas
- Anexo 03: Planos

LISTA DE CUADROS

Número	Descripción	Pag.
Cuadro N°1:	Resumen Estadístico de Precipitaciones Máximas en 24 Horas	8
Cuadro N°2:	Caudales en las Subcuencas Tributarias del río Rímac	8
Cuadro N°3:	Características Geomorfológicas de la Subcuenca Santo Domingo	45
Cuadro N°4:	Costos de Mano de Obra (H-H)	62
Cuadro N°5:	Presupuesto Total de Obra de la Alternativa N° 01	62
Cuadro N°6:	Presupuesto Total de Obra de la Alternativa N° 02	62
Cuadro N°7:	Monto de Inversión Total de la Alternativa N° 01	65
Cuadro N°8:	Monto de Inversión Total de la Alternativa N° 02	65
Cuadro N°9:	Costos de Mantenimiento Rutinario	66
Cuadro N°10:	Costos de Mantenimiento Periódico	66

LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción	Pag.
Figura 01:	Imagen aérea de la zona del proyecto y las vías de acceso	5
Figura 02:	Imagen satelital de la subcuenca de Santo Domingo	7
Figura 03:	Condiciones para la formación del huayco	14
Figura 04:	Etapa inicia en la formación del huayco	14
Figura 05:	Etapa media de la formación del huayco	15
Figura 06:	Desarrollo pleno del huayco	16
Figura 07:	Frente y densidad del huayco. Acción erosiva en los bordes	17
Figura 08:	Vista general del tipo que subcuenca de Chosica	20
Figura 09:	Imagen de dique regulador de mampostería de piedra	26
Figura 10:	Imagen de obras de canalización de lecho del huayco	28
Figura 11:	Canal perimetral y muros de contención	32
Figura 12:	Vista del canal captador disipador drenador	33
Figura 13:	Acceso del agua al canal de acuerdo a su velocidad y volumen	33
Figura 14:	Esquema de un muro típico en Tipón - Cusco	38
Figura 15:	Estabilidad y talud del muro inca	39
Figura 16:	Dimensiones del muro de mampostería	55
Figura 17:	Imagen de obras de canalización de lecho del huayco	73
Figura 18:	Imagen de obras de canalización de lecho del huayco	74

LISTA DE PLANOS

Número	Descripción
UB-01	Plano de Ubicación
PL-01	Topografía del Cauce Actual
PL-02	Alternativa 01: Eje del Trazo
PL-03	Alternativa 01: Perfiles Longitudinales
PL-04	Alternativa 01: Secciones Transversales
PL-05	Alternativa 01: Secciones Típicas
PL-06	Alternativa 02: Eje del Trazo
PL-07	Alternativa 02: Perfiles Longitudinales
PL-08	Alternativa 02: Secciones Transversales
PL-09	Alternativa 02: Secciones Típicas

RESUMEN

El presente informe trata del diseño de obras de encauzamiento de huaycos provenientes de la quebrada Santo Domingo, Chosica, en su cono de deyección, dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle", hasta su desembocadura en el río Rímac. Este trabajo forma parte del proyecto de inversión pública a nivel de perfil "Obras de Encauzamiento para la Protección de la Infraestructura de la Universidad Nacional de Educación", en su parte de lineamientos técnicos, y tiene como finalidad el desarrollo de la ingeniería del proyecto, planteando las alternativas de solución y además, determinar los presupuestos de obra y montos de inversión.

El proyecto se sitúa en una zona donde frecuentemente ocurren huaycos, debido a que esta zona tiene características físicas bien definidas como una topografía accidentada, que determina profundas quebradas tributarias del Río Rímac, entre los 800 y 2300 msnm., un clima semi-árido, con precipitaciones excepcionales, que se alternan con períodos secos y una geología donde predomina la roca ígnea intrusiva. La Universidad Nacional de Educación (UNE), situada en la parte noroeste del conoide aluvial de los depósitos de la quebrada de Santo Domingo, fue afectada en febrero de 1998 por un flujo aluvional producido en esta quebrada, debido a que el cauce cruza la universidad y no existe obras de protección.

Para plantear las alternativas de solución, se desarrollaron temas como la formación y origen de los huaycos, y asimismo medidas aplicadas para el control y protección en contra los efectos de estos fenómenos naturales, desarrollados en nuestro país, especialmente en Chosica, donde en otras subcuencas vecinas, más grandes y activas, se plantearon medidas estructurales, como son diques reguladores y muros para la canalización del flujo de escombros, los cuales han funcionado bien, soportando varios eventos. En todas estas obras se ha utilizado tecnología propia, ó sea, el empleo de rocas como material de construcción, pues este material predomina en la zona, su uso tiene una rica tradición histórica, y además resulta económico en comparación con otros materiales. También se definen otras medidas de solución complementarias como es el Método de Corrección del Drenaje, que consiste en evitar que el agua de las lluvias que desciende por las laderas de los cerros llegue al canal natural de la

cuenca, recolectándolo mediante sistemas de canales, evitando la formación del huayco.

En la última parte del informe, se plantean las alternativas de solución usando en ambas, la roca como material de construcción para las obras. La primera alternativa de solución consiste en seguir el mismo eje del cauce actual con una sección rectangular de 6.00m de ancho y 3.00m de profundidad. Se considera la construcción de 430 metros lineales de muros de mampostería de piedra como protección en ambos lados y además, revestir el fondo del lecho con mampostería para evitar tanto la erosión lateral y de fondo. Esta alternativa, contempla también la construcción de 115 metros lineales de torrentera, que va del tramo final hasta el río Rímac. En la segunda alternativa, se considera el cambio del trazo del cauce en la parte más baja, donde se sitúan los pabellones de la Facultad de Humanidades, de un trazo sinuoso (trazo actual) por uno recto, lo que implica la reubicación (demolición y construcción) de un pabellón de dicha Facultad, infraestructura que esta en mayor riesgo. En este caso se usará una sección trapezoidal de 5.00 m de base, profundidad de 2.75 m. y un talud 1:1 con una longitud de 415 m. lineales de canal, la cual también será revestida con emboquillado de mampostería de piedra para evitar la erosión. Asimismo se contempla la construcción de 110 m. de torrentera que va desde el badén existente, hasta su desembocadura al río.

El monto de inversión total para la primera alternativa es de S/. 1'213,018, que considera el costo de la obra, los estudio definitivos y la supervisión de la obra, estimando 5 meses para su ejecución. Para la Alternativa 02, el monto de inversión total alcanza los S/. 1'736,903, incluyendo también los costos de la obra, de estudios definitivos y supervisión. El tiempo de ejecución se estima en 6 meses.

El planteamiento de las obras de encauzamiento, dentro de la universidad forma parte del programa de mitigación global de toda la quebrada Santo Domingo, tanto en su parte alta y media, en donde ya existen obras de prevención (diques reguladores y canalización) y es por eso que se deben realizar operaciones de mantenimiento de los diques reguladores y descolmatación de los encauzamientos construidos en la quebrada, con el objeto de que pueden lograr su fin de retener los escombros mayores, y que el huayco pierda energía al llegar a la Universidad.

INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido desarrollado en el estudio de medidas de control y mitigación de desastres producidos por huaycos, desarrolladas y aplicadas en nuestro país, y forma parte del proyecto grupal "Obras de Encauzamiento para la Protección de la Infraestructura de la Universidad Nacional de Educación" y que tiene como referencia a la Gestión del Riesgo, en la cual se adopta políticas, estrategias y prácticas orientadas a reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos. Este trabajo también está enmarcado dentro del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), en el se busca que todas las instancias de gobierno, ejecuten proyectos útiles y buenos para mejorar la calidad del gasto público.

El alto riesgo a la que está expuesto la Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle" y las poblaciones aledañas a la quebrada de Santo Domingo, a la ocurrencia de desastres ocasionados por huaycos, pone de manifiesto la urgente necesidad de ejecutar obras de protección y acciones de prevención, para reducir el riesgo de nuevos desastres. Es por esto, que la construcción de obras de protección, como parte de un tratamiento integral, ayudará atenuar la inseguridad física en la que habitan poblaciones asentadas en su entorno.

Para el desarrollo del presente informe de suficiencia, se realizó primero el reconocimiento del área del proyecto y zonas de similares características (otras quebradas de Chosica), se realizó una evaluación de posibles daños a la Universidad, y también a infraestructuras aledañas. En la investigación de campo se realizó el levantamiento topográfico del cauce y el muestreo de suelos dentro de la universidad. Asimismo se hizo una visita a la quebrada para observar la geología y geomorfología de la subcuenca, además de observar las obras de diques y encauzamiento ejecutadas en su cauce en la parte media. Luego se prosiguió a la recopilación de material bibliográfico referente al tema de obras de mitigación contra huaycos.

El objetivo principal de este trabajo, consiste en el planteamiento de diseños de obras de encauzamiento del cauce del huayco, dentro de las instalaciones de la

Universidad, y definir un paso seguro hasta el río Rímac, con la finalidad de prevenir daños y pérdidas a la Universidad, tanto en infraestructura, mobiliario, como las vidas de personas. Asimismo atenuar la inseguridad física en la que viven los Asentamientos Humanos de El Rímac, La Cantuta y 03 de Octubre que se sitúan por niveles debajo del cauce dentro UNE, y que ante la ocurrencia de un evento importante también podrían ser afectados. Este trabajo sólo está desarrollado a nivel de perfil, y con el objeto de estimar los montos de inversión. Y fue realizada con información básica propia y recopilada.

El trabajo está desarrollado de tres capítulos. En el capítulo 01, se desarrollan los aspectos generales del proyecto como son la ubicación, las vías de acceso y la recopilación de información de la geología general e hidrología de la zona de Chosica.

En el capítulo 02, abarca las medidas de control y de mitigación de desastres ocasionados por los huaycos, que han sido desarrolladas en el Perú, sobre todo las medidas de protección que se han adoptado en la zona de Chosica. Se define la formación, evolución y los efectos de los huaycos en esta zona. En las medidas de solución, se desarrollan las del tipo estructural, así como el tratamiento con tecnología propia.

En el tercer y último capítulo se desarrolla la ingeniería del proyecto, se plantean las alternativas de solución, en las cuales se indica los componentes y características de diseño de cada alternativa. Además, se determinan los presupuestos de obra y los montos de inversión, estableciéndose por último, las especificaciones técnicas para la ejecución de las obras.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES

Chosica se sitúa en una zona frecuentemente afectada por fenómenos de geodinámica externa, especialmente en los meses de verano, vidas y bienes siguen expuestos a sufrir graves daños.

Esta zona del país tiene características físicas bien definidas: topografía accidentada, que determina profundas quebradas tributarias del Río Rímac, entre los 800 y 2300 msnm., clima semi-árido, con precipitaciones excepcionales que se alternan con períodos secos y geología donde predomina la roca ígnea intrusiva. Todo ello la hace un área muy propicia para ocurrencia de huaycos.

En el aspecto social, la población de Chosica ha crecido vertiginosa y caóticamente en los últimos 50 años, siguiendo la explosión demográfica de la ciudad de Lima. La escasez de áreas urbanas disponibles, tanto por la configuración del relieve, como por el régimen de propiedad del suelo, ha empujado a los migrantes a ocupar masivamente los conos deyección de estas quebradas y haciéndose por ende vulnerables a estos desastres.

Por otro lado, el hecho de que en 62 años (de 1925 a 1987) no se hayan presentado grandes huaycos en esta zona, animó a muchos pobladores a invadir márgenes y cauce de estos torrentes, estrechándolos o bloqueándoles su salida al río.

La Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle" (UNE), situada en la parte noroeste del cono aluvial de los depósitos de la quebrada de Santo Domingo, fue afectada en febrero de 1998 por un huayco producido en esta quebrada, dañando las instalaciones de la universidad ubicadas dentro de su cauce, entre ellas un pabellón de la Facultad de Humanidades, el Colegio de Aplicación y diversas granjas de animales de Área de Producción, entre otras; generando grandes pérdidas y deteriorando el medio ambiente en toda la zona.

1.2. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área del proyecto está situado dentro de la Universidad Nacional de Educación “Enrique Guzmán y Valle”, conocido tan bien como Universidad “La Cantuta”, que está ubicada sobre la margen izquierda del río Rímac, aproximadamente a 38 km. al Este de la ciudad de Lima. Tiene una altitud promedio de 850 m.s.n.m., sus coordenadas en unidades UTM son 8’679,100 N y 315,000 E (Ver plano UB-01).

Geográficamente esta situada en:

Distrito : Lurigancho - Chosica
Provincia : Lima
Departamento : Lima
Cuenca : Río Rímac
Subcuenca : Santo Domingo

El proyecto se encuentra en la parte nororiental del cono de deyección aluvional de la subcuenca Santo Domingo, y comprende el cauce actual de huaycos provenientes de esta quebrada, que cruza a la Universidad Nacional de Educación por su lado noreste, donde se ubicaban las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas, los corrales y criaderos de animales de la Unidad de Producción de la Facultad de Ciencia, los pabellones de la Facultad de Humanidad y el Colegio de Aplicación hasta llegar al río Rímac.

1.3. VIAS DE ACCESO

La vía de acceso principal al área del proyecto desde Lima y del Centro del país es por la Carretera Central, a la altura del Km. 38. Desde el centro de Chosica existen dos rutas de acceso a la UNE, una es la entrada por el paradero “La Cantuta” de la Carretera Central, la cual cruza el río y llega hasta la Av. Guzmán y Valle, donde se sitúa el ingreso principal de la universidad; y el otro acceso es por la Plaza de Armas de Chosica vía autopista que cruza el río y llega a la misma avenida.

Otro acceso es la vía ferroviaria que une Callao - Lima – La Oroya; pero esta vía sólo es usada para transporte de pasajeros en temporadas vacacionales, en el Fig. 01 se aprecian las principales vías de acceso.



Fig. 01: Imagen aérea de la zona del proyecto y las principales vías de acceso

1.4. CLIMA

El clima de Chosica se caracteriza por escasas lluvias todo el año, con una precipitación media anual de 18 mm. y una temperatura promedio de 20° C. pero entre los meses de enero a marzo se presenta lluvias, que si son extraordinarias (fenómeno del niño) generan fenómenos de geodinámica externa en las quebradas, como son los huaycos, inundaciones y erosión de suelos por desborde del río Rímac. El clima de Chosica corresponde a la faja costanera del Perú, denominado desértico templado y húmedo. El viento en esta zona tiene una dirección de sur oeste a noreste, siendo mayor su persistencia por las tardes.

1.5. HIDROLOGÍA DE LA ZONA

La subcuenca de Santo Domingo presenta una erosión extensiva producida básicamente por las precipitaciones pluviales en eventos extraordinarios, tal como el fenómeno de El Niño del año hidrológico 1997-1998.

Los procesos que vienen ocurriendo en esta subcuenca son simultáneos en cuanto a una erosión regresiva en la cabecera de la quebrada por la caída de las lluvias y el escurrimiento superficial-subsuperficial, erosión por flujo de agua con socavamientos laterales producido por el incremento en el volumen, gradiente pronunciada del cauce principal que ocasiona fuertes velocidades de flujo que desestabilizan los materiales de borde ocasionando deslizamientos o movimientos masivos de suelo y roca hacia el eje de la quebrada.

El fenómeno de erosión que se está presentando viene ocasionando actualmente efectos ambientales negativos en las zonas de inundación, y también pueden causar daños a las viviendas de los asentamientos humanos existentes y a la infraestructura de la Universidad.

Hidrográficamente la subcuenca de Santo Domingo se encuentra ubicado dentro de la cuenca del Río Rímac, con una superficie de 4.17 Km². aproximadamente, abarcando pisos altitudinales entre 850 a 1.750 m.s.n.m, su drenaje al cauce del río Rímac se produce por la margen izquierda con una pendiente promedio de 23%.

De acuerdo con la información pluviométrica recopilada se deduce que la zona del proyecto se caracteriza por la presencia de dos períodos estacionales en el año, el primero en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, como un periodo lluvioso, y el segundo en los meses de abril a noviembre, como un periodo de estiaje.

En la actualidad no se cuentan con estaciones meteorológicas que registren las precipitaciones en la subcuenca Santo Domingo, la mayoría se encuentran en las cuenca altas y en Lima. La estación pluviométrica más cercana a la sub cuenca, se ubica en Santa Eulalia.



Fig. 02: Imagen satelital de la subcuenca de Santo Domingo.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Se cuenta con datos de precipitaciones máximas en 24 horas en la estación Santa Eulalia para el periodo 1963-1995. Los valores se muestran en el Cuadro N°1, en donde se observa que el valor máximo registrado es de 39.7 mm., para un periodo de retorno de 100 años.

Esta información, según la fuente pertenece, al "Final Report for the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rimac River Basin" realizado en 1988 por la Agencia Internacional de Cooperación del Japón, los caudales máximos de avenidas en subcuencas del río Rimac fueron determinados por la aplicación del Hidrograma Sintético de Nakayasu que ha sido utilizado con éxito en otros países para la simulación de crecidas, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 2.

Las quebradas de Quirio y Pedregal se encuentran en la margen derecha del río Rímac, en promedio tienen 10.5 km² de área de cuenca, mientras que la quebrada de Santo Domingo se encuentra ubicada en la margen izquierda, y

próxima a las quebradas señaladas, además de contar con la misma

Cuadro N° 1
RESUMEN ESTADISTICO DE PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS
(mm)

Nombre	Altura (msnm)	Caudales en m3/s					
		Periodo de retorno en años					
		2	5	10	25	50	100
Von Humbolt	238	1.1	1.8	2.3	3.0	3.5	4.0
Ñaña	460	0.9	2.1	3.3	5.3	7.2	9.5
Santa Eulalia	1030	9.0	17.2	22.6	29.5	34.6	39.7
Matucana	2378	16.4	22.8	27.0	32.5	36.5	40.6
Carampoma	3250	22.0	27.2	30.4	34.3	37.1	39.7
San Jose de Parac	3800	21.7	28.0	32.0	36.9	40.4	43.9
Milloc	4350	16.7	23.2	27.3	32.2	35.6	39.0

Fuente: Estudio JICA

Tesis "Estudios de Control de Protección de Flujos de lodos en las Microcuencas de Quirio y Pedregal - Chosica"

Silva Avila, Sergio Justino, 2001, pag. 38.

geología y material subyacente en su cauce y laderas, de estar expuestos al mismo intemperismo mecánico con la salvedad que esta cuenca es menor, con 4.2 km² y no ha sido estudiada como las anteriores, por lo que podemos inferir que será menor que las cuencas señaladas.

Cuadro N° 2
CALCULO DE LAS CURVAS REGIONALES DE CRECIDAS
(Caudales en la cuenca /subcuencas tributarias)

Nombre	Area (km ²)	Caudales en m3/s					
		Periodo de retorno en años					
		2	5	10	20	50	100
Q. Carosio	0.4	2	3	4	5	7	8
Q. Corrales	1.4	4	7	9	11	15	18
Q. Quirio	10.4	18	28	38	48	64	75
Q. Pedregal	10.6	18	28	38	47	62	73
Q. Pihua	14.9	40	56	69	82	99	114
Q. Cashahua	15.1	26	39	53	65	86	100
Q. Rio Seco	49.3	71	101	127	153	191	220
R. Rimac en	2250	204	290	380	470	580	660

Fuente: Estudio JICA

Los huaycos definitivamente están más relacionados con la intensidad de la precipitación (tiempo de duración de la tormenta), que con el volumen total de la descarga pluvial diaria y así mismo con la persistencia de la lluvia en los días precedentes. Esto se debe que la condición inicial para que se genere un huayco es la saturación el suelo, especialmente en su parte alta. Por ejemplo, según SENAMHI en marzo del 1997 fue registrado una tormenta de 1 Hora que presento una intensidad de 15mm/hora, que produjo un huayco en la Quebrada Pedregal, con un caudal estimada en 150 m³/seg, y velocidades entre 3-6 m/seg.

1.6. GEOLOGÍA DE LA ZONA.

Chosica se encuentra enclavada en una parte angosta del valle intermedio del río Rímac, casi encañonado, rodeado de cerros y de 12 subcuencas tributarias de carácter torrencial, es decir, secas a lo largo del año y probablemente activas en Verano, descargando lodo y rocas.

1.6.1. GEOLOMORFOLOGÍA

Los rasgos geomorfológicos presentes en la zona están condicionados a procesos tectónicos, litoestratigráficos, climatológicos, etc. que han modelado el relieve actual.

Las unidades geomorfológicos más importantes son:

Valles y Quebradas.

Comprende el valle del río Rímac y sus afluentes como la quebrada Santo Domingo; las quebradas se encuentran durante la mayor parte del año en estado seco, presentando una escorrentía temporal que ocurre durante los meses de Enero a Marzo (puede variar según la ocurrencia climatológica de la zona).

El fondo de las quebradas están definidos según el tipo de depositación que ocurra, ya sean huaycos, derrumbes, conos de deyección, cauces recientes, terrazas de inundación, etc. En Chosica se existen 12 subcuencas tributarias las cuales son Santa María – Yanacoto, Quirio, El Pedregal, Corrales,

Cosorio, Chaclacayo, California, Cantuta, Santo Domingo, La Ronda, Cashuahuara (Santa Eulalia) y Santa Rosa, siendo los de la margen derecha las que generalmente se activan más que las derechas.

La quebradas del El Pedregal, Quirio y la Cantuta destacan por su mayor área de recepción, variando en altitud entre 2200 a 2300 msnm., con longitud de cauce de 3 a 4 Km. en forma de hoja abierta, área de 8 a 10 Km² con fuertes pendientes, muy árida y acumulan en su cauce buena cantidad de depósitos de rocas sueltas.

1.6.2. LITO-ESTRATIGRAFÍA

El marco geológico regional está conformado por unidades geológicas que van desde el Terciario inferior al Cuaternario reciente, predominando los afloramientos de roca intrusiva de tipo dioritas y tonalita – granodioritas y depósitos inconsolidados de origen fluvio aluvionales, aluvionales, coluviales y/o coluvio deluviales.

Roca Intrusiva.

Comprende a la unidad denominada como Batolito de la Costa.

La diorita presenta una gradación de diorita básica de textura granular de grano medio a grueso, con un peso específico alto, de resistente a muy resistente, roca fresca a moderada meteorización y un fracturamiento de moderado a muy intenso.

La tonalita – granodiorita de color gris a gris oscuro, de textura holocristalina de grano medio a grueso, con plagioclasa blanca dentro de una matriz oscura, dura, con un peso específico alto, de resistente a muy resistente, roca fresca a moderada meteorización y un fracturamiento de moderado a muy intenso.

Depósitos Fluvio Aluvionales

Suelos de textura granular gruesa a fina, constituidas por gravas, arenosas y arenas gravosas, con finos de limos y/o arcillas en bajo porcentaje e inclusiones de cantos y algunos bloques angulosos a sub-angulosos, de

naturaleza intrusita; se localiza en el cauce de la quebrada.

Depósitos Aluvionales.

Son depósitos heterogéneos compuestos por bloques y cantos con relleno de gravas, arenas, limos, son acumulaciones de material que resultan de la depositación de los materiales que fueron arrastrados por los flujos de barro y fragmentos de roca por la acción del agua y la gravedad, erosionando y transportando en forma temporal.

Depósitos Coluviales y Coluvio deluviales.

Son depósitos heterogéneos, compuestos por escombros de fragmentos de roca, originados por la acción de la gravedad. En fracturamiento y la meteorización de la roca basamento.

Depósito de Huaycos.- Las principales quebradas son Santo Domingo, La Cantuta I y Cantuta II, que están ubicadas casi perpendicularmente al río Rímac. En épocas de lluvias, entre enero a marzo, puede extraordinariamente producirse huaycos con consecuencias catastróficas. Los depósitos de estos flujos de barro y rocas en sus conoides de deyección se encuentran como un material heterogéneo, con algunos fragmentos de roca de gigantescas dimensiones (8x9x6 m); pero, mayormente de dimensiones de 1 - 30 cm, con matriz de arena, limo y arcilla.

Terrazas Fluviales.-

Estos materiales se encuentran al fondo del valle del Rímac y fueron formados por el accionar del río Rímac en el último millón de años (cuaternario), que en épocas pasadas ha ido erosionando y profundizando su cauce y a sus costados formando terrazas en tres niveles que están compuestos por cantos rodados, arenas, limos y arcillas, estas planicies

1.6.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Las unidades geológicas existentes en la cuenca del río Rímac fueron afectadas por un tectonismo originando fallas y plegamientos. Según estudios realizados sobresalen fallas regionales cuyos sistemas predominantes son N 10° a 30°, N 70° a 100° y N 165° a N 180°

CAPITULO 2

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE HUAYCOS EN QUEBRADAS

CAPITULO 2: MEDIDAS DE MITIGACION DE HUAYCOS EN QUEBRADAS

En el presente capítulo se presentarán algunas ideas y medidas que se pueden adoptar para un programa de mitigación de huaycos, el cual tiene como finalidad disminuir los desastres ocasionados a causa de este fenómeno natural. Dentro del manejo de quebradas, que se enmarca en el manejo de cuencas, se debe tomar en cuenta los programas de mitigación, dentro de un plan de desarrollo de una región.

2.1. DESASTRES PRODUCIDOS POR LOS HUAYCOS Y MEDIDAS DE MITIGACION

La estructura de un desastre, en general, se define identificando los elementos críticos que lo originan como:

- Las fuerzas externas que causarán los desastres (intensidad de la lluvia), y de las características del objeto que recibe la fuerza externa, que en el caso de huaycos serían condiciones topográficas de fuertes pendientes y propiedades del suelo para deslizarse.
- Existencia de un objeto que estará sujeto a sufrir pérdidas o daños (asentamientos humanos, infraestructura vial, viviendas etc.).
- Además, hay elementos de expansión que incrementarán la escala del daño.

Para establecer medidas de mitigación, los efectos de estos fenómenos pueden ser atenuados sólo en la medida que se tenga un conocimiento pleno e integral del origen, mecanismo y su evolución, para luego plantear soluciones para mitigar o evitar los daños que causa sobre las poblaciones sobre las que se abate, con su secuela de pérdidas de vidas e infraestructura.

2.1.1. LOS HUAYCOS

Los huaycos (o llocllas en el idioma quechua) son flujos de lodo y rocas con gran poder destructivo. Se forman en las partes altas de las microcuencas

debido a la existencia de capas de suelo deleznable en la superficie o depósitos inconsolidados de suelo, que son removidos por las lluvias.

Las zonas afectadas por un huayco son espacios delimitados por una determinada quebrada, produciéndose las principales afectaciones como de depósito. Los daños que produce un huayco son considerables por su gran energía, destruyendo o arrasando todo a su paso, demoliendo incluso estructuras de concreto armado.

El Ing. Oscar Vázquez (Ref. 07) lo define así "Es un fenómeno geológico de drenaje natural de lluvias cortas y torrenciales, que produce erosión, transporte y depósito rápido y violento de materiales detríticos inconsolidados, que se han acumulado por la infrecuencia de las lluvias en las laderas y fondos de una cuenca pequeña y con pendiente pronunciada. Físicamente es un fluido de agua y lodo que se lanza repentinamente cuesta abajo como una masa acuosa, lodosa, con diferentes grados de densidad, que lleva una carga pesada compuesta por bloques de rocas que destruye violentamente lo que encuentra a su paso".

2.1.2. FORMACION DE LOS HUAYCOS

Para comprender el fenómeno de los huaycos nos basamos en el trabajo del Ing. Oscar Vázquez (Ref. 07) en el cual explica que para que se forme un huayco es necesario, primeramente, (ver Fig. 03) que se produzca una lluvia copiosa (1) y corta (2) sobre una cuenca que tenga una pendiente, tanto en sus laderas (4) como en su fondo (3), donde existe material detrítico susceptible de ser arrastrado por las aguas que corren hacia niveles más bajos (5).

Cuando se inicia la lluvia, las primeras aguas empapan las laderas (1) (Ver Fig. 04) Y el fondo de la cuenca (2), a la vez que comienzan a llenarse de agua ciertas pequeñas depresiones de poca área y profundidad que se encuentran en las partes llanas del fondo de la quebrada (2) , así como en el canal en sitios en donde la obstrucción de los escombros caídos del canal o

bloques grandes de rocas que descansan en su camino de descenso, lo bloquean y forman pequeñas represas en diferentes puntos de él. (4).

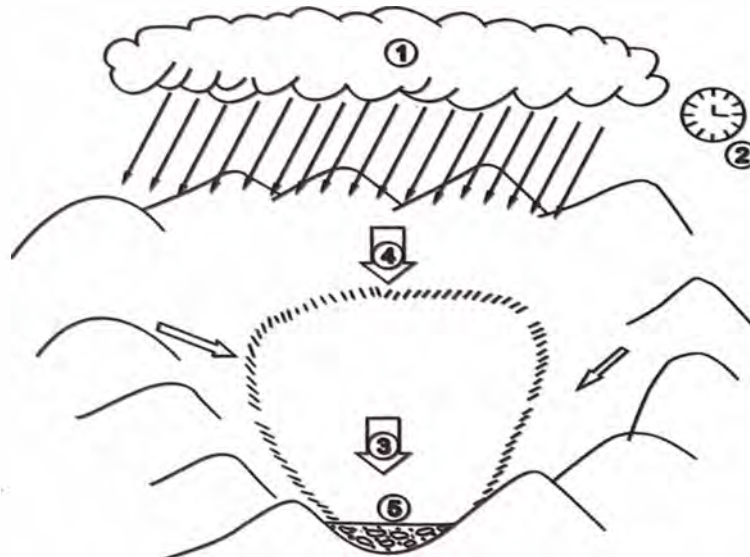


Fig. 03: Condiciones para la formación del huayco

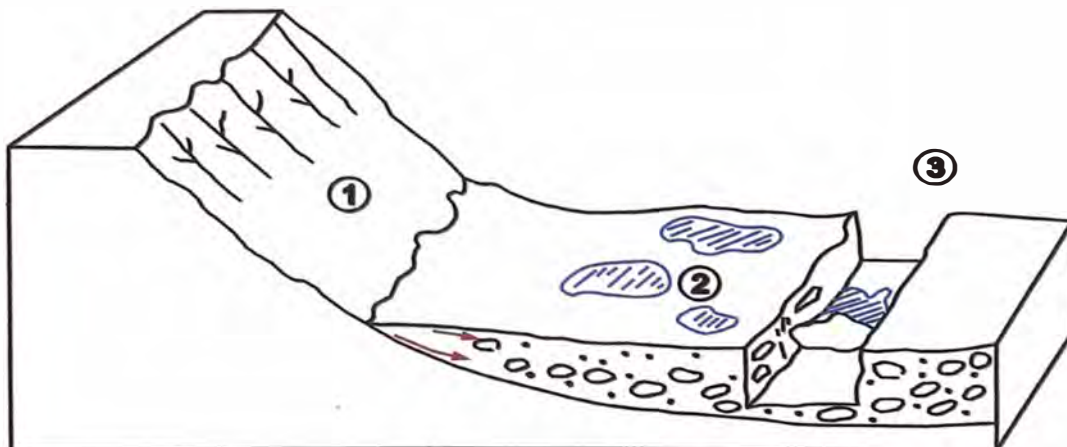


Fig. 04: Etapa inicial en la formación del huayco.

A medida que arrecia la precipitación (ver fig. 05), el agua penetra cada vez más profundamente en el terreno (4) Y las depresiones se van colmatando de agua (2), lo mismo que siguen repletándose los pequeños represamientos del fondo del canal. (3)

Las aguas de escorrentía en parte de las laderas de roca desnuda comienzan a deslizarse cuesta abajo casi inmediatamente después de haber caído y se dirigen, la parte mayor de ellas hacia las cárcavas y comienzan a remover el material suelto de arena gruesa que comienza a deslizarse por la pendiente (4) y parte de ella se infiltra (5).

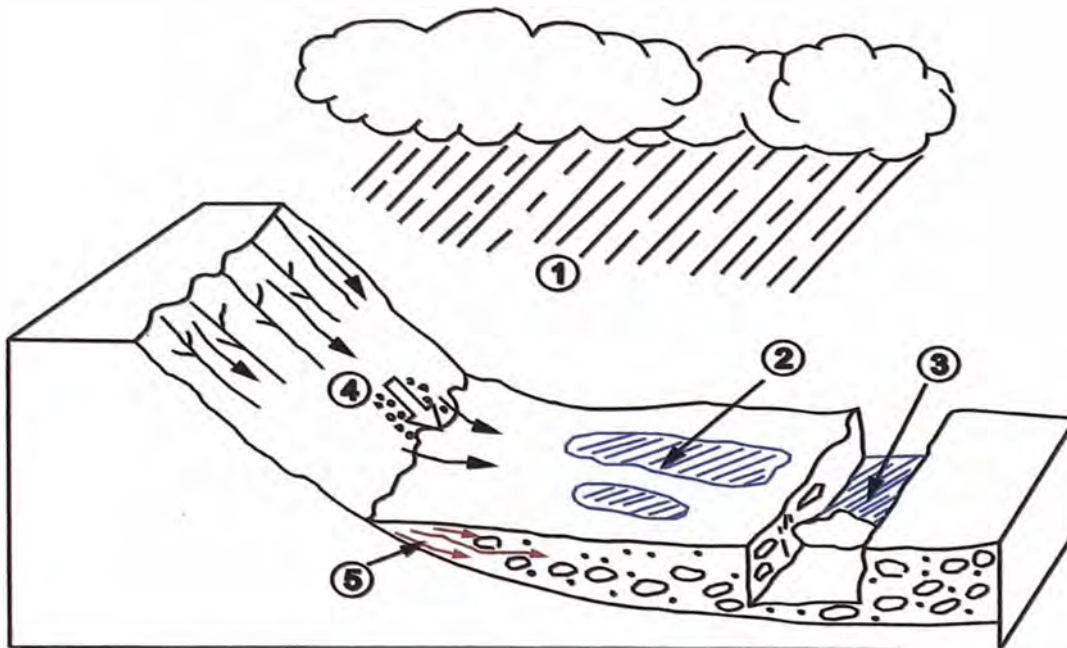


Fig. 05: Etapa media de la formación del huayco.

Pasado un tiempo, desde la primera lluvia, que está aún por determinarse, Todas las pequeñas depresiones de la llanura se encuentran completamente llenas (2) (Ver Fig. 06) así como casi repletos los pequeños represamientos (3) y las corrientes descendentes de las laderas son más intensas y generalizadas (1), parte de las cuales se meten en la línea de infiltración (5), o sea quella que se encuentra justamente en el cambio de pendiente donde existen materiales gruesos cubiertos por material más fino y poco compactados, además la superficie de la roca propicia el pase del agua hacia abajo, faltando investigar si esta agua aflora en el canal alimentando el huayco o permanece dentro del depósito inconsolidado del fondo de la quebrada. Para entonces ya pasa una pequeña corriente continua de agua por el canal natural y que va en dirección al río.

En cierto momento el agua de las depresiones comienzan a vaciarse en dirección de la pendiente que tiene el llano, lo mismo sucede con los pequeños represamientos que comienzan a rebasar los obstáculos que los represaban (3) y se generaliza la caída del agua por diferentes puntos del canal recibiendo a partir de este momento un aporte continuo por los bordes como si fuera decenas de pequeñas cataratas.

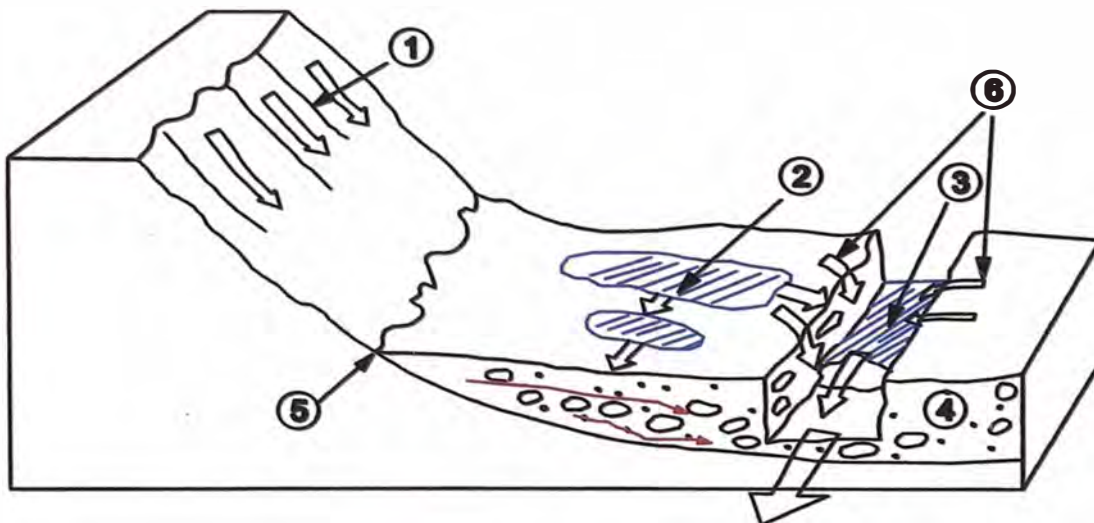


Fig 06: Desarrollo pleno del huayco

La consecuencia inmediata (Ver (1) Fig. 07) de esto es que se forma un frente de aguas lodosas que desciende con velocidad y lleva bloques que comienzan a rodar y se golpean entre ellos produciendo un gran estruendo parecido, al comienzo, a una gran explosión. Al seguir bajando esta masa turbulenta, continúa este ruido aunado a vibración de todo el llano aluvial que provoca en parte la caída de los bordes del canal (2), conjuntamente con el socavamiento erosivo (3) lo que añade mayor carga y fuerza destructora a este fluido impetuoso que al descender recibe un aporte, ya continuo, de agua de ambos bordes del canal por caídas establecidas por la forma del terreno, estas especies de pequeñas cataratas (Ver (6) en Fig. 06) contribuyen a desmoronar los bordes del canal, por socavamiento de sus

bases lo que ocasiona el colapso de los bloques y materiales que caen al canal siendo incorporados inmediatamente a la masa del huayco.

Las primeras aguas que llegan al abanico aluvial, parte final del canal, son las más veloces por ser fluidas, además porque acarrean bloques pequeños, especialmente los más redondeados y que están de acuerdo con su capacidad. Estas aguas continúan trayendo estos elementos por un buen tiempo, hasta que el huayco se va haciendo más denso debido a la mayor cantidad de arena que es transportada desde las laderas y es arrancada del fondo del canal. Aquí es cuando por el principio de Arquímedes de que todo cuerpo sumergido dentro de otro, pierde parte de su peso, más cuando más denso sea este último, es que el huayco adquiere la capacidad de arrastrar bloques gigantescos que arrasan con todo lo que encuentran a su paso.

El último acto del huayco es realizado por una masa pastosa de lodo que golpea contra las innumerables rocas acarreadas y depositadas en el abanico y se filtra rápidamente entre los intersticios que dejan ellas volviendo nuevamente la calma a la quebrada.

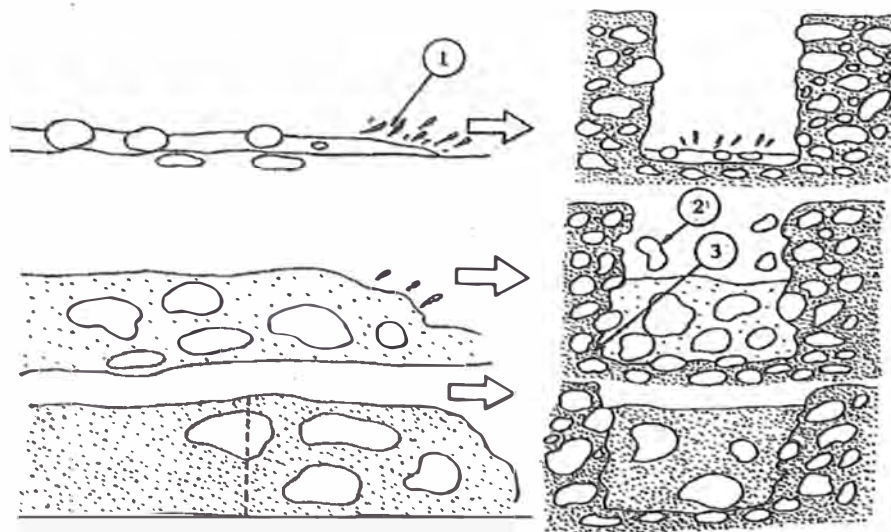


Fig. 07: Frente y densidad del huayco. Acción erosiva en los bordes

2.1.3. SUBCUENCAS DE CHOSICA

Las subcuencas de Pedregal, Quirio, Cashahuacra y otras de menores como la subcuenca de Santo Domingo, en términos generales tienen las mismas características principales; esto es, están en el Batolito de la Costa, están conformados por rocas ígneas, no tienen excesiva cantidad de derrubios en sus laderas, ni son estos muy potentes, tienen muchas zonas de laderas limpias, tienen enormes cantidades de material inconsolidado en depósitos que rellenan el fondo de sus quebradas, tienen una fuerte pendiente, son cortas, tienen canal de escurrimiento profundo y además poseen cuenca de recepción y su respectivo abanico aluvial y están en zonas áridas y semi-áridas de las estribaciones de los Andes.

Las rocas ígneas que conforman estas quebradas son mayoritariamente granodiorita de grano grueso, que en su meteorización mecánica y en menor grado química producen bloques, cascotes fragmentados y abundante arena gruesa y material más fino como limo y arcilla.

Las laderas de estas quebradas son muy empinadas, y realmente tiene muchos afloramientos de rocas ígneas y zonas que están libres de derrubios, donde el agua de la lluvia fluye fácil y rápidamente hacia abajo. En las partes donde existen los derrubios éstos no tienen mucha potencia como para demorarse en ser saturados, lo que facilita que las aguas demoren muy poco para descender.

Las cárcavas de estos lugares son sitios donde se han acumulado los materiales finos y fragmentos pequeños de tal manera que hay lugares de ella donde se establecen unas especies de acequias que son aún visibles desde muy lejos.

Los depósitos de material inconsolidado, están formados por bloques grandes de roca ígnea, fragmentos pequeños y gran cantidad de arena gruesa, limo arcilla y tierra, que llenan el fondo de la quebrada en volúmenes de millones de metros cúbicos y representan prácticamente toda la reserva,

casi inagotable, de material grueso del que disponen los huaycos y que están esperando solamente el agua torrentosa para ponerse en movimiento. Estos depósitos han sido traídos y emplazados por huaycos anteriores que los diseminaron en sus lugares actuales, antes del rejuvenecimiento del río, lo que obligó al huayco a reexcavar sus propios sedimentos. La pendiente de estas quebradas son sumamente pronunciadas y la longitud de sus canales naturales son cortos lo que favorece el rápido y violento drenaje de las aguas de las lluvias, las que convergen al canal que las reúne y les aumenta su poder erosivo destructor, al quitarles la pasividad al cambiar de aguas tranquilas de escorrentía a aguas turbulentas de huayco. La velocidad y poder erosivo del huayco está en función de las pendientes.

El canal de drenaje natural ver (1) en Fig. 08 es otra de las características más saltantes que tienen estas quebradas, ha sido formado por las aguas de lluvias que lo han tallado, en su carrera hacia el nivel base que viene a ser el río Rímac, erosionando los sedimentos ya preexistentes cuando comenzó el tallado. En su desarrollo no es posible observar sinuosidades porque la herramienta de su hechura ha sido basta y la erosión turbulenta no permite finezas; sus bordes son irregulares y muestran, desde su fondo hacia arriba una mezcla desordenada y poco compacta de bloques de rocas ígneas rodeados por el material fino ya mencionado. La importancia de este canal, fuera de servir de drenaje natural al agua que cayó en la cuenca en que se ubica, es que al circular por él las aguas del huayco socavan la base de estos bordes que son casi verticales y en algunos casos de pendientes negativas y que por su propia naturaleza litológica y sedimentaria son sumamente inestables; condiciones que coadyuvan a su colapso añadiendo de esta manera la carga pesada que son frecuentes en los huaycos de esta zona.

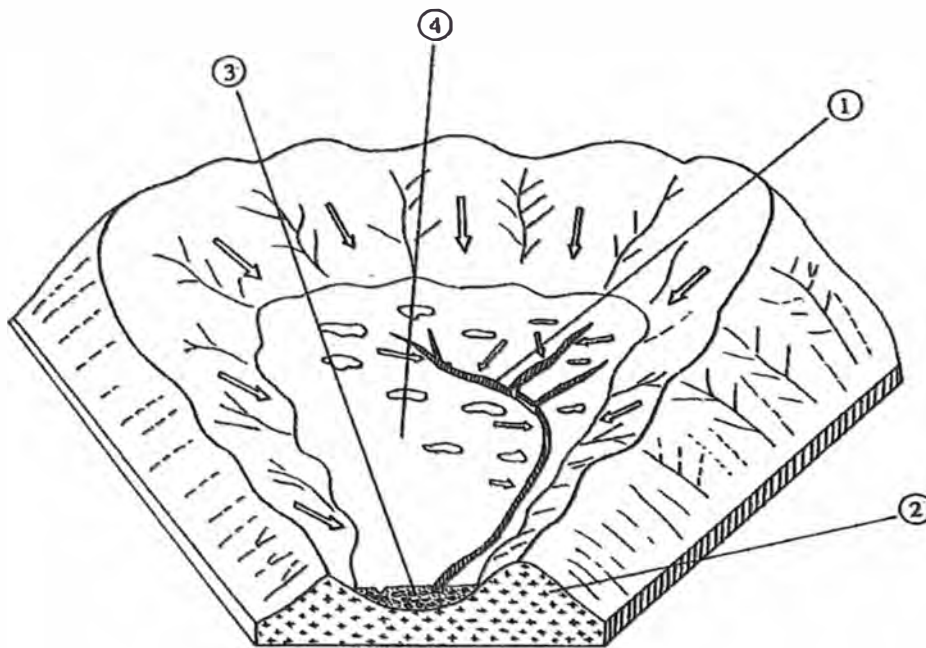


Fig. 08: Vista general del tipo de quebrada de Chosica

- (1) Canal natural
- (2) Roca ígnea
- (3) Sedimentos acumulados
- (4) Llano aluvial

2.1.4. DESASTRES PRODUCIDOS POR HUAYCOS EN QUEBRADAS

Los desastres que se producen a causa de la ocurrencia de huaycos en quebradas pueden ser directos o indirectos.

En Forma Directa.- Cuando las quebradas son atravesadas carreteras, canales o existen asentamientos humanos situados muy cerca de su cauce o en su cauce, conforman una serie de objetos sujetos a sufrir daños, sobre todo si estos interfieren en el normal curso del flujo.

En Forma Indirecta.- Suceden generalmente cuando las quebradas aportan un gran volumen de escombros a ríos de curso superior, con el consiguiente riesgo de producir inundaciones

Entonces los programas de mitigación deben considerar no sólo los desastres directos, sino también los indirectos.

2.1.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN ZONAS DE QUEBRADAS

Uno de los principales desastres ocasionados por la presencia de fuertes precipitaciones, en zonas de quebradas son los huaycos, de la definición de la estructura de los desastres, se deduce que para prevenirlos es necesario atenuar la fuerza de los factores causantes, fortalecer la resistencia de los actores primarios o removerlos (de los objetos que reciben la fuerza) o por lo menos reducir el número de objetos sujetos a pérdidas o daños. Considerando esto, se presenta continuación los tipos de medidas que se deberían aplicar:

Medidas que atenúan artificialmente la fuerza externa.- En este caso la fuerza externa es la intensidad de la lluvia, los métodos que reducen artificialmente la intensidad de la lluvia, o reducen la cantidad excesiva de la lluvia pueden ser soluciones para atenuar las fuerzas externas de lluvias torrenciales desastrosas, mediante el bombardeo de nubes, antes de que se acumulen y la precipitación a presentarse pueda ser muy intensa, pero estos métodos son muy caros, y la posibilidad de que sean considerados como una alternativa es muy poca, por no decir nula.

Medidas para fortalecer la resistencia de los factores primarios.- Contempla medidas de ingeniería, más conocidos como Medidas Estructurales, que bien involucran trabajos biotécnicos de protección de taludes, y control de erosión, la desventaja de este método es que se requieren grandes cantidades de dinero

Medidas para reducir o remover el número de objetos a perder o que pueden ser dañados.- Contempla medidas temporales o permanentes. Una medida temporal es la evacuación (rutas de evacuación, etc.), otra es la zonificación de áreas de riesgo. Las medidas permanentes incluyen restricciones en el uso de la tierra en áreas vulnerables y reubicación de estas áreas. Para delimitar las áreas vulnerables, será necesario estudiar la frecuencia de ocurrencia de estos desastres.

2.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA TRATAMIENTO DE HUAYCOS EN QUEBRADAS

Para prevenir y mitigar desastres de la magnitud de los años 1987 y 1998, se hacen necesarias medidas de tipo estructural que comprendan obras de Ingeniería.

Los principales parámetros que se han encontrado en la definición de medidas estructurales para la mitigación de desastres en zonas de quebradas tomando en cuenta la propuesta de Julio Kuroiwa Jr. son:

Características físicas de las quebradas, como área de la cuenca de recepción, pendiente, geomorfología, etc.

Distribución espacial y tipo de propiedades a proteger, esto para hacer una categorización y definir una jerarquización de propiedades a proteger, y considerarlas al realizar una zonificación.

Material y mano de obra aprovechable, esto nos ayudará a definir que tipo de obras se pueden construir a un costo relativamente bajo.

Las principales estructuras que se recomiendan usar:

- Diques Temporales
- Diques para Escombros
- Canalización del Lecho.

El empleo de este tipo de estructuras dependerá de las condiciones que se encuentre en la quebrada, no existe un diseño estándar pues las quebradas que podemos encontrar en nuestro país difieren mucho una de otra, por lo cual a continuación se presentan criterios para su diseño, los cuales deben considerarse referenciales.

2.2.1. DIQUES TEMPORALES O PRESAS DE RETENCIÓN

Un dique temporal es una obstrucción, pequeña y temporal en quebradas con flujos con carga de sedimentos y granos finos, su objetivo es el reducir la erosión, mediante la reducción de la velocidad del flujo; consiguiendo así un pequeño estancamiento del flujo del agua. En ocasiones un poco de material

puede ser depositado, pero no se le debe usar como un dique para atrapar sedimentos. También se usan para ayudar en el desarrollo de la vegetación recientemente plantada, pues eventualmente retiene el agua de lluvias y del flujo, siendo una fuente de agua.

Recomendaciones para el Diseño:

Ubicación: Se deben construir en las zonas altas de quebradas pequeñas, o en aquellas quebradas cuyo cauce sea angosto y no muy profundo; y que el tipo de flujo no haya registrado el transporte de rocas grandes de diámetros mayores a 0.80 m, con pendientes menores a 10%.

Material: Utilizar pircas en quebradas con pendiente regular, y con lechos rocosos a granulares.

Dimensiones Referenciales: Como los diques son temporales sus dimensiones no deben proveer una capacidad de gran almacenamiento, por el contrario debe ser muy pequeña. Los siguientes valores han dado buenos resultados en Norte América, por lo cual se indican como referenciales.

Altura máxima: 0.60 m.

Ancho de base: 1,20 m.

Talud del dique: 2H y 1 V.

Con una diferencia entre los niveles de la cresta central del dique, con los niveles laterales de aproximadamente 15 cm.

La estructura debe tener un filtro que permita retener materiales finos, por el tamaño de la estructura es recomendable el empleo de geotextiles. Para su diseño debe tenerse en cuenta el tipo de material que trae el flujo.

Mantenimiento

Las estructuras deben ser inspeccionadas después de cada lluvia. Grandes flujos pueden ocasionar acumulación de sedimentos, desembalses, o daño al material filtrante. Las áreas donde se han producido los desbordes, y las zonas de contacto con el lecho de la quebrada son susceptibles a la erosión. Estas áreas deben ser estabilizadas y reemplazadas inmediatamente. También se debe retirar los sedimentos acumulados

2.2.2. DIQUES PARA ESCOMBROS

El propósito de un dique para escombros es el de proveer un reservado o un tipo de poza disipadora que reduce la velocidad del flujo lo suficiente como para dejar depositados rocas grandes, sedimentos y derrubios o escombros. El efecto del dique es por un lado retardar el flujo, que resulta en una descarga pico menor y por el otro lado reduce el flujo de escombros, así como estabiliza el lecho de la quebrada. Se espera que el ancho de flujo disminuya, resultando en menores áreas inundadas.

La desventaja de los diques para escombros, es que después de una serie de avenidas, se llenan y comienzan a ser muy inefectivos a menos que los escombros sean removidos. Esto fue probado, luego de que los ingenieros Bednar y Fluke (1980) reportaron que la serie de diques que se construyeron en el este de Kentucky, después de su construcción no tuvieron mantenimiento, obstaculizando los drenes, y deteriorando los vertederos. El continuo mantenimiento de los diques para escombros, podría ser muy caro.

Sistemas de Pozas de Escombros: experiencias en el Perú.

En nuestro país la experiencia que se pueden rescatar al respecto son los casos de Chosica y Tumbes, los cuales cuentan con este sistema siendo interesante, pues ambas regiones son diferentes.

En Chosica, en la Quebrada Pedregal se vienen construyendo diques de mampostería desde el año 1989, los cuales han funcionado bien, pues ya han pasado los eventos de 1989, y el reciente de 1998. En ambos casos se ha podido observar que el agua estancada ha creado verdor alrededor, lo cual favorece a la estabilización de taludes ribereños.

De acuerdo con las experiencias mencionadas, dependiendo del tamaño de las quebradas, y de sus características principales (geológicas, geotécnicas, hidráulicas e hidrológicas), existen diferentes materiales que se pueden emplear para su construcción, que se presentarán a continuación:

EMPLEANDO GAVIONES.

En Tumbes, se han construido diques de gaviones en más de 4 quebradas,

las cuales ante el evento de 1997 (enero-marzo) llegaron a funcionar con ciertas deficiencias, que sirven de experiencia para el diseño de nuevos diques de este tipo

Recomendaciones para el Diseño:

Ubicación: Utilizarlas cuando el lecho de la quebrada es de material fino, fácilmente erosionable, de anchos considerables 40 a 50 m. Y de pendientes bajas. Ubicándolas en la cuenca media y baja de las quebradas. Se consideran alturas máximas de 4 m.

Material: Emplear gaviones con una pantalla de tierra en la parte anterior de éste, para amortiguar el impacto del flujo.

Estructura: La estructura básica recomendable es como la que se muestra en la figura 5.2. La pantalla principal de gaviones, con un amplio vertedero, con gran capacidad de descarga (con $Q = Q_{t \geq 25 \text{ años}} - Q$ del aliviadero auxiliar), pues se busca el almacenamiento de escombros mas no de agua. Además, alejados de los empotramientos para evitar su erosión.

Detrás de la pantalla un terraplén de tierra para amortiguar el impacto directo del flujo.

Por lo menos un aliviadero auxiliar, diseñado para un caudal de por lo menos $T_r = 2$ años. El cual debe estar ubicado a una altura mínima de 1/4 de la altura total del dique, para evitar su colmatación.

Aguas abajo del dique, en la zona del vertedero proveer un estanque de disipación.

Mantenimiento

Las estructuras deben ser inspeccionadas después de cada lluvia. Los flujos pueden ocasionar daños al aliviadero auxiliar, erosión y daño al material filtrante. Estas áreas deben ser estabilizadas y reemplazadas inmediatamente.

De llenarse el dique, se deben retirar los escombros atrapados. La estructura debe tener un filtro que permita retener materiales finos, es recomendable el empleo de geotextiles.



Fig. 09: Imagen de dique de escombros o regulador construido de mampostería de piedra en la quebrada Santo Domingo.

DE MAMPOSTERÍA

Recomendaciones de diseño

Ubicación: Utilizadas cuando las quebradas arrastran materiales grandes, con fuertes pendientes y de cauce estrecho. Se consideran alturas máximas de 6 m.

Material: Emplear piedras de la zona de diámetro mínimo de 0.50 m, con mezcla de mortero, arena + cemento.

Estructura: La estructura básica recomendable es como la que se muestra Fig 09.

La pantalla un muro de mampostería, con un vertedero, con capacidad de descarga (con $Q = QT' = 15$ años - Q del aliviadero auxiliar), pues se busca el almacenamiento de escombros mas no de agua. Por lo menos un aliviadero auxiliar, diseñado para un caudal de por lo menos $Tr = 2$ años. El cual debe estar ubicado a una altura mínima (h) de $1/4$ de la altura total del dique, para evitar su colmatación aguas abajo del dique, en la zona del vertedero proveer un estanque de disipación.

La estructura debe tener un filtro que permita retener materiales finos, es recomendable el empleo de geotextiles

Mantenimiento

Las estructuras deben ser inspeccionadas después de cada lluvia. Los huaycos pueden ocasionar daños u obstruya al aliviadero auxiliar, erosión y daño al material filtrante. Estas áreas deben ser reparadas y reemplazadas inmediatamente.

De llenarse el dique, se deben retirar los escombros atrapados.

A cerca de la ubicación de los diques, uno debe buscar las mejores condiciones del terreno para los empotramientos, mas que de un estricto distanciamiento por la distancia de deposición, pues de esto depende el éxito de estas estructuras, de lo contrario se corre el riesgo de iniciar focos de erosión.

En general, estos diques también se emplean para corregir la pendiente, buscando una pendiente cercana a la de deposición, para lo cual el tratamiento con estos diques puede hacerse por fases. Con construcciones intercaladas, o con el incremento de la altura de los diques luego de que se encuentren colmatados éstos.

2.2.3. CANALIZACIÓN DEL LECHO

Tienen la función de evitar que el flujo invada zonas pobladas y produzca daños a las viviendas y personas. También se contempla la construcción cerca de estructuras de cruce como puentes en un gran tramo aguas arriba y aguas abajo, dan buen resultado.

Recomendaciones para el Diseño

Ubicación: Se recomienda su construcción en la zona de transporte de quebradas, en zonas pobladas, en obras de cruce como puentes.

Material: Preferentemente emplear mampostería, que da buenos resultados para quebradas con flujos de escombros de gran dimensión. Una construcción en la Quebrada Charles (Squamish Canada) empleando rocas de diámetro

mayor o igual a 0.5 m, soportó muy bien 3 eventos, por lo cual se recomienda tomar como referencia este valor.



Fig. 10: Imagen donde obras de canalización con mampostería de piedra, en la quebrada Santo Domingo, parte media de la cuenca.

Otros materiales que pueden emplearse son: gaviones y geoceldas, con el mismo principio que se emplea para revestir canales, teniendo los datos de caudal y velocidad correspondiente al tipo de flujo.

Pendiente: Se requiere una pendiente que no permita la deposición de los escombros, pues esto ocasionaría desbordes. Se recomienda pendientes de 15° , valores mayores a 12° para cauces confinados, valores mínimos de 10° de acuerdo a las experiencias en obras ya construidas.

Considerar la relación profundidad/ancho > 0.3 , para conseguir un adecuado confinamiento. La deposición también puede ocurrir cuando hay cambios abruptos en la pendiente o en la dirección del canal, por lo cual la transición al canal de conducción deber ser gradual.

Borde Libre: referencialmente considerar un borde libre de 3m, que ha tenido buenos resultados en Canadá, para el caso de flujos de escombros (huaycos).

Mantenimiento

Las estructuras deben ser inspeccionadas después de cada flujo para reconocer las zonas erosionadas, desbordes, y obstrucciones. En base ha estas inspecciones elaborar reportes y hacer las correcciones del caso, evaluar las posibles causas de fallas.

En las áreas donde se han producido los desbordes, estudiar la posibilidad de elevar la altura del canal. También se debe efectuar una limpieza permanente para permitir el paso libre del próximo evento.

2.3. METODO DE CORRECIÓN DEL DRENAJE PARA EVITAR HUAYCOS.

Este método fue presentando por Ing. Oscar Vásquez en el 3º Simposio Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres- CISMID en 1992, y un método nuevo en el Perú

El entender este fenómeno permite concluir de que el Huayco puede ser enfrentado, evitado casi total y eficazmente en su etapa embrionaria, esto es cuando aún no se ha formado la corriente que desciende turbulenta y violentamente llevando bloques de roca y agua lodosa.

Aplicando los conocimientos sobre la formación y la mecánica del Huayco se propone soluciones en marcadas dentro del concepto de que es necesario construir en las laderas de la cuenca, un sistema de canales drenadores disipadores que le den dirección, aquietamiento y dosifiquen el drenaje de las aguas torrenciales que caen sobre ella, motivo por el cual se ha denominado a éste como el METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE.

La idea fundamental, de este método es evitar que el agua que desciende por las laderas llegue al canal natural de drenaje de la cuenca, mediante el sistema de canales ya mencionado y evitando la población, verterla al río. Junto a esto es necesario aplicar otros tratamientos con la finalidad de estabilizar la cuenca.

Sin embargo, se hace la salvedad de que se encuentra que esta alternativa es aplicable al presente, solamente a quebradas como las de Chosica, es decir que estén labradas en rocas ígneas, que sus laderas no tengan excesiva cantidad de derrubios ni que éstos sean muy potentes, y además

que existan grandes, realmente, afloramientos de rocas ígneas sin cobertura detrítica. La aplicabilidad de este método en otros tipos de quebradas está aún por establecerse y estudiarse.

No está demás decir que cada diseño de sistema de canales es particular y debe estar adecuado a la configuración y conformación geológica y geomorfológica de cada quebrada.

Esta solución está enmarcada en la condición particular de nuestro país, pues es económica y factible para nuestras posibilidades, ya que en su ejecución se prevé utilizar las rocas que se encuentran en las mismas laderas y también la mano de obra de gente incentivada en apoyar obras que le van a beneficiar.

Finalmente, se admite que subsisten aún aspectos de la conducta de este fenómeno que aún no son bien comprendidos, de donde surge la necesidad de elegir una cuenca donde se pueda llevar a la práctica y perfeccionar estas ideas.

2.3.1. IDEAS BASICAS DEL METODO PARA LA SOLUCION DE LOS HUAYCOS.

Las ideas básicas en cual se sustenta el método son:

- El fenómeno del huayco es esencialmente un fenómeno de drenaje natural de agua de lluvias cortas y torrenciales.
- El Huayco y los problemas que ocasiona son la suma de: La pendiente, los poblados, los pobladores y principalmente el agua.
- El agua de la lluvia cae, con algunas excepciones, por igual en toda la cuenca.
- El agua que cae en las laderas descartando la que se infiltra, se impregna y evapora, llega al canal de desagüe natural, que generalmente tienen estas quebradas, por su cabecera y sus bordes.
- La corriente tendrá menos fuerza erosiva si se le disminuye su velocidad y se le priva de los materiales sólidos que lleva.
- Las quebradas de la zona de Chosica, tienen laderas con gran pendiente, no están cubiertas con mucho material detrítico y éstos no son muy potentes y yacen en gran volumen en el fondo de las quebradas.

- El agua de lluvias esporádicas que caen sobre la roca ígnea no la erosiona ni rápida ni intensamente.
- El material grueso, bloques, que lleva el huayco en su mayor parte procede del material que dejó en el fondo del canal el huayco precedente y de aquellos que por socavamiento erosivo de los bordes del canal se derrumban sobre él y son arrastrados e incorporados al huayco.
- El canal natural pierde profundidad al acercarse al río por ser la zona de depósito del huayco y además su nivel de base.
- Cuando el huayco entra en acción, completamente formado, ya es difícil luchar contra él.

2.3.2. METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE

El método que se propugna está basado en dar drenaje ordenado y lento en mayor parte del agua precipitada en la cuenca, evitando que ella llegue al canal natural donde al converger de todos lados tiene capacidad para transportar los bloques y materiales que allí se encuentran y que son los principales culpables, de los daños que causa el huayco.

Para hacer esto posible, es necesario construir un sistema de canales en las laderas que capten la mayor parte de las aguas que se deslizan por ellas y den una orientación adecuada y disipen su violencia. Estos canales deben estar espaciados de tal manera que cada uno de ellos tome las aguas cuando ellas no se han sumado y tengan poder como para arrastrar gran cantidad de detritos; el acceso a los canales sería por uno de sus lados (ver Fig. 11 y 12) y las aguas descendentes ya no continuarían su camino sino que serían llevadas por el canal, cambiando su dirección de caída de la máxima pendiente a la casi horizontal. Por la disposición de estos canales la mayoría de las aguas serían captadas; si no es por un canal sería por el siguiente o subsiguiente ya que sería difícil para una corriente de agua evitar estos obstáculos en su inevitable recorrido hacia abajo, para diferentes casos de drenaje se tiene canales captadores, disipadores, drenadores; canales perimetrales, canales dobles conectados, canales paralelos de sangría, canales de captación convergentes, canales de bajada, etc.

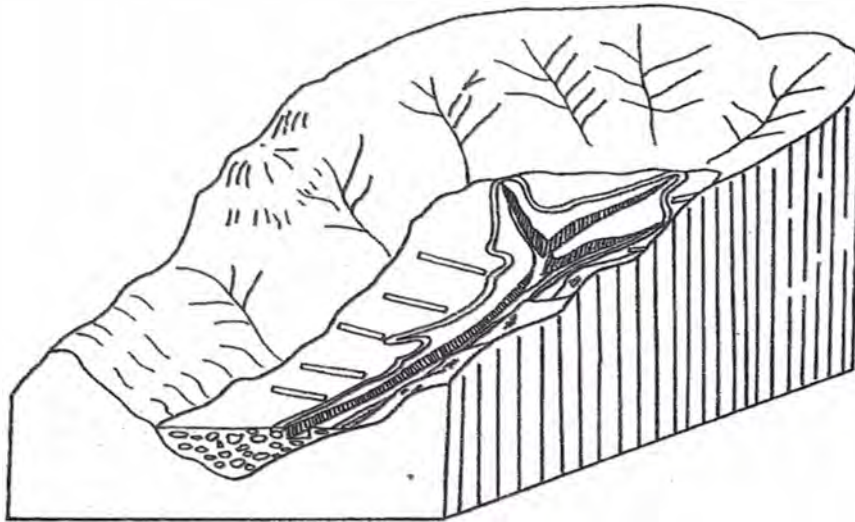


Fig. 11: Canal perimetral y muros de contención dirección

En esta situación es cuando el método ofrece alternativas: las aguas capturadas por los canales puede ser descendidas lentamente por los mismos canales hasta partes más bajas y llevada luego al abanico aluvial o pueden ser llevados a las cárcavas por donde descenderían, atenuadas en su caída por disipadores de energía o simplemente por las mismas cárcavas, sin ninguna obra, interviniendo en este caso su condición de estar en una roca fuerte a la erosión que en esa eventualidad no aportaría prácticamente mayor cantidad de material; o que no ocurriría en otros tipos de roca más débiles donde la cárcava, por la erosión se convertiría rápidamente en un profundo barranco. Cuando el agua ya ha sido descendida, se le debe conducir por otro canal colector general ubicado en la parte más baja de todos ellos, siempre bordeando y evitando el canal natural de la cuenca.

Estando ya en el fondo de la quebrada, esto es en el llano aluvial, las aguas serían conducidas por el canal colector mencionado hacia la salida de la quebrada y al pasar por la población podría ser transportada mediante tubos de gran diámetro, o varios canales menores para permitir el mantenimiento y además dividiendo la corriente, quitarle fuerza erosiva y violencia; esto es con fuerza disminuida y controlable, que sería también la forma como las aguas cruzarían la carretera.

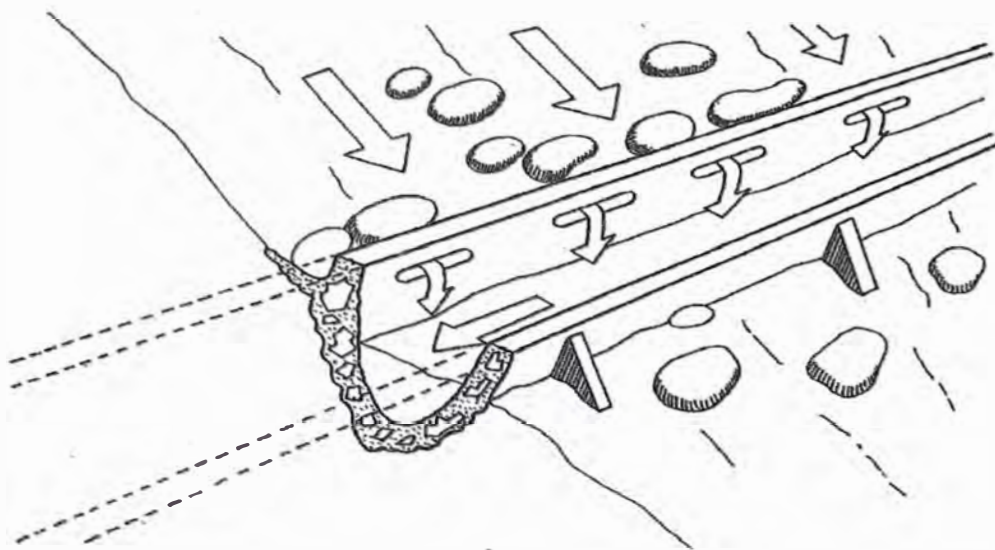


Fig. 12 Vista del canal captador disipador drenador

Un desarenador grande y defensas que detengan la arena y bloques eventuales completarian el sistema conjuntamente con otros que son comunes en la estabilidad de cuencas.

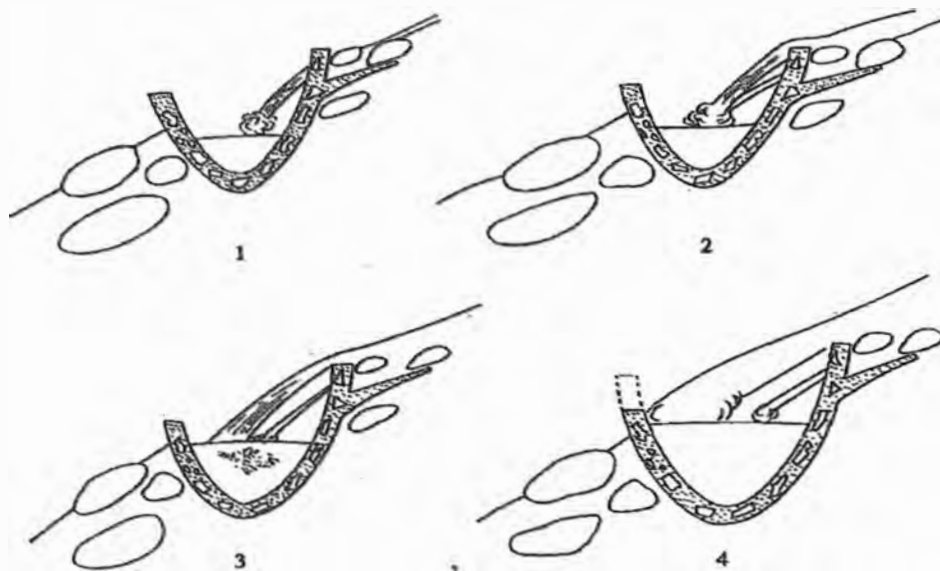


Fig. 13: Acceso del agua al canal de acuerdo a su velocidad y volumen.

2.4. TRATAMIENTO DE HUAYCOS CON TECNOLOGIA PROPIA

El desarrollo tecnológico andino relacionado con la hidráulica y la geotecnia estuvo vinculado al complicado territorio, donde la experiencia de huaycos, aluviones e inundaciones forman parte del mismo y las habilidades en el manejo del territorio y el agua viene desde los orígenes de la civilización andina ya que no hubo improvisación alguna sino un almacén de información tecnológica en constante transferencia. Por ejemplo, los antiguos pobladores de Caral – Supe, quienes formaron la civilización más antigua de América, utilizaron bloques de roca canteados y mortero de barro en la construcción de sus diversas infraestructuras, desarrollaron su tecnología en un lugar por donde un torrente cruzaba la ciudad el mismo que llegó a destruir parte de una de sus infraestructuras más importantes como es el templo del anfiteatro. La convivencia con los huaycos debió repetirse en las demás culturas andinas para encontrar en las ruinas de Tipón–Cusco un conocimiento andino avanzado manifestado por el espectacular tratamiento de la cabecera de un torrente utilizando un sistema ordenado de andenerías y drenaje.

2.4.1. RESCATE DE LA TECNOLOGÍA PROPIA

La filosofía que persigue el rescate de tecnología es recoger conceptos ingenieriles encontrados en obras construidos por los incas, cómo nuestros antepasados trataron con estos fenómenos y poder aplicar en la actualidad estos conceptos en el tratamiento de huaycos. El Ing. Alberto Martínez (Ref. 06) indica que no se ha rescatado la tecnología andina desde el punto de vista de ingeniería y que es necesario desarrollar una tecnología de ingeniería civil propia en el caso de los huaycos rescatando tecnología de la experiencia de nuestros antepasados andinos, en el uso de la roca y su control de erosión, inundación y huaycos, estabilidad de taludes, entre otros. Diversas publicaciones presentadas por el mismo profesor sustenta que la tecnología propia es factible en huaycos porque en el Perú se tienen casos complicados y variados donde las tecnologías de muros de concreto y acero, trampas de acero, muros de gaviones, tienen sus mayores limitaciones.

En la trabajo presentado por Ing Martínez, Rescate de Tecnología para el Diseño del Encauzamiento del Huayco (Ref. 6) señala que “En base a la experiencia, análisis e investigación de los resultados de los últimos huaycos sucedidas en 1987 y 1989 en Chosica, participación y asesoramiento en el estudio de riesgo en la subcuencas de Pedregal, Corrales y Quirio, donde se ubican menos del 10% de los huaycos de todo el valle del Rímac, sin embargo se encuentran los de más alto riesgo por la mayor concentración de los asentamientos humanos es que justifica la selección de éstas. Un enfoque geotécnico e integral se ha dado en la prevención y tratamientos a las zonas siniestradas, para mitigar el peligro, frente a futuros huaycos”.

Se considera que la información básica desarrollada es la adecuada y suficiente que permite plantear recomendaciones e iniciar tratamientos a corto y concretar las de mediano y largo plazo.

2.4.2. USO DE LA ROCA COMO ALTERNATIVA

La roca se considera como el material básico de construcción en todas las obras de encauzamiento, tratamiento, regulación, control, etc.

Los estudios geológicos realizados en la cuenca media del río Rímac definen que la roca en Chosica y principalmente en las subcuencas de Pedregal, Corrales y Quirio es predominante existiendo en cantidad y calidad, de fácil explotación en los depósitos aluvionales.

Según el Ing. Martínez (Ref. 6), existen antecedentes del uso de rocas por población migrante de Pedregal que representa el 60% de la población procedente de la Sierra. Sin embargo hay una contradicción de su empleo en sus viviendas pues menos del 10% lo han usado y es más pésimamente, encontramos explicaciones en la preferencia por los materiales de construcción convencionales como el ladrillo, madera o concreto ciclópeo, debido a que existe una imposición desde el diseño arquitectónico, a la construcción que casi siempre tratan de imitar y buscar la vivienda ideal de casa del capitalino, desvirtuando la solución de la problemática de la vivienda

y en el caso del tratamiento del cauce siempre se piensa en materiales como el concreto, quedando rezagado el uso de la roca y de este modo se hace cada vez más inalcanzable la vivienda económica y la ejecución de tratamientos de los cauces en zonas críticas y de alto riesgo.

2.4.3. **TECNOLOGÍA INCA EN CONSTRUCCION DE MUROS SECOS Y PIRCAS**

En esta parte se considera el rescate de tecnología inca en el tratamiento del huayco de Tipón-Cusco, en la tesis elaborado por Julio Bizarreta (Ref. 2). En ese trabajo se menciona que los ingenieros incas debieron realizar diversas actividades previas a la colocación de los bloques labrados de rocas, éstas podrían ser las siguientes:

- La ubicación de puntos estratégicos y el trazado.
- Las excavaciones para la cimentación, profundidad de cimentación.
- Cortes y rellenos en el talud, profundidad del corte.
- La construcción del muro, base de cimentación.

En resumen los ingenieros incas tuvieron las siguientes consideraciones para la construcción de muros secos.

EN LA CIMENTACIÓN

Todos los muros estaban cimentados sobre material aluvional o roca mas no en rellenos. En muchos casos se aprovecha los afloramientos rocosos, en sus diversos estados y formas, para formar los cimientos completando las aberturas con bloques de roca canteada.

Otro aspecto a resaltar es que la excavación para la cimentación deja al muro prácticamente empotrado en el aluvión, el mismo que tiene una determinada cohesión pues muestra taludes empinados en cortes menores de 1.5 metros.

ESTABILIDAD DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN DE BLOQUES DE ROCA

Los muros de contención forman parte de cada andén y cumplen la función de asegurar la estabilidad del terraplén-terrazza respectivo; el tema (muros de contención) es ampliamente estudiado en la mecánica de suelos tradicional. El muro debe ser capaz de resistir las fuerzas de empuje del suelo en las condiciones más desfavorables.

El muro es construido por bloques de roca andesita colocados en forma celular no uniforme (tipo células, pero de diferentes tamaños). Además los perfiles son de tipo almohadillado convexo y su textura rugosa eran determinantes para tener una elevada fricción entre muro y suelo comparada con un muro de concreto. El considerable peso del muro en roca va a permitir resistir los momentos actuantes y sufricción en la base que aumenta con el peso del muro impide cualquier posible desplazamiento.

En general las dimensiones del muro son las suficientes para asegurar su estabilidad; los muros de los andenes de cauce tienen un ancho de 1 metro, una altura de 3 metros y una cimentación superior a 1 metro. Posiblemente tengan una relación a , $3a$ y a como se observa en la figura 14. Su considerable volumen, da un gran peso, que favorece su estabilidad. La inclinación de los muros o pircas en promedio bordea a la pendiente 1: 10, la misma que fue rescatada y medida por Ing. Martínez (Ref. 06) en adobes de ruinas en Lima y en rocas en Cusco, lo cual constituye otro aspecto relevante en las especificaciones utilizadas por los ingenieros incas, que se han incluido en las normas internacionales de estabilidad de taludes naturales. Los bloques de roca utilizados, poseen un acoplamiento que no permite el movimiento de éstas (aparejo celular no uniforme), como lo es el amarre en las unidades de albañilería que también favorece a la estabilidad del muro. La cimentación por lo general, presenta rocas mayores y no se observa el pulido de las caras de los muros. La figura 14, refiere a las dimensiones que al parecer serían las dimensiones promedio de los muros de andenes en Tipón, donde se aprecia que para la estabilidad de muros de sostenimiento

hecho por bloques de roca andesita, la inclinación 1:10 o superior es estable; y el amarre de los bloques un factor importante en su estabilidad.

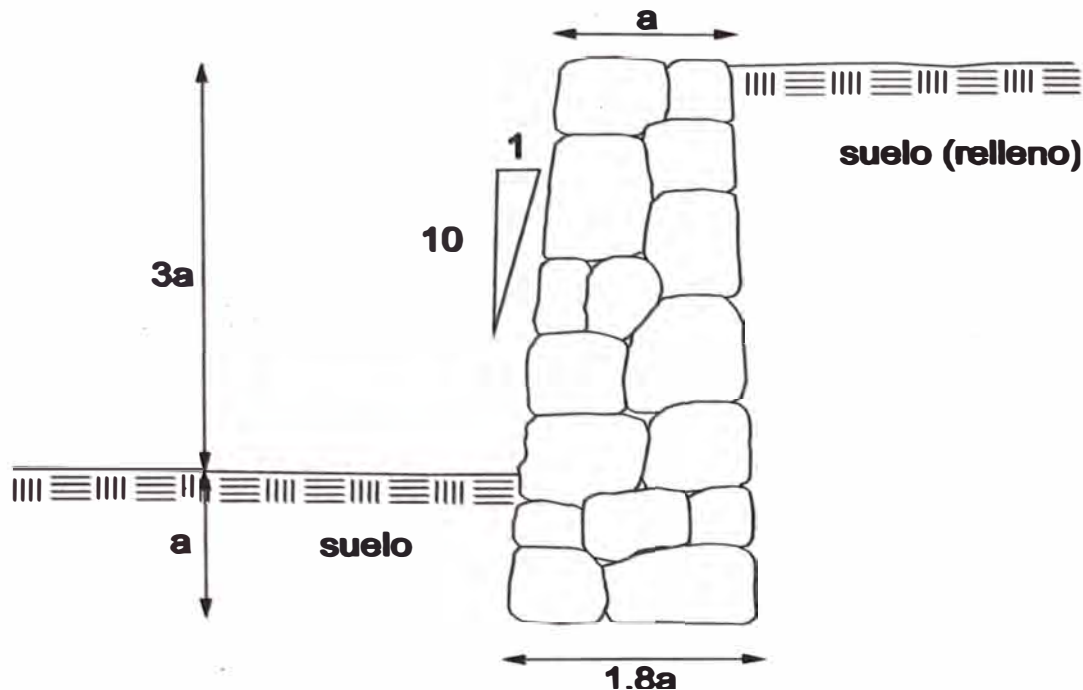


Fig. 14: Esquema de un muro típico en Tipón - Cusco

AMARRE DE LOS MUROS O PIRCAS

Los bloques de roca, encajaban uno sobre otro de tal manera que el conjunto sea una estructura estable; así podemos resaltar una primera condición que está relacionada con el talud del muro, y explicamos a continuación:

Un muro vertical, un muro con un sólo lado inclinado y finalmente el muro con dos inclinaciones, se puede asemejar a un hombre parado en posición "firmes", "semi-descanso" y "descanso". El muro con dos inclinaciones, figura 15, resulta ser estable ante la acción de fuerzas de gravedad pero por el empuje (E) del relleno. En su centro de gravedad es más estable.

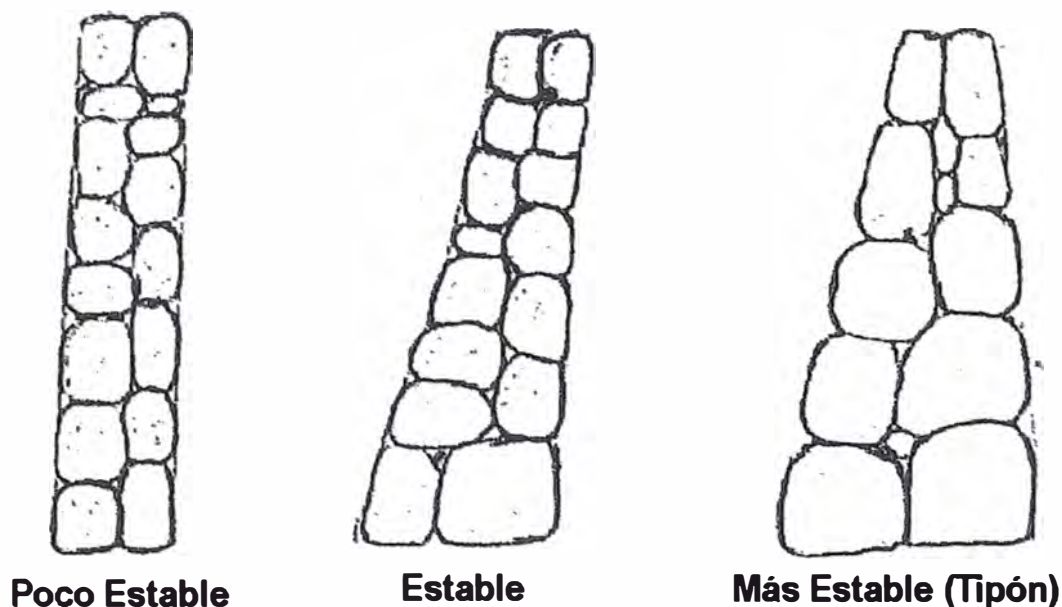


Fig. 15: La Estabilidad y talud del muro inca

2.4.4. BASES DEL RESCATE TECNOLÓGICO

Las bases del rescate tecnológico, realizado por Ing. Martínez considera dos aspectos, uno de observación y otro teórico que lo denomina el Geomorfológico y el Hidrodinámico.

GEOMORFOLOGICO

La experiencia y observación en el cauce de los ríos que pasan por formación rocosas como en nuestros Andes muestran que los procesos geomorfológicos de erosión son permanentes, donde las marmitas son la expresión más representativa con sus oquedades formadas por el movimiento de arenas en flujos turbulentos y vórtices, un ejemplo de ello lo tenemos en el Puente de Piedra de Lima, el cauce empedrado de la margen izquierda después de más de 380 años muestra oquedades en los bloques de granito usado para la protección el paso del flujo de avenidas torrentosas del río Rímac.

Fenómenos similares se producen en la naturaleza en procesos geomorfológicos de hidráulica fluvial donde exista un salto, caída, catarata,

rápida y donde actúa como parte del fluido el limo, arena, grava y boleas. Además se da el fenómeno de cavitación por ser flujo turbulento a altas velocidades.

En el cauce de los huaycos se presentan en masas de lodos muy fluidos como el del año 1989. Esto nos permite diseñar el cauce y usar rocas al limitar y controlar la velocidad para que sea menor que la velocidad al inicio de crítica y así evitar que la roca sea destruida.

HIDRODINAMICO

El fenómeno denominado por los ingenieros mecánicos como cavitación produce corrosión y daña las paletas de las turbinas hidroeléctrica; cuando el fluido está en condiciones de movimiento rápido y turbulento se producen burbujas de aire debido a la brusca evaporación de agua, cuando la presión desciende por debajo de la tensión de su vapor estas oquedades llenas de aire constituyen un contorno de igual presión que al chocar con cualquier material impacta y erosiona.

De modo análogo, si se que se considera que la masa fluida del huayco en movimiento rápido y turbulento produce burbujas de aire por la brusca evaporación de agua, cuando la presión desciende por debajo de la tensión de su vapor estas oquedades con aire constituyen un contorno de igual presión que, actuando en conjunto al contenido de limos, arenas, gravas y boleas va a impactar y erosionar, produciéndose erosión mucho mayor que el que se da el fenómeno de cavitación. En consecuencia se puede admitir que la erosión de la roca corresponde al inicio de la cavitación.

DEDUCCION TEORICÁ DE LAS VELOCIDADES

El Ing. Martínez hace la deducción de la velocidad de diseño del encauzamiento partiendo de la ecuación de Bernoulli (1) fue aplicada por Scheidegger (1961) para estudiar la Cavitación, expresada como:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \dots\dots\dots (1)$$

Esta ecuación es válida con flujo laminar, sin embargo cuando se desperdicia la energía de disipación debido a la turbulencia de una burbuja en fricción, el primer miembro de la ecuación representa a la presión atmosférica el inicio y el segundo donde se produce la cavitación.

Es decir:

- Al inicio $V_2 = V_c$:Velocidad crítica
- $P_2 = P_v$: Presión del vapor de agua
- $z_2 = z_1$ (si la energía de disipación es despreciable).
- $\rho = 101.94 \text{ kq-seg}^2/\text{m}^4$.

Reemplazando en (1):

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{p_{at} - P_v}{\rho g}$$

Despejando la velocidad crítica de cavitación tenemos:

$$V_c = \sqrt{\frac{2(p_{at} - pD)}{\rho}} \dots\dots\dots(2)$$

Usando los valores respectivos, en la Tabla C, pag. 468 del libro Hidráulica de Streeter, 1963.

- Si $P_{at} = 1.0077$
- Para 0°C $P_v = 0.0056$ en (2) $V_c = 13.82 \text{ m/seg.}$
- Para 21.1°C $P_v = 0.0253$ en (2) $V_c = 14.1 \text{ m/seg.}$

Velocidades calculadas y discutidas por Hjutstrom (1935) encuentra que:

$$V_c = 14.3 \text{ m/seg. para Pat} = 760 \text{ mmHg a } 0^\circ\text{C.}$$

Similarmente Barnes (1953,56) considera que en flujo laminar la máxima velocidad es cuando se da la condición de:

$$V_c = 2V_i \quad \text{es decir}$$

$$V_i = V_c / 2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Reemplazando (3) en (1) se tiene:

$$V_c = 2 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2(pat - pD)}{\rho}}$$

Es decir: $V_c = 16.30/2 = 8.15 \text{ m/seg.} \quad (4)$

Que es 15% mayor que (2) y por consiguiente la velocidad del inicio del fenómeno de cavitación para el diseño es:

$$V = 16.30/2 = 8.15 \text{ m/seg.}$$

Por lo tanto se define una velocidad de diseño del encauzamiento usando roca que cumpla con velocidades a 8 m/seg. para que la roca no se destruya.

$$V < 8 \text{ m/seg.} \quad \dots\dots(5)$$

CAPITULO 3
INGENIERIA DEL PROYECTO

CAPITULO 03: INGENIERIA DEL PROYECTO

En este capítulo se presentan las alternativas de encauzamientos de los huaycos provenientes de la quebrada de Santo Domingo dentro de la Universidad Nacional de Educación. Para realizar los planteamientos de solución se recopiló información básica, como la Geología, Geomorfología de la quebrada, así como el estudio hidrológico para determinar la sección hidráulica necesaria para encauzar los flujos de avenidas.

3.1 INFORMACION BASICA DEL PROYECTO

3.1.1 TOPOGRAFIA

Se realizó el levantamiento topográfico del cauce del huayco dentro de la Universidad, éste se hizo con estación total y abarcó todo el cauce desde el ingreso a la Universidad hasta la desembocadura al río Rímac, como se aprecia en el plano PL-01. Existen dos áreas muy marcadas por la topografía, la primera donde el cauce ingresa al campus y hace un recorrido de 430 metros lineales hasta llegar a la Av. Guzmán y Valle, la pendiente promedio en este tramo es de 10% y presenta profundidades de 4m. en promedio en su cauce. La segunda zona comprende el cauce desde el cruce del badén de la Av. Guzmán y Valle hasta al río Rímac, donde la pendiente disminuye a 4%; en esta zona el cauce no está bien definido y no existe infraestructura de la Universidad.

El cauce actual está situada en la parte norte de la Universidad y hace su ingreso al campus por el lado Este, donde se sitúa la planta de tratamiento de aguas provenientes del canal de regadío, presenta la cota más alta de 883 msnm. y prosigue su recorrido de Este a Oeste, cruza diversos campos de cultivos que pertenecen a Unidad de Producción y Experimentación Agropecuaria de la Facultad de Ciencias; en su parte media pasa muy cerca a los corrales de animales también de dicha unidad, en este tramo la cota promedio es de 860 msnm. y la pendiente es ligeramente mayor al 11%, hasta llegar a la parte más baja donde se sitúan los pabellones de la Facultad de Humanidades, donde la pendiente disminuye a 5 % y la cota en su lecho es de 840 msnm. hasta llegar al badén existente en la Av. Guzmán y Valle.

3.1.2 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LA SUBCUENCA SANTO DOMINGO

La geología descrita a continuación de la subcuenca de Santo Domingo tiene como referencia al estudio realizado en el Proyecto de Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo (Ref. 04):

A. GEOMORFOLOGÍA.

Las unidades geomorfológicas mas importantes son:

Laderas de Montañas.

Conforman el relieve montañoso donde están los afloramientos de roca basamento, con una topografía abrupta y biselados por pequeñas quebradas tributarias de fuerte pendiente y escasa cuenca, con una escorrentía temporal, donde el mayor tiempo están secas. Las laderas presentan pendientes promedio de 30° a 45°, pero pueden variar a subverticales.

Terrazas Aluvionales.

Se ubican en la parte alta de las márgenes de la quebrada, presentando un relieve fragmentado y ligeramente ondulado, terminando en algunos casos con bordes escarpados por proceso de erosión horizontal y vertical.

Conos de Escombros.

Se ubican en las laderas y/o al pie de las laderas, cubriendo los afloramientos de roca basamento y ocupando las depresiones formadas por las quebradas pequeñas afluentes de la quebrada Santo Domingo,

Cauce Actual en la quebrada.

Es el cauce principal actual por donde recientemente a pasado la escorrentía, formando un relieve semi plano en forma casi simétrica de bordes escarpados y donde sobresalen acumulaciones de bloques que aparentemente forman un relieve semi abrupto. También presentan terrazas de inundación en forma fraccionada que se forman en cada avenida de agua por las quebradas.

Conos de Deyección.

Se ubican en la parte inferior de la quebrada Santo Domingo, sobre un relieve de baja pendiente, con valores entre los 10° Y los 20°, en forma de un

abanico y con cauces no definidos; actualmente están siendo ocupadas por diversos asentamientos humanos, que peligrosamente están propensos a las inundaciones producidas por el río Rímac, ya sea en Chosica u otros lugares, y en la Universidad,

La interacción entre depósitos de huaycos y depósitos del río Rímac está entrecruzada, ya que se observa huaycos antiguos cortados por el río Rímac.

En el cuadro N° 3 se observan los parámetros geomorfológicos estimados para la quebrada Santo Domingo.

Cuadro N° 3 : Resumen de las características geomorfológicos de la subcuenca de Santo Domingo

CARACTERISTICA	FORMULA	RESULTADO Y COMENTARIO
Area (A)		4.13 km ² (cuenca pequeña)
Longitud del cauce (L)		3.85 km. (longitud del cauce principal)
Perímetro (P)		10.26 Km.
Parámetros de Forma de la Cuenca		
Factor Forma de Horton	$R_f = \frac{A}{L^2}$	Rf = 0.28
Índice de Gravellius	$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Ic = 1.41 (cuanto más cercano es a 1.0, presenta una forma circular)
Razón de Circularidad	$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$	Rc = 0.49
Parámetros relativos al relieve		
Altitud máxima	m.s.n.m.	1750
Altitud mínima	m.s.n.m.	850
Pendiente Promedio		23%

Fuente: Propia

B. LITA-ESTRATIGRAFÍA.

Roca Intrusiva.

La tonalita-granodiorita de color gris a gris oscuro, textura de grano medio a grueso, con plagioclasa blancas dentro de una matriz oscura, dura, de buena resistencia, poco meteorizada y moderado fracturamiento.

Depósitos Cuaternarios.

Son acumulaciones de material producto de los procesos de erosión y

acumulación de los materiales, que por su naturaleza y origen se han clasificado como depósitos fluvio-aluvionales, aluvionales. coluviales y coluvio deluviales.

Depósitos Fluvio Aluvionales.

Suelos de textura granular gruesa a media, constituidas por gravas arenosa y arenas gravosa con pocos finos de limos y/o arcillas, con inclusiones de bloques y cantos de bordes angulosos, de naturaleza intrusiva, con diámetros máximos de 3.00 m, semi enterradas y superpuestas; se localizan en los cauces de las escorrentías.

Depósitos Aluvionales.

Son depósitos heterométricos que están constituidos por gravas, arenas y limos, con un alto porcentaje de fragmentos de cantos y bloques de naturaleza intrusiva.

C. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Varios sistemas de fisuras o diaclasas se observan en los afloramientos de roca intrusiva, los que se han desarrollado durante la etapa tardía de consolidación del magma, los que favorecen para su explotación como material de préstamo en la construcción de muros de encauzamiento, por su tamaño y forma tabular con que se presentan.

D. LITOLOGIA

La roca basamento es un intrusivo de tipo tonalita, de textura fanerítica de grano grueso, constituido por feldespatos, cuarzo, biotita y hornblenda.

E. PARAMETROS GEOTECNICOS

El resumen de las evaluaciones geomecánicas y geotécnicas realizadas en el proyecto de de defensa y prevención de la quebrada Santo Domingo:

Roca Intrusiva:

Litología	: Tonalita
Grado de Meteorización	: Bajo a moderado
Grado de Fracturamiento	: Amplio a moderado

Peso Específico	: 2.65 (alto)
Valor de RMR	: 60 (bueno)
Clasificación Geomecánica	: Roca tipo II-III
Calidad Geomecánica	: Buena
Resistencia a la Compresión	: 1100 kg/cm ²
Carga Admisible	: > 100 Kg/cm ²

Depósitos Aluvionales:

Clasificación SUCS	: GP – SP
Índice de Plasticidad	: No plástico
Densidad Natural	: 2.30 gr/cm ³
Densidad Relativa	: 52.2 a 54.7 %
Peso Específico de Grava	: 2.66 gr/cm ³
Humedad Natural	: 3.2 %
Compacidad	: Media a poco densa
Angula de Fricción Interna	: 36°
Cohesión	: 0
Carga Admisible	: Superior a 4.00 Kg/cm ²

F. CANTERAS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La calidad de los materiales se considera como buena por la naturaleza de la roca basamento de origen intrusivo tipo tonalita, muy pocos finos (menor al 10%), un peso específico alto entre 2.60 a 2.70 y una absorción de gravas menor a 1 % (baja).

Para la prospección de canteras de roca se han ubicado las áreas de escombros de talud donde existen grandes volúmenes de fragmentos de roca con diámetros que varían desde los 0.50 a 5.00 m. y son rocas intrusivas de tipo tonalita de buena resistencia y trabajables.

En la prospección de materiales de préstamo de agregados para mortero se han identificado depósitos aluvionales y flujos aluvionales. El volumen estimado es de unos 100 m³. dentro del cauce de la quebrada en una longitud de 500 m. La calidad de los agregados se considera buena.

3.1.3 HIDROLOGÍA Y DETERMINACION DEL FLUJO DE AVENIDAS

La zona de Chosica ofrece dos estaciones bien marcadas: verano e invierno. De abril a octubre con sol dominante y una temperatura promedio de 22° y de noviembre a marzo con ligero frío, llovizna y niebla, pero siempre con sol radiante durante el día.

La aridez del área es debido al viento húmedo de este a oeste del Océano Atlántico que es interceptado por los Andes Centrales. Sin embargo, los patrones de precipitación son activados por acontecimientos climáticos como el Fenómeno del Niño (FEN) en el Océano Pacífico.

Para la determinación del caudal del flujo de escombros tomamos como referencia los resultados obtenidos del modelamiento de flujos de la subcuenca Santo domingo realizados con el programa FLOD- 2D, la cual se presenta en Anexo 01.

DETERMINACION DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE

Para el dimensionamiento del cauce, es decir, para encontrar la sección transversal ideal para transportar el flujo aluvional, a través de un cauce canalizado, el cual se recomienda tenga forma rectangular, tenemos:.

Consideramos la ley de Darcy :

$$Q = V \times A \dots\dots(6)$$

Donde Q = Caudal máximo de avenida del huayco

V = Velocidad del flujo del huayco,

A =: Sección, cuyas dimensiones (axb) pueden tener varias alternativas según convengan y limitados por las condiciones locales.

De los resultados que se obtienen en el modelamiento del flujo (ver anexo 01) se tiene que el cauce actual donde cruza la universidad presenta tirante máximo de 2.5 m (ver fig. 1.7.1 del anexo 01). El ancho promedio del cauce en la parte media de la universidad es de 5m, según secciones de la topografía realizada, y de la figura 1.7.2 del anexo 01, se tiene como velocidad máxima que promedio en esta zona es de 2.8 m/seg.

Entonces tenemos que:

$$A = 5 \times 2.5 = 12.5 \text{ m}^2$$

$$V = 2.8 \text{ m/seg}$$

Aplicando estos valores en (6)

$$Q = 12.5 \times 2.8 = 35 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Este valor de caudal de avenidas es para un periodo de retorno de 100 años, periodo con la cual se hizo el modelamiento del flujo. Aplicando un factor de seguridad al caudal de 1.5 obtenemos:

$$Q_d = 52.5 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La velocidad de diseño considerando un valor de 3 m/seg. debido al posible aumento de la avenida.

$$A_d = Q_d/V_d$$

Entonces tenemos que la sección de diseño es

$$A_d = 17.5 \text{ m}^2$$

3.2 COMPONENTES Y CARACTERISTICAS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Las alternativas de tratamiento del huayco en el cauce bajo se hará con tecnología propia, y tienen como objetivo a reducir el riesgo de futuros desastres en la zona y áreas críticas previamente visualizadas el modelamiento de flujos (Anexo 01), mediante la reducción progresiva de la vulnerabilidad.

Las medidas correctivas sugeridas buscan controlar la erosión hídrica que forman las cárcavas, disminuir la energía cinética del agua que provoca la

erosión del fondo del cauce y erosión lateral.

El diseño de los encauzamientos se hará con el empleo de rocas, y limitando y controlando la velocidad para sea menor a la velocidad crítica (8 m/seg.), evitando que la roca sea destruida. Partimos de que la roca es la alternativa para este propósito, pues este material predomina en la zona, su uso tiene una rica tradición histórica, resulta económico ya que sólo se requiere de mano de obra con tecnología artesanal.

Se presenta las dos Alternativas de Solución con sus principales características y componentes:

Alternativa 01 : Encauzamiento con trazo actual del cauce.

Alternativa 02: Encauzamiento con cambio de trazo del cauce.

3.2.1 ALTERNATIVA 01: ENCAUZAMIENTO CON TRAZO ACTUAL DEL CAUCE

Esta alternativa comprende seguir el mismo eje del cauce actual con una sección mayor a la crítica para evitar que el flujo de escombros se desborde e invada área de la Universidad y además erosione los taludes del actual cauce, las cuales se encuentran desprotegidas.

Se considera para esta alternativa de la construcción de 430 metros lineales de muros de mampostería para encauzar y dar un paso seguro a los huaycos con una sección mayor a la diseño. Esta alternativa contempla también la construcción de 115 metros lineales de torrentera del tramo que va desde el badén existente hasta el río Rímac, (Ver plano PL-02).

COMPONENTES DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCION 01:

Como componentes de la alternativa tenemos:

A. ESTRUCTURA DE CAPTACIÓN

La zona de recepción del flujo proveniente de la quebrada y su entrada a la Universidad es una área crítica ya que de no asegurar toda la captación del huayco podría provocar que el flujo de escombros se salga del encauzamiento y provoque graves daños a la Universidad y a las poblaciones situadas a

niveles por debajo de esta zona. En esta área se plantea elevar los muros proyectados y reforzarlos para garantizar su encauzamiento.

B. ENCAUZAMIENTO CON MUROS Y REVESTIMIENTO DEL FONDO

Todo el tramo del cauce donde cruza las instalaciones de la Universidad será protegido con 430 metros lineales de muros de mampostería de piedra por ambos lados y también del fondo del cauce. Estos muros protegerán a los taludes actuales que existen en el actual cauce que ante la ocurrencia un gran evento serían erosionados por el huayco, formando recodos y cárcavas con la posibilidad de originar grandes derrumbes, sobre todo en las partes donde el cauce está más profundizado y angosto y las paredes del cauce presentan verticalidad; estos derrumbes de material podrían obstruir el cauce del huayco lo cual provocaría el desborde del flujo a las áreas aledañas, inundado y provocando a la infraestructura y mobiliario de UNE e inclusive a las personas.

C. CONSTRUCCIÓN DE TORRENTERA

Para la parte baja del cauce, que va desde el badén existente hasta el río Rímac se construirá una torrentera de tipo trapezoidal revestida con mampostería de piedra, y tendrá una longitud de 115 metros lineales con un trazo recto hasta llegar al río. Para la torrentera se tendrá una sección más angosta para por el cambio de pendiente, y así lograr conducir los sedimentos y escombros que traería el huayco hacia el río Rímac.

D. ZONA DE DESCARGA DEL FLUJO AL RÍO

Para zona de descarga del flujo de escombros se plantea usar una estructura amplia y con suficiente volumen como para asegurar que los materiales a depositar no obstruyan el cauce del río Rímac, que si así ocurriese podría producir un represamiento de sus aguas y provocar inundaciones en sus márgenes las cuales se encuentran pobladas.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

A. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Para la construcción de los muros se empleará mampostería de piedra trabajada, ya que se tiene la experiencia de que este material ha resistido muy bien a la fuerza erosiva de los huaycos como lo demuestran las obras de defensa construidas en las quebradas del Pedregal y Quirio a finales de los 80 y se ha soportado muy bien los eventos producidos en estas casi dos décadas. Este material se encuentra disponible en abundancia en la cuenca media y alta de la misma quebrada de Santo Domingo la cual es explotada y trabajada por los pobladores de la zona. Según los estudios geotécnicos y geológicos realizados anteriormente se tiene que la roca es una granodiorita tonalita de buenas características geomecánicas y apta para este uso. Para la construcción de la torrentera también se plantea revestirlo con mampostería de piedra.

B. LA PENDIENTE:

La pendiente promedio del eje del cauce es de 10% en la parte media del cauce que cruza la universidad y disminuye a 6% en la parte baja (desde que cruza la Av. Guzmán y Valle hasta llegar al río Rímac). Esta pendiente es ligeramente mayor a la pendiente crítica (9 a 10 %) y podría provocar erosión de el fondo del lecho, es por esto se requerirá revestir y proteger el fondo. Se usará mampostería de piedra, ya que la velocidad del flujo obtenidas en el modelamiento de flujo en la quebrada son menores que la velocidad crítica de 8 m/s.

C. SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal está planteada para permitir la conducción del flujo esperado determinado por estudio de avenidas, la cual establece un caudal mayor de 50 m³ para un tiempo de retorno de 100 años. La sección a usar será del tipo rectangular de 6 m. de ancho por 3 m de profundidad.

Entonces el Área sección (A)

$$A = 3 \times 6 \text{ m} = 18 \text{ m}^2 > \text{Área de diseño} = 17.5 \text{ m}^2.$$

Para la profundidad se recomienda:

$$\text{Profundidad/ Ancho} > 0.3 \dots\dots (7)$$

Para el ancho de 6 m., tenemos:

$$\text{Profundidad} > 0.3 \times 6 \text{ m} = 1.8 \text{ m}$$

Profundidad de diseño será 3 m, que satisface la condición (7) y además la profundidad del cauce actual presenta profundidades mayores a 3 metros (Ver plano se secciones transversales PL-04).

D. DIRECCIONAMIENTO DEL CAUCE:

Se considera seguir en lo posible la actual trayectoria del cauce para disminuir los costos de movimiento de tierras. El curso del cauce no presenta cambios de dirección fuertes ya que esto generaría erosión y deposición de los sedimentos, que a su vez que podrían generar desbordes del flujo. (Ver plano PL-02)

E. ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE MAMPOSTERIA

El diseño del muro se ha realizado verificando la estabilidad al deslizamiento y al volteo y controlando los esfuerzos que éste transmite al suelo de cimentación.

Dimensionamiento del muro:

Para el dimensionamiento del muro consideramos los siguientes criterios.

Altura total del muro (H):

Se considera una altura total del muro de 3.50 m, siendo la profundidad de cimentación de 0.50 m., quedando como altura efectiva 3.00 m. No considera una profundidad de cimentación mayor debido a que el lecho del cauce será revestido con mampostería de piedra lo cual evitará que el huayco socave y erosione la base del muro.

Para el ancho de la base (B):

$$B = 0.5 \text{ a } 0.7 H \dots\dots(8)$$

Donde H es la altura del muro en total, $H = 3.50 \text{ m}$, en (8) tenemos que:

$$B = 1.75 \text{ m a } 2.45 \text{ m}$$

Entonces consideramos un ancho de base del muro de:

$$B = 2.00 \text{ m}$$

Para el ancho en la corona (C)

De la geometría de los muros construidas por los incas, donde la inclinación del muro es 1:10 o superior, que favorece la estabilidad, se establece la siguiente relación ancho de corona/ancho de base (ver fig. 14).

$$\text{Ancho en la corona} > 0.50 \text{ Ancho de Base}$$

Consideramos un ancho de corona de

$$C = 1.00 \text{ m}$$

En la figura 16 se aprecia las dimensiones del muro de mampostería y los esfuerzos a los que va estar sometido.

Estabilidad contra el deslizamiento.

La fuerza que tiende a deslizar el muro a lo largo del plano por debajo de fondo es la componente horizontal de la presión de tierra. Esta fuerza es resistida por la fuerza cortante creada entre el suelo de cimentación y la base del muro. La presión de tierra frente al muro de contención, también puede considerarse como fuerza resistente.

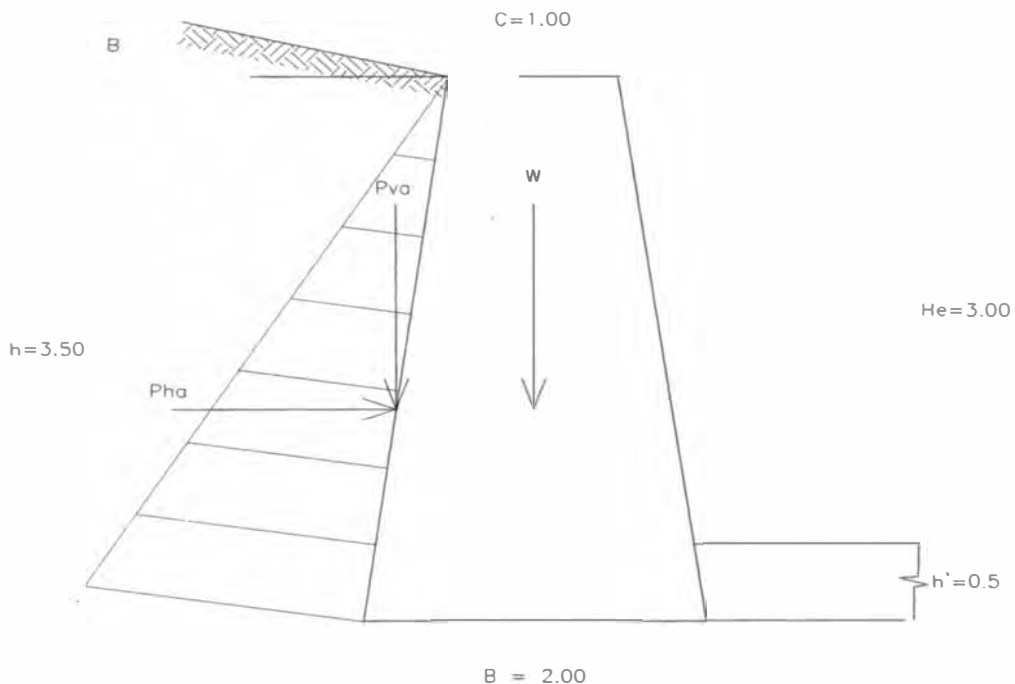


Figura 16: Dimensionamiento del muro de mampostería

Considerando el factor de seguridad contra el deslizamiento:

$$\text{FSD} = \frac{\text{Fuerza Resistentes}}{\text{Fuerza Deslizante}} \geq 1.50 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{FSD} = \frac{(W+Pv) \cdot \text{Tan}\delta + c \cdot B}{Ph} \geq 1.50 \quad \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

- W = Peso muerto del muro (ton/m)
- Pva = Componente Vertical de presión de la tierra (ton/m)
- Pha = Componente Horizontal de presión de la tierra (ton/m)
- Tanδ = Coeficiente de fricción entre en el terreno de cimentación y la base del muro.
- c = Cohesión entre el suelo de cimentación y la base del muro.

Considerando los siguientes parámetros y valores:

P. E del muro mamposteria	=	2.65 ton/m ³
P.E del suelo (γ)	=	1.90 ton/m ³
Angulo de fricción del suelo (ϕ)	=	36°
Altura empuje de tierra activo (h)	=	3.50 m

De la figura 16 tenemos las dimensiones y determinamos el peso del muro:

Base (B)	=	2.00 m
Corona (D)	=	1.00 m
Altura (H)	=	3.50 m
Peso del muro (W)	=	13.91 ton/m

Determinando los empuje activo del suelo (P_a):

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot h^2 \quad \dots\dots(11)$$

Donde K_a es el coeficientes de empuje activo:

$$K_a = \frac{\cos(\beta) \times \cos(\beta) - \sqrt{\cos^2(\beta) - \cos^2(\phi)}}{\cos(\beta) + \sqrt{\cos^2(\beta) - \cos^2(\phi)}}$$

Para

Angulo de fricción del suelo (ϕ)	=	36°
Angulo de inclinación del talud (β)	=	26°

Tenemos que

$$K_a = 0.35 \quad \dots\dots(12)$$

Reemplazando (12) en en (11)

$$P_a = 4.34 \text{ ton}$$

Descomponiendo el empuje activo y con los datos tenemos que:

$$Ph_a = 3.90 \text{ ton}$$

$$Pv_a = 1.90 \text{ ton}$$

Para determinar el coeficiente de fricción entre la base se considera que

$$\delta = 2/3 \cdot \phi = 2/3(36) = 24^\circ$$

$$\tan \delta = 0.45$$

Reemplazando estos valores en (10) determinamos el FSD:

$$FSD = ((13.91+1.90) \cdot 0.45) / 3.90 = 1.82$$

$$FSD = 1.82 > 1.50 \text{ cumple con (9)}$$

Estabilidad al Volteo:

Para la estabilidad al volteo tenemos que

$$d = \frac{W \cdot a + Pv_a \cdot b + Ph_p \cdot c - Ph_a \cdot h}{W + Pv_a} \dots\dots(13)$$

Donde

a = Distancia horizontal al pie de muro de contención al centro de gravedad del peso del muro

b = Distancia horizontal al pie de muro de contención al punto de aplicación de Pv_a (m)

c = Distancia horizontal al pie de muro de contención al punto de aplicación de Ph_p (m)

h = Distancia vertical al talón del muro de contención al punto de aplicación de Ph_a (m)

De acuerdo a la figura 16 tenemos:

$$a = 1.00 \text{ m}$$

$$b = 1.85 \text{ m}$$

$$c = 0.33 \text{ m}$$

$$h = 1.17 \text{ m}$$

Aplicando a la ecuación (13) tenemos

$$d = 0.75 \text{ m}$$

La excentricidad "e"

De la base del muro al punto de aplicación de la resultante R puede expresarse por:

$$e = \frac{B}{2} - d = 2/2 - 0.75$$

$$e = 0.25 \text{ m}$$

Como condición de estabilidad contra el volteo, la posición de la resultante debe caer dentro del tercio central de ancho B de cimentación. Esto es, la excentricidad debe satisfacer la siguiente condición:

$$e < B/6$$

$$e = 0.25 < 2/3 = 0.66 \text{ OK cumple.}$$

Estabilidad por capacidad portante de la cimentación

La reacción unitaria del terreno puede derivarse de las siguientes ecuaciones:

$$q_1 = \frac{W + Pv}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = 10.50$$

$$q_2 = \frac{W + Pv}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = 1.52$$

También, q_1 y q_2 deben satisfacer lo siguiente:

$$q_1, q_2 \leq q_{adm} = \frac{q_{ult}}{F_s} \dots (14)$$

Donde:

q_a = Capacidad portante admisible del terreno

q_u = Capacidad última del terreno

F_s = Factor de seguridad por capacidad portante ($F_s=3$)

Según las características del suelo y el estudio de geotecnia tenemos

$$q_u = 40 \text{ ton/m}^2$$

$$q_a = 40/3 = 13.33 \text{ ton/m}^2$$

$$q_1 = 10.50 < 13.33 \text{ (menor que } q_a)$$

$$q_2 = 1.52 < 13.33 \text{ (menor que } q_a)$$

Por lo tanto no existen esfuerzos en tracción.

F. MANTENIMIENTO

Para el mantenimiento se establece que las estructuras deben ser inspeccionadas después de cada flujo para reconocer las zonas erosionadas, desbordes, y obstrucciones. En base ha estas inspecciones elaborar reportes y hacer las correcciones del caso, evaluar las posibles causas de fallas.

En las áreas donde se han producido los desbordes, estudiar la posibilidad de elevar la altura del canal. También se debe efectuar una limpieza permanente para permitir el paso libre del próximo evento.

3.2.2 ALTERNATIVA 02 : ENCAUZAMIENTO CON CAMBIO DE TRAZO DEL CAUCE

Para esta alternativa se considera el cambio del trazo del cauce en la parte más baja, donde se sitúan los pabellones de Humanidades, de los cuales uno de ellos se encuentra a un nivel inferior (pabellón B) y se vería afectado por el huayco como muestra en los resultados del modelamiento de flujo (anexo 01) en caso de desborde. Se contempla en esta zona el cambio de trazo que es sinuoso (ver plano PL-06) por uno recto lo que obligaría a la reubicación (demolición y construcción) de dicho pabellón. Su reubicación sería en otra zona que no se encuentre en riesgo. Luego de cruzar el badén existente se construirá una torrentera de sección transversal haciéndolo recto hasta su desembocadura. Si bien en la Alternativa 01 se lograría encausar el caudal avenidas, aún el pabellón B estaría con algún riesgo, reducido, pero seguirá siendo la infraestructura actual que tiene mayor riesgo de afectado. Al reubicar dicho pabellón se estaría eliminado ese riesgo.

COMPONENTES DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCION 02:

Los Componentes de esta alternativa son:

A. ESTRUCTURAS DE RECEPCIÓN

En la zona de recepción del flujo proveniente de la quebrada y su ingreso a la universidad, es una área que se debe tratar de dimensionar con la mayores consideraciones posibles, ya que de no asegurar toda la captación del huayco, éste podría provocar que el flujo de escombros se salga del encauzamiento y genere graves daños a la universidad, como sucedió en eventos pasados, y a las poblaciones situadas en la margen derecha, aguas abajo. En esta área se plantea descolmatar el cauce y crear una barrera con los materiales excedentes, suficiente para direccionar el flujo por la canalización y de esta manera garantizar su encauzamiento, esta barrera estará recubierta de emboquillado en piedra con mortero para minimizar la erosión.

B. CANALIZACIÓN DEL CAUCE

Todo el tramo del cauce que cruza las instalaciones de la universidad, tendrá un trazo casi recto desde la captación del flujo hasta su entrega al río Rímac, son aproximadamente 415 metros lineales de canalización, que tendrá una sección mínima trapezoidal de 5 metros en la base, con taludes de 1:1 y un tirante mayor a 2.75 metros, y será revestido con emboquillado mampostería de piedra mortero, para minimizar los efectos de la erosión de fondo y lateral. Para tener un trazo recto en el desarrollo de la canalización, se reubicar el pabellón de humanidades que se encuentra atravesando el cauce (Ver PL-06)

C. CONSTRUCCIÓN DE TORRENTERA

Para la parte baja del cauce, que va desde el badén existente hasta el río Rímac se construirá una torrentera de tipo trapezoidal revestida, y tendrá una longitud de 110 metros lineales con un trazo recto hasta llegar al río. Para la torrentera tendrá una sección más angosta para aumentar la velocidad del flujo, ya que en este tramo la pendiente disminuye, y así lograr depositar los sedimentos y escombros que traería el huayco hacia el río Rímac.

D. ZONA DE ENTREGA DEL FLUJO AL RÍO RÍMAC:

Para zona de descarga del flujo de escombros se plantea usar una estructura amplia y con suficiente volumen como para asegurar que los materiales a depositar no obstruyan el cauce del río Rímac, lo cual provocaría un represamiento de sus aguas pudiendo provocar inundaciones en sus márgenes.

E. LA PENDIENTE:

La pendiente de diseño obtenida de la topografía del cauce es en promedio del 10 % en la parte media del cauce que cruza la universidad y disminuye a 6% en la parte baja (desde que cruza la Av. Guzmán y Valle hasta llegar al río Rímac).

3.3 PRESUPUESTOS

Para determinar los presupuestos de cada alternativa de solución se ha procedido a realizar los metrados de cada partida y para los costos unitarios se usaron como base los análisis de costos unitarios de partidas establecidas en el proyecto de UNE, con precios de insumos actualizados y en otras casos se adoptaron costos unitarios de la revista Costos N° 164 (Noviembre 2007). Para la mano de obra se considero los costos de hora-hombre vigente en obras de edificación (vigente al 01-06-07)

Cuadro N° 4 : Costos de mano de obra (HH)

Categoría	Costo Hora Hombre (HH) S/.
Operario	12.36
Oficial	11.01
Peón	9.95

Fuente: Ing. Jesús Ramos Salazar. Revistas Costos N° 164

RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS TOTAL DE OBRA.

Cuadro N°5 Presupuesto total de obra de la Alternativa 01 (en Nuevos Soles)

Total Costos Directos (CD)	793,430
Gastos Generales (10%)	79,343
Utilidades (10%)	79,343
Sub Total	952,116
IGV (19%)	180,902
PRESUPUESTO TOTAL DE OBRA	S/. 1,133,018

Cuadro N° 6 : Presupuesto total de obra de la Alternativa 02 (en Nuevos Soles)

Total Costos Directos (CD)	1,125,282
Gastos Generales (10%)	112,528
Utilidades (10%)	112,528
Sub Total	1,350,338
IGV (19%)	256,564
PRESUPUESTO TOTAL DE OBRA	S/. 1,606,903

3.3.1 PRESUPUESTO DE OBRA DE LA ALTERNATIVA 01

PRESUPUESTO DE OBRA ENCUAZAMIENTO DE HUAYCOS QUEBRADA SANTO DOMINGO UNE - LA CANTUTA ALTERNATIVA 01

ENCAUZAMIENTO CON TRAZO IGUAL AL EJE CAUCE ACTUAL,

En Nuevos Soles

Item	Descripción de Partidas	Unidad	Medido	Precio	Parcial	Subtotal
01.00.00	TRABAJOS PRELIMINARES					
01.01.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	GLB	1.00	3,000.00	3,000.00	
01.02.00	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO	M2	3,010.00	1.33	4,003.30	
01.03.00	TRAZO Y REPLANTEO	M2	8,400.00	0.75	6,300.00	
01.04.00	DEMOLICION DE ALBAÑILERIA	M2	180.00	11.94	2,149.20	
01.05.00	VOLADURAS DE ROCAS	EST	1.00	800.00	800.00	16,252.50
02.00.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
02.01.00	EXCAVACION Y ACONDICIONAMIENTO DEL CAUCE	M3	8,750.00	4.41	38,587.50	
02.02.00	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	M3	1,120.00	6.87	7,694.40	
02.04.00	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	8,307.00	7.95	66,040.65	112,322.55
03.00.00	MUROS DE ENCAUZAMIENTO Y TORRENTERA					
03.01.00	MURO DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA C/EMBOQUILLAD	M3	4,515.00	103.76	468,476.40	
03.02.00	ENROCADO C/EMBOQUILLADO, MORTERO C:A 1:8	M2	936.10	40.23	37,659.30	
03.02.00	ENROCADO DE FONFO	M2	2,580.00	40.23	103,793.40	
03.02.01	TRANSPORTE DE ROCA HABILITADA	M2	3,935.00	5.14	20,225.90	630,155.00
04.00.00	VARIOS					
04.01.00	PUENTE DE PEATONAL	UND	2.00	15,000.00	30,000.00	
04.02.00	ESTRUCTURAS DE CRUCE DE INSTALACION DE SISTE	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00	
04.03.00	PORTON DE REJAS	M2	15.00	180.00	2,700.00	34,700.00
TOTAL COSTO DIRECTO						793,430
					GASTOS GENERALES	10%
					UTILIDADES	10%
					SUBTOTAL	952,116
					IGV	180,902
					TOTAL	1,133,018

3.3.2 PRESUPUESTO DE OBRA DE LA ALTERNATIVA 02

PRESUPUESTO DE OBRA ENCUAZAMIENTO DE HUAYCOS QUEBRADA SANTO DOMINGO UNE - LA CANTUTA ALTERNATIVA 02

ENCAUZAMIENTO CON CAMBIO EN EL TRAZO DEL CAUCE

En Nuevos Soles

Item	Descripción de Partidas	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	
01.00.0	TRABAJOS PRELIMINARES						
01.01.0	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	GLB	1.00	3,000.00	3,000.00		
01.02.0	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO	M2	4,980.00	1.33	6,623.40		
01.03.0	TRAZO Y REPLANTEO	M2	11,200.00	0.75	8,400.00		
01.04.0	DEMOLICION DE ALBAÑILERIA	M2	180.00	11.94	2,149.20		
01.05.0	VOLADURAS DE ROCAS	EST	1.00	800.00	800.00		
01.06.0	DEMOLICIONES DE OBRAS DE CONCRETO	M2	600.00	29.60	17,760.00	38,732.60	
02.00.0	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
02.01.0	EXCAVACION Y ACONDICIONAMIENTO DEL CAUCE	M3	12,100.00	4.41	53,361.00		
02.03.0	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	13,310.00	7.95	105,814.50	159,175.50	
03.00.0	REVESTIMIENTO DEL ENCAUZAMIENTO Y TORRENTERA						
03.01.0	TRANSPORTE DE ROCA HABILITADA	M3	3,387.00	5.14	17,409.18		
03.02.0	ENROCADO C/EMBOQUILLADO, MORTERO C:A 1:8	M2	7,327.00	40.23	294,765.21	312,174.39	
04.00.0	VARIOS						
04.01.0	PUNTES DE PEATONAL L=12M	UND	2.00	20,000.00	40,000.00		
04.02.0	PORTON DE REJAS	GLB	15.00	180.00	2,700.00		
04.03.0	ESTRUCTURAS DE CRUCE DE INSTALACION DE SISTEMAS	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00	45,200.00	
05.00.0	NUEVO PABELLON						
05.01.0	CONSTRUCCION DE NUEVO PABELLON	M2	600.00	900.00	540,000.00		
05.02.0	MOBILIARIOS	GLB	1.00	30,000.00	30,000.00	570,000.00	
TOTAL COSTO DIRECTO						1,125,282.49	
					GASTOS GENERALES	10%	112,528.25
					UTILIDADES	10%	112,528.25
					SUBTOTAL		1,350,338.99
					IGV	19%	256,564.41
					TOTAL		1,606,903.40

* Para el costo unitario de m2 de construcción del nuevo pabellón se considero el valor de US\$ 300.00 (Referencia Revista Costos N° 169)

3.3.3 MONTO DE INVERSION DE CADA ALTERNATIVA.-

El monto de inversión para cada alternativa contempla los costos de Estudios Definitivos (Expediente Técnico), Ejecución de la Obra (Presupuesto de obra) y los costos de Supervisión de obras. Para estimar los costos de Estudios Definitivos se considera aproximadamente el 5 % del costo directo de la obra, igualmente para la Supervisión de Obra, a excepción de la alternativa 02 donde se incrementa estos costos por la construcción de un nuevo pabellón de aulas.

MONTO DE INVERSION DE LA ALTERNATIVA Nº 01

Cuadro Nº 7: Monto de Inversión de la Alternativa Nº 01 (En Nuevos Soles)

ITEM	COMPONENTE	COSTO PARCIAL
1.00	Costo de Obra	1,133,018
2.00	Estudios definitivos	40,000
3.00	Supervisión de Obra	40,000
MONTO DE TOTAL DE INVERSIÓN		SI. 1,213,018

Fuente propia

MONTO DE INVERSION DE LA ALTERNATIVA Nº 02

Cuadro Nº 8: Monto de Inversión de la Alternativa Nº 02 (En Nuevos Soles)

ITEM	PRINCIPALES RUBROS	COSTO PARCIAL
1.00	Costo de Obra	1,606,903
2.00	Estudios Definitivos	70,000
3.00	Supervisión de Obra	60,000
MONTO DE INVERSIÓN		1,736,903

Fuente propia

3.3.4 COSTOS DE MANTENIMIENTO.-

Son los insumos y recursos que son necesarios para utilizar y mantener la capacidad instalada.

Mantenimiento rutinario:

Se requiere dos personas para la limpieza del cauce, mantenimiento de muros, pintado de rejas, a un costo de S/1,000 mensuales (incluye beneficios sociales).

Cuadro N 9: Costos de mantenimiento rutinario

Descripción de Partidas	Und	Cant	Metrado	Precio S/.	Parcial
Pintado de portón de rejas	Glb	1	1	200.00	200.00
Capacitación	Glb	1	1	100.00	100.00
Personal de Mantenimiento regular	Mes	2	4.00	1000.00	8000.00
				Sin IGV	8,300.00
				Con IGV	9,877.00

Fuente propia

Mantenimiento Periódico:

La ocurrencia de eventos significativos obliga la descolmatación del cauce, consideraremos 1200 m3 de material a remover y un periodo de recurrencia de cada 4 años:

Cuadro N 10: Costos de mantenimiento periódico

Descripción de Partidas	Und	Cant	Metrado	Precio	Parcial
Excavación y acondicionamiento del cauce	M3	1	1200	4.41	5292
Eliminación de material excedente	M3	1	1200	7.95	9540
(*) Considera un periodo de ocurrencia del evento de 4 años.				Sin IGV	14,832
				Con IGV	17,650

Fuente propia

Costo de mantenimiento rutinario anual será de S/. 4412.50 y el costo total de mantenimiento por año será S/. 14,289.50

3.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS

GENERALIDADES.

Las especificaciones técnicas constituyen las normas a seguirse en la construcción de las estructuras previstas en la quebrada Santo Domingo; son complementarias al Reglamento Nacional de Edificaciones y a las normas vigentes en el país, así mismo determinan los materiales a usarse en concordancia con los planos y el presupuesto base que indican procedimientos de construcciones que deben seguirse.

LIMPIEZA DEL ÀREA DE TRABAJO

Se deberá ejecutar la limpieza del cauce y el eje del huayco, en la zona donde se ubicarán los muros de encauzamiento, eliminando materiales orgánicos y todo tipo de elemento que puedan afectar el desarrollo normal de las labores a efectuarse. Si hubiera desmonte - material excelente, deberá ser eliminado acarreándolo a lugares señalados por el organismo ejecutor o por la autoridad competente, como la UNE - La Cantuta.

TRABAJOS PRELIMINARES

Son los que deben ejecutarse prioritariamente antes de dar inicio a la construcción de los muros de encauzamiento y torrentera, teniendo en consideración las normas vigentes del reglamento nacional de construcciones. En este rubro se consideran trabajos provisionales de limpieza de terreno, limpieza del cauce y acondicionamiento del área del trabajo.

TRAZO Y REPLANTEO

Es la materialización del proyecto en el terreno, ubicando los elementos indicados en los planos respectivos y tal labor será por medio de estacas y equipo topográfico debiendo ser aprobado por el organismo ejecutor - inspector.

MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Todos los materiales a usarse en la construcción serán nuevos y de buena calidad especificada, donde el Ingeniero Residente debe realizar el control de calidad de los materiales al pie de la obra.

El área destinada para almacenar los materiales deberá guardar medidas de seguridad que garanticen la conservación de los materiales, sea del medio ambiente o causas externas.

MANO DE OBRA

La mano de obra, será cuidadosamente seleccionada y debe estar sujeto a los principios de la técnica constructiva; las labores deberán ser encomendadas al personal calificado según el grado de complejidad de manera que en todo momento se aprecie el orden y la correcta ejecución de la obra.

DE LA PROPORCION DE LOS MATERIALES

De acuerdo a las proporciones de los materiales por volumen, se tiene:

Para un metro cúbico (1 m³):

Cemento = 0.160 m³

Arena = 0.780 m³

Agua = 0.070 m³

Como se piensa aprovechar la mano de obra existente zona, debe darse estas proporciones en unidades más prácticas, de modo tal que cualquier trabajador pueda entenderla y aplicarlas. Para la cantidad de cemento a emplearse por m³ de mezcla, lo más práctico es expresarlo en bolsas de cemento. Para la cantidad de arena a emplearse por m³ de mezcla, lo más práctico es expresarlo en términos de "latas", estas latas una capacidad aproximada de 0.02 m³ o 0.50 pie³. Antes de utilizar la arena debe habersele humedecido, con la finalidad de que no absorba el agua empleada en la mezcla. Para la cantidad de agua a emplearse por m³ de mezcla, lo más práctico es expresarlo en términos de "latas", del mismo que para la arena.

Finalmente, en 1 m³ de mezcla se tiene:

Cemento = 0.16 m³ = 5.5 bolsas

Arena = 0.78 m³ = 39 latas

Agua = 0.07 m³ = 3.5 latas

La cantidad de agua puede variar, de acuerdo a la trabajabilidad del mortero.

Materiales:

Cemento.- el cemento estará sujeto a las especificaciones del cemento pórtland tipo I (ASMT C-150)

Agregados.- Los agregados para mortero deberán satisfacer las especificaciones de agregados para cemento ASMT C-33; serán mantenidos limpios y libres de todo otro material durante el transporte y manejo. Se almacenarán separados de otros materiales en el sitio hasta que sean medidos en carga y colocados

Mezcla.- La mezcla del mortero deberá hacerse en forma manual, el batido será cuando menos de tres vueltas, después de lograr que todos los componentes de la mezcla estén uniformemente batidos deberá ser mezclados hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales y la mezcla deberá ser usada íntegramente.

DE LAS ROCAS A EMPLEARSE

Todas las rocas a ser usado deben ser labradas por picapedreros con experiencia y ser preferentemente granodioritas tonalitas con diámetro mínimo de 0.30m. y como máximo 0.50 metro.

Las rocas a seleccionarse deben ser homogéneas y compactas, limpia de materias orgánicas, debe tener fuerza y un porcentaje de absorción menor al 3% de su peso; las rocas más grandes deben ser empleadas para las cimentaciones, deben buscarse que estas sobresalgan hacia la superficie en forma de dientes, para que al ser unidas con las de la parte superior se forme un enlace que de mayor rigidez al muro; antes de proceder a construir los muros, las rocas a utilizarse deben estar saturadas para que no absorban el

agua del mortero.

Para los muros de encauzamiento se recomienda una profundidad de cimentación como mínimo de 0.50m, sobre depósitos fluvio aluvionales y/o aluvionales y deberá eliminarse los residuos de los materiales fragmentados y de ser necesario se regularizará con mortero 3:1. Se recomienda utilizar los materiales de agregado y roca existentes a lo largo de la quebrada Santo Domingo, previa selección y tamizado por medio de zarandas.

DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

Antes de colocar la primera piedra, debe darse un tratamiento previo al terreno, el cual al ser cortado tal como mandan los diseños debe ser humedecido y compactado, esto con la finalidad de que en el futuro no se produzcan asentamientos o expansiones indeseables.

DE LAS JUNTAS DE CONTRACCION

Al construirse los muros debe preverse las juntas de contracción verticales, se recomienda que sean cada 6 m. y 2" de ancho, para prevenir se produzcan grietas y/o deformaciones causadas por asentamientos imprevistos del terreno o por variación de temperatura.

Al construirse las superficies de las obras, también debe tenerse en cuenta este aspecto; en este caso las juntas se harán por paños de 24 m² (6m x 4 m) en todo el perímetro, los bordes que hacen contacto con las paredes materiales, estas juntas serán de 1" de espesor y se rellenarán con arena y grava. En caso que por razones de necesidad sea indispensable colocar juntas de construcción adicionales, estas serán ejecutadas de modo tal de recuperar en su integridad la continuidad de la estructura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El proyecto está situado dentro de la Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle", que está ubicada sobre la margen izquierda del río Rímac, aproximadamente a 38 km. al Este de la ciudad de Lima, geográficamente pertenece al distrito de Lurigancho – Chosica, provincia de Lima y tiene una altitud promedio de 850 m.s.n.m.
- El marco geológico de la subcuenca Santo Domingo, lo constituye afloramientos de roca intrusiva de tipo tonalita, una cobertura en los sectores de las deprecaciones en laderas con material de origen coluvial y en el fondo de la quebrada depósitos aluvionales.
- Hidrográficamente la subcuenca de Santo Domingo pertenece a la cuenca del río Rímac, tiene una superficie de 4.17 Km². aproximadamente, abarcando pisos altitudinales entre 850 a 1.750 m.s.n.m, su drenaje al cauce del río Rímac se produce por la margen izquierda con una pendiente promedio de 23%.
- Los huaycos producidos en la subcuenca son flujos de lodo y rocas con gran poder destructivo. Se forman en las partes altas de la quebrada debido a la existencia de capas de suelo deleznable en la superficie o depósitos inconsolidados de suelo, que son removidos por las lluvias. Están más relacionados con la intensidad de la precipitación (tiempo de duración de las tormentas), que con el volumen total de la descarga pluvial diaria y así mismo con la persistencia de la lluvia en los días precedentes.
- La filosofía que persigue el rescate de tecnología propia es rescatar conceptos ingenieriles aplicados en las obras construidas por nuestros antepasados que trataron estos fenómenos naturales, y que tuvieron a la roca como materia prima fundamental en sus construcciones; para aplicarlas en el tratamiento de huaycos.
- La velocidad crítica que podría ocasionar la erosión en la roca es de 8 m/seg., por lo tanto si se desea emplear este material para el tratamiento de flujos de escombros las velocidades del flujo deberían ser menores a está, controlando las pendientes.
- Del levantamiento topográfico realizado del cauce del huayco, dentro de la Universidad, se distinguieron dos zonas muy marcadas; una situada dentro de la Universidad, en el cual la pendiente promedio es 10% y la longitud del cauce es de 430 m. La otra zona comprende desde el cruce del badén de la avenida Guzmán y Valle hasta llegar al río Rímac, donde la pendiente disminuye a 4%,

y el cauce no está bien definido. Es por este cambio de pendiente que se considera construir en ambas alternativas de solución presentadas una torrentera de sección trapezoidal revestida con mampostería para la última zona.

- Para el dimensionamiento del encauzamiento se utilizó un caudal de avenidas 52.5 m³/seg. calculado con un periodo de retorno de 100 años, del cual se obtuvo como área de diseño sección encauzamiento 17.50 m².
- Las obras de encauzamiento se harán con el empleo de rocas, y limitando y controlando la velocidad para que la está sea menor a la crítica, evitando que la roca sea destruida. Elegimos la roca como material de construcción, pues éste abunda en la zona, su uso tiene una rica tradición histórica y resulta económico ya que sólo se requiere de mano de obra con tecnología artesanal, en comparación con otros materiales. Además se tiene la experiencia de obras de defensa construidas en las quebradas del Pedregal y Quirio, las cuales han soportado muy bien los eventos producidos en casi dos décadas.
- Las dos Alternativas de Solución desarrolladas son:
 - Alternativa 01** : Encauzamiento con trazo actual del cauce.
 - Alternativa 02**: Encauzamiento con cambio de trazo del cauce.
- La Alternativa 01 comprende seguir el mismo eje del cauce actual, con una sección rectangular de 6.00 m. de base y 3.00 m. de profundidad; se considera la construcción de 430 metros lineales de muros de mampostería de piedra en ambos lados y revestimiento del fondo del lecho para evitar tanto la erosión lateral y de fondo. Esta alternativa contempla también la construcción de 115 metros lineales de torrentera que va del tramo desde el badén existente de la Av. Guzmán y Vallehasta el río Rímac.
- Para la Alternativa 02, se considera el cambio del trazo del cauce en la parte más baja, donde se sitúan los pabellones de la Facultad de Humanidades, de un trazo sinuoso (trazo actual) por uno recto, lo que implica la reubicación (demolición y construcción) del pabellón B de dicha Facultad, por ser la infraestructura que está en mayor riesgo. En este caso se usará una sección trapezoidal de 5.00 m de base, profundidad de 2.75 m. y un talud 1:1, con una longitud de 415 m. lineales de canal, la cual también será revestida con emboquillado de mampostería de piedra para evitar la erosión. Asimismo se contempla la construcción de 110 m. de torrentera que va desde el badén

existente, hasta su desembocadura al río Rímac.

- Los presupuestos de totales de obra son: para la Alternativa 01 de S/. 1'133,018 y se considera un monto global de inversión de S/. 1'213,018, que considera los costos de estudio definitivos y supervisión de la obra. Para la Alternativa 02 el presupuesto total de la obra es de S/. 1'606,903 y se considera un monto de inversión total de S/. 1'736,903 incluyendo los costos de estudios definitivos y supervisión.
- Los Costos de manteamiento para ambas alternativas se considera un monto de S/. 14,289.50 anuales.
- Los tiempos de ejecución para la obras se ha estimado para la Alternativa 01 en 5 y para la alternativa 02 en 6 meses.

RECOMENDACIONES

- Para la construcción los obras de encauzamiento planteadas se recomienda utilizar los materiales de agregado y roca existentes a lo largo de la quebrada Santo Domingo, ya que según los estudios realizados la calidad de estos materiales se considera como buena, por la naturaleza de la roca basamento de origen intrusivo tipo tonalita. Para el uso de agregados para el mortero se emplear previa selección y tamizado por medio de zarandas.
- Todas las actividades de trabajo deben desarrollarse preferentemente en época de estiaje, de abril a octubre más aun, cuando se trata de obras de defensa contra huaycos, de manera que se tiene ventaja en poder utilizar los recursos naturales que ofrece la quebrada Santo Domingo. Además de evitar contratiempos que se producirían en tiempos de avenidas.
- Se deben realizar las operaciones de mantenimientos de los diques reguladores y descolmatación de los encauzamientos construidos en zona media de la quebrada, con la objetivo de que estas estructuras pueden lograr su fin de retener los escombros mayores, y que el huayco pierda energía al llegar a la Universidad.
- En los presupuestos de las alternativas se consideró como costo de la mano de obra los costos vigentes en obras de edificación. Sin embargo, para la mano de obra no calificada se podría emplear a la población de la zona considerando un régimen de pagos menores como sucede en los programas de a Construyendo Perú o a Trabajar Urbano. Con esto se lograría disminuir y ahorrar en el costo de la obra; además, se generaría empleo para la gente del lugar, que también

se van beneficiar indirectamente con la construcción de la obra.

- La reubicación del pabellón B de la Facultad de Humanidades que contempla la de la Alternativa 02, debe ser ubicada en un área donde no este en riesgo y además concuerde con la planificación urbana de la Universidad.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Arancibia Samaniego, Ada Liz; Criterios para el Manejo de Quebradas y su Aplicación en el Diseño de Obras Civiles; Tesis UNI-FIC, Lima, 1998
2. Bizarreta Ortega, Julio Cesar; Rescate de la Tecnología Inca en el Tratamiento del Huayco Tipon-Cusco; Tesis UNI-FIC, Lima, 2005
3. Fernández Cheng, Daniel Ángel; Tratamiento del Huayco de la Subcuenca Santa María Yanocoto – Chosica, Tesis UNI-FIC, Lima, 1991
4. Oficina de Infraestructura, Universidad Nacional de Educación. Proyecto de Defensa y Prevención de la Quebrada Santo Domingo; OFI-UNE, Chosica, 1999
5. O'Connor Salmon, Hugo Leonardo; Investigación del Huayco de Chosica 1987, sus efectos y medidas de mitigación; Tesis UNI-FIC, Lima, 1988
6. Martínez Vargas, Alberto; Rescate de Tecnología Para el Diseño del Encauzamiento; CISMID, Lima, 1990,
7. Vásquez Huamani, Oscar; Los Huaycos de Chosica: Una Alternativa de Solución; 3º Simposio Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres- CISMID, Lima, 1992

ANEXO 01

**MODELAMIENTO DEL FLUJO DE
ESCOMBROS EN LA QUEBRADA SANTO
DOMINGO, CON FINES DE PROTECCION DE
LA U.N.E. ENRIQUE GUZMAN Y VALLE**

MODELAMIENTO DEL FLUJO DE ESCOMBROS EN LA QUEBRADA SANTO DOMINGO, CON FINES DE PROTECCION DE LA U.N.E. ENRIQUE GUZMAN Y VALLE

1.1 OBJETIVO

El presente estudio es un indicador del posible daño del flujo ocasionado en la quebrada Santo Domingo mediante el modelamiento numérico. El principal objetivo es la determinación de las zonas vulnerables del cauce ante un evento extraordinario.

1.2 ANTECEDENTES

La quebrada objetivo tiene en su cono de deyección zonas urbanizadas que viven en las laderas del cauce principal de la quebrada. Tiempos anteriores, durante épocas de lluvia (tal como el Fenómeno del Niño) se activa la quebrada, discurriendo flujos de agua con sedimentos que se dirigen hacia la parte baja de la cuenca.

Los daños en la parte baja de la quebrada son significativos, debido a la latente de un evento mucho más extraordinario que el anterior.

Actualmente se han elaborado medidas estructurales de mitigación del flujo, como diques de protección en la parte media de la cuenca.

1.3 CARACTERIZACION TOPOGRAFICA

La microcuenca Santo Domingo, está ubicada sobre la margen izquierda del río Rímac, geográficamente pertenece al Distrito de Lurigancho – Chosica, provincia de Lima, departamento de Lima y pertenece a la cuenca del río Rímac, con coordenadas en unidades UTM son 8'679,100 N y 315,000 E.

Esta microcuenca pertenece a la Cuenca hidrográfica del Pacífico y confluye al río Rímac por su margen izquierda, aguas arriba de la quebrada La Cantuta.

La extensión que posee esta microcuenca es de 4.13 km² con una longitud de cauce principal de 3.85 km aproximadamente. Los límites son:

Esta microcuenca tiene una altitud mínima de 850 m.s.n.m y una máxima de 1750 m.s.n.m. Su longitud de eje del cauce principal es de 3.85 km y presenta una pendiente promedio de 23%.

La microcuenca consta de tres partes que la distinguen: Una zona de recepción o recolección formada por las vertientes que se hallan por encima de los 1300 m.s.n.m., ésta área funciona como un embudo que capta las lluvias veraniegas.

Luego aguas abajo se tiene el canal de escurrimiento definido entre los 1300 m.s.n.m y los 950 m.s.n.m. Este tramo colecta todas las aguas provenientes de las vertientes. Las quebradas tributarias tienen una mediana pendiente, lo que provocan que posteriormente los materiales sean acarreados y conducidos por el canal principal, aumentando la capacidad de transporte de la quebrada. Por lo tanto en esta zona, el huayco toma su mayor fuerza y volumen.

Finalmente el canal de desagüe principal se abre en un plano de explayamiento conocido como, cono de deyección; en la cual se depositan las acumulaciones de materiales transportados del resto de la cuenca. Esta zona se encuentra completamente urbanizada.

1.4 CARACTERIZACION HIDROLOGICA

El clima de la zona del proyecto ubicado en la ciudad de Chosica se caracteriza por la escasa precipitación con una media anual de 18 mm para 9 años y una temperatura promedio de 20° C.1

Este clima corresponde a la faja costanera del Perú, denominado desértico templado y húmedo, caracterizado por escasas lluvias todo el año, excepto entre enero a marzo que puede llover, generando fenómenos de geodinámica externa en las quebradas, como son los huaycos e inundaciones y erosión de suelos por desborde del río Rímac.1

El viento tiene una dirección de sur oeste a noreste, siendo mayor su persistencia por las tardes.

Chosica, titulada la "Villa del Sol" por su hermoso clima, ofrece dos estaciones bien marcadas: verano e invierno. De abril a octubre con sol dominante y una temperatura promedio de 22° y de noviembre a marzo con ligero frío, llovizna y niebla, pero siempre con sol radiante durante el día.²

Se afirma que "el clima es uno de los factores ecológicos que mayor influencia ejerce sobre el suelo, la flora y la fauna" de allí que el Valle se presenta siempre verde y colorido gracias al clima y las aguas del Rímac que los alimentan permanentemente

Sin embargo, es de recordar que en algunas de las temporadas de invierno, se han precipitado abundantes lluvias, ocasionando huaycos que han causado graves daños materiales como los de 1 925, 1 936 y 1 987.

La aridez del área es debido al viento húmedo de este a oeste del Océano Atlántico que es interceptado por los Andes Centrales. Sin embargo, los patrones de precipitación son activados por acontecimientos climáticos como el Fenómeno del Niño (FEN) en el Océano Pacífico. Durante estos acontecimientos el aire húmedo del Océano Pacífico al oeste, puede mover hacia el este (llegando a los Andes Occidentales) fuertes lluvias que comúnmente provocan la actividad de derrumbamiento incluyendo flujos de escombros (Kuroiwa, 2002).

1.4.1 Parámetros Geomorfológicos.

En la tabla 1.4.1 se observan los parámetros geomorfológicos estimados para la quebrada Santo Domingo.

1.4.2 Precipitación máxima de 24 horas (P_{24})

Del estudio de la Cuenca del río San Mateo, realizado por la consultora CESEL Ingenieros S.A., para el estudio hidrológico de la quebrada Collana, se ha extraído la información de precipitación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Tabla 1.4.1 Cuadro resumen de las características morfológicas

CARACTERISTICA	FORMULA	RESULTADO Y COMENTARIO
Area (A)		4.13 km ² (cuenca pequeña)
Longitud del cauce (L)		3.85 km. (longitud del cauce principal)
Perímetro (P)		10.26 Km.
Parámetros de Forma de la Cuenca		
Factor Forma de Horton	$R_f = \frac{A}{L^2}$	Rf = 0.28
Índice de Gravellius	$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Ic = 1.41 (cuanto más cercano es a 1.0, presenta una forma circular)
Razón de Circularidad	$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$	Rc = 0.49
Parámetros relativos al relieve		
Altitud máxima	m.s.n.m.	1750
Altitud mínima	m.s.n.m.	850
Pendiente Promedio		23%

Para la quebrada objetivo, se tiene como principal estación de influencia la de Santa Eulalia, ubicado dentro de la cuenca del río Rímac. Las características de la estación se muestran la Tabla 1.4.2.

Tabla 1.4.2. Ubicación de la estación meteorológica

Estación	Cuenca	Altitud m.s.n.m.	Latitud	Longitud
Sta. Eulalia	Rímac	1030	11°54'	76°40'

Del mismo estudio, se tiene las Precipitaciones máximas en 24 horas para los períodos de retorno de 20, 50 y 100 años.

El análisis de la información pluviométrica del estudio de CESEL S.A, se basó en un análisis de frecuencias de eventos hidrológicos máximos, aplicables a caudales de avenida y precipitaciones máximas. La información pluviométrica fue procesada por medio de un análisis probabilístico. Se efectuó las distribuciones de frecuencia más usuales: Distribución Normal (N), Distribución Gumbel (EV1), Distribución Log Normal de 2 parámetros (LN), Distribución Log Normal de 3 parámetros (3LN) y Distribución Log Pearson III (LP3). CESEL S.A, encontró como mejor distribución de ajuste la de Log Pearson III (LP3), generalizándose ésta para todas las estaciones. Finalmente, se obtuvieron los

resultados de precipitación máxima en 24 horas (Tabla 3.3) para diferentes periodos de retorno.

Tabla 1.4.3. Precipitación máxima en 24 horas (mm)

Estaciones	P ₂₀	P ₅₀	P ₁₀₀
Sta. Eulalia	29.40	34.00	38.30

De la tabla anterior, se puede apreciar que para un tiempo de retorno de 100 años se registra una precipitación máxima de 38.3 mm.



Fig 1.4.2 Imagen Satelital de la quebrada Santo Domingo

1.4.3 Cálculo del Tiempo de retardo (t_{lag}).

Para el cálculo del tiempo de retardo, tomaremos la definición de Horner y Flint.

El tiempo de retardo fue originalmente definido por Horner y Flynt (1934) como "...la diferencia de tiempo entre el centro de masa de la precipitación y el centro de masa de la escorrentía...". La siguiente relación general entre el tiempo de retardo (lag time, L_g) y parámetros de cuencas medidos es:

$$L_g = 26K_n \left(\frac{LL_{ca}}{S^{0.5}} \right)^{0.33}$$

donde:

L_g = tiempo de retardo del hidrograma unitario, en horas

L = longitud del cauce principal, en millas.

L_{ca} = longitud de desembocadura al centro de gravedad de la cuenca, en millas

S = pendiente promedio del curso de agua, en pies por milla

K_n = valor promedio de rugosidad, característico de la cuenca.

Esta fórmula tiene la virtud de que proviene de estudios, donde se han contrastado registros simultáneos de precipitaciones y escorrentías medidas. El valor de K_n se aproxima a 0.073.

Tabla 1.4.4. Cálculo del Tiempo de retardo para la quebrada Paihua

CARACTERÍSTICA	FORMULA	RESULTADO
Longitud del cauce principal	L	3.85 Km (2.39 mi)
Longitud de la desembocadura al C.G	L_{ca}	2.21 Km (1.37 mi)
Pendiente promedio del curso de agua	S	23% (1214.4 pies/mi)
Factor	K_n	0.073
Tiempo de retardo	$L_g = 26K_n \left(\frac{LL_{ca}}{S^{0.5}} \right)^{0.33}$	0.9 horas

1.4.4 Descripción del Uso de Tierras y Cálculo del Número de Curva (CN).

Un parámetro necesario para el cálculo del Hidrograma de avenida por medio de la metodología del Soil Conservation Service (SCS) es determinar el valor del

Número de Curva (CN). Este valor de CN es adimensional, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN=100$; para superficies naturales $CN < 100$. El Soil Conservation Service (SCS) ha tabulado valores de número de curva en base al tipo de suelo y uso de tierras. Todos los suelos son clasificados en 4 grupos de suelos hidrológicos de distintas propiedades.

Según la imagen satelital y las fotografías tomadas en campo se aprecia un suelo de moderada tasa de infiltración. Con suelos poco profundos, moderadamente drenadas, con texturas moderadamente finas a gruesas. Este tipo de suelo tiene una moderada tasa de transmisión de agua. Por la tanto, para la quebrada en estudio se le denomina un tipo de suelo hidrológico "B", con un valor de CN cercano a 82.

Hacemos referencia que los valores de CN para las quebradas ubicadas en la cuenca del río Rímac varían en un rango de 78 a 83, según estudios hidrológicos revisados.

3.2.6 Hidrograma de avenida líquido (Inflow).

Para la estimación del hidrograma de avenida, utilizaremos como apoyo el modelo hidrológico HEC-HMS. La razón por la cual hemos elegido este software es debido a que se trata de un programa de uso libre y reconocido en otras partes del mundo. Además el ingreso de datos es sencillo y muy fácil de interpretar.

Para el cálculo del hidrograma de avenida se empleará la metodología del Soil Conservation Service (SCS) debido a que es uno de los métodos más sencillos para el cálculo de un Hidrograma de avenida. Además se utilizará tormentas hipotéticas para 24 horas provenientes de investigaciones en los Estados Unidos.

Para el inicio del modelamiento con el software mencionado se requiere la especificación de 3 conjuntos de datos:

- Modelo de Cuenca

- Modelo Meteorológico
- Especificaciones de Control

a. Modelo de Cuenca

Contiene los parámetros de los elementos hidrológicos como por ejemplo: sub-cuencas, tramo de cauce, convergencias, reservorios, fuentes y sumideros.

El primer paso es dibujar el esquema hidrográfico a simular. Los elementos utilizados para definir nuestra microcuenca son: sub-cuenca (subbasin), cauce (reach) y la confluencia (junction). Véase Figura 1.4.3.

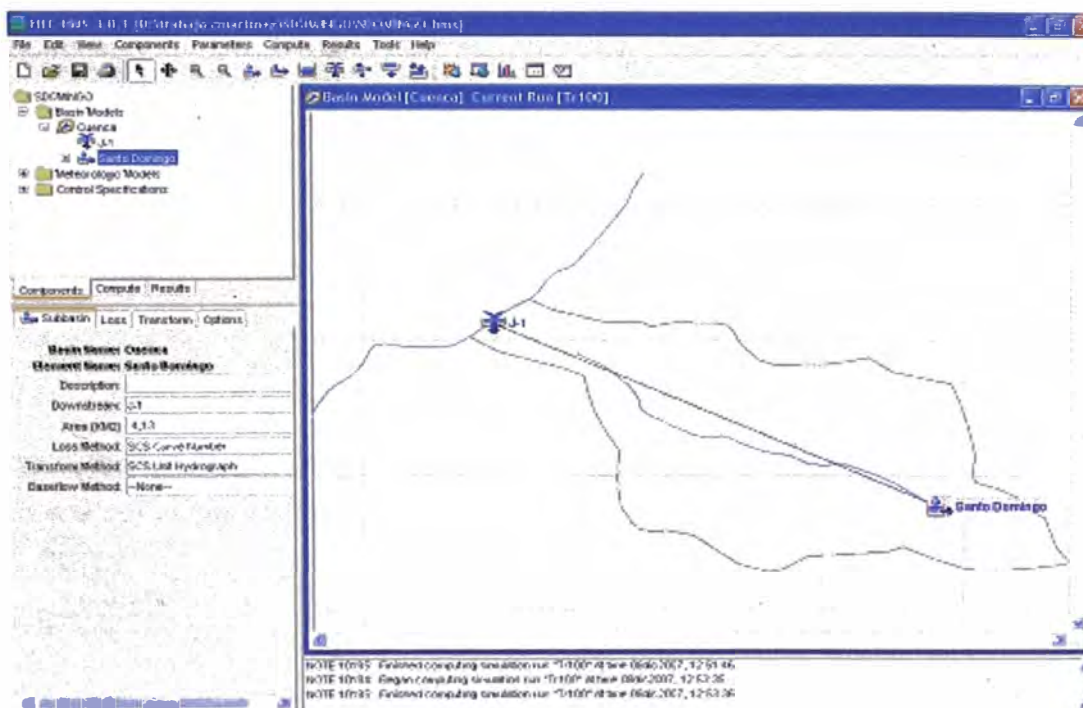


Figura 1.4.3. Modelo de Cuenca

Como datos adicionales debemos completar las características de la subcuenca y la metodología de análisis para el cálculo del hidrograma.

Se utilizará el método SCS para abstracciones, para estimar la pérdida inicial, debido a que depende solo de una variable conocida CN. La pérdida inicial (mm) es igual a $0.20 \times (25400 - 254CN) / CN$. El valor de pérdida inicial en el HEC-HMS se calcula por defecto para el método de SCS.

Adicionalmente emplearemos el hidrograma unitario adimensional de SCS, para el cálculo del hidrograma sintético cuyo dato de entrada depende del tiempo de retardo (t_{lag}). Para nuestro caso, el análisis está en función de una precipitación efectiva y no se considerará flujo base.

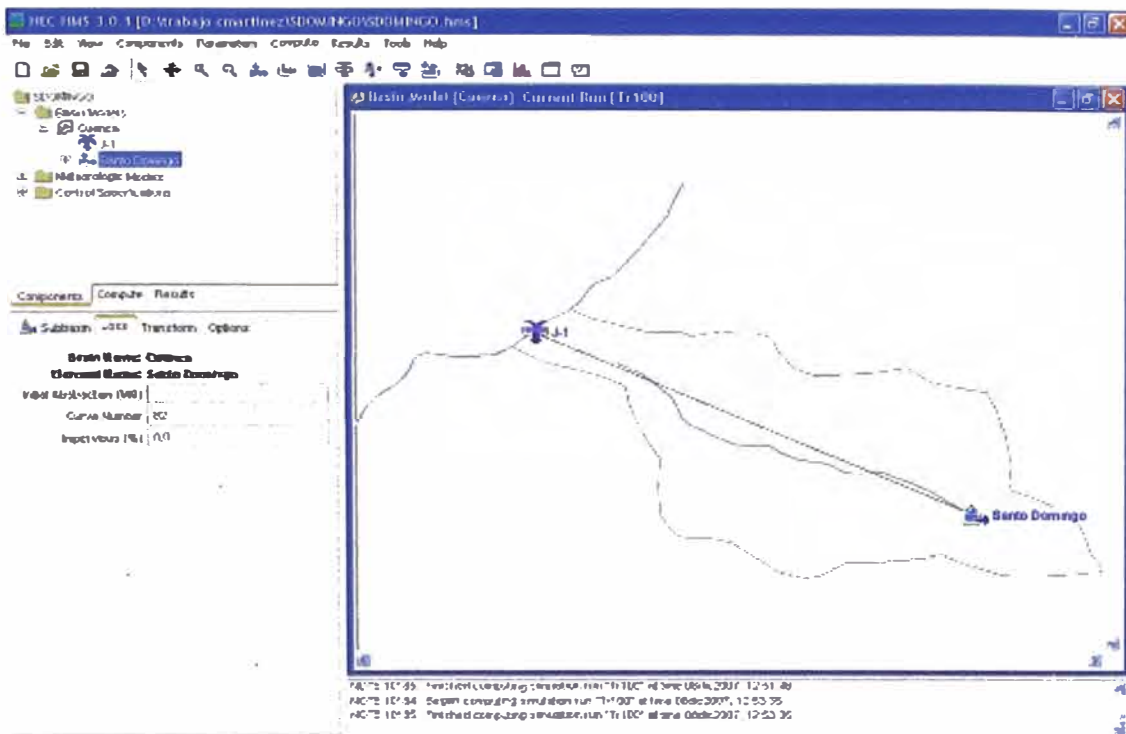


Figura 1.4.4. Método SCS de abstracciones

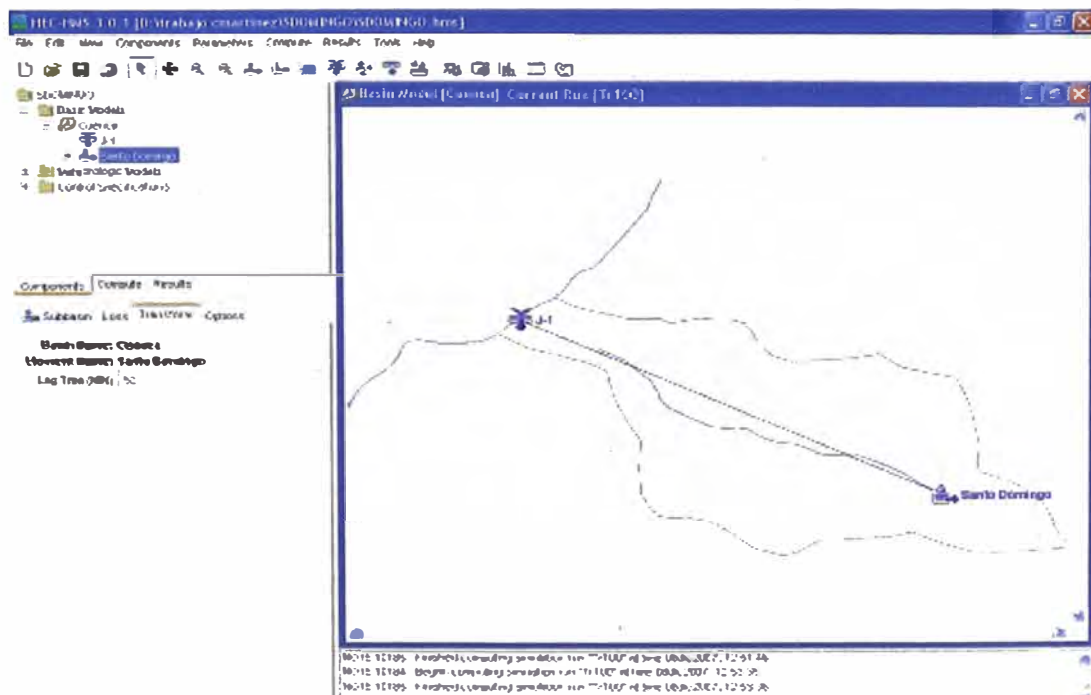


Figura 1.4.5. Método SCS – Tiempo de retardo

b. Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico consiste en definir la tormenta de diseño utilizada en la simulación del proceso precipitación-escorrentía, para nuestra microcuenca.

Una metodología para crear una tormenta de diseño, es por medio de hietogramas sintéticos de tormentas diseñados por el Soil conservation Service del U.S Department og Agriculture (1986) utilizado en los Estados Unidos con duraciones de tormenta de 24 horas. Existen cuatro tormentas de 24 horas de duración: Tipo I, IA, II y III.

Algunas instituciones e hidrólogos en nuestro medio, realizan cálculos de tormentas de diseño por medio de esta metodología, utilizando la tormenta hipotética del Tipo II debido a la semejanza del medio geográfico.

Finalmente el dato requerido es solamente la precipitación máxima de 24 horas. Esta precipitación para nuestro caso, es la precipitación para una **celda concentrada** igual a 38.3 mm (ver Figura 1.4.6).

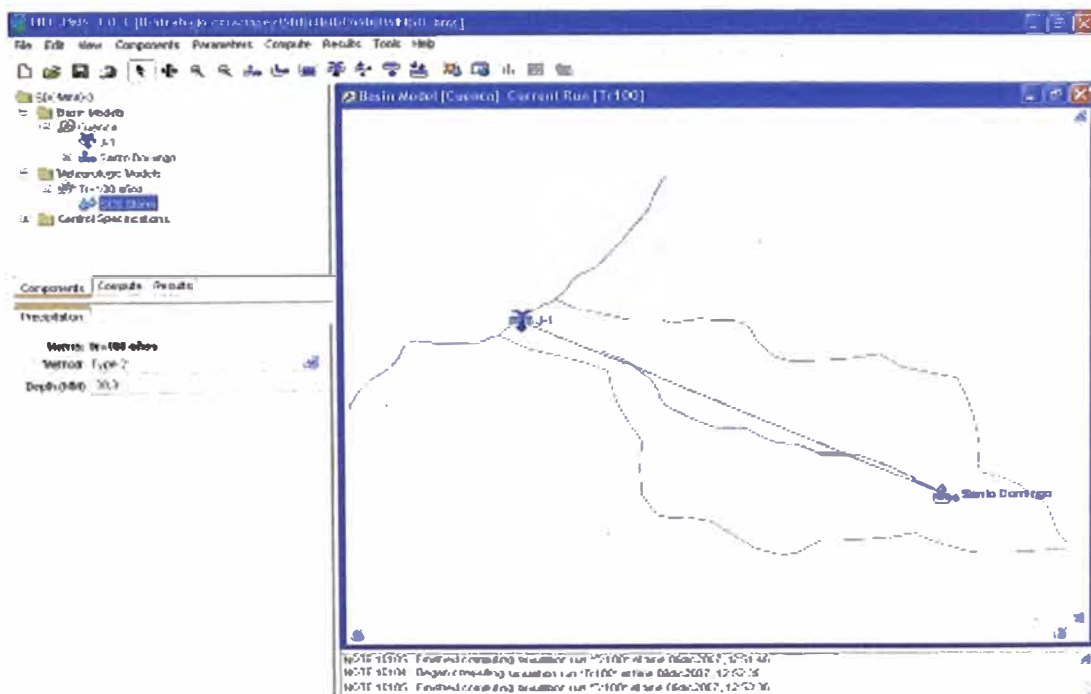


Figura 1.4.6. Histograma sintético de tormenta – Tipo II (SCS)

c. Especificaciones de Control

En esta parte del modelo se ingresa el tiempo de simulación para el hidrograma y el intervalo de tiempo (dt) o nivel de discretización. Por regla general, el nivel de discretización (dt) debe ser menor a 1/3 del tiempo de retardo. Para nuestro caso con un tiempo de retardo de 0.9 horas, se obtiene un intervalo de tiempo de 0.3 horas.

Con este conjunto de datos, el modelo hidrológico HEC-HMS procede a calcular el hidrograma de avenida (ver Figura 1.4.7). Este hidrograma presenta un caudal pico de 3.64 m³/seg correspondiente a una precipitación máxima en 24 horas de 38.3 mm. La distribución del hidrograma en función del tiempo se presenta a continuación:

Tabla 1.4.5. Valores del hidrograma líquido (CN=82)

Tiempo (hr)	Caudal (m ³ /s)
0.00	0.000
0.34	0.188
0.68	1.525
0.85	2.549
1.02	3.283
1.25	3.634
1.27	3.635
1.29	3.633
1.35	3.607
1.56	3.289
1.73	2.823
2.24	1.844
3.26	0.983
3.94	0.769
4.45	0.67
4.96	0.589
5.98	0.493
7.98	0.387
8.98	0.336
9.98	0.302
10.98	0.29
11.98	0.28
12.98	0.248
16.26	0.000

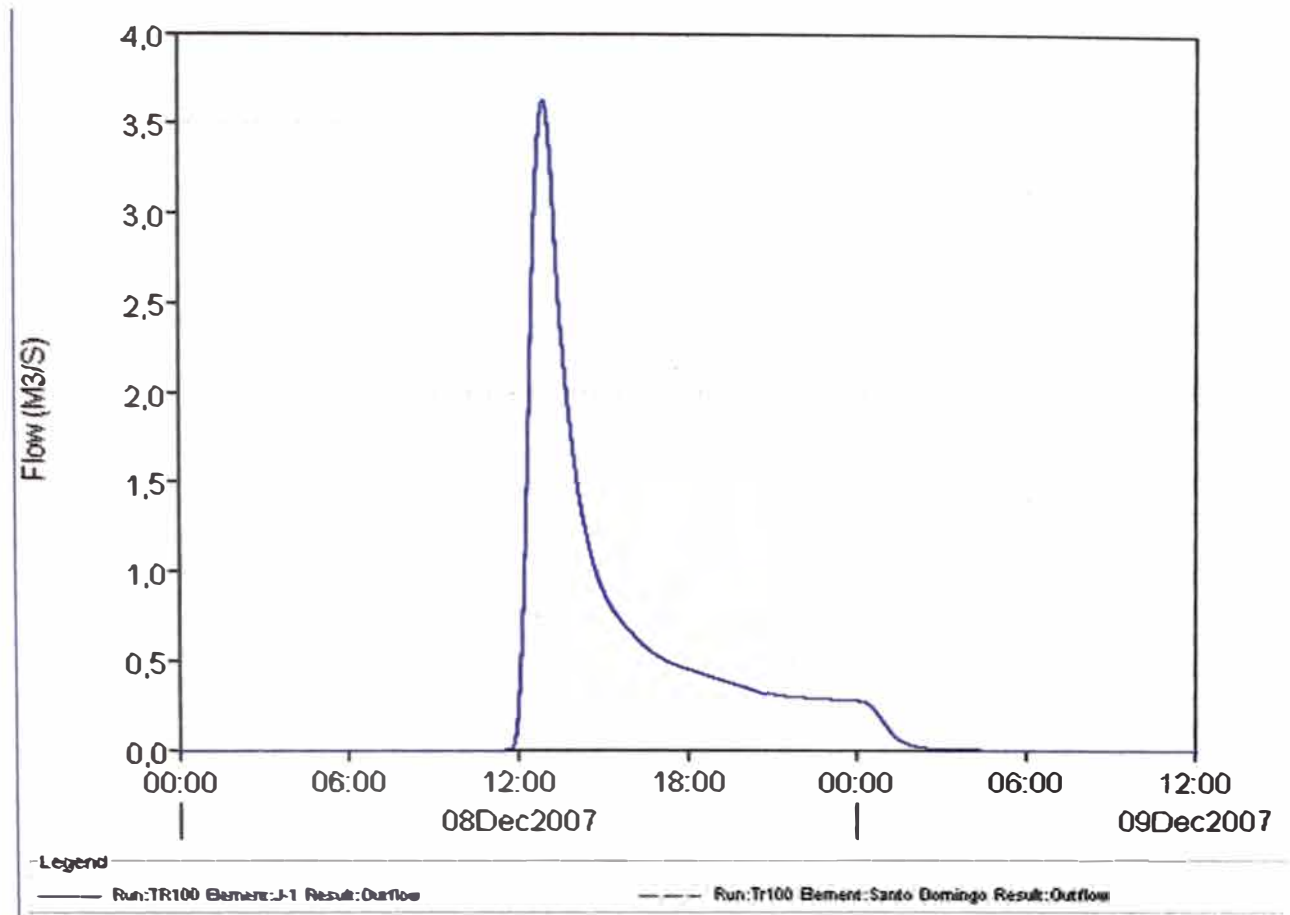


Figura 1.4.7 Hidrograma líquido para la quebrada Santo Domingo

1.5 CARACTERIZACION GEODINAMICA-GEOTECNICA

1.5.1 Aspectos Geológicos Generales.

Según el mapa geológico del cuadrángulo de Chosica, elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), la quebrada Santo Domingo se asienta sobre una roca intrusiva (tonalita diorita) en la mayor parte de la cuenca. En la parte del cono de deyección el material es aluvial, proveniente de las planicies de inundación del río Rímac.

1.5.2 Geodinámica de la quebrada

La parte baja de la quebrada presenta materiales en el lecho de tipo gravo-arenoso con una reducida proporción de limos, el cual se encuentra suelto. Los taludes de ambas márgenes están conformados por material proluvial de anteriores flujos que discurrieron por la quebrada; los materiales de estos

depósitos antiguos tienen una matriz arcillo-limoso con gravas, bloques y bolones que van desde 0.5 a 2 m de diámetro.

En la parte media de la cuenca ambas márgenes son afectadas por la erosión en surcos que van socavando y causan derrumbes en la parte superior de las terrazas. Existe erosión por socavación lateral en la base de los taludes que los desestabiliza.

En la parte baja de la cuenca se observa un estrechamiento del cauce que se produce por la acumulación de bloques y material proluvial que forman conos pequeños; se observa material proluvial colgado a unos 5 m sobre el afloramiento rocoso, los taludes son casi verticales (cauce encajonado).

1.5.3. Mecánica de suelos y mediciones de campo.

a. Análisis Granulométrico

De los resultados de laboratorio de las muestras extraídas de campo se puede mencionar, que el cauce presenta un gran porcentaje de material gravo-arenoso con presencia de material fino, tal como la arcilla.

Del análisis de los límites de Atterberg, se observan que debido al poco material fino extraído, no presentan límites plásticos. Sin embargo, la presencia in-situ de la arcilla en los cortes naturales del cauce, nos hablan de la presencia latente del material fino para formar el material viscoso granular, en épocas de lluvia o activación de la quebrada.

Estos resultados indican muestras de baja plasticidad a arenas no plásticas, variando de GP a GM según en el esquema de Clasificación de Suelo Unificado (SUCS).

Tabla 1.5.1. Resultados de la granulometría – ASTM D422

Muestra	Diámetro (d)		SUCS
	3" < d < No 200 %	d < No 200 %	
C-1	96.8	3.2	GP
C-2	97.5	2.5	GP

b. Estratigrafía del cauce de la quebrada

Dentro del cauce de la quebrada, se puede apreciar el material grueso o bolonería inmersa dentro de material fino. Estos cortes naturales, nos dan alguna idea del evento del flujo anterior y de su material transportado.

De fotografías tomadas en campo, se puede apreciar ciertas huellas que nos indican un parámetro de calibración para el modelo, tal como el espesor del flujo en ciertas secciones del cauce.



Foto 1.5.1. Corte natural en el cauce de la quebrada

c. Volumen de escombros depositado

Como primera aproximación del cálculo del volumen de escombros, la Agencia de Cooperación Internacional Japonés (JICA) elaboró en 1988 un Plan Maestro sobre la Prevención de Desastres en la Cuenca del río Rímac. Como parte de este trabajo, JICA estimó volúmenes de depósito probables generados por el Fenómeno del Niño en Marzo de 1987.

Ellos usaron el valor de producción de sedimento de $14,800 \text{ m}^3/\text{km}^2$ como típico para acontecimientos de flujo de escombros grandes causados por eventos de precipitación de baja probabilidad dentro de la quebrada de Pedregal (Chosica) el cual es en gran parte desprovisto de vegetación. Ellos extrapolaron esta tasa

de sedimentos a otras quebradas dentro de la cuenca del río Rimac, usando un coeficiente de corrección basado sobre el grado de cubierta de vegetación dentro de una quebrada dada. Para la quebrada Santo Domingo, corresponde un coeficiente de corrección de 0.6 (representa cobertura vegetal mayor que 30% y menor que 60%).

La ecuación utilizada por JICA fue:

$$V = 14,800 \times 1.2 \times F \times A$$

donde: $F = 0.4$ (coeficiente de corrección para la quebrada Paihua)
 $A = 4.13 \text{ Km}^2$ (Area de la quebrada Santo Domingo)

Por lo tanto el volumen estimado por JICA para la quebrada es de $44,009.28 \text{ m}^3$.

1.6 SIMULACION DEL FLUJO EN LA QUEBRADA

Para un modelamiento de flujos de escombros, es necesario obtener la topografía, el hidrograma líquido+sólido, las propiedades del sedimento, y los parámetros reológicos. Los parámetros característicos del sedimento se fijaron de acuerdo a la experiencia en otros países, donde se han calibrado con cuencas experimentales.

Las siguientes características (parámetros de entrada) son empleadas para la simulación:

- Se aplicó un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo hiperconcentrado de barro y escombros, utilizando las ecuaciones que gobiernan el movimiento en su expresión más completa (onda dinámica).
- El modelo considera el fluido homogéneo (una sola fase) de concentración variable; esto significa que internamente no se hace distinción de los tamaños de sedimento.

- Para un evento de flujo de escombros, se estima como primera aproximación una distribución de C_v en el tiempo partiendo de un valor cercano a 0.22 y aumentando gradualmente hasta 0.35 ó 0.45 dependiendo del tipo de sedimento de la cuenca. El pico de C_v debe ubicarse unos minutos antes del pico del hidrograma líquido.
- El hidrograma de caudal líquido con la respectiva concentración volumétrica de sedimento, es la condición de borde aguas arriba.
- Se estableció la rugosidad "n" de Manning de 0.04 en el cauce de la quebrada, y un coeficiente de Manning de 0.012 en la zona urbanizada.
- Los parámetros reológicos del fluido se fijaron en función de la similitud encontrada entre las muestras recolectadas de campo y las muestras tipo de la literatura.

Las muestras tipo, provenientes de la literatura, fueron recolectadas de depósitos naturales de flujos de lodo en Colorado Rocky Mountain cerca de las ciudades de Aspen y Glenwood Springs, USA. Las ecuaciones utilizadas para el modelo son (O'Brien & Julien, 1988):

$$\eta = 0.0360e^{22.1C_v}$$

$$\tau_y = 0.181e^{25.7C_v}$$

- La gravedad específica del sedimento es igual 2.65.
- El tiempo de simulación es de 20 horas.

En resumen, se estudia una creciente con un caudal líquido máximo de 3.64 m³/s con una concentración volumétrica de sedimentos (C_v) de 22 % a 25% en la rama ascendente del hidrograma y de valor máximo de 35 % en el intervalo anterior al pico líquido, luego disminuye hasta un 22 %, permaneciendo constante hasta el final del hidrograma, como se puede observar en la Figura 1.6.1.

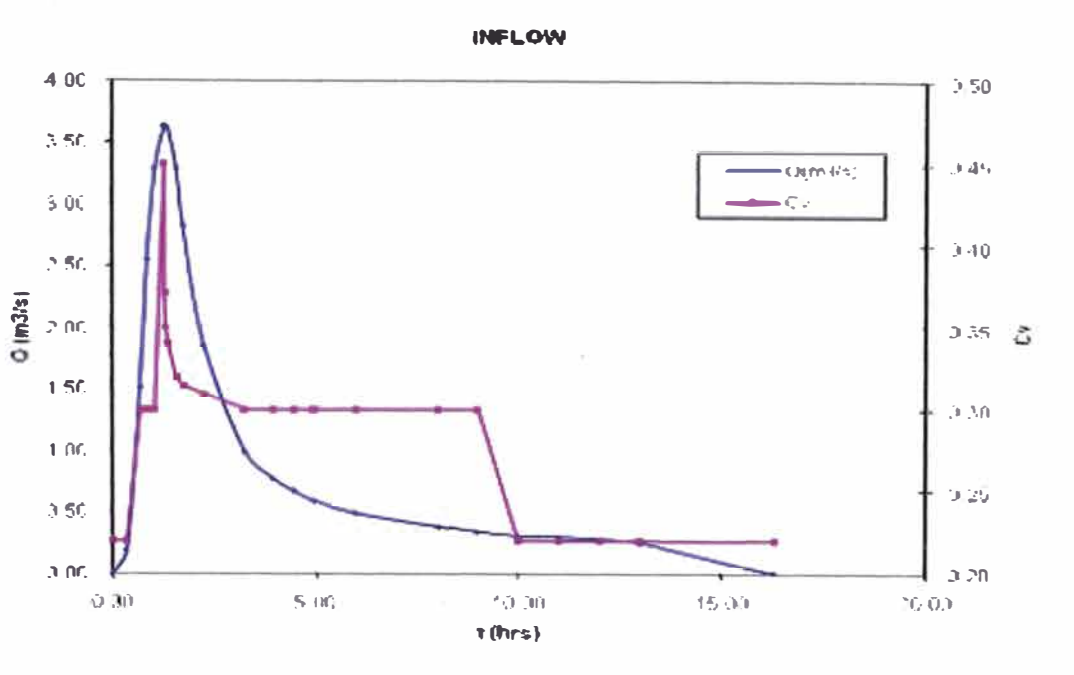


Figura 1.6.1. Hidrograma líquido y sólido. $Q_{ip}=3.64 \text{ m}^3/\text{seg}$. $C_v=0.22-0.35$

1.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la modelación nos reporta un volumen total de creciento simulada de 56,077.97 de m^3 , de los cuales 39,050.82 de m^3 son agua y 17,027.15 de m^3 corresponden a sedimento.

La profundidad máxima varía entre 0.5 m 3.3 m con velocidades máximas de hasta 3.5 m/s en el cauce de la quebrada (Figuras 1.7.1 y 1.7.2). El modelo predice un área de inundación de 32,600 m^2 dentro del área simulada.

Los volúmenes reportados por el modelo FLO-2D son:

Tabla 1.7.1. Salida del programa FLO-2D

Flujo (m^3)	Agua (m^3)	Agua con sedimento (m^3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	39,050.82	56,077.97
Almacenamiento dentro del área de análisis	3,065.53	4,273.19
Flujo fuera del área de simulación (OUTFLOW)	35,999.94	51,804.77

El volumen de entrada (INFLOW) en el modelo se subdivide en un volumen almacenado dentro de malla analizada (STORAGE) y un volumen de salida (OUTFLOW).

En los gráficos siguientes se muestra los resultados a lo largo del cauce de tirantes y velocidades máximas.

Además se muestra el plano de amenaza, donde para el caso de estudios de huaycos, los colores naranja y rojo representan peligro y análisis de vulnerabilidad necesaria.

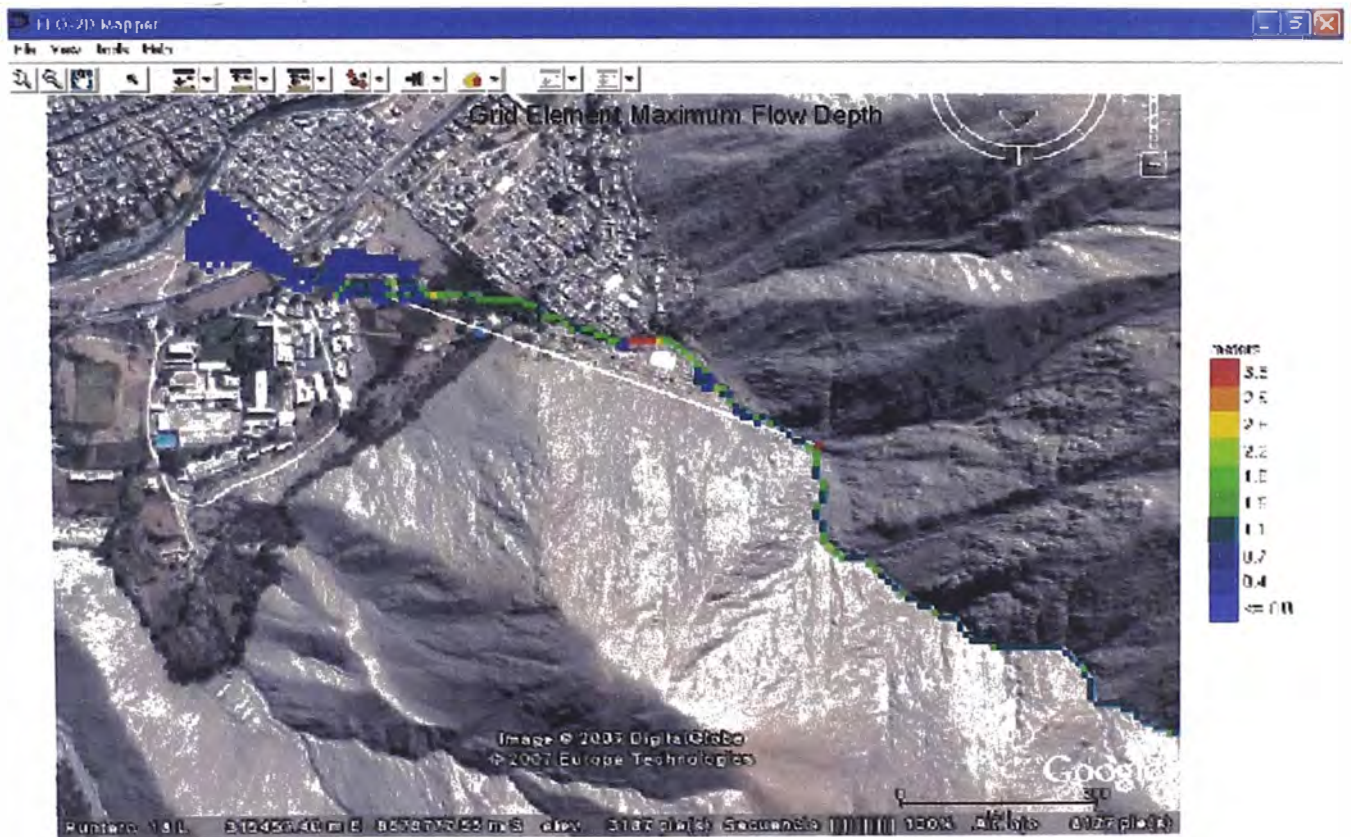


Figura 1.7.1. Tirantes máximos simulados

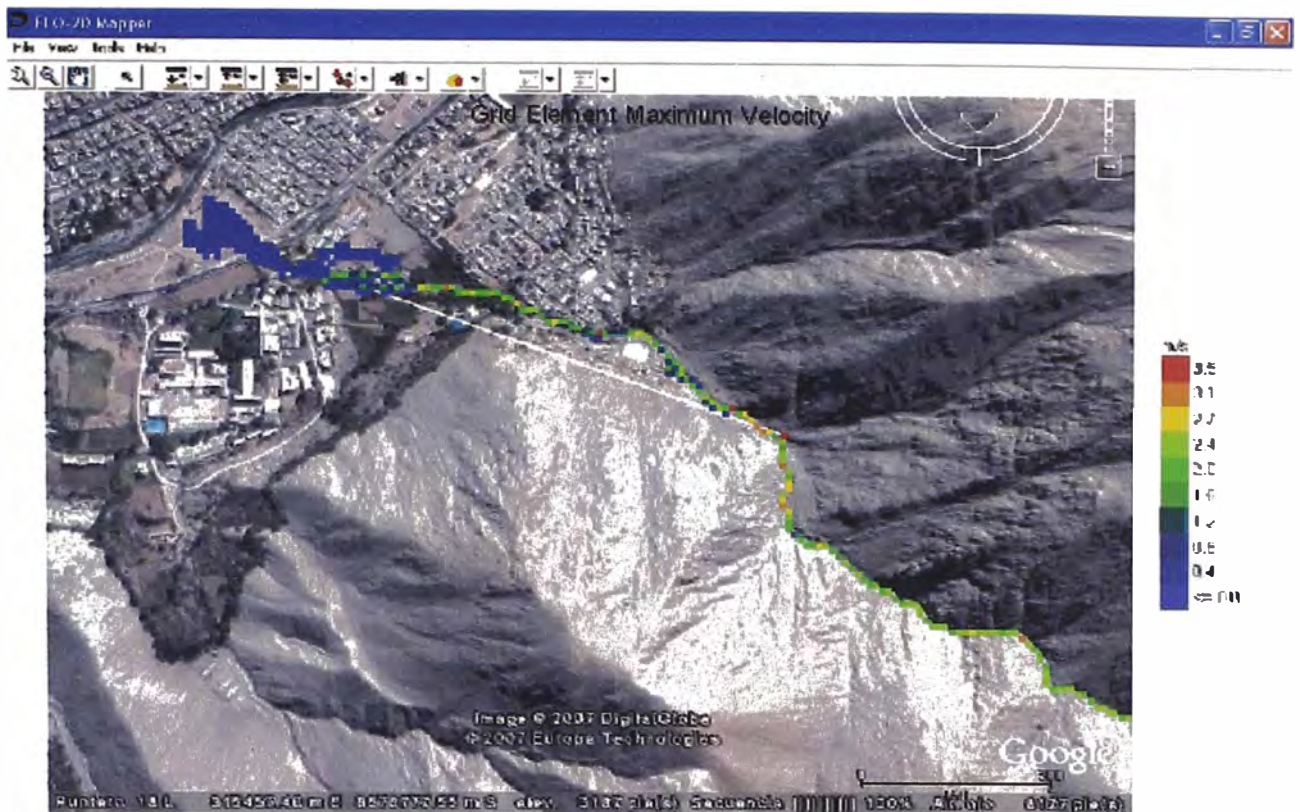


Figura 1.7.2. Velocidades máximos simulados

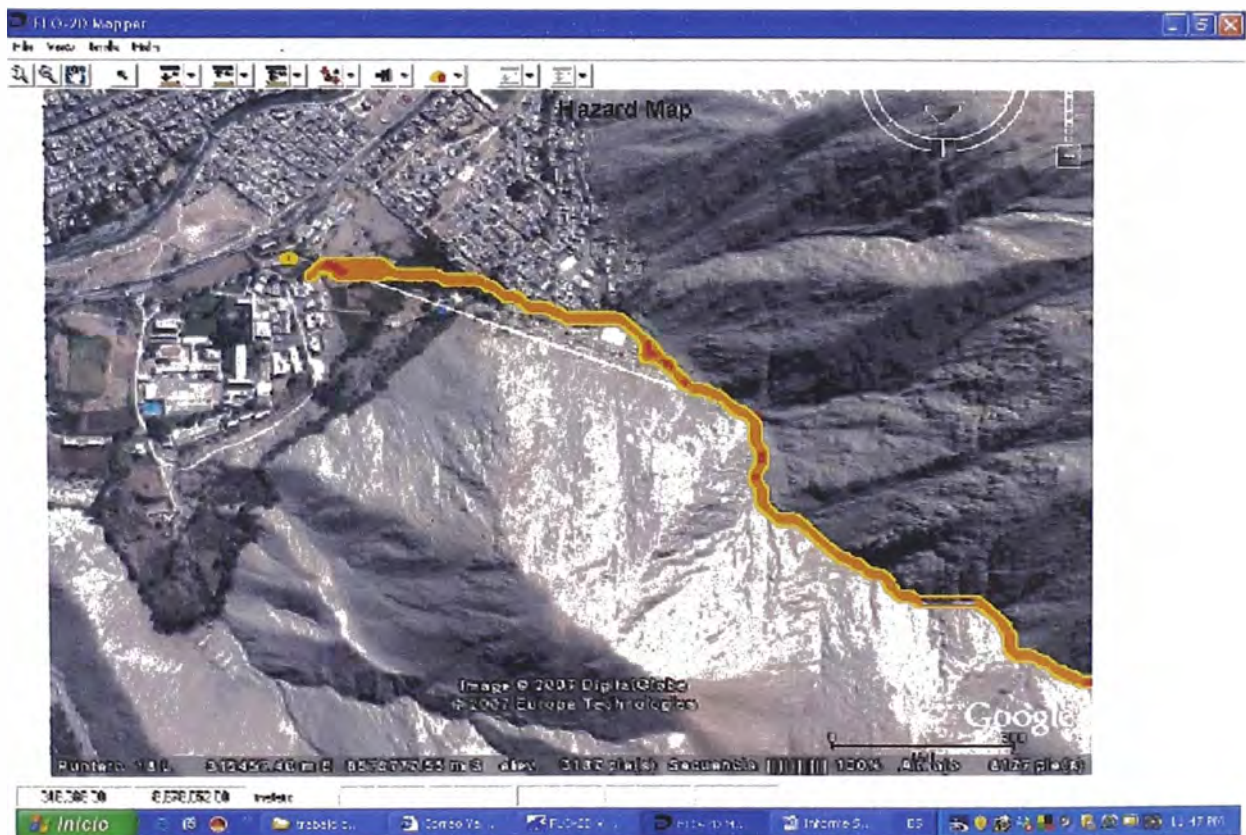


Figura 1.7.3. Plano de amenazas, los colores naranja y rojo representan peligro y análisis de vulnerabilidad necesaria.

ANEXO 02

**CRONOGRAMA DE OBRA DE
LAS ALTERNATIVAS**

ANEXO 02

**CRONOGRAMA DE OBRA DE
LAS ALTERNATIVAS**

CRONOGRAMAS DE OBRA:

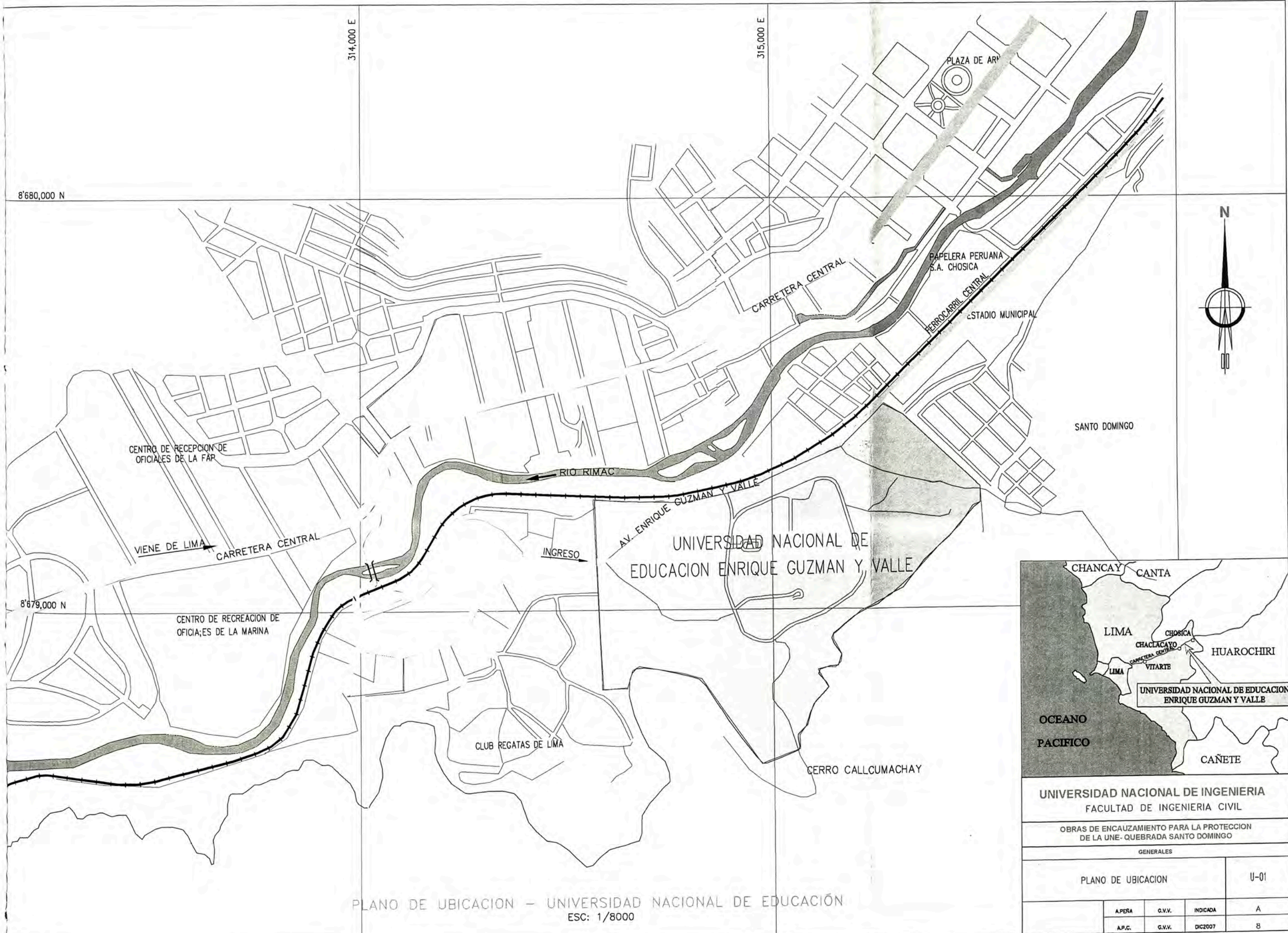
Para la alternativa 01 se considera un tiempo de ejecución de 5 meses de duración, siendo la actividad crítica la construcción de los muros de mampostería de piedra. Para esta partida se considera abrir 2 o más frentes de trabajo, con un mínimo de 4 cuadrillas compuestas de 1 operario y 3 peones. La roca debe llegar a la obra trabajada y cortada de las canteras. Los movimientos masivos de tierra se realizarán con maquinaria.

Para la alternativa 02 se estima un tiempo de ejecución de 6 meses. Al igual que la primera alternativa, los trabajos de emboquillado de piedra son los que regirán el tiempo de duración de la obra. Se debe establecer abrir 2 o más frentes y trabajar con 4 cuadrillas como mínimo para estas partidas. Los movimientos de tierra se harán con maquinaria pesada y el material excedente de la excavaciones serán eliminadas a zonas establecidas por la universidad o municipalidad. La construcción del nuevo pabellón de la Facultad de Humanidades se podría realizar en paralelo con la construcción de las obras de encauzamiento estimando su construcción en 5 meses a partir de la demolición del viejo pabellón.

Para ambas alternativas se debe considerar realizar los trabajos en época de estiaje, de abril a octubre, cuando la quebrada no presenta actividad, de manera que se tiene ventaja en poder utilizar los recursos naturales que ofrece la quebrada Santo Domingo y además de evitar contratiempos en la ejecución de la obra que se producirían en tiempos de avenidas. A continuación se presentan los cronogramas de obra.

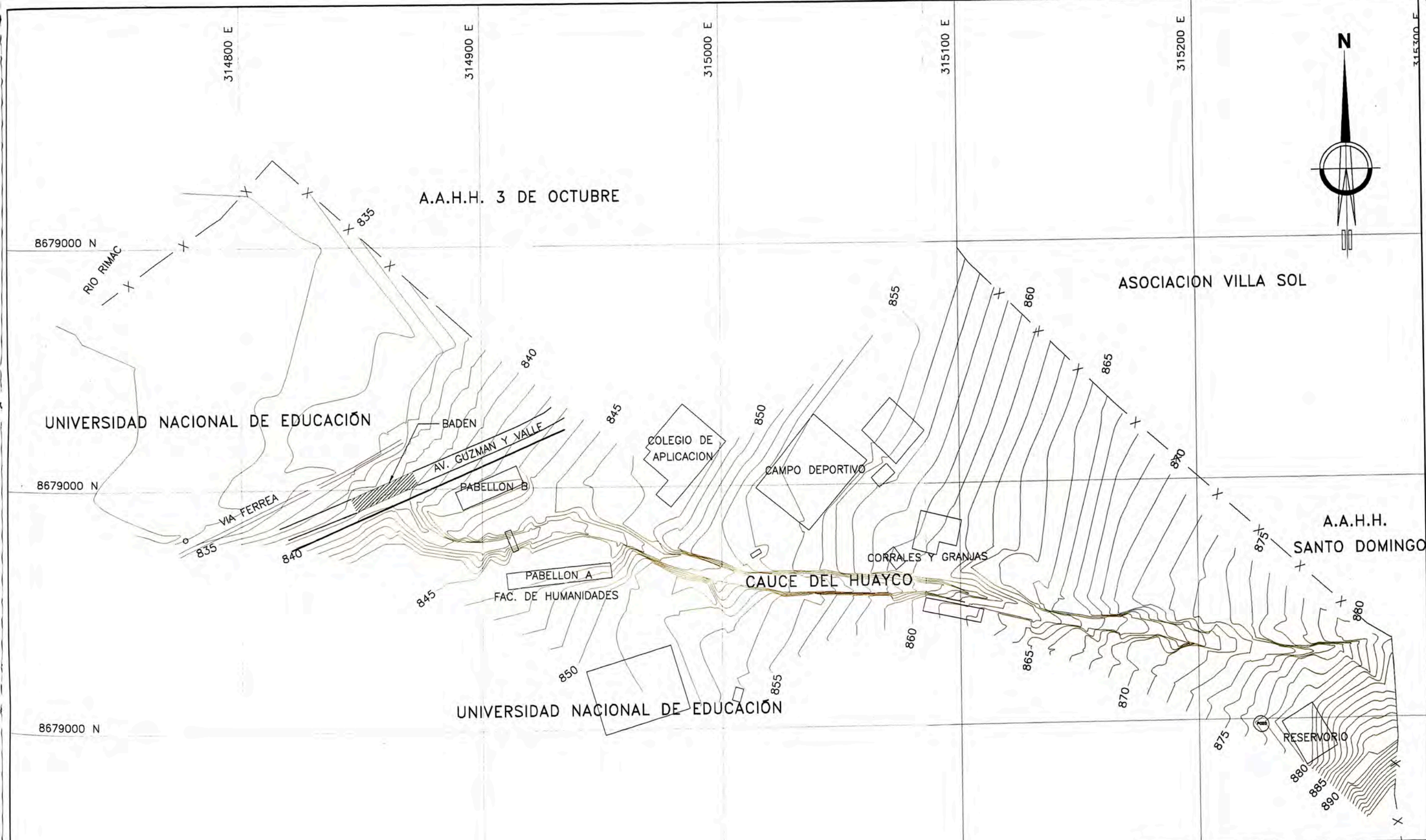
ANEXO 03

PLANOS



PLANO DE UBICACION - UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION
ESC: 1/8000

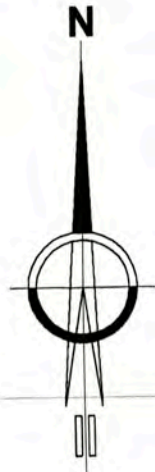
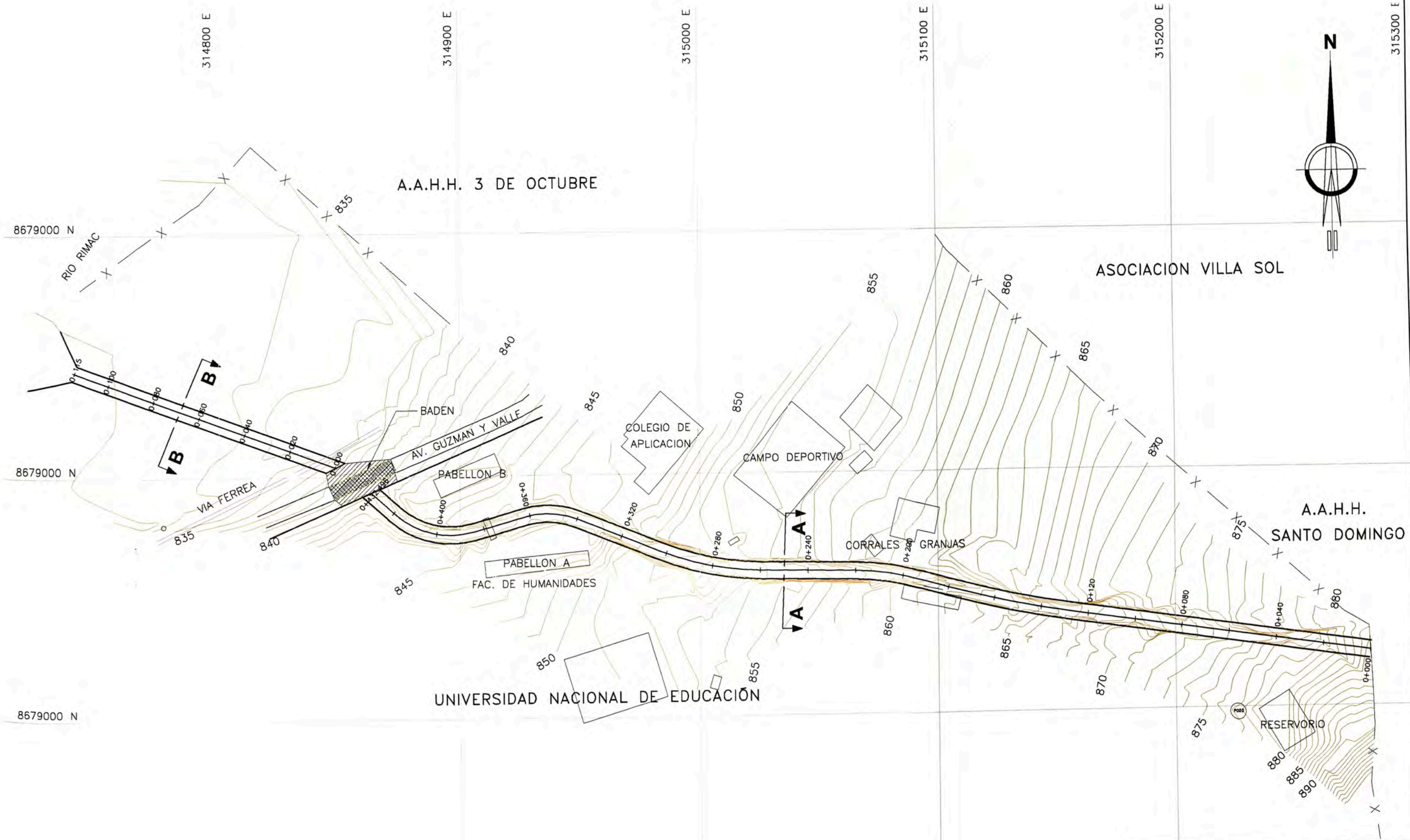
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE - QUEBRADA SANTO DOMINGO			
GENERALES			
PLANO DE UBICACION			U-01
A.P.E.R.A.	G.V.V.	INDICADA	A
A.P.C.	G.V.V.	DIC2007	B



TOPOGRAFIA DEL CAUCE ACTUAL

ESC: 1/1500

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO			
TOPOGRAFIA			
TITULO: TOPOGRAFIA DEL CAUCE ACTUAL			PLANO N°: PL-01
ELABORO : A.P.E.R.A.	REVISO : G.V.V.	ESCALA : 1/1500	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	ASESOR: G.V.V.	FECHA : DIC2007	GRUPO: B



A.A.H.H. 3 DE OCTUBRE

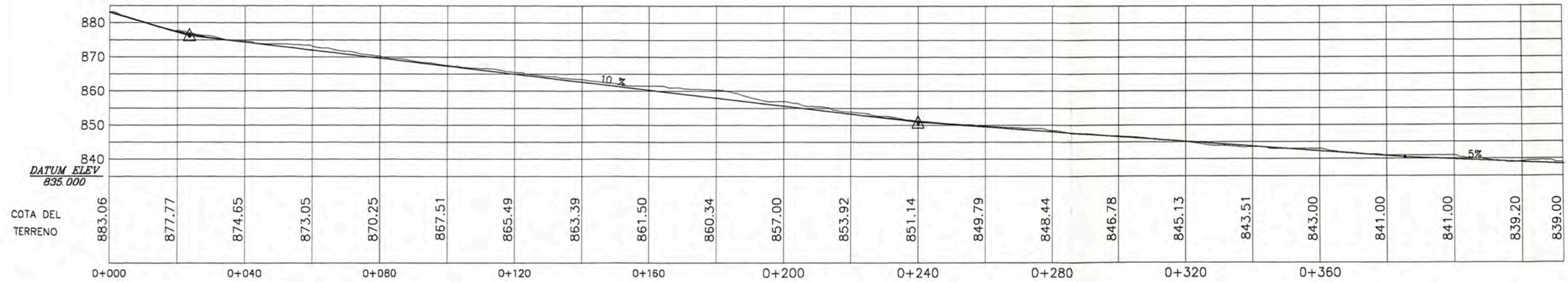
ASOCIACION VILLA SOL

A.A.H.H. SANTO DOMINGO

EJE DEL ENCAUZAMIENTO - ALTERNATIVA 01

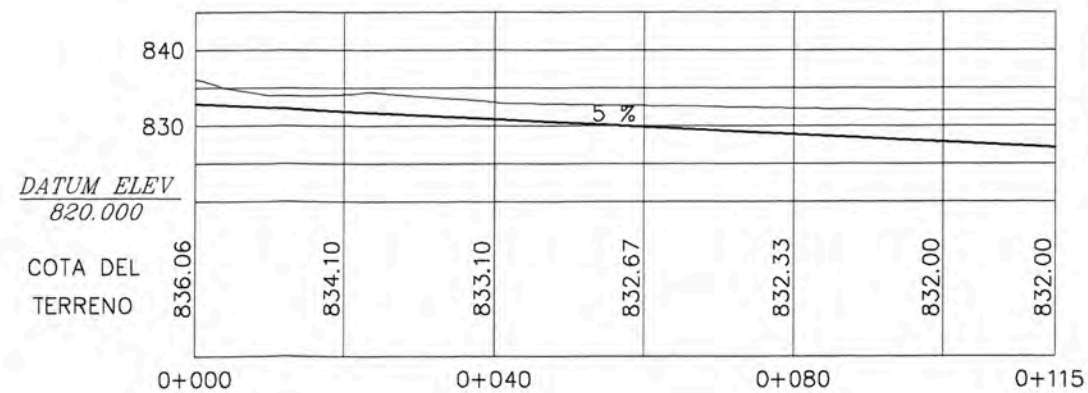
ESC: 1/1500

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO			
TOPOGRAFIA			
TITULO: ALTERNATIVA 01: EJE DEL TRAZO			PLANO N°: PL-02
GRUPO 8	ELABORO : A.P.E.R.A.	REVISO : G.V.V.	ESCALA : 1/1500
	DIBUJO : A.P.C.	ASESOR : G.V.V.	FECHA : DIC2007
			REV. : A
			GRUPO: B



PERFIL LONGITUDINAL EJE DE ENCAUZAMIENTO - ALTERNATIVA 01

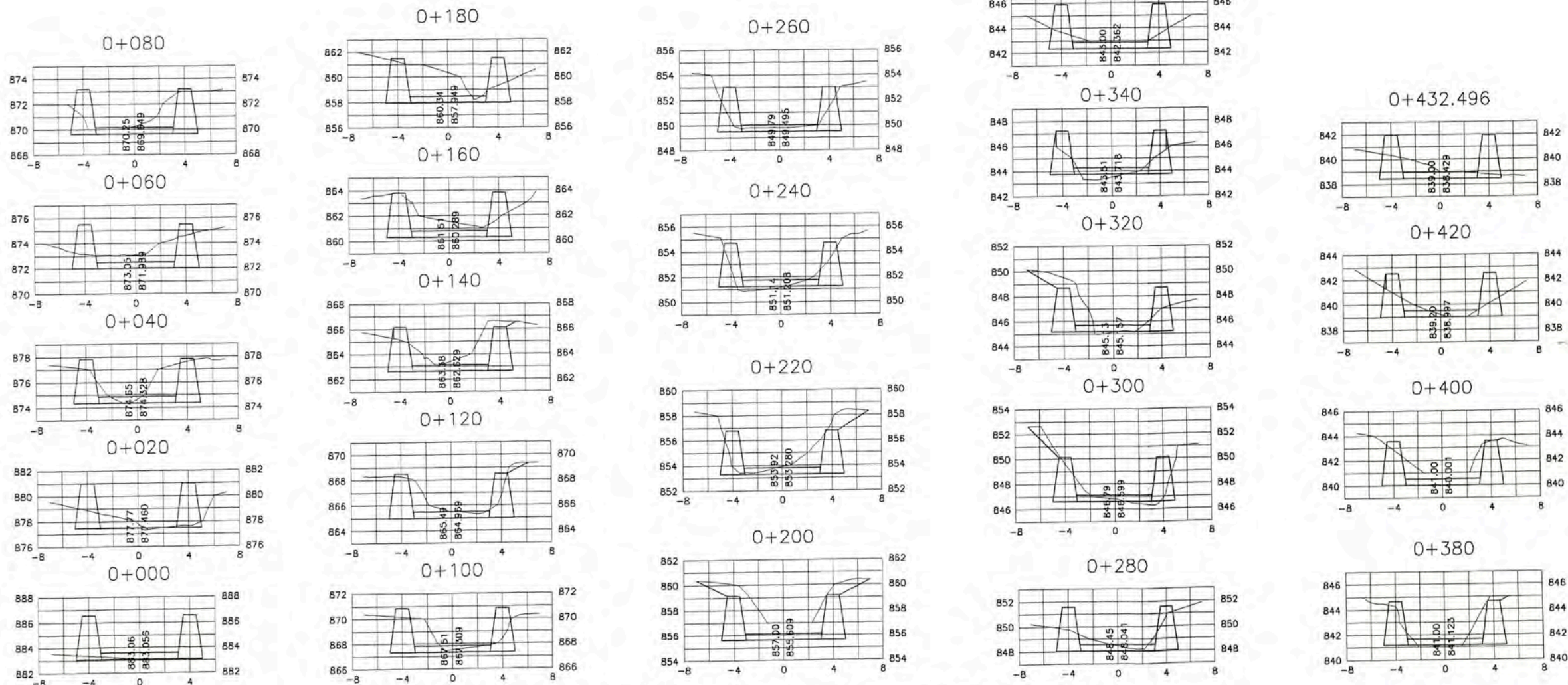
ESC: 1/1250



PERFIL LONGITUDINAL DE TORRENTERA - ALTERNATIVA 01

ESC: 1/1000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO			
TOPOGRAFIA			
TITULO: ALTERNATIVA 01: PERFILES LONGITUDINALES			PLANO N°: PL-03
ELABORO : A.PERA	REVISO : G.V.V.	ESCALA : INDICADA	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : G.V.V.	FECHA : DIC2007	GRUPO: B



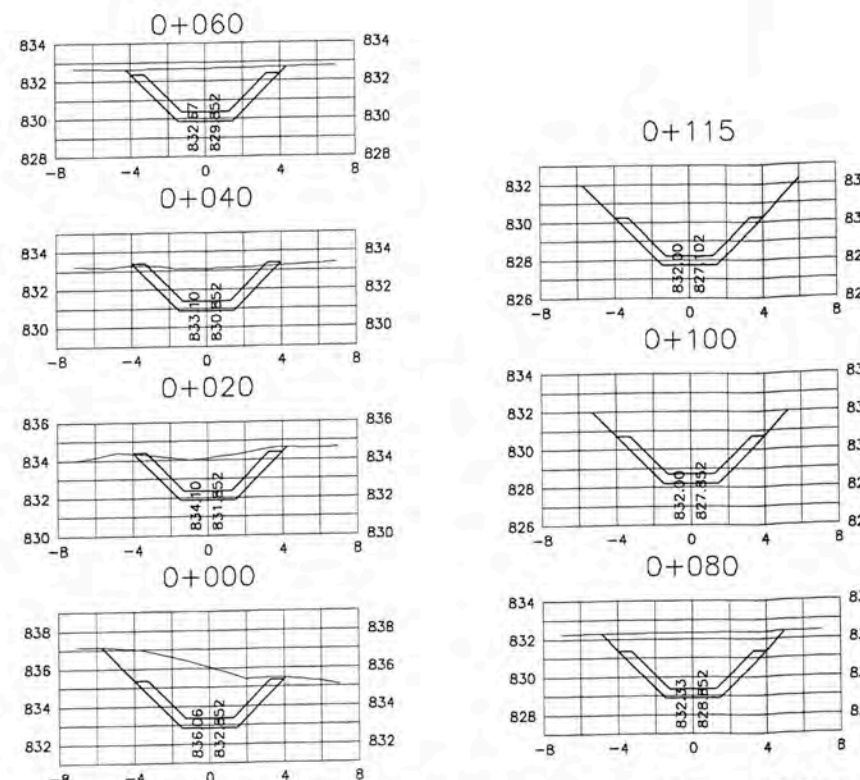
SECCIONES TRANSVERSALES - MUROS DE ENCAUZAMIENTOS
ESC: 1/40

CUADRO MOVIMIENTO DE TIERRAS
MUROS DE ENCAUZAMIENTO

ESTACION	AREAS m ²		VOLUMEN m ³		VOLUMEN ACUMULADO m ³	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+000	0.906	0.810	61.940	18.315	61.940	18.315
0+020	6.045	1.025	247.115	9.323	309.055	27.637
0+040	20.022	0.082	362.652	5.029	671.707	32.666
0+060	16.307	0.474	319.198	6.412	990.905	39.078
0+080	15.615	0.188	303.476	3.238	1294.381	42.316
0+100	14.737	0.137	327.467	1.488	1621.848	43.805
0+120	18.067	0.026	405.114	1.014	2026.962	44.819
0+140	22.527	0.080	408.391	2.747	2435.353	47.566
0+160	18.383	0.204	407.795	4.777	2843.148	52.343
0+180	22.465	0.275	524.461	1.833	3367.609	54.177
0+200	30.170	0.000	485.976	0.000	3853.585	54.177
0+220	18.868	0.000	295.407	5.895	4148.992	60.072
0+240	11.022	0.884	211.373	6.517	4360.365	66.589
0+260	10.121	0.008	226.561	2.207	4586.926	68.796
0+280	12.579	0.275	244.644	8.026	4831.571	76.822
0+300	11.888	0.542	292.549	9.398	5124.119	86.220
0+320	17.550	0.401	253.298	16.463	5377.417	102.683
0+340	8.344	1.336	177.144	17.974	5554.561	120.657
0+360	9.380	0.524	244.806	10.064	5799.367	130.720
0+380	15.344	0.483	369.567	3.857	6168.934	134.577
0+400	21.802	0.014	304.591	2.856	6473.524	137.432
0+420	9.497	0.346	121.738	8.536	6595.262	145.969
0+432.496	9.989	1.090	0.000	0.000	6595.262	145.969

CUADRO MOVIMIENTO DE TIERRAS
TORRENTERA

ESTACION	AREAS m ²		VOLUMEN m ³		VOLUMEN ACUMULADO m ³	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+000	20.177	0.000	316.292	0.598	316.292	0.598
0+020	11.822	0.090	230.620	1.530	546.913	2.127
0+040	11.242	0.064	266.831	0.427	813.744	2.554
0+060	15.558	0.000	368.938	0.000	1182.682	2.554
0+080	21.496	0.000	498.299	0.000	1680.981	2.554
0+100	28.498	0.000	487.702	0.000	2168.683	2.554
0+115	36.701	0.000	0.000	0.000	2168.683	2.554



SECCIONES TRANSVERSALES - TORRENTERA
ESC: 1/40

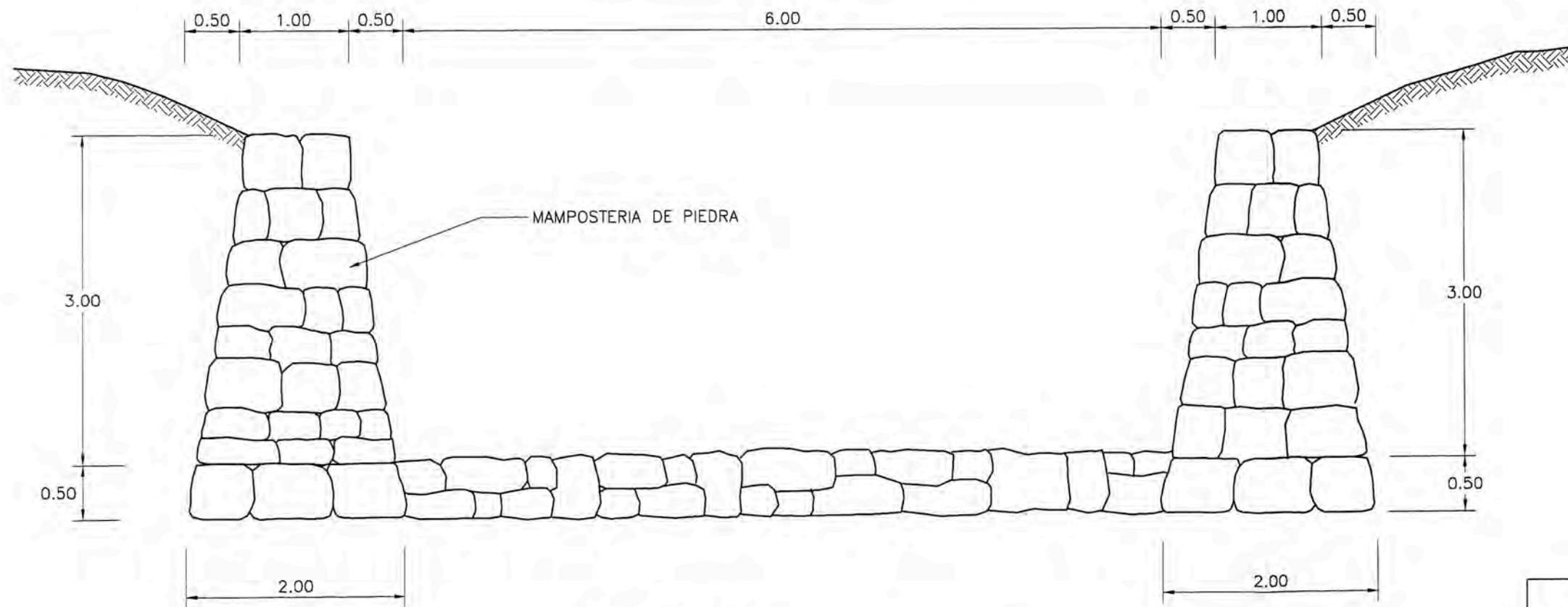
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: **OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO**

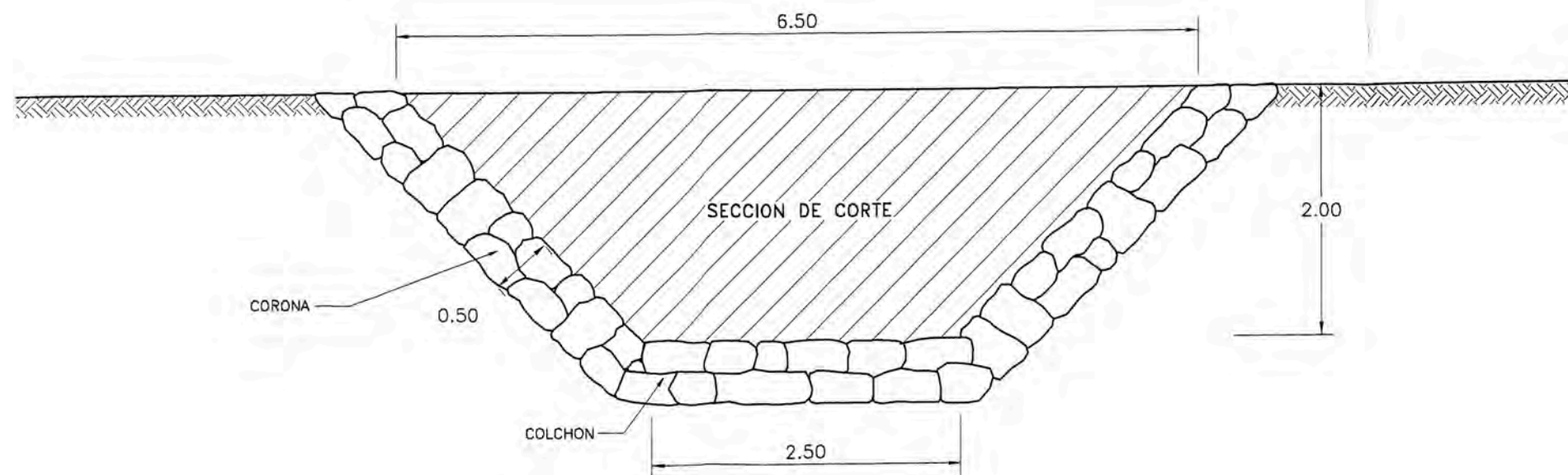
TOPOGRAFIA

TITULO: **ALTERNATIVA 01: SECCIONES TRANSVERSALES** PLANO N°: **PL-04**

ELABORO : A. PEÑA	REVISO : G.V.V.	ESCALA : INDICADA	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : G.V.V.	FECHA : DIC2007	GRUPO: B



CORTE A-A
SECCION TRANSVERSAL DE MURO DE MAMPOSTERIA
ESC 1/50



CORTE B-B
SECCION TRANSVERSAL CORONA DE TORRENTERA
ESC 1/50

ESPECIFICACIONES TECNICAS

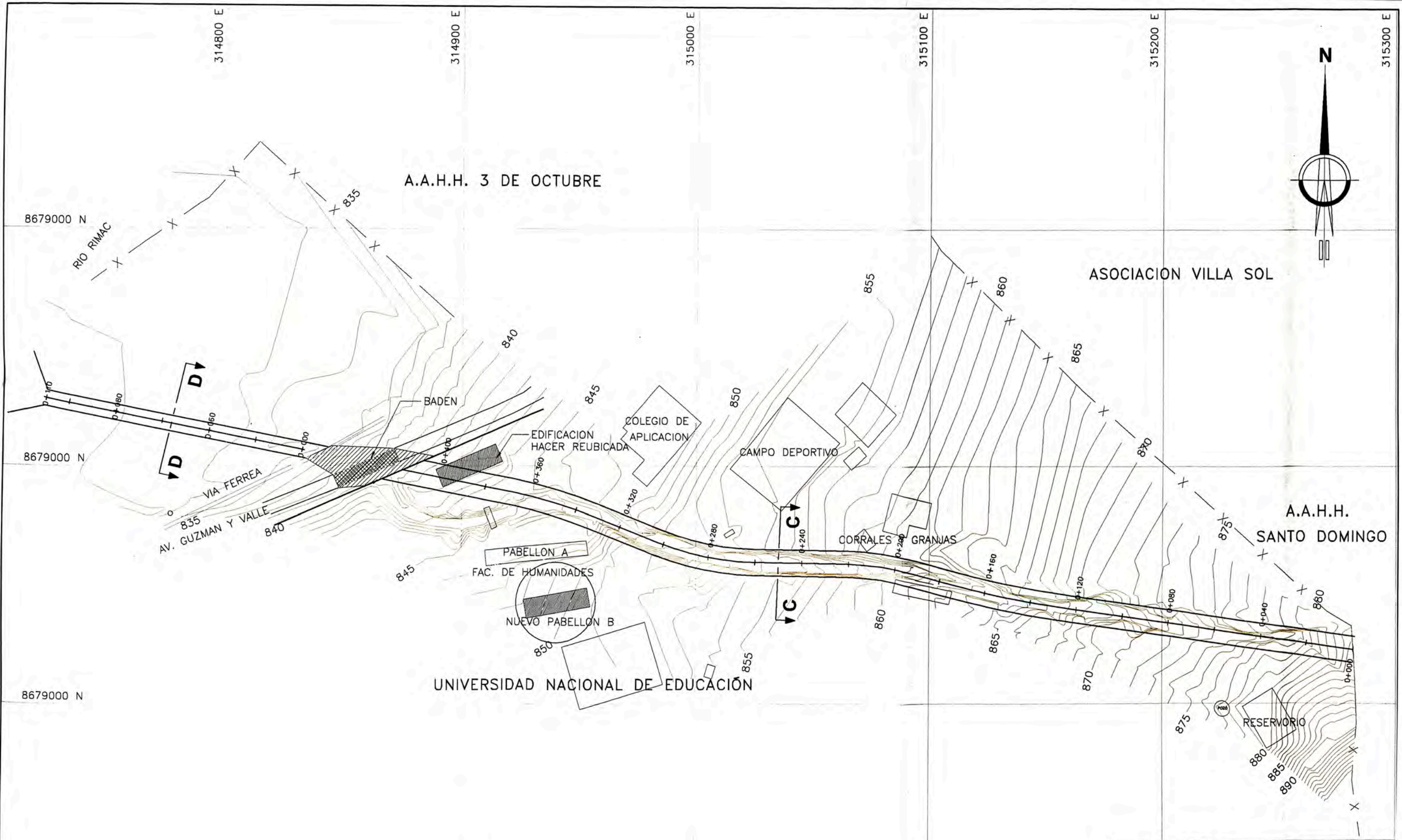
MAMPOSTERIA DE PIEDRA:

- Roca Tonalita Sana
- Diametro max= 0.50m
- Diametro min= 0.30m

EMBOQUILADO:

Material : Mortero (mezcla) C:A = 1:4

REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL				
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE - QUEBRADA SANTO DOMINGO				
ESTRUCTURAS				
TITULO: ALTERNATIVA 01-SECCIONES TIPICAS				PLANO N°: PL-05
ELABORO : A.PERA	REVISO : G.V.V.	ESCALA : INDICADA	REV. : A	
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : G.V.V.	FECHA : OCT2007	GRUPO: B	



EJE DEL ENCAUZAMIENTO - ALTERNATIVA 02

ESC: 1/1500

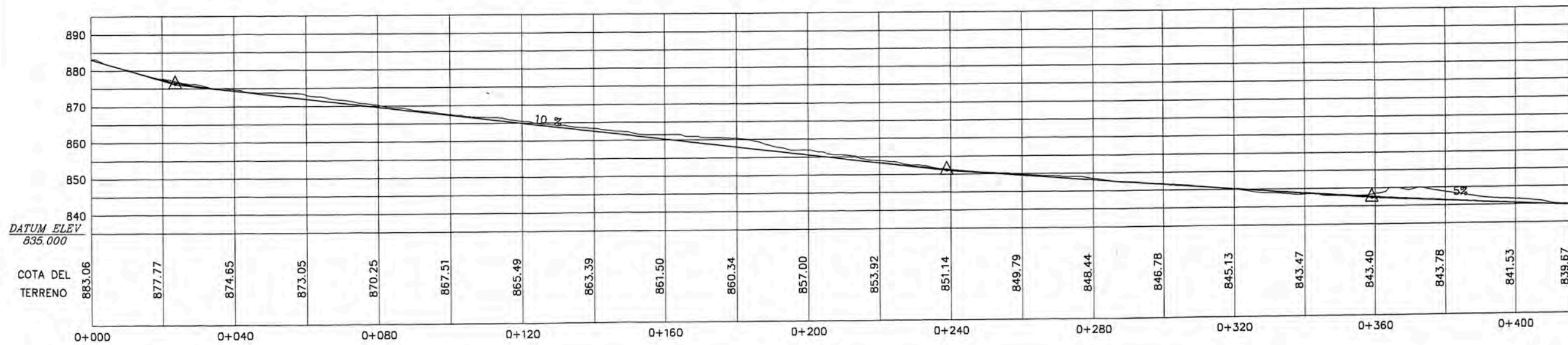
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: **OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO**

TITULO: **TOPOGRAFIA**

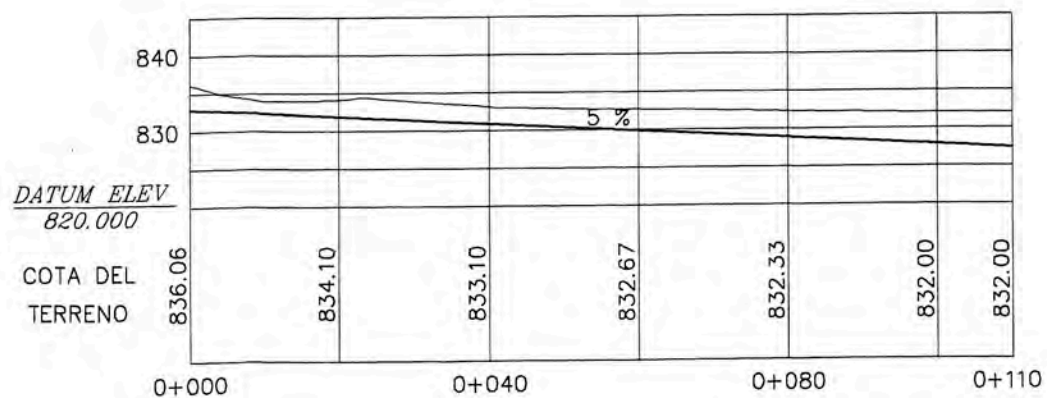
ALTERNATIVA 02: EJE DEL TRAZO PLANO N°: PL-06

ELABORO : A. PERA	REVISO : -----	ESCALA : 1/1500	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : OBANDO-B	FECHA : DIC2007	GRUPO : B



PERFIL LONGITUDINAL EJE DE ENCAUZAMIENTO - ALTERNATIVA 02

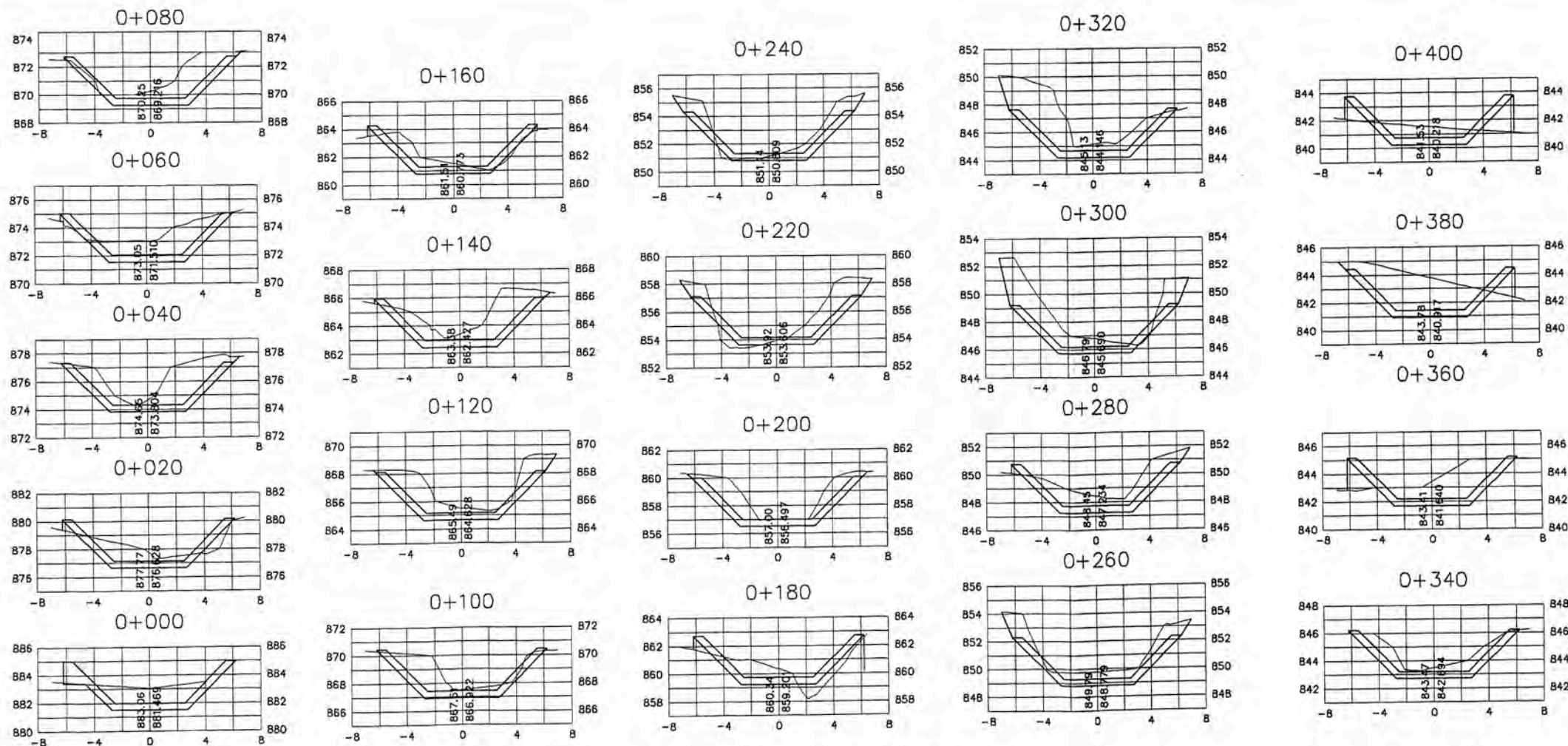
ESC: 1/1250



PERFIL LONGITUDINAL DE TORRENTERA - ALTERNATIVA 02

ESC: 1/1000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO			
TOPOGRAFIA			
TITULO: ALTERNATIVA 02: PERFILES LONGITUDINALES			PLANO N°: PL-07
ELABORO : A.P.E.R.A.	REVISO : A.P.C.	ESCALA : INDICADA	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : -----	FECHA : DIC2007	GRUPO: 8



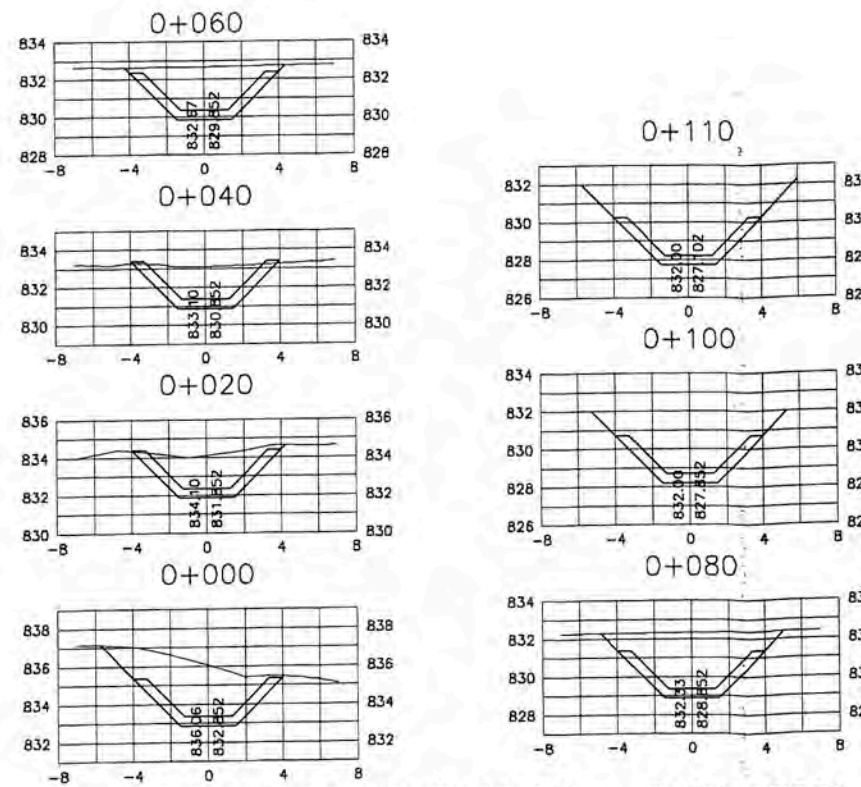
SECCIONES TRANSVERSALES - SECCION TRAPEZOIDAL
ESC: 1/40

CUADRO MOVIMIENTO DE TIERRAS
SECCIONES TRANSVERSALES

ESTACION	AREAS m ²		VOLUMEN m ³		VOLUMEN ACUMULADO m ³	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+000	3.434	2.807	83.621	65.796	83.621	65.796
0+020	4.975	3.797	210.647	27.983	294.268	93.780
0+040	17.335	0.035	327.987	10.656	622.255	104.436
0+060	15.481	1.346	324.536	12.938	946.791	117.374
0+080	16.984	0.148	353.042	0.988	1299.833	118.362
0+100	18.329	0.000	442.375	0.000	1742.208	118.362
0+120	26.139	0.000	579.534	0.000	2321.742	118.362
0+140	31.910	0.000	607.355	0.000	2929.098	118.362
0+160	28.851	0.000	614.635	0.000	3543.733	118.362
0+180	32.652	0.000	732.172	0.000	4275.905	118.362
0+200	40.714	0.000	637.245	0.575	4913.150	118.937
0+220	23.766	0.086	333.966	4.594	5247.116	123.531
0+240	10.518	0.414	223.890	3.494	5471.007	127.025
0+260	11.885	0.020	283.982	1.948	5754.989	128.973
0+280	16.647	0.208	417.076	1.389	6172.064	130.362
0+300	25.366	0.000	543.748	0.000	6715.812	130.362
0+320	29.050	0.000	419.588	0.038	7135.401	130.400
0+340	13.838	0.006	310.694	17.892	7446.095	148.293
0+360	17.296	2.557	423.183	43.585	7869.278	191.877
0+380	25.274	1.822	328.960	63.320	8198.238	255.197
0+400	8.993	4.737	56.405	125.595	8254.643	380.793
0+415.602	0.276	11.902	0.000	0.000	8254.643	380.793

CUADRO MOVIMIENTO DE TIERRAS
TORRENTERA

ESTACION	AREAS m ²		VOLUMEN m ³		VOLUMEN ACUMULADO m ³	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+000	20.177	0.000	316.292	0.598	316.292	0.598
0+020	11.822	0.090	230.620	1.530	546.913	2.127
0+040	11.242	0.064	266.831	0.427	813.744	2.554
0+060	15.558	0.000	368.938	0.000	1182.682	2.554
0+080	21.496	0.000	498.299	0.000	1680.981	2.554
0+100	28.498	0.000	487.702	0.000	2168.683	2.554
0+115	36.701	0.000	0.000	0.000	2168.683	2.554



SECCIONES TRANSVERSALES - TORRENTERA
ESC: 1/40

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

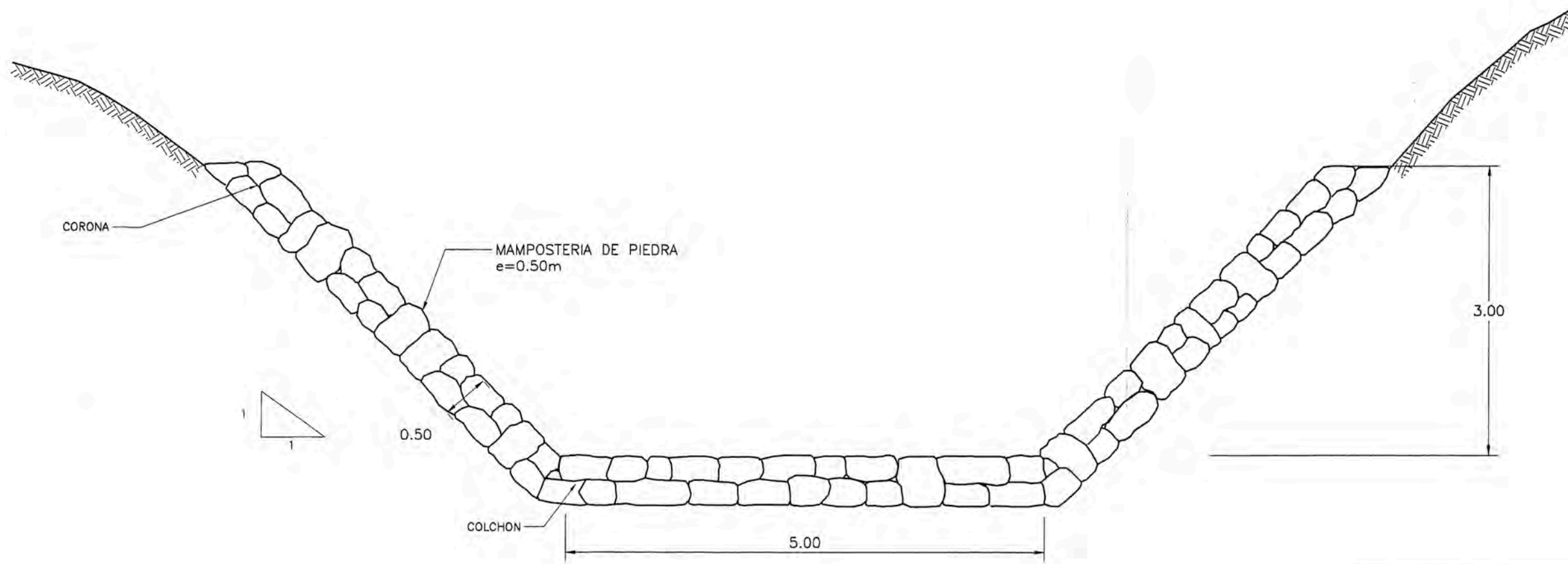
PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION
DE LA UNE- QUEBRADA SANTO DOMINGO

TOPOGRAFIA

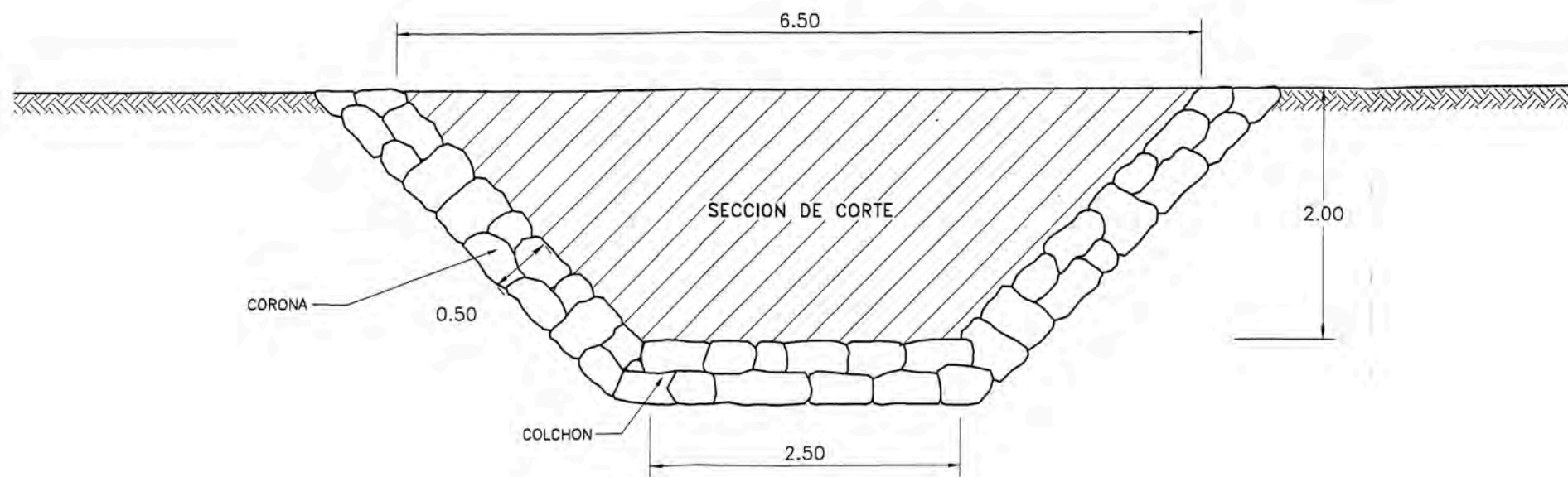
TITULO: ALTERNATIVA 02: SECCIONES TRANSVERSALES

PLANO N°: PL-08

ELABORO : A. PEÑA	REVISO : -----	ESCALA : INDICADA	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	ASESOR : G.V.V.	FECHA : DIC 2007	GRUPO : R



CORTE C-C
SECCION ALTERNATIVA 02
ESC 1/50



CORTE D-D
SECCION TRANSVERSAL CORONA DE TORRENTERA
ESC 1/50

ESPECIFICACIONES TECNICAS

MAMPOSTERIA DE PIEDRA:

- Roca Tonalita Sana
- Diametro max= 0.50m
- Diametro min= 0.30m

EMBOQUILADO:

Material : Mortero (mezcla) C:A = 1:4

REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: OBRAS DE ENCAUZAMIENTO PARA LA PROTECCION DE LA UNE - QUEBRADA SANTO DOMINGO

ESTRUCTURAS

TITULO: ALTERNATIVA 02-SECCIONES TIPICAS PLANO N°: PL-09

ELABORO : A.PERA	REVISO : G.V.V.	ESCALA : INDICADA	REV. : A
DIBUJO : A.P.C.	APROBO : G.V.V.	FECHA : OCT2007	GRUPO: 8