

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE INGENIRÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE SISTEMA DE CONTROL DE EROSIÓN EN LA  
DESCARGA DE ALCANTARILLA UBICADA EN EL SECTOR  
MI CAMPITO DE LA URBANIZACIÓN EL PERÚ, CIUDAD  
BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES RUIZ J.,  
KARLA D. Y HOLMQUIST  
B., HANS PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL**

**CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO DE 2010**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “**Propuesta de sistema de control de erosión en la descarga de alcantarilla ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar**”, presentado por los bachilleres **Karla del Jesús Ruiz Jiménez** y **Hans Holmquist Bolívar**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

\_\_\_\_\_  
Profesor Carlos Grus

(Asesor)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Profesor Jacques Edlibi

Jefe del Departamento de Ingeniería Civil

Ciudad Bolívar, Junio de 2010.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Carlos Ruiz y Ruth Jiménez, quienes no han escatimado en esfuerzo y amor para que yo tuviera a mi alcance las herramientas que me llevaran al logro de mis metas y al desarrollo de mis potencialidades. Sin su orientación, apoyo y confianza no habría sido posible este triunfo. ¡¡Son los mejores padres del mundo!!.

A mis hermanos, Luis Carlos y José Leonardo Ruiz Jiménez, esperando que el logro de esta meta sea ejemplo, para ustedes, de perseverancia, esfuerzo y dedicación en el camino que decidan emprender. A mi tía Johanna Ruiz, quien siempre ha estado ahí para mí, en las buenas y en las malas a lo largo de mis estudios universitarios.

A mis amigos y futuros colegas: Daniulka, Vanessa, Hans, José Rafael, Jaudenc, César y Eliézer. Cinco años después, entre llantos, risas y “proyectos super ambiciosos”, heos aquí: ¡INGENIEROS CIVILES DE LA REPÚBLICA!. A mi novio, Alexis, quien me ha dado su apoyo y amor todos estos años. A “La Casa Más Alta del Oriente y Sur de Venezuela”, donde entrego mi trabajo final de grado para egresar como Ingeniero Civil.

A todos ustedes, con todo mi corazón y mi amor, dedico este logro.

Karla Ruiz

## **DEDICATORIA**

A Dios Padre Todopoderoso, por haberme guiado e iluminado en cada paso que he dado, convirtiéndome en una persona de bien y por brindarme la fortaleza necesaria para superar cualquier adversidad y el impulso para lograr mis metas.

A mis padres, José Holmquist y Doris Bolívar, ya que por su apoyo, comprensión y confianza representan mi orgullo y mi ejemplo a seguir, por lo que este triunfo no solo premia la confianza que en mí han depositado durante mi formación, la cual gracias a su estímulo, se ha fundamentado en las bases de la rectitud, el respeto y el coraje para vencer obstáculos. A mi Hermano: Angel Holmquist, por compartir conmigo sus experiencias, aprendizajes y sabidurías que se traducen en una motivación y un impulso para alcanzar mis objetivos.

A familiares y a todos mis compañeros y amigos, en especial a: Milvi, Karla; José Rafael, Yurmelys, Daniulka, Jaudenc y Vanessa, por la confianza, lealtad, apoyo y amistad incondicional. Y a todos los que se me pasan por alto, pero que saben que siempre les estaré agradecido.

Hans Holmquist

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente quiero agradecer a todas aquellas personas que colaboraron con nosotros en la realización del presente trabajo, bien sea con su orientación académica, sus aportes técnicos o su ayuda en el trabajo de campo.

Al Profesor Carlos Grus, nuestro tutor en la realización de esta investigación, por su valiosa enseñanza impartida en el aula de clase y por su orientación en la elaboración de éste, el último trabajo de la carrera. Al Profesor Dafnis Echeverría por su importante asesoría en el campo de la hidráulica, sin la cual no habríamos podido despejar nuestras dudas acerca del tema tratado.

Al Ingeniero Alexis Franco, por su colaboración en el trabajo de campo realizado. Gracias, amor, por estar siempre conmigo, queriéndome, apoyándome y alentándome a ser cada día mejor. A Eliézer Acosta, por su ayuda en las mediciones topográficas realizadas en el presente trabajo. A toda mi familia y amigos que me dieron ánimos en los momentos en los que esto parecía interminable. A mi socio, Hans Holmquist, porque juntos logramos esta meta.

A todos ustedes, ¡¡MIL GRACIAS!!...

Karla Ruiz

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Oriente, por haberme formado para el mundo profesional y para la vida, con vocación de lucha por mi país y a todos mis profesores, por haber compartido sus conocimientos con gran vocación y espíritu hacia la enseñanza, y por brindarme una gran variedad de conocimientos que podré aplicar en mi vida profesional.

A mi tutor académico, profesor Carlos Grus, por haber asumido este rol con la disposición de emprender este proyecto como suyo, aportando sus conocimientos y valiosa cooperación. Al profesor Dafnis Echeverría por el interés, tiempo, apoyo y confianza que nos dedico, para la realización de este trabajo.

A INVIOBRAS BOLIVAR, en especial a la arquitecto Zully Mazzarri de la Gerencia General de Operaciones, y al Ingeniero Raymond Brown, de la Coordinación de Vialidad, por el apoyo brindado y facilitar información relevante para la realización de este proyecto. Y a todos mis amigos y compañeros de curso, por las experiencias compartidas y la compañía brindada durante nuestra formación académica. A todos Ustedes ¡¡¡Mil Gracias!!!

Hans Holmquist

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general “Proponer un sistema para el control de la erosión en la descarga de una alcantarilla del río Santa Bárbara, ubicada en el sector Mi Campito, urbanización El Perú, Municipio Heres, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar”. Se adoptó una metodología de campo - no experimental y descriptiva, mediante la cual se realizó la caracterización topográfica, geotécnica e hidrológica del área de estudio, así como la identificación de los factores que intervienen en la formación de cárcavas y los riesgos que implica el continuo proceso erosivo al que se encuentra sometida. La colocación del punto de descarga del sistema de agua pluvial del sector mencionado, directamente hacia la cárcava, sin ningún tipo de protección, ha acelerado el proceso de erosión en la misma, debido a la concentración de grandes volúmenes de agua que se producen, evidenciando un caudal  $5.72 \text{ m}^3/\text{s}$  según el estudio hidrológico, en una zona de pendientes elevadas (en el orden del 239%), observadas en los perfiles topográficos, que se han visto intensificadas por las altas velocidades que alcanza el agua de escorrentía concentrada ( $9.90 \text{ m/s}$  en la descarga), y en presencia de un suelo principalmente arenoso y no cohesivo, como lo demuestran los estudios de suelo. Se propone un sistema de disipación de energía en la descarga, conformado por una tubería de concreto que traslada el agua desde la alcantarilla hasta el fondo de la cárcava, donde el caudal es manejado por un tanque amortiguador que disipa la energía a través de un resalto hidráulico, disminuyendo la velocidad desde  $15.42 \text{ m/s}$  hasta una velocidad de  $3.47 \text{ m/s}$  que pueda ser manejada por un dissipador de enrocado que reduce la velocidad del agua hasta la velocidad permisible para el suelo presente ( $0.75 \text{ m/s}$ ), terminando en la revegetación de la zona en donde el agua entre en contacto con el suelo. Además se plantea la protección de la tubería de concreto con la colocación de tierra armada y la protección de taludes mediante revegetación en algunas áreas y concreto y rocas en otras, a fin de evitar una erosión regresiva que implique la falla de las estructuras planteadas.

## CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	vii
CONTENIDO .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xvi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivos de la investigación .....	7
1.2.1 Objetivo general .....	7
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Justificación.....	7
1.4 Alcance.....	8
<b>CAPÍTULO II</b> .....	9
2.1 Ubicación geográfica del área.....	9
2.2 Acceso al área de estudio .....	10
2.3 Características físicas y naturales.....	11
2.3.1 Clima .....	11
2.3.2 Vegetación.....	13
2.3.3 Geomorfología.....	14
2.3.4 Suelos .....	15



2.3.5 Hidrografía .....	16
2.4 Geología regional .....	17
CAPÍTULO III .....	19
MARCO TEÓRICO .....	19
3.1 Antecedentes de la investigación .....	19
3.2 Bases teóricas .....	20
3.2.1 Erosión .....	20
3.2.2 Tipos de erosión .....	21
3.2.2.1 Por su origen .....	21
3.2.2.2 Por sus agentes causantes.....	22
3.2.3 Tipos de erosión hídrica.....	23
3.2.3.1 Laminar .....	23
3.2.3.2 En surcos .....	24
3.2.3.3 Zanjas o cárcavas .....	25
3.2.3.4 Erosión por gotas de lluvia.....	25
3.2.4 Factores que influyen en los procesos erosivos .....	26
3.2.4.1 Naturales .....	26
3.2.4.2 Antrópicos .....	27
3.2.5 Procesos de cárcavamiento .....	28
3.2.5.1 Profundización del fondo de la cárcava .....	28
3.2.5.2 Avance lateral: .....	29
3.2.5.3 Erosión acelerada concentrada en los sitios de cambio topográfico en el fondo de la cárcava.....	29
3.2.5.4 Avance de la cabeza de la cárcava .....	30
3.2.5.5 Erosión laminar y en surcos .....	31
3.2.6 Ampliación de las cárcavas.....	31
3.2.7 Tipos de cárcavas .....	32
3.2.7.1 Cárcavas continuas alargadas.....	32
3.2.7.2 Cárcavas alargadas con escarpe vertical superior .....	32

3.2.7.3 Cárcavas anchas .....	33
3.2.7.4 Cárcavas ramificadas .....	36
3.2.8 Causas de la formación de cárcavas.....	36
3.2.8.1 Cárcavas en las entregas de alcantarillas y box culverts:.....	36
3.2.8.2 Cárcavas por urbanismo inadecuado.....	37
3.2.8.3 Cárcavas por afloramiento de agua subterránea.....	37
3.2.9 Control de la erosión en cárcavas .....	40
3.2.9.1 Estabilización de cárcavas activas .....	41
3.2.10 Disipadores de energía.....	43
3.2.10.1 Torrenteras .....	43
3.2.10.2 Tanque amortiguador .....	45
3.2.10.3 Disipador de enrocado .....	54
3.3 Definición de términos básicos .....	63
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>66</b>
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>66</b>
4.1 Nivel de la investigación.....	66
4.2 Diseño de la investigación .....	66
4.3 Población y muestra .....	67
4.4 Técnicas de recolección de datos .....	67
4.4.1 Observación directa.....	67
4.4.2 Revisión literaria .....	68
4.4.3 Entrevistas no estructuradas.....	68
4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.....	69
4.5.1 Análisis cualitativo de los datos.....	69
4.5.1.1 Identificación de los factores involucrados en la formación de cárcavas.....	70
4.5.1.2 Determinación de los riesgos que corre la comunidad adyacente.....	70
4.5.2 Análisis cuantitativo de los datos.....	70

4.5.2.1 Caracterización de la zona desde el punto de vista topográfico, geotécnico e hidrológico. ....	71
4.5.2.2 Cálculo del gasto en la descarga de agua pluvial. ....	100
4.5.2.3 Propuesta de un sistema de descarga adecuado para prevenir la erosión .....	103
4.6 Flujoograma del proceso de la investigación y su descripción .....	104
4.6.1 Descripción del flujoograma del proceso de la investigación.....	105
4.6.1.1 Fase I – estudios preliminares. ....	105
4.6.1.2 Fase II – trabajo de campo. ....	105
4.6.1.3 Fase III – trabajo de oficina y laboratorio. ....	105
4.6.1.4 Fase IV – etapa final. ....	106
CAPÍTULO V .....	107
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	107
5.1 Factores involucrados en la formación de cárcavas en general .....	107
5.2 Riesgos que corren las comunidades adyacentes .....	109
5.3 Caracterización de la zona desde el punto de vista topográfico, geotécnico e hidrológico .....	114
5.3.1 Caracterización topográfica .....	114
5.3.2 Caracterización geotécnica.....	115
5.3.3 Caracterización hidrológica .....	117
5.4 Gasto en la descarga de agua pluvial .....	117
5.5 Propuesta de sistema de descarga adecuado para prevenir la erosión .....	118
CAPÍTULO VI.....	120
FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA.....	120
6.1 Parámetros hidráulicos iniciales en la descarga.....	120
6.2 Formulación de la propuesta.....	127
6.2.1 Diseño de la tubería.....	128
6.2.2 Diseño del tanque amortiguador .....	132
6.2.3 Diseño del dissipador de enrocado .....	138

6.2.4 Protecciones de zonas adyacentes a las estructuras y protecciones de taludes .....	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
Conclusiones .....	144
Recomendaciones.....	147
REFERENCIAS .....	149
APÉNDICES.....	154
APÉNDICE A .....	154
CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA .....	154
APÉNDICE B .....	162
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – METODO MECÁNICO .....	162
APÉNDICE C .....	166
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MÉTODO DE HIDRÓMETRO.....	166
APÉNDICE D .....	169
GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	169
APÉNDICE E .....	172
LÍMITES DE ATTERBERG.....	172
APÉNDICE F.....	175
CORTE DIRECTO .....	175
APÉNDICE G .....	182
DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.....	182
APÉNDICE H.....	184
INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA.....	184

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio. (www.venezuelatuya.com/geografia/mapavenezuela.htm, 2009). .....	9
Figura 2.2 Acceso a la cárcava ubicada en el sector Mi Campito.....	10
Figura 2.3 Vista aérea de Ciudad Bolívar. Situación de cárcavas de la ciudad (Google Earth, 2009).....	15
Figura 3.1 Mecanismo de erosión por acción del viento (Suárez, 2001).....	22
Figura 3.2 Proceso de erosión laminar (Suárez, 2001). .....	23
Figura 3.3 Elementos que intervienen en la formación de surcos (Suárez, 2001). ....	24
Figura 3.4 Erosión por golpeo de una gota de lluvia (Suárez, 2001).....	26
Figura 3.5 Procesos de erosión en el fondo de una cárcava (Suarez, 2001). .....	29
Figura 3.6 Erosión de la cabeza vertical de una cárcava. (Dietrich y Dunne, en Suárez, 2001).....	30
Figura 3.7 Mecanismos de turbulencia que generan erosión en cambios Topográficos en el fondo de una cárcava. (Vischer y Hager, en Suárez, 2001). .....	30
Figura 3.8 Ilustración esquemática del proceso de cárcavas anchas en corte de carretera (Suárez, 2001). .....	34
Figura 3.9 Esquema de avance de una cárcava ancha en un suelo homogéneo (Suárez, 2001). .....	35
Figura 3.10 Formación de cárcava ancha en rocas estratificadas con resistencias diferentes a la erosión (Suárez, 2001). .....	35
Figura 3.11 Erosión en entregas de alcantarillas (Suárez, 2001). .....	38
Figura 3.12 Formación de cárcavas por el manejo inadecuado del urbanismo (Suárez, 2001). .....	39
Figura 3.13 Esquema de erosión por afloramiento de agua subterránea (Suárez, 2001). .....	39
Figura 3.14 Torrenteras (Suárez, 2001). .....	44

Figura 3.15 Disipación de energía en torrenteras (Suárez, 2001). .....	44
Figura 3.16 Tanque amortiguador (Federal Highway Administration, 2006). .....	46
Figura 3.17 Curvas adimensionales para la salida de alcantarillas rectangulares en pendientes horizontales y suaves (Federal Highway Administration, 2006). .....	48
Figura 3.18 Curvas adimensionales para la salida de alcantarillas circulares en pendientes horizontales y suaves (Federal Highway Administration, 2006). .....	49
Figura 3.19 Largo del tanque amortiguador en su zona horizontal. (Federal Highway Administration, 2006). .....	53
Figura 3.20 Dimensiones del tanque amortiguador. (Federal Highway Administration, 2006). .....	54
Figura 3.21 Parámetros para el proyecto de disipadores de enrocado (Bolinaga, 1979). .....	56
Figura 3.22 Dimensiones del disipador de enrocado (Bolinaga, 1979). .....	57
Figura 3.23 Profundidad relativa de socavación como función del número de Froude en la descarga para distintos tamaños relativos de roca (Bolinaga, 1979). .....	57
Figura 3.24 Distribución de velocidades en el eje de un chorro sumergido aguas debajo de una alcantarilla (Bolinaga, 1979). .....	59
Figura 4.1 Gráfico de plasticidad de Casagrande utilizado en el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (Bowles, 1981). .....	97
Figura 4.2 Nomograma de la California Culverst Practice (Guntermann, 2000). ....	100
Figura 4.3 Precipitaciones, región Guayana, estación Ciudad Bolívar. Curvas intensidad- duración- frecuencia. (Carciente, 1980). .....	103
Figura 4.4 Flujograma del proceso de la investigación .....	104
Figura 5.1 Viviendas cercanas a los bordes de la cárcava. ....	111
Figura 5.2 Descarga de alcantarilla sin ningún tipo de estructuras de control o disipación de la energía. ....	111
Figura 5.3 Ausencia de cabezal de protección en la alcantarilla en la zona de la descarga. ....	112

Figura 5.4 Grandes cantidades de basura arrojada por la comunidad en las áreas adyacentes a la alcantarilla.....	112
Figura 5.5 Talud de la vialidad sin ningún tipo de protección.....	113
Figura 5.6 Taludes con poca vegetación y sin protección. ....	113
Figura 5.7 Ausencia de brocal en el sentido Av. El Perú – Troncal 19 de la vialidad. ....	114
Figura 6.1 Perfil transversal de la vialidad en la sección donde se encuentra ubicada la alcantarilla. ....	121
Figura 6.2 Profundidad crítica y profundidad normal de secciones circulares (Bolinaga, 1979).....	123
Figura 6.3 Parámetros hidráulicos en conductos circulares. ....	126
Figura 6.4 Esquema general de la posición de la tubería de concreto. ....	131
Figura 6.5 Dimensiones de los elementos del pozo dissipador. ....	137
Figura 6.6 Dimensiones del dissipador de enrocado. ....	142
Figura 6.7 Planteamiento final de la propuesta. ....	142

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Coordenadas U.T.M que delimitan el área de estudio. ....	10
Tabla 2.2 Valores climáticos promedios de Ciudad Bolívar por mes (F.A.V., 2009).	11
Tabla 3.1 Rangos de número de Froude aplicados a cada tipo de tanque amortiguador (Federal Highway Administration, 2006). ....	47
Tabla 4.1 Aberturas del juego de tamices utilizado en el análisis granulométrico. ....	74
Tabla 4.2 Factores de corrección por temperatura $C_T$ (Bowles, 1981). ....	79
Tabla 4.3 Factor de corrección $a$ para el peso unitario ..... de sólidos (Bowles, 1981). ....	81
Tabla 4.4 Valores de $L$ (profundidad efectiva) para usar en la fórmula de Stokes en la determinación del diámetro de partículas con el hidrómetro ASTM 152H. (Bowles, 1981). ....	83
Tabla 4.5 Valores de $K$ para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas. (Bowles, 1981). ....	84
Tabla 4.6 Valores típicos del factor de corrección de viscosidad del agua. (Bowles, 1981) .....	87
Tabla 4.7 Sistema unificado de clasificación de suelos. (Bowles, 1981) .....	93
Tabla 4.8 Coeficientes de escorrentía según normas para proyectos de alcantarillado (I.N.O.S, 1975). ....	102



## **INTRODUCCIÓN**

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento y constituye uno de los procesos que mayor daño ha causado en el medio ambiente tropical.

La erosión y sedimentación de nuestros ríos, las avalanchas producto del mal manejo del suelo, la desaparición acelerada de los suelos orgánicos, producto de la deforestación, amenazan acabar la reserva ecológica más importante de la tierra.

A pesar de los avances en las tecnologías de control de la erosión, los problemas que ésta ocasiona son hoy más extensos y severos y la necesidad de conocimientos sobre el control de la misma son cada día más necesarios.

En general, las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales, sufren mayores pérdidas por erosión y son las actividades humanas las que, frecuentemente, intensifican o aceleran este proceso.

A consecuencia de los factores antes mencionados, en las últimas décadas se ha acrecentado el problema de la erosión en cárcavas en Ciudad Bolívar, las cuales al crecer en sus tres dimensiones se llevan consigo infraestructuras de la ciudad como casas, aceras, calles y canales de desagüe, por lo que es necesario idear planes de control de erosión que eviten la ocurrencia de estos eventos a lo largo de la red de cárcavas de la ciudad.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental generar una propuesta de sistema de control de erosión en la descarga de una alcantarilla, la cual se produce directamente en una de las cárcavas del sector Mi Campito de Ciudad Bolívar, a fin de constituir una referencia en el manejo de este tipo de problemática y una solución adecuada desde el punto de vista de ingeniería, atendiendo tanto a las condiciones topográficas, hidrológicas y geotécnicas del área como a los requerimientos y riesgos a los cuales está sometida la comunidad adyacente.

En este sentido, la investigación se divide en seis capítulos referidos fundamentalmente a lo siguiente:

Capítulo I. Situación a investigar: en donde se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y el alcance de la investigación.

Capítulo II. Generalidades: en el cual se explica la ubicación geográfica del área de estudio así como su acceso a la misma, sus características físicas y naturales y su geología.

Capítulo III. Marco teórico: se presentan los antecedentes de la investigación, así como el conjunto de aspectos teóricos que permiten proporcionar una base conceptual del tema investigado.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: en el cual se señala el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, y las técnicas de procesamiento y análisis de datos, así como también el flujograma del proceso de la investigación; el cual describe paso a paso el proceso investigativo.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: donde se presenta el análisis de los objetivos planteados.

Capítulo VI. Formulación de la propuesta: en el cual se expresa detalladamente la propuesta a considerar para la solución de la problemática planteada, basada en el análisis e interpretación de los datos obtenidos a través del proceso de investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, producto de la investigación, y los apéndices que amplían aún más la información presentada.

Para estructurar el trabajo se siguieron los lineamientos del Manual de Trabajos de Grado de la Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo Bolívar de la Universidad de Oriente, 2001.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

El problema de la erosión del suelo no es un descubrimiento de nuestra civilización, pues ya quedaba registrado en los documentos de los romanos y los griegos. No obstante, en un principio el problema no era importante debido a la escasa densidad de población y al hecho de que las civilizaciones primitivas se establecían en llanuras, lejos de tierras con pendientes fuertes y altamente degradables.

Con el aumento demográfico mundial se han ido ocupando dichas zonas, sobre las cuales se han asentado desarrollos urbanísticos que han acelerado el proceso erosivo natural de los suelos, dando lugar a la formación de cárcavas en los lugares donde se produce un flujo incontrolado de agua de escorrentía – y donde las condiciones geológicas son propicias para ello - lo que conlleva a la destrucción de numerosas estructuras y a una situación de peligrosidad para la vida de sus habitantes.

En cuando al paisaje latinoamericano y sobre todo al sudamericano, la presencia de gran cantidad de cuerpos de agua marcan su fisonomía, generando áreas altamente erosionables con algunas zonas susceptibles al surgimiento de barrancas, arroyos o cárcavas. Esta condición ha ocasionado problemas de orden económico y social en diversas zonas del continente, como es el caso de: las laderas tropicales de Colombia, afectadas por cárcavas profundas de tipo remontantes; el arroyo El Gato en el sur de la provincia de Córdoba (Argentina), la cual muestra un severo proceso de incisión de su cauce como consecuencia del fenómeno de erosión de cárcavas al que se encuentra sometido; el barrio Guaibariba, Recife, PE, Brasil, afectado también por

cárcavas producto de un proceso de urbanización desordenado (entre otros factores geológicos y climáticos); y numerosas regiones de Costa Rica, donde las laderas de las montañas – normalmente con pendientes elevadas – también son muy propensas al deslizamiento por acción de las lluvias, aunado a la alteración de la cobertura vegetal, o falta de ella, que aumenta la escorrentía superficial.

Venezuela no escapa de esta realidad, siendo parte de la Región Guayana una de las zonas más afectadas, ya que sus características geológicas (la presencia de una formación joven como la Formación Mesa con materiales poco consolidados) y la existencia de un sistema de drenaje mal planificado o inexistente la hacen vulnerable a los procesos de erosión que dan lugar a la formación de cárcavas.

Dentro de las ciudades de la Región Guayana afectadas por la situación expuesta encontramos a Ciudad Bolívar, la cual se encuentra ubicada sobre una serie de mesetas cuyos bordes conforman escarpes disectados formando las llamadas cárcavas que constituyen las cuencas de los Ríos Santa Bárbara, San Rafael, Buena Vista, Orocopiche y Los Baez, entre otros. Los tres primeros atraviesan la ciudad de Sur a Norte, encontrándose sus márgenes sometidos a intensas acciones erosivas que aumentan constantemente las áreas de sus cuencas dando lugar a la formación de enormes cárcavas; situación que se ha visto intensificada por el crecimiento de la población con el consecuente incremento de barrios asentados en toda la extensión de los topes de dichas mesetas.

Este crecimiento incontrolado de la ciudad hacia las cabeceras de los sistemas de cárcavas ha alterado violentamente los procesos naturales de escorrentía e infiltración debido a la impermeabilización progresiva de las cuencas altas, lo cual ha determinado que una gran proporción de lluvia que cae en ellas escurra superficialmente con muy poca resistencia a su movilización, lo que determina tiempos de concentración muy cortos y caudales instantáneos relativamente grandes y

de alto poder erosivo, que producen violentos procesos de erosión en los puntos de confluencia.

Estos cambios, aunados a las características geológicas que prevalecen en la región y a las descargas directas de aguas servidas que destruyen en parte la vegetación natural existente en la zona, han propiciado la alteración del equilibrio de las cuencas y la fisiografía, usualmente sometida a evoluciones relativamente lentas, cambiando de manera acelerada con la consecuente destrucción de viviendas, drenajes y vialidad.

Una de las zonas más afectadas por esta situación es la urbanización El Perú, de donde tomamos como punto de estudio una de las cárcavas situadas en el sector Mi Campito, la cual presenta un estado crítico y se encuentra en constante crecimiento por efectos de la socavación de las paredes del terreno debido a las constantes lluvias y descargas de aguas sin un empotramiento adecuado, poniendo en peligro y riesgo la vida de los habitantes adyacentes al sector y a los usuarios de la vialidad adjunta, la cual posee un drenaje transversal de 72" de diámetro que ha colapsado en varias oportunidades por acumulación de basura y falla de la base granular, según informes del Instituto de la Vivienda y Obras del Estado Bolívar (INVIOBRAS).

Ubicándonos en este contexto, se estudiarán los factores que inciden en el crecimiento de la cárcava mencionada a fin de plantear el sistema de control de la erosión más adecuado en la descarga de la alcantarilla ubicada en la misma, para evitar el desplome tanto de la vialidad como del sistema de recolección de aguas de lluvia.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Proponer un sistema para el control de erosión en la descarga de alcantarilla en la cárcava del Río Santa Bárbara ubicada en el sector Mi Campito de la Urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Identificar los factores involucrados en la formación de cárcavas en general.
2. Determinar los riesgos que corren las comunidades adyacentes.
3. Caracterizar la zona de estudio desde el punto de vista topográfico, geotécnico e hidrológico.
4. Determinar el gasto de la descarga de agua pluvial.
5. Proponer un sistema de descarga adecuado para prevenir la erosión.

## **1.3 Justificación**

La propuesta de un sistema adecuado de control de la erosión en la descarga de la alcantarilla ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú en Ciudad Bolívar, surge de la necesidad de plantear una solución eficaz y eficiente al problema de la inestabilidad de los taludes en este tipo de punto de descarga de las aguas pluviales en el cinturón de cárcavas que tanto aqueja a la ciudad, por el hecho de

representar una situación de riesgo, para los habitantes de esas zonas y de los usuarios de la vialidad que atraviesa, ante el colapso de dichas estructuras, además de las pérdidas económicas que implica. El presente estudio servirá de referencia para las soluciones más apropiadas al problema planteado con lo que se podría beneficiar a la población que habita en estas zonas de riesgo.

#### **1.4 Alcance**

La realización de esta investigación nos llevó a plantear una propuesta de un sistema disipador de energía en la descarga de la alcantarilla mencionada, que sea apropiado para la zona de estudio, considerando sus características geotécnicas, hidrológicas y topográficas, a fin de que constituya una referencia para dar solución a la problemática existente.



## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación geográfica del área

El área de estudio se ubica en el sector Mi Campito de la Urbanización El Perú, en el Suroeste (SW) de Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, como se observa en la figura 2.1. Y está enmarcada dentro de las coordenadas UTM dadas en la tabla 2.1 y señaladas en la figura 2.2.

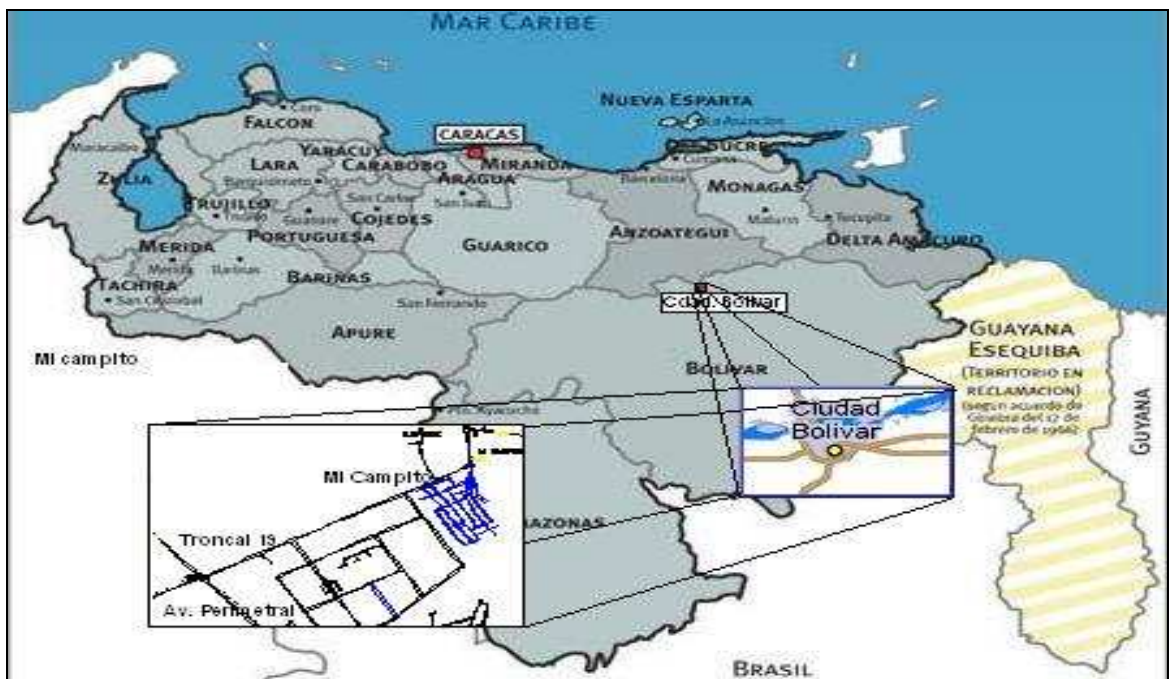


Figura 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.  
([www.venezuelatuya.com/geografia/mapavenezuela.htm](http://www.venezuelatuya.com/geografia/mapavenezuela.htm), 2009).

Tabla 2.1 Coordenadas U.T.M que delimitan el área de estudio.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>E</b>	4364	43648	43717	4371
<b>STE</b>	83	3	2	72
<b>N</b>	8938	89468	89468	8938
<b>ORTE</b>	20	7	7	20

## 2.2 Acceso al área de estudio

Se puede acceder a la zona, donde se realiza el proyecto de investigación, por vía terrestre a través de la prolongación de la Avenida El Perú hacia la Troncal 19. (Figura 2.2).

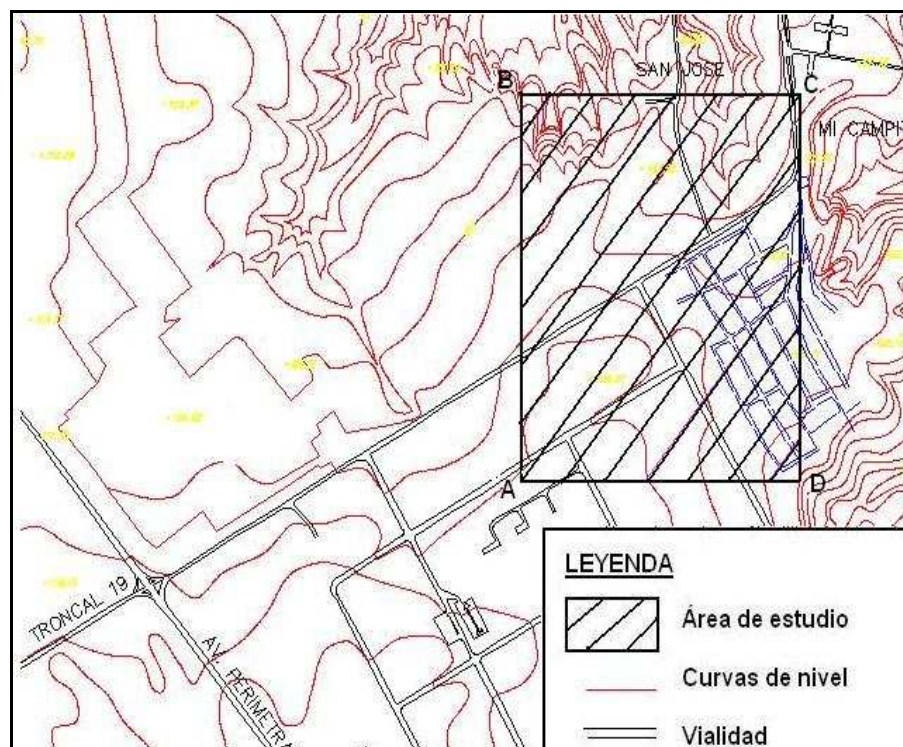


Figura 2.2 Acceso a la cárcava ubicada en el sector Mi Campito.

### 2.3 Características físicas y naturales

El área de estudio presenta las características físico-naturales propias de Ciudad Bolívar, por encontrarse ubicada dentro de dicha ciudad.

#### 2.3.1 Clima

La zona se caracteriza por presentar un clima del tipo tropical de sabana (según clasificación de Köppen) que; según datos del período 1994 – 2005 suministrados por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (F.A.V) de la Estación Climatológica 80444 Ciudad Bolívar – Aeropuerto, localizada a una Latitud de 08° 09' 00' N y a una Longitud de 63° 33' 00'' W con una elevación de 43 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar); presenta los siguientes valores climáticos. (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Valores climáticos promedios de Ciudad Bolívar por mes (F.A.V., 2009).

Meses	Temperatura Media (°C)	Precipitación Total (mm)	Evaporación Total (mm)	Humedad Media (%)	Insolación Media (hrs)	Radiación Media (W/m <sup>2</sup> )
Ene	26.8	20.6	154	76	7.2	15.7
Feb	27.2	17.7	165	75	7.7	16.2
Mar	28.8	19.4	186	70	8.2	17.5
Abr	29	25.2	167	72	7.5	17.7
May	28.4	89,4	145	76	6.7	16.7
Jun	27.3	179.4	104	83	6.4	15.6
Jul	26.9	181.5	90	84	6.9	16.5
Ago	27.4	152.9	92	82	7.5	17.3
Sep	28.1	103.4	107	79	7.9	17.7

Oct	28.3	91.5	117	80	8	16.2
Nov	27.8	85.2	115	81	7.8	15
Dic	27.1	35.2	127	81	7.5	14.5
Anual	27.7	1001.6	1569	78	7.5	15.5

A partir de la tabla 2.2 se puede observar que:

1. Ciudad Bolívar presenta un período lluvioso, desde el mes de mayo hasta el mes de octubre, siendo el mes de Julio el de mayor precipitación; y un período de sequía que ocurre desde el mes de noviembre hasta el mes de abril. Además, se observa una distribución temporal de la precipitación media, que corresponde a un régimen lluvioso de tipo unimodal presentándose las máximas mensuales en Junio, Julio y Agosto, con valores de 179.4 mm, 181.5 mm y 152.9 mm (milímetros) respectivamente. (F.A.V., 2009).

2. La evaporación total de Ciudad Bolívar se ha calculado en 1569 mm para el período comprendido entre el año 1994 y el año 2005, para el cual se registraron los valores totales de evaporación más elevados en los meses de Febrero, Marzo y Abril medidos en 165 mm, 186 mm y 167 mm respectivamente y se destacan los meses de Julio y Agosto como los meses de menor evaporación con valores de 90 mm y 92 mm respectivamente.

3. La temperatura promedio arroja un resultado de 27.7 °C (grados centígrados). Los máximos registrados ocurren en los meses de Abril y Mayo, donde se han obtenido los valores de 29 °C y 28.4 °C respectivamente, mientras que las mínimas se registraron en los meses de Enero y Julio con valores de 26.8 °C y 26.9 °C respectivamente. La oscilación térmica entre los valores máximos y mínimos de la

temperatura en promedio es de 5 °C aproximadamente, lo cual nos indica la típica condición isotérmica de la región.

4. La insolación media se distribuye de manera uniforme en la zona, por tal motivo el valor obtenido de insolación promedio anual es de 7.5 horas de brillo de luz solar aproximadamente. El comportamiento anual de la insolación media permite conocer que los períodos con mayores horas de brillo solar ocurren en los meses de Marzo y Octubre, registrando valores de 8.2 horas y 8.0 horas respectivamente; mientras que los valores mínimos ocurren en los meses de mayo y junio con valores de 6.7 horas y 6.4 horas respectivamente

5. La radiación solar media registrada presenta una variación de tipo bimodal, encontrándose los valores máximos principales durante los meses de Marzo, Abril, Agosto y Septiembre iguales a 17.5 W/m<sup>2</sup>, 17.7 W/m<sup>2</sup> y 17.3 W/m<sup>2</sup>, 17.7 W/m<sup>2</sup> (watts por metro cuadrado) respectivamente. Por el contrario, durante los meses de Noviembre y Diciembre se registraron los valores más bajos de radiación solar media en el período estudiado (15 W/m<sup>2</sup> y 14.5 W/m<sup>2</sup> respectivamente).

6. Los registros anuales de la humedad relativa media permiten apreciar que las máximas medias ocurren en los meses de Junio, Julio y Agosto con valores de 83 %, 84 % y 82 % respectivamente. Por el contrario, los valores mínimos se presentan en los meses de Marzo y Abril con valores 70 % y 72 % respectivamente.

### **2.3.2 Vegetación**

Ciudad Bolívar presenta una vegetación de tipo sabanero. Díaz, en Álvarez y Ameneiro, (2004), expone que está conformada principalmente por gramíneas correspondientes al estrato herbáceo e individuos leñosos de porte arbustivo o arbóreo, conocidos comúnmente como “chaparros” (en su mayoría Curatella

americana). Hacia las lomas más altas, se desarrollan algunos bosques caducifolios que se caracterizan por presentar un alto porcentaje de especies arbóreas deciduas, es decir, que pierden su follaje por un período más o menos prolongado durante la época seca. Generalmente, como una transición entre la sabana y el bosque se encuentran matorrales constituidos por vegetación secundaria producto de perturbaciones naturales y antrópicas. Rompiendo con la continuidad del estrato herbáceo de la sabana, se encuentran, hacia las vegas de los ríos, unos estrechos bosques de galería y, hacia los caños y quebradas, morichales que deben su nombre a la abundancia de “moriches” (*Mauritia flexuosa*).

### **2.3.3 Geomorfología**

C.V.G., (1992), indica que la ciudad está asentada sobre una serie de planicies elevadas denominadas La Sabanita, Llano Alto, Altos del Perú e Hipódromo, entre otros. La presencia los sedimentos de la Formación Mesa en la zona de estudio, han conformado planicies elevadas bien drenadas y disectadas por cauces profundos, disección que ha conformado un relieve tubular, limitado por escarpes de unos 40 metros de desnivel, formando profundos barrancos denominados localmente como “farallones”. Estos barrancos se formaron por la acción de la erosión regresiva que ocasiona el retroceso de las cabeceras de los Ríos Buena Vista, San Rafael y Santa Bárbara y presentan pendientes entre el 8 % y 16 %. (Figura 2.3).

Las planicies corresponden a paisajes de superficie plana y pendientes suaves (0 – 4 %), con perfiles rectilíneos, plano-cóncavos y plano-convexos e irregulares, dependiendo de la disección producto de las aguas. Presentan relieves tales como las llanuras de inundación, aluvial y vegas, que pueden tener ciertas elevaciones residuales de poco desnivel como las colinas. Estas planicies pueden ser de origen depositacional, residual o una combinación de ambos.



Figura 2.3 Vista aérea de Ciudad Bolívar. Situación de cárcavas de la ciudad (Google Earth, 2009).

#### 2.3.4 Suelos

Los suelos de la Formación Mesa son esencialmente arenosos, pobremente gradados a bien gradados, con arenas limo-arcillosas y arenas arcillosas. Se puede dividir geotécnicamente la zona ocupada por esta formación en tres sub-zonas. (C.V.G, 1992).

1. Sub-zona plana de meseta que corresponde a los suelos donde corren los Ríos San Rafael, Buena Vista y Santa Bárbara entre otros y con pendientes que no exceden el 16%. Estos pueden clasificarse como buenos a excelentes para bases y sub-bases. En esta sub-zona se encuentran lentes y capas discontinuas de grava interdigitadas con capas de arena de una densidad relativa alta (85-97%) y con capacidad admisible de soporte cercana a 6.00 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que sectores con el nivel freático cercano a la superficie, el valor de la capacidad admisible de suelo alcanza valores menores de 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>. Se ubican valores del peso unitario entre 2 a

2,20 g/cm<sup>3</sup>, ángulos de fricción interna entre 30° y 43° y densidades relativas entre 0.0 a 1.0.

2. Sub-zona intermedia o de transición con pendientes mayores del 16%, cuyos suelos presentan características similares a la sub-zona antes descrita. La diferencia radica en la fuerte acción erosiva bajo la cual se encuentran los suelos de esta zona que permite la formación de taludes verticales disectados e inestables.

3. Sub-zona que corresponde a las áreas de las planicies coluvio-aluvionales formadas por sedimentos recientes provenientes de las sub-zonas anteriores y comprende las áreas bajas a ambos lados de los cauces de ríos. Estos suelos presentan mayor contenido de finos, con baja permeabilidad, lo que favorece la retención del agua en superficie.

### **2.3.5 Hidrografía**

Jouayed, (1999), refiere que la red hidrográfica de Ciudad Bolívar está constituida por un sistema activo integrado principalmente por los ríos: Santa Bárbara, San Rafael, Buena Vista y diversas quebradas; teniendo como principal colector de las cuencas al río Orinoco.

El drenaje es de tipo dendrítico que tiene como característica principal una ramificación de sus afluentes en diferentes direcciones, formando una variedad de ángulos. El régimen de los ríos es de tipo torrencial, caracterizándose por la variación de sus niveles durante períodos de lluvia.

Las quebradas principales presentan un régimen de lluvias, actuando como colectores de agua durante la referida época y presentan un grado de erosión activo.



Existen varias lagunas que constituyen cuerpos de agua retenida en zonas muy impermeables.

La cárcava que constituye nuestro objeto de estudio pertenece a los cinturones de cárcavas presentes en el río Santa Bárbara.

## **2.4 Geología regional**

La región se encuentra diferenciada geológicamente en tres zonas, de joven a la más antigua: los sedimentos fluviales recientes, la Formación Mesa y la Provincia Geológica de Imataca, destacando los afloramientos de rocas ígneas, pertenecientes a esta última unidad, que forman islas del río Orinoco tales como la Piedra del Medio, El Degredo, y algunas otras más pequeñas al noreste de la ciudad y los existentes en la Plaza Centurión, Cementerio, Barrio El Cambao y El Porvenir, entre otros. (Hernández y Malpica, 2007).

Parte de estos afloramientos antiguos están solapados por sedimentos del Pleistoceno de origen fluvio deltáico y paludal de la Formación Mesa que está constituida por secuencias poco o no consolidadas de arenas, gravas, limos, arcillas y facies mixtas de ambiente fluvio-deltaico dispuestas horizontalmente o ligeramente inclinadas con relación interdigitada. La secuencia de sedimentos se encuentra formada hasta los 30 y 40 metros por arenas gruesas, medias y finas y gravas con lentes de limos arenosos y limo arcillosos. Las arenas gruesas en esta secuencia presentan estratificación cruzada del tipo barra de meandro, lo cual las hace permeables. A profundidad mayor de los 30 o 40 metros, se localizan lentes y capas de arcilla. Los espesores de la Formación Mesa son muy variables, y en la zona del Hipódromo Municipal de Ciudad Bolívar alcanzan los 120 metros.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

En el año 2004, Jesús Álvarez y Rosamary Ameneiro, en su trabajo de grado titulado: “Estudio Geológico del Sistema de Cárcavas Ubicado en el Sector Santa Eduvigis de Ciudad Bolívar y Propuestas para el Control de la Erosión”, concluyeron que: “Cualquiera que sea la solución ideada para el control de la erosión en la urbanización Santa Eduvigis I, ésta debe incluir la debida canalización, conducción y disposición final de las aguas de escorrentía, ya que las mismas son las principales responsables del crecimiento de las cárcavas en el sector”.

Este estudio pone de manifiesto la necesidad de plantear y diseñar sistemas de control de la erosión adecuados en los que se prevean las estructuras necesarias para la disminución de la energía en la descarga de las aguas que convergen en los cinturones de cárcavas, lo cual constituye la finalidad de nuestra investigación (p. 116).

Milagros Bravo y Miriam Pineda, en el año 1997, concluyeron en su trabajo de grado, titulado: “Estudio Geotécnico para el Control de la Erosión de Dos Cárcavas de Ciudad Bolívar”, lo siguiente: “La erosión depende de las características geotécnicas de los materiales de fondo y los taludes, su geometría, pendiente y características de flujo de agua; así como también la topografía de los alrededores del área. Todos estos factores dan lugar al desarrollo de cárcavas” (p. 125).

La investigación mencionada se considera relevante porque nos indica la importancia de la realización de estudios geotécnicos, hidrológicos y topográficos en

la evaluación de la cárcava ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú, la cual es nuestro objeto de estudio, a fin de poder dar las soluciones más coherentes con esas condiciones.

En el estudio titulado: “Características Geotécnicas para el Control de las Cuencas de los Ríos Santa Bárbara, San Rafael y Buena Vista”, realizado por Oswaldo Campos en el año 1994, se concluyó: “El urbanismo no planificado por las entidades públicas competentes en la materia, ha ocupado áreas que bordean los farallones, los cuales de acuerdo con la Ley Forestal de los Suelos y de Aguas deben cumplir funciones de protección de tales áreas, las descargas libres de aguas servidas sobre los farallones contribuyen a la erosión, así como a la sobresaturación de los suelos proporcionando condiciones de desestabilización de los taludes”. Lo cual evidencia la problemática general de Ciudad Bolívar en cuanto a los sistemas de cárcavas existentes. Situación que se ha visto agravada por la actuación del hombre sobre esas zonas no aptas para el asentamiento de desarrollos urbanísticos (p. 87)

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Erosión**

González en su artículo Erosión: La Importancia de la Conservación del Suelo, de la Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelo Vivos (AEAC/SV), define la erosión como: “... un fenómeno geológico natural causado por el desprendimiento de partículas del suelo a causa de la acción del agua y el viento, que las depositan en otro lugar” (p. 1).

En un sentido más amplio, la Enciclopedia Hispánica, (2000), en su tomo 6 expresa que la erosión “... es el proceso geológico por el cual las rocas de la corteza

terrestre sufren un desgaste debido a la acción de fuerzas tales como el viento, el agua – bien en su estado líquido o sólido (hielo)- o los seres vivos” (p. 5).

En definitiva, podría definirse la erosión como un proceso geológico de desgaste de las rocas y el suelo de la corteza terrestre debido a la acción que ejercen sobre ella el agua y el viento. Proceso que se origina por la combinación de varios factores tales como las pendientes pronunciadas, el clima, la inadecuada utilización del suelo, el tipo de cubierta vegetal que éste presenta, los desastres ecológicos, ciertas características intrínsecas del suelo que lo pueden hacer más propenso a la erosión y las actividades humanas, que pueden acelerar en gran medida las tasas de erosión.

### **3.2.2 Tipos de erosión**

La Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, clasifica los procesos erosivos de la siguiente manera:

#### **3.2.2.1 Por su origen**

❖ Erosión natural: es la que se desarrolla alrededor de varios años y se desarrollan en torno de algo natural. Se le puede denominar erosión geológica. En esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante.

❖ Erosión antrópica: es la que se desarrolla rápidamente y sus efectos se sienten en poco tiempo. Es cuando intervienen de forma exagerada todos los factores involucrados, principalmente debido a la mano del hombre y sus actividades.

### 3.2.2.2 Por sus agentes causantes

❖ Erosión eólica: ocurre cuando los suelos sin vegetación son expuestos a altas velocidades del viento. Cuando la velocidad del viento genera una fuerza tractiva superior a las fuerzas gravitacionales y cohesivas de las partículas de suelo, el viento desprende las partículas y las transporta en suspensión. Las partículas de menor tamaño (0.1 a 0.5 mm) son movidas por el viento en una forma de saltos o brincos. Las partículas gruesas se mueven rodando y las finas son transportadas en suspensión. La acción más visible es la suspensión en la cual se pueden observar tormentas de polvo. La erosión por viento es muy común en áreas de baja precipitación fluvial (menos de 375 mm/año) con suelos arenosos y bajos niveles de materia orgánica. El caso más frecuente de erosión por viento ocurre en los desiertos. (Figura 3.1).

❖ Erosión hídrica: es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma. Este tipo de erosión es el que ha generado la problemática existente en el área de estudio, por lo cual se profundizará más este punto.

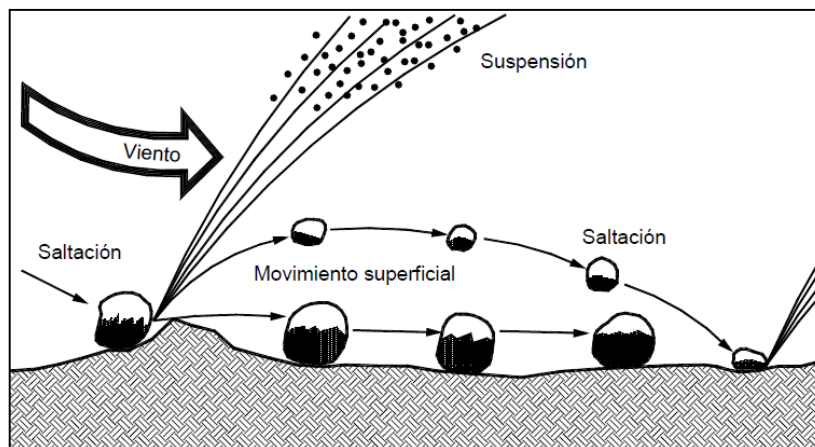


Figura 3.1 Mecanismo de erosión por acción del viento (Suárez, 2001).

### 3.2.3 Tipos de erosión hídrica

#### 3.2.3.1 Laminar

Consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa. Las gotas de lluvia actúan en forma pareja sobre la superficie del suelo, removiendo una delgada capa del suelo superficial que es transportada por la corriente producida, dejando la superficie del suelo nuevamente expuesta a la acción de sucesivas gotas de lluvia y el fenómeno se repite. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida, que al principio es casi imperceptible, sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas. (Figura 3.2).

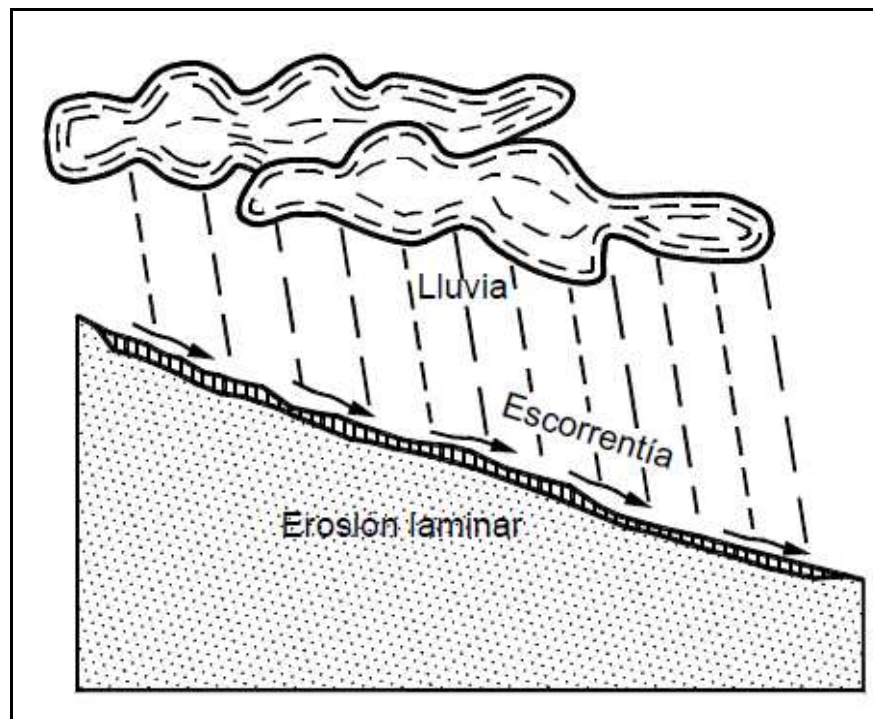


Figura 3.2 Proceso de erosión laminar (Suárez, 2001).

### 3.2.3.2 En surcos

Ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual, por la fuerza tractiva de la corriente, produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U. Este tipo de erosión puede ser controlada. Caso contrario, el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava. Si los canales de erosión tienen profundidades de menos de 30 centímetros se les clasifica como surcos y si la profundidad es mayor, como cárcavas. (Figura 3.3).

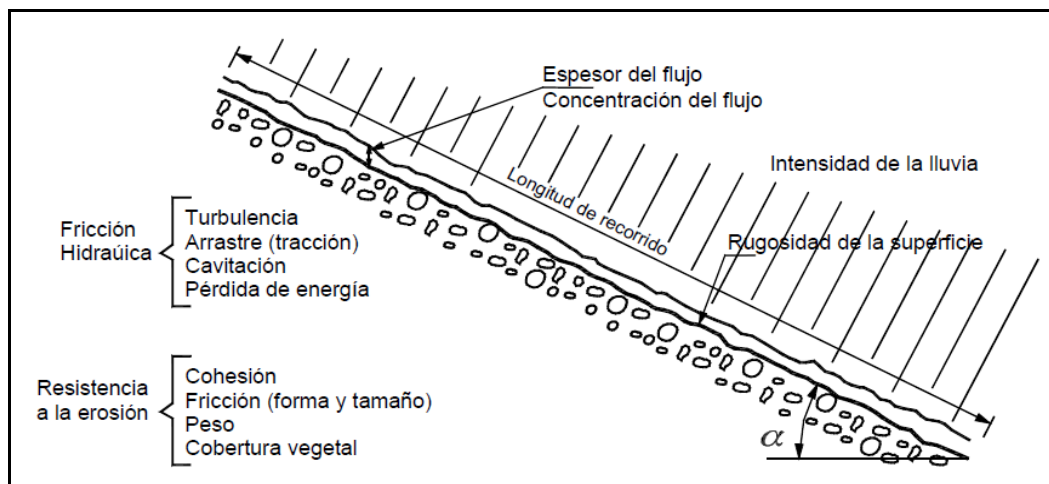


Figura 3.3 Elementos que intervienen en la formación de surcos (Suárez, 2001).

### 3.2.3.3 Zanjas o cárcavas

Pueden definirse como conjuntos de canales que se desarrollan sobre capas de materiales no consolidados de la superficie terrestre. En la terminología internacional se les conoce como badlands. Consisten en la pérdida de grandes masas de suelo formando surcos de gran profundidad y largura, trayendo como consecuencia: pérdida de suelo, cambio en el régimen térmico, pérdida en la calidad del relieve y pérdidas en la capacidad de reserva de agua. Una vez se inicia la formación de la cárcava, ésta evoluciona según la consistencia relativa que presenten los diferentes horizontes del suelo.

### 3.2.3.4 Erosión por gotas de lluvia

Ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Este impacto rompe la estructura del suelo y lo separa en partículas relativamente pequeñas que luego son transportadas por la escorrentía. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente un metro cuadrado. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie. En un suelo sin protección vegetal se calculan hasta cincuenta metros cúbicos de suelo removido por hectárea en una lluvia fuerte de una hora de duración. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración de la misma. Cuando la intensidad y cantidad de lluvias es alta la erosión, será más rápida. (Figura 3.4)



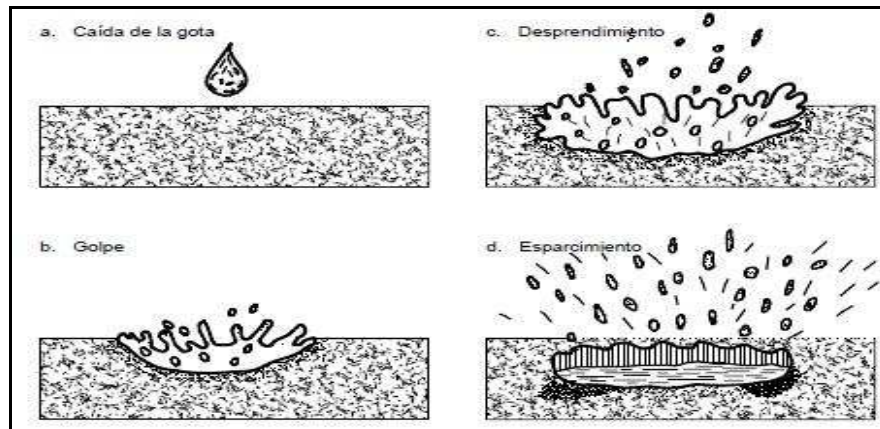


Figura 3.4 Erosión por golpeo de una gota de lluvia (Suárez, 2001).

### 3.2.4 Factores que influyen en los procesos erosivos

Según apuntes del Instituto de Enseñanza de Noreña (España) la erosión del suelo varía de unas regiones a otras, dependiendo de factores naturales y de la influencia humana.

#### 3.2.4.1 Naturales

- ❖ **El clima:** influyen la distribución de temperaturas a lo largo del año, la intensidad y dirección de los vientos dominantes y sobre todo las precipitaciones. Lo importante es la distribución temporal de las lluvias, las más erosivas son las lluvias torrenciales y esporádicas. El agua al ser absorbida por los suelos arcillosos, hace que estos adquieran la plasticidad suficiente para que fluyan pendiente abajo.

- ❖ **Topografía:** este factor queda definido por las inclinaciones de las pendientes y por las longitudes de las mismas. Los procesos erosivos son más fuertes en zonas de pendientes pronunciadas que en las zonas de pendientes suaves. La pendiente facilita la erosión, de forma que con una pendiente superior al 15% los suelos corren el riesgo de ser erosionados.

- ❖ Naturaleza de los terrenos: los suelos se erosionan más o menos según su textura, estructura, composición química y mineralogía, permeabilidad y contenido de materia orgánica.

- ❖ Cubierta vegetal: la cubierta vegetal amortigua el impacto de las gotas de lluvia al caer y frena el deslizamiento del agua (la escorrentía superficial) por las laderas, de modo que la densidad y la naturaleza de la vegetación que cubre un determinado territorio es determinante para evitar su erosión. Cuando se elimina la cubierta vegetal, como consecuencia de incendios forestales o de la actividad antrópica se favorece la erosión.

#### 3.2.4.2 Antrópicos

- ❖ Deforestación: la pérdida de los bosques incrementa los efectos de la erosión, la inestabilidad de las pendientes y la pérdida de suelo.

- ❖ Sobrepastoreo: es decir, cuando la intensidad del pastoreo es superior a la capacidad de regeneración de la vegetación. El exceso de ganado en una región termina agotando la praderas naturales, compactando el suelo, dejando al descubierto la tierra y acelerando la erosión.

- ❖ Prácticas agrícolas: la erosión se incrementa notablemente al arar y remover el terreno para introducir monocultivos, muy productivos a corto plazo, pero inestables y con menor desarrollo radicular que la vegetación natural. Y precisamente, es el sistema radicular de las plantas quien protege al suelo contra la erosión.

❖ Minería a cielo abierto y obras públicas: los desmontes que se llevan a cabo para abrir canteras, minas a cielo abierto, autopistas y otras obras, implican siempre un aumento de los procesos erosivos.

❖ Expansión de áreas metropolitanas: con el aumento de población en determinadas zonas, la construcción de viviendas y las redes de transporte, gran parte de los suelos más fértiles que rodeaban los pequeños asentamientos humanos, han desaparecido para siempre.

### **3.2.5 Procesos de cárcavamiento**

Suárez, (2001), define los cinco procesos más importantes en el crecimiento de una cárcava:

#### **3.2.5.1 Profundización del fondo de la cárcava**

Ocurre cuando el fondo de la cárcava se va profundizando en forma continua o discontinua. El proceso continúa hasta que se logra una pendiente de equilibrio o aparece un manto profundo más resistente a la erosión. (Figura 3.5).

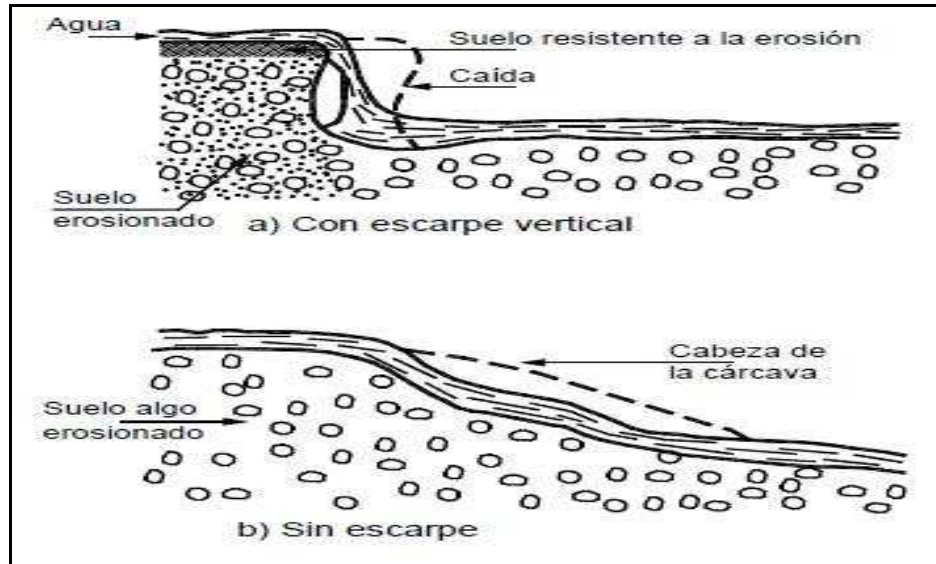


Figura 3.5 Procesos de erosión en el fondo de una cárcava (Suarez, 2001).

#### 3.2.5.2 Avance lateral:

Al profundizarse el fondo de la cárcava esta se amplía por la inestabilidad geotécnica de los taludes laterales.

#### 3.2.5.3 Erosión acelerada concentrada en los sitios de cambio topográfico en el fondo de la cárcava

En los cambios de pendiente, la turbulencia y la fuerza concentrada de la corriente de agua acelera localmente el proceso de erosión y socavación, como se observa en la figura 3.6. Los procesos de turbulencia pueden modelarse hidráulicamente; sin embargo, es extraordinariamente difícil determinar para cada caso específico el mecanismo de turbulencia que va a actuar. El modelamiento hidráulico de cárcavas es muy complejo. (Figura 3.7).

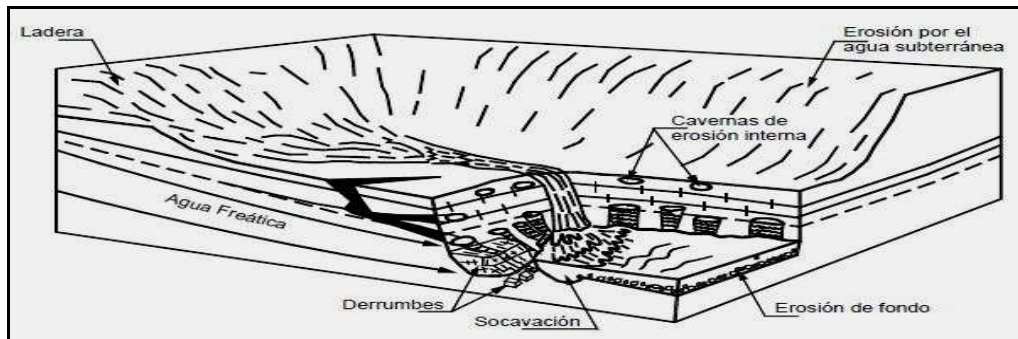


Figura 3.6 Erosión de la cabeza vertical de una cárcava. (Dietrich y Dunne, en Suárez, 2001).

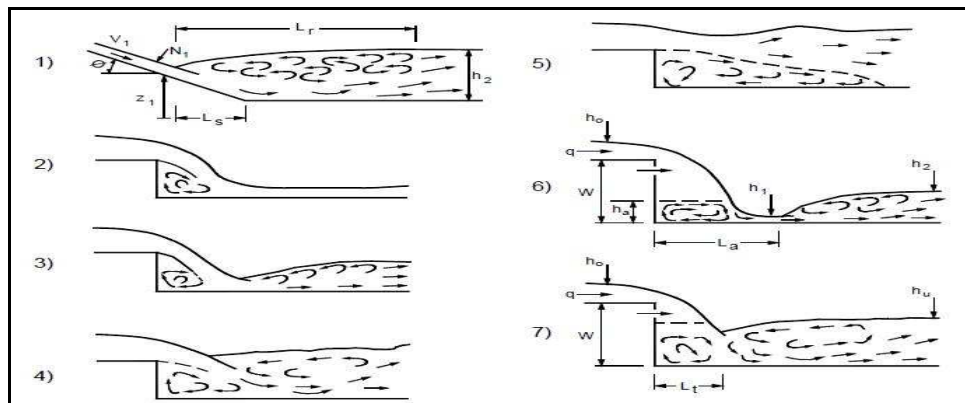


Figura 3.7 Mecanismos de turbulencia que generan erosión en cambios Topográficos en el fondo de una cárcava. (Vischer y Hager, en Suárez, 2001).

#### 3.2.5.4 Avance de la cabeza de la cárcava

El avance más dramático es comúnmente el avance de la cárcava hacia arriba de la pendiente, aumentándose permanentemente la altura del escarpe vertical entre la corona y la cabeza. Entre más alto es el escarpe, la inestabilidad es mayor y la cárcava avanza a una mayor velocidad.

El afloramiento de agua en las paredes o pies de los taludes de la cárcava es un factor muy importante en el avance tanto lateral como aguas arriba en el proceso de

erosión. Al encontrar corrientes de agua subterránea se aumenta a su vez el proceso de inestabilidad del escarpe y la rata de avance de la cárcava.

#### 3.2.5.5 Erosión laminar y en surcos

Dentro de las cárcavas se pueden producir procesos de erosión laminar o erosión en surcos, debidos especialmente al impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía difusa.

### **3.2.6 Ampliación de las cárcavas**

Las aguas de escorrentía concentrada forman inicialmente surcos, los cuales se profundizan por debajo de la cobertura vegetal. Una vez se forma la cárcava de erosión, ésta se va tornando más profunda, y se produce ampliación lateral y hacia arriba. El proceso continúa con la profundización y ensanchamiento del canal. La cabeza de la cárcava se hace más alta y esta avanza talud arriba cada vez más rápidamente, volviéndose prácticamente incontrolable. Adicionalmente a la erosión propiamente dicha, se produce desprendimiento lateral de pequeños bloques de suelo. La cabeza de la cárcava forma un escarpe cada vez más alto y lo mismo ocurre lateralmente. Se presentan entonces deslizamientos de tierra en estos taludes semiverticales. En este proceso se pueden formar varios canales secundarios. Al profundizarse el canal se aumenta la pendiente y la capacidad erosiva de la corriente concentrada. Si en el proceso de carcavamiento el canal se profundiza por debajo del nivel freático, se generan erosiones por exfiltración del agua subterránea hacia la cárcava acelerándose el proceso de ampliación de la cárcava. Si aparece a profundidad un manto más resistente a la erosión, el proceso de profundización disminuye pero el proceso de ampliación continúa. En el fondo de la cárcava se pueden formar gradas o caídas de agua por erosión diferencial de los diversos mantos.

A medida que se va formando la cárcava, el caudal aumenta progresivamente y se crea un desequilibrio con un nivel muy alto de turbulencia. La combinación de caudal, radio hidráulico, rugosidad y gradiente, generan un proceso de aumento progresivo de la capacidad de erosión y la erosión a su vez va modificando en forma casi geométrica los niveles de velocidad y turbulencia, creándose un proceso que puede avanzar muy rápidamente y amenazar la estabilidad de grandes áreas de terreno. El proceso generalmente no es auto controlable, sino que se perpetúa en el tiempo afectando cada vez más áreas. Una vez se forma una cárcava, la erosión progresa hacia aguas arriba con la acción erosiva causada por el flujo concentrado dentro de la cárcava y la inestabilidad lateral.

### **3.2.7 Tipos de cárcavas**

#### **3.2.7.1 Cárcavas continuas alargadas**

No tienen cabeza con escarpe vertical importante. Esto ocurre en suelos granulares cohesivos, al deteriorarse la cobertura vegetal por acción de los surcos de erosión. Generalmente aumentan en ancho y profundidad talud abajo y pueden presentar sedimentación en sectores de menores pendientes. Las cárcavas continuas llamadas también cárcavas de socavación se profundizan en un proceso de erosión o lavado de las partículas del fondo del cauce. Generalmente, las partículas erosionadas son las arenas finas y los limos, permaneciendo en la cárcava las partículas de mayor tamaño. Las cárcavas continuas alargadas están asociadas frecuentemente con paisajes suavemente ondulados.

#### **3.2.7.2 Cárcavas alargadas con escarpe vertical superior**

Ocurre en suelos cohesivos o con coberturas de raíces; son retrogresivas con avance y fallas de los taludes resultantes por esfuerzo al corte o volteo. En ocasiones

se agrava el proceso por afloramiento de agua subterránea en el pie del escarpe formado.

Inicialmente la cárcava se profundiza hasta lograr una pendiente de equilibrio por razones geológicas o propias del proceso erosivo y luego inicia un proceso de avance lateral y hacia arriba, mediante la ocurrencia de deslizamientos. La cabeza de la cárcava puede moverse hacia arriba como un resultado de la excavación en el pie del escarpe por la caída de agua desde la corona y por deslizamientos de los taludes.

Las cárcavas continuas también pueden avanzar lateralmente en un proceso similar al de las cárcavas alargadas.

#### 3.2.7.3 Cárcavas anchas

Este sistema de cárcavas anchas es muy común en cortes de excavaciones para carreteras y ferrocarriles. El corte inicial es un talud con una determinada pendiente. El agua al correr sobre el talud genera una serie de surcos y pequeñas cárcavas dentro de una cárcava ancha que comprende una sección grande del corte. En la práctica el corte original de la vía es realizado a un ángulo superior al ángulo de estabilidad por erosión del talud y se genera un proceso progresivo de deterioro del talud, formándose un escarpe vertical y una nueva pendiente estable. La formación de cárcavas anchas es muy común en suelos residuales donde el material más superficial del perfil generalmente es más erosionable y al profundizarse la resistencia a la erosión aumenta. La pendiente estable a la erosión no corresponde a la pendiente estable para deslizamientos de tierra. Generalmente la pendiente de reposo por erosión superficial es muy inferior a la pendiente de reposo por erosión en masa.

El escarpe vertical se forma exactamente debajo de la vegetación original en la corona del talud. El material de suelo debajo de las raíces es socavado por el proceso



de carcavamiento y se forma un voladizo de vegetación, según la figura 3.8. Al aumentar la longitud del voladizo la vegetación falla por bloques. El tamaño y la rata de avance de la cárcava son una función de la resistencia a la erosión del suelo y de la cohesión, así como de otros parámetros de tipo geotécnico, como la expansibilidad, de acuerdo a la figura 3.9. El proceso de avance de las cárcavas anchas no es uniforme y se pueden formar diferencias considerables de pendiente a lo largo y ancho de la cárcava. El resultado es un perfil topográfico no uniforme. (Figura 3.10).

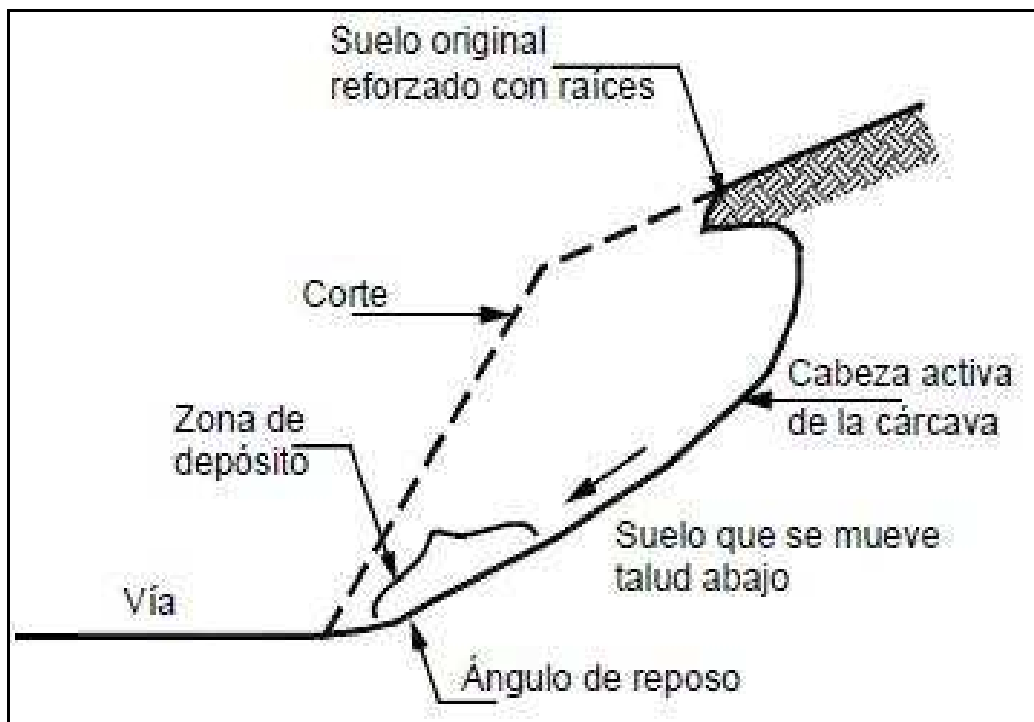


Figura 3.8 Ilustración esquemática del proceso de cárcavas anchas en corte de carretera (Suárez, 2001).

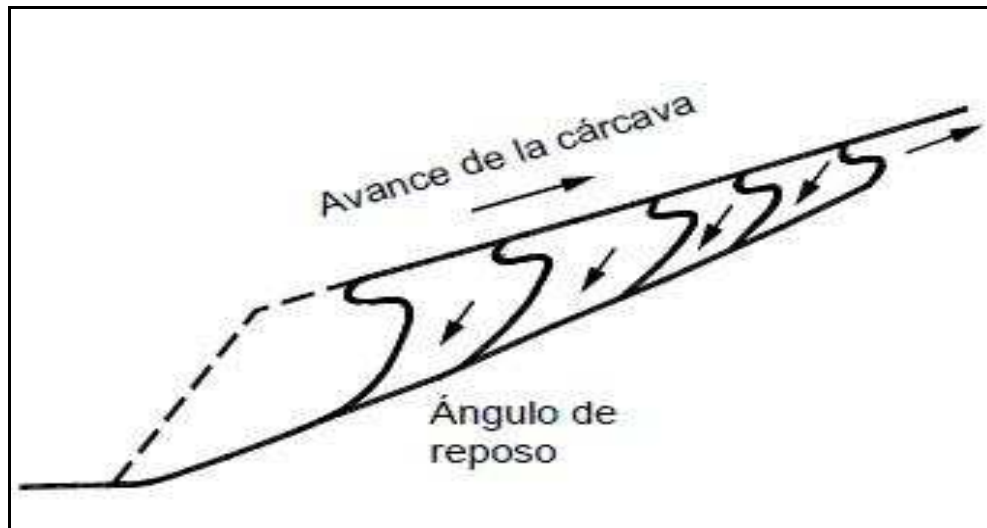


Figura 3.9 Esquema de avance de una cárcava ancha en un suelo homogéneo (Suárez, 2001).

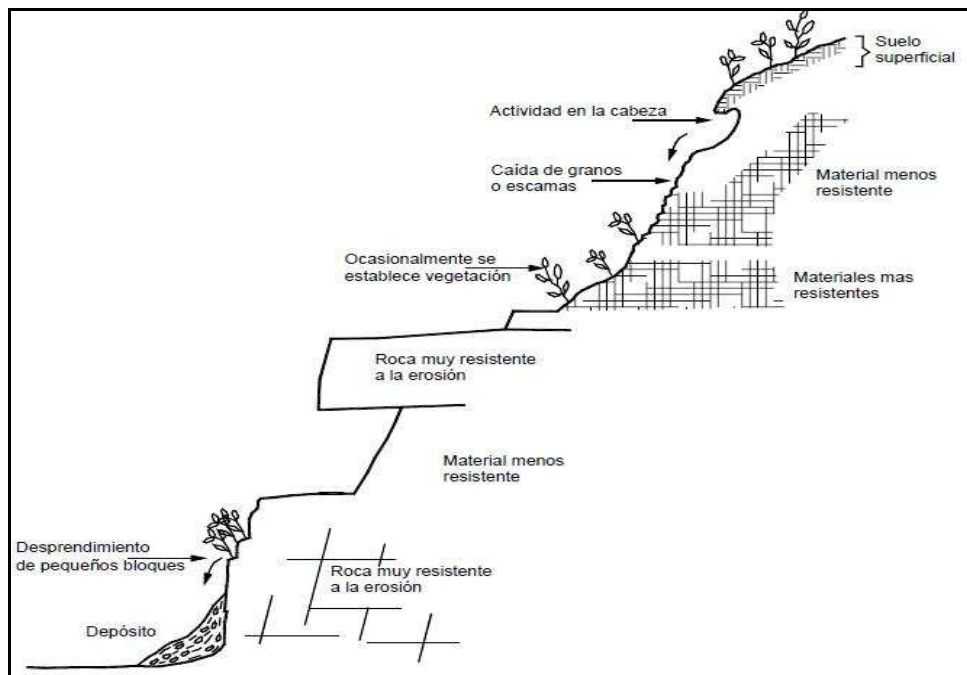


Figura 3.10 Formación de cárcava ancha en rocas estratificadas con resistencias diferentes a la erosión (Suárez, 2001).

#### 3.2.7.4 Cárcavas ramificadas

Ocurre con alguna frecuencia que las cárcavas alargadas formen cárcavas laterales creando un sistema de ramificación de la cárcava. Esta anaramificación genera un proceso muy fuerte de denudación con generación de grandes cantidades de sedimentos para las corrientes.

### **3.2.8 Causas de la formación de cárcavas**

Las cárcavas se forman en sitios de concentración de aguas. La mayoría de las cárcavas son causadas por actividades humanas. Las cárcavas tienden a formarse donde se concentra grandes volúmenes de escorrentía especialmente cuando se descargan sobre taludes de alta pendiente con suelos erosionables. Un caso común de cárcavas es la concentración de aguas ocasionada por las alcantarillas en las carreteras. Los sitios de entrega de aguas de alcantarillas en las carreteras son muy susceptibles a la formación de cárcavas, debido a las altas velocidades del agua concentrada. En general, Suárez, (2001), identifica algunos de los agentes causantes de cárcavas, tales como:

#### 3.2.8.1 Cárcavas en las entregas de alcantarillas y box culverts:

En los sitios en los cuales el agua sale de la alcantarilla a una velocidad muy alta y en forma concentrada, se requiere construir medidas de protección contra la erosión y/o estructuras para disipación de energía. Generalmente trata de formarse una cárcava de erosión que trata de destruir la vía, al avanzar hacia arriba y lateralmente. (Figura 3.11).

### 3.2.8.2 Cárcavas por urbanismo inadecuado

En las zonas urbanas es muy común la generación de cárcavas debidas a que el urbanismo no tuvo en cuenta la forma como se concentra y fluye la escorrentía recogida por las vías y otras obras de urbanismo. El desborde de corrientes concentradas de agua hacia los taludes produce carcavamiento. (Figura 3.12).

### 3.2.8.3 Cárcavas por afloramiento de agua subterránea

Los nacimientos o afloramientos concentrados de agua subterránea son el resultado de fuerzas gravitacionales hidrostáticas, las cuales generan un movimiento del agua subterránea, la cual al encontrar un camino de salida o al ser obligada a emerger a la superficie del terreno generan corrientes superficiales, como se observa en la figura 3.13. La presencia de exfiltraciones del agua subterránea está controlada por la estructura geológica o del suelo.

La descarga de estos afloramientos depende de las características de la recarga de agua, o del acuífero de donde proviene la corriente. Las fluctuaciones son una respuesta a la recarga y varían en períodos desde minutos a años dependiendo de las condiciones hidrogeológicas. Los nacimientos pueden ser desde flujos intermitentes de muy poco caudal, los cuales desaparecen después de una lluvia, o de un período lluvioso; hasta nacimientos permanentes de metros cúbicos por hora. Los nacimientos pueden ser de varios tipos:

1. Nacimientos por depresiones topográficas
2. Afloramientos debidos al contacto de dos materiales de diferente permeabilidad.

3. Aguas artesianas de acuíferos con presión hidrostática alta.

4. Afloramientos por cavernas de disolución.

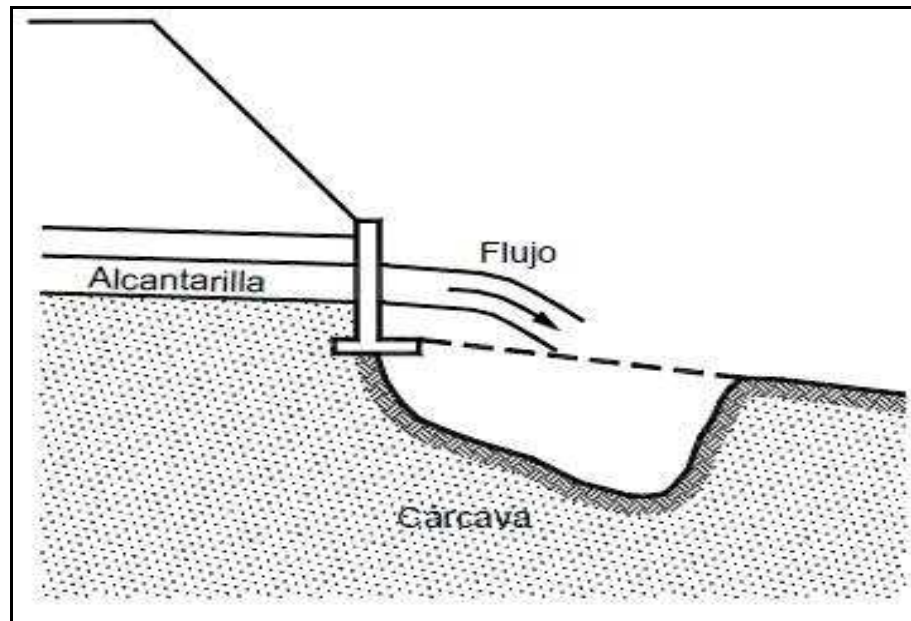


Figura 3.11 Erosión en entregas de alcantarillas (Suárez, 2001).

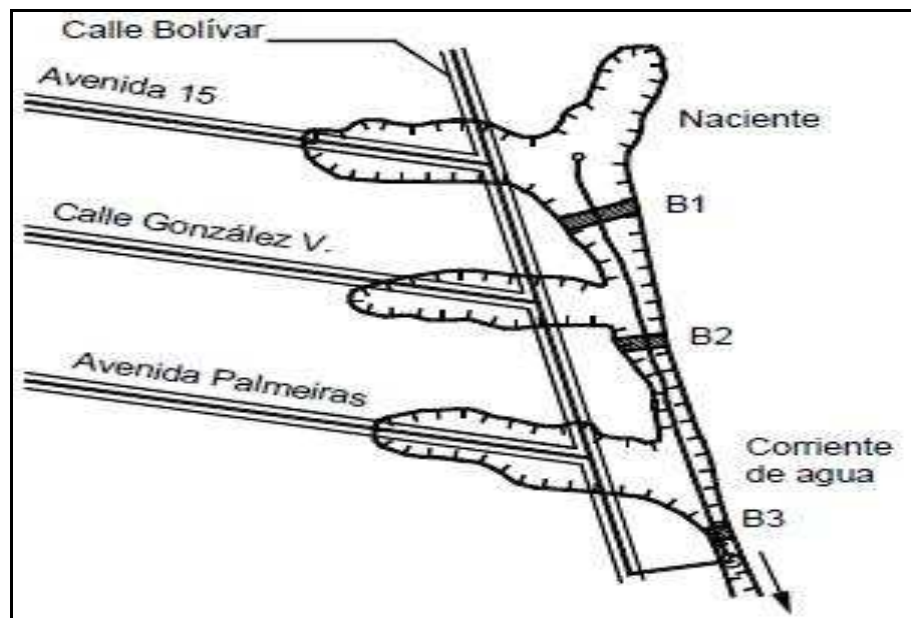


Figura 3.12 Formación de cárcavas por el manejo inadecuado del urbanismo (Suárez, 2001).

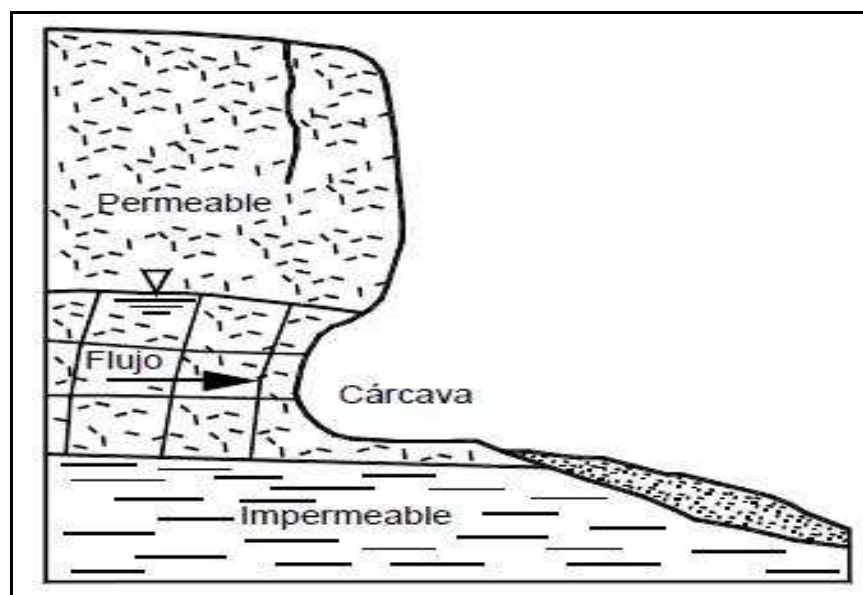


Figura 3.13 Esquema de erosión por afloramiento de agua subterránea (Suárez, 2001).

Al aflorar las aguas subterráneas, los gradientes hidráulicos del agua interna ejercen fuerzas de tracción sobre las partículas de suelo, generando desprendimiento de granos o bloques de suelo. En este proceso se va formando una depresión o cárcava, la cual se amplía por avance lateral y hacia arriba.

### **3.2.9 Control de la erosión en cárcavas**

Controlar erosión en cárcavas es difícil. En muchos casos en los cuales se han construido estructuras de concreto, gaviones de piedra o madera, estos han sido socavados y arrastrados por la cárcava, o en otros no ha modificado las causas básicas de la erosión y el proceso ha continuado. Si se logra distribuir las corrientes y evitar las concentraciones de grandes flujos se disminuye en forma importante la posibilidad de ocurrencia de cárcavas.

Hasta ahora el método más efectivo para el control de cárcavas es la vegetación con estructuras que favorezcan su crecimiento. Puede ser necesario usar métodos mecánicos, mallas, yute, fique, piedra o madera para controlar provisionalmente la erosión mientras se establece la vegetación. Generalmente, se emplea una combinación de árboles de raíz profunda con pastos y hierbas. Adicionalmente, debe controlarse las aguas mediante zanjas y canales.

Las cárcavas pueden finalmente convertirse en canales o corrientes de agua. La formación de cárcavas puede prevenirse en muchos casos utilizando prácticas conservacionistas en el uso de la tierra, especialmente con relación a la agricultura y ganadería, así como el manejo adecuado de las obras de infraestructura tales como carreteras y urbanizaciones.

Se debe evitar la concentración de aguas de escorrentía sobre zonas con cobertura vegetal deficiente. Adicionalmente, se pueden construir estructuras amortiguadoras de energía en la corriente para disminuir la velocidad del agua y en esta forma evitar la formación de cárcavas. Es mucho más sencillo prevenir su ocurrencia que controlarla una vez se haya iniciado.

#### 3.2.9.1 Estabilización de cárcavas activas

Para la estabilización de la erosión en cárcavas se está haciendo popular la práctica de las cuatro D:

1. Disminuir la velocidad y el caudal reduciendo el gradiente.
2. Detener el flujo utilizando sistemas de represamiento.
3. Desviar el flujo hacia áreas no peligrosas.
4. Disipar la energía utilizando estructuras o aumentando la sinuosidad y longitud del canal.

El principio fundamental del control de la erosión en cárcavas es determinar la causa directa del proceso y el mecanismo de desarrollo. El segundo principio es el encontrar la forma de restaurar el balance y crear condiciones para la estabilización del proceso. Los sistemas de estabilización más utilizados son los siguientes:

❖ Redireccionamiento de los flujos de agua: cuando hay fuentes determinadas de los caudales de agua, la solución puede ser el redireccionar o controlar los flujos para que estos no pasen por la cárcava o por lo menos su caudal sea disminuido. Cuando no sea posible redireccionar los flujos se requiere construir



obras para el manejo de los flujos dentro de la cárcava. Una vez controlados los flujos, se debe proceder a revegetalizar el fondo y taludes de la cárcava y estabilizar geotécnicamente los escarpes.

- ❖ **Canalización de la corriente:** los caudales pueden controlarse utilizando canales revestidos o tuberías para pasar por dentro o por fuera de la cárcava.

- ❖ **Construcción de estructuras de disipación de energía:** este sistema consiste en la construcción de vertederos o muros internos para la disminución de la pendiente del fondo de la cárcava. Una vez estabilizada la corriente se puede proceder a revegetalizar para lograr un efecto integral. La pendiente definitiva después de la construcción de las obras debe permitir la revegetación.

- ❖ **Revestimiento del fondo de la cárcava:** el fondo de la cárcava puede revestirse utilizando productos especiales, sintéticos, gaviones, adoquines de concreto, etc., en forma similar a como se revisten las riberas de los ríos. Para el diseño de revestimientos se debe analizar las características de velocidad y turbulencia de las corrientes de agua dentro de la cárcava.

En todos los casos se debe colocar un filtro o geotextil como protección debajo de los revestimientos.

Es muy difícil estabilizar cárcavas solamente con vegetación, debido a la intensidad y turbulencia de las corrientes de agua; sin embargo en el caso de cárcavas de pequeña pendiente (menos de 5%) y de gran ancho (más de 7 metros) es posible que una estabilización con vegetación pueda ser eficiente, siempre y cuando los caudales máximos de agua no sean demasiado grandes. El establecimiento de la vegetación inicialmente es muy difícil por la presencia de corrientes de agua pero si estas se logran manejar, podría establecerse la cobertura vegetal.

❖ Estructuras para almacenamiento de agua aguas arriba de la cárcava: en ocasiones se han estabilizado cárcavas construyendo estructuras de almacenamiento de agua, aguas arriba de la cárcava con el objeto de disminuir los caudales pico. Estas estructuras son comúnmente represas cuyo objetivo es demorar la escorrentía y luego liberarla poco a poco.

Debe tenerse en cuenta que si llegare a fallar el sistema se podría producir un caudal mayor que el pico de diseño, causando problemas graves de erosión.

### **3.2.10 Disipadores de energía**

#### 3.2.10.1 Torrenteras

Consisten en un muro que conforma una serie de gradas o caídas intermedias, como muestra la figura 3.14. Estas estructuras disipan energía en cada grada disminuyendo la velocidad en el pie. El proceso de disipación de energía es complejo y difícil de analizar. En caudales bajos ocurre disipación de energía en cada grada por impacto de jet y al aumentar el caudal se forman vórtices horizontales en cada grada, generándose un flujo espumoso (skimming flow). (Figura 3.15).

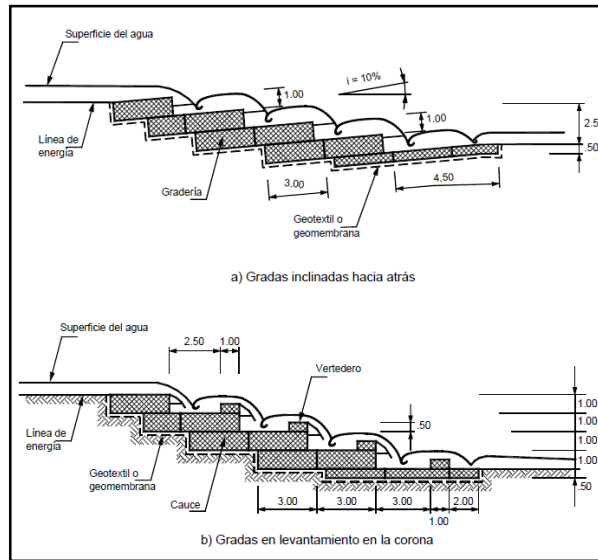


Figura 3.14 Torrenteras (Suárez, 2001).

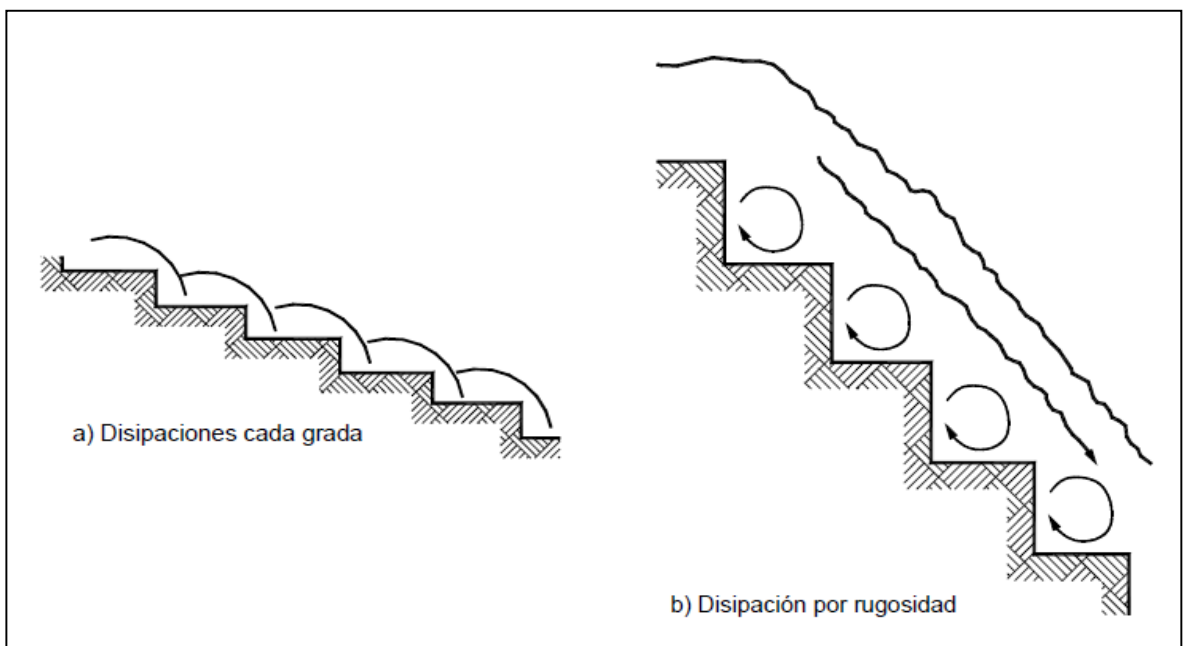


Figura 3.15 Disipación de energía en torrenteras (Suárez, 2001).

Este tipo de estructura solo debe usarse para escalones pequeños en corrientes de bajo caudal. Las estructuras en gradas no es recomendable construirlas en cauces que arrastren cantos de roca, debido a que con frecuencia ocurre la destrucción de las gradas por acción del golpe de los cantos sobre los bordes.

Se han realizado algunas investigaciones para un diseño adecuado a las consideraciones hidráulicas pero su aplicabilidad se circunscribe a caudales pequeños. En la práctica la geometría de las graderías y los caudales de diseño altos impiden que se pueda determinar la energía disipada en cada grada y en consecuencia no se puede determinar la remanente al final de la gradería. El objetivo de las últimas investigaciones tiende a considerar las graderías como zonas de gran pendiente y rugosidad. El coeficiente de rugosidad obtenido es alto y varía de acuerdo al caudal y al número de gradas. Cuando no existen modelos ni un sistema aproximado de diseño confiable es prudente el considerarlas como un vertedero vertical y diseñar un pozo de aquietamiento, o un sistema de disipación de energía, suponiendo que no hubo disipación en las gradas. En todos los casos debe estudiarse la presencia de cantos en los materiales transportados por la corriente que pueden destruir a golpes las gradas. En ese caso se deben construir trampas para cantos y revestir con hormigón armado las gradas o diseñar una estructura vertical.

#### 3.2.10.2 Tanque amortiguador

Según la Federal Highway Administration de los Estados Unidos, (2006), son disipadores de energía externa colocada a la salida de una alcantarilla o un canal. Estos disipadores se caracterizan por una combinación de bloques en la caída (chute blocks) del tanque amortiguador, bloques intermedios (baffle blocks) y una pendiente con inclinación contraria al flujo del agua en la salida (sill), diseñados para provocar un resalto hidráulico en combinación con una condición necesaria aguas abajo (canal receptor). (Figura 3.16).

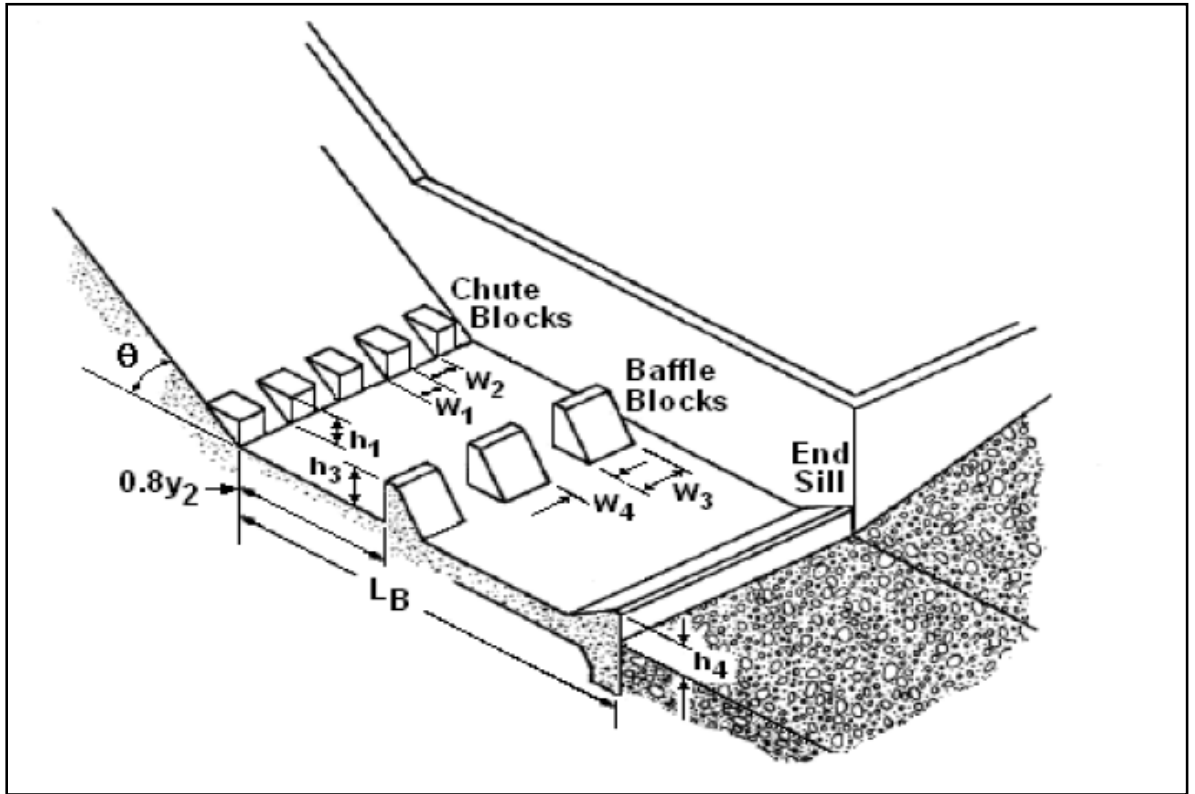


Figura 3.16 Tanque amortiguador (Federal Highway Administration, 2006).

Dependiendo del diseño, los tanques amortiguadores operan en un rango de números de Froude comprendido entre 1,7 y 17 que se resumen en la tabla 3.1. Entre los diferentes tipos de tanques amortiguadores existentes se tienen: USBR tipo III y USBR tipo IV (desarrollados por el United States Bureau of Reclamation basados en estudios de modelos y evaluación de cuencas existentes) y el SAF (el Saint Anthony Falls, basado en estudios de modelos realizados por el Servicio de Conservación de Suelos en el Laboratorio de Hidráulica de Saint Anthony Falls de la Universidad de Minnesota).

Tabla 3.1 Rangos de número de Froude aplicados a cada tipo de tanque amortiguador (Federal Highway Administration, 2006).

<b>Stilling Basin</b>	<b>Número de Froude Mínimo</b>	<b>Número de Froude Máximo</b>
USBR Tipo III	4.5	17
USBR Tipo IV	2.5	4.5
SAF	1.7	17

❖ Procedimiento de diseño de los tanques amortiguadores: el procedimiento de diseño para todos estos tanques se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Determinar la velocidad y la profundidad a la salida de alcantarilla, ya que la profundidad al borde de la alcantarilla ( $y_o$ ), la velocidad ( $V_o$ ) y el número de Froude ( $Fr_o$ ) son datos importantes para el diseño. Si el flujo es subcrítico, utilizar figura la 3.17 o la figura 3.18. Si el flujo es supercrítico, utilizar la profundidad normal en la alcantarilla ( $Y_o$ ).

2. Determinar la velocidad y la profundidad en el canal de recepción de aguas abajo del tanque amortiguador ( $y_n$ ). La profundidad normal puede ser determinada utilizando la ecuación de Manning o cualquier otra técnica apropiada.

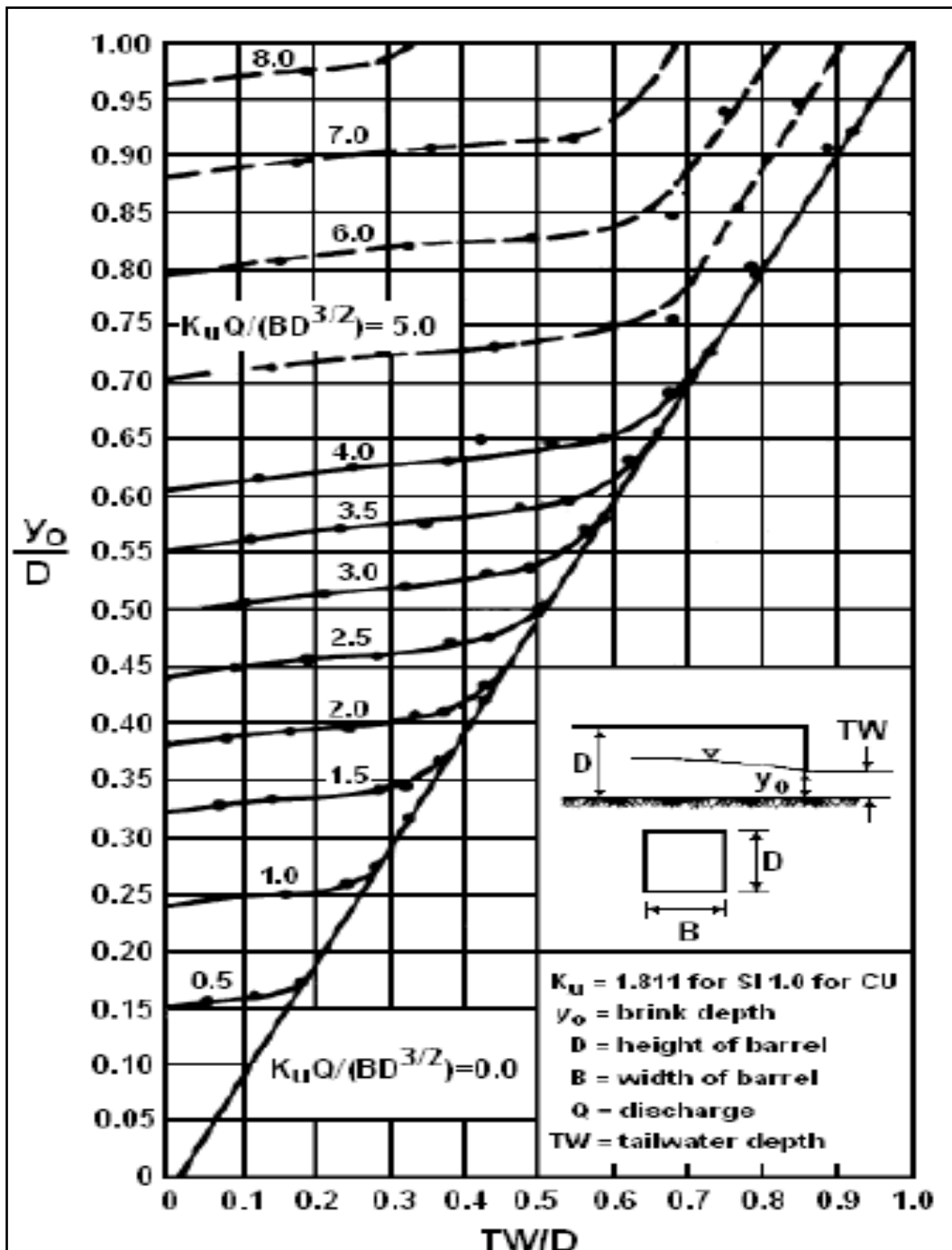


Figura 3.17 Curvas adimensionales para la salida de alcantarillas rectangulares en pendientes horizontales y suaves (Federal Highway Administration, 2006).

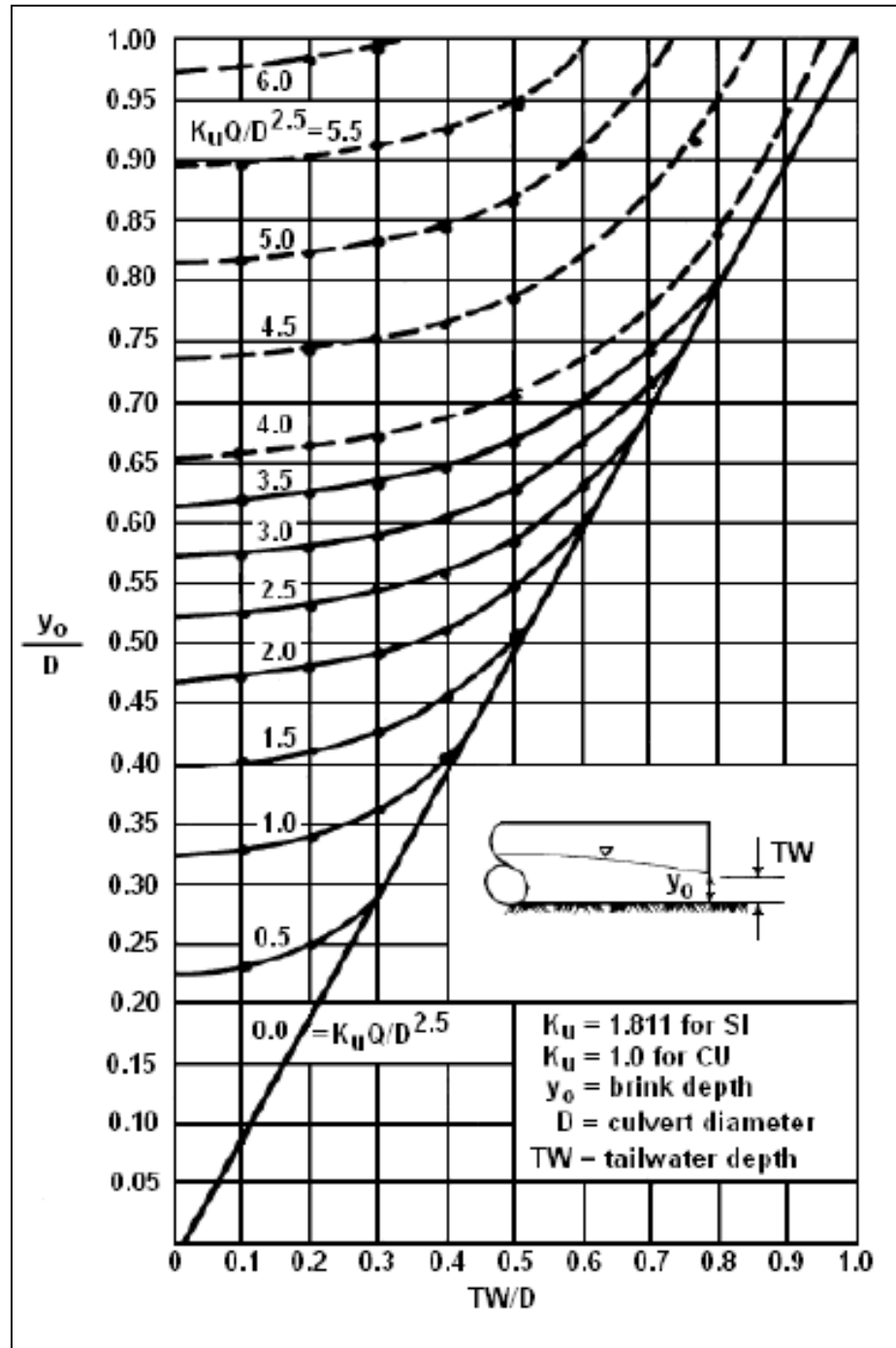


Figura 3.18 Curvas adimensionales para la salida de alcantarillas circulares en pendientes horizontales y suaves (Federal Highway Administration, 2006).



3. Estimar la profundidad conjugada para las condiciones de salida de la alcantarilla, utilizando la ecuación 3.1, para determinar si es necesario un tanque amortiguador. Sustituir  $y_o$  y  $Fr_o$  para  $y_1$  y  $Fr_1$ , respectivamente. El valor de  $C$  depende, en parte, del tipo de tanque amortiguador que se diseñe. Sin embargo, en este paso, para la aparición de un resalto hidráulico libre sin un tanque amortiguador se considera un valor de  $C$  igual a 1,0. Comparar  $y_2$  y  $y_n$ . Si  $y_2 < y_n$ , un resalto hidráulico se formará sin la presencia de pozo disipador, por lo tanto, los pasos restantes son innecesarios.

$$y_2 = \frac{C \cdot y_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot Fr_1^2} - 1 \right) \quad (3.1)$$

Donde,

Profundidad conjugada (m).

2

Profundidad próxima al resalto hidráulico (m).

1

Proporción de agua en la descarga para la profundidad conjugada (igual a 1).

Número de Froude.

$r_1$

4. Si el paso 3 indica que es necesario un tanque amortiguador ( $y_2 > y_n$ ), se debe hacer una estimación de: la altura o cota del fondo del tanque amortiguador ( $z_1$ ), el ancho del tanque amortiguador ( $W_B$ ), y los taludes ( $S_T$  y  $S_S$ ). Una pendiente de 0,5 (0.5V: 1H) o 0,33 (0.33V: 1H) es satisfactoria para ambas  $S_T$  y  $S_S$ . Confirmar que el  $W_B$  está dentro de límites aceptables, utilizando la ecuación 3.2. Determinar las

condiciones de velocidad y profundidad en la entrada del tanque amortiguador y calcular el número de Froude.

$$W_B \leq W_o + \frac{2 \cdot L_T \sqrt{S_T^2 + 1}}{3 \cdot Fr_o} \quad (3.2)$$

Donde,

Ancho del tanque amortiguador (m).

B

Ancho de la alcantarilla.

o

Largo de la transición de la salida de la alcantarilla al tanque amortiguador (m).

T

Pendiente de la transición (m/m).

T

Número de Froude en la salida de la alcantarilla.

Fr<sub>o</sub>

5. Calcular la profundidad conjugada para las condiciones hidráulicas de entrada del tanque amortiguador utilizando la ecuación 3.1 y determinar la longitud del tanque y la altura o cota de la salida. La longitud del tanque amortiguador y la altura de la salida se calculan utilizando las ecuaciones 3.3, 3.4, y 3.5, así como la figura 3.19. Se debe comprobar que existe suficiente agua en la descarga para forzar el resalto hidráulico. Si el agua en la descarga es insuficiente volver al paso 4. Si existe un exceso de agua en la descarga, se puede ir al paso 6 o volver al paso 4 y probar un tanque amortiguador menos profundo (y más pequeño).

$$L_T = \frac{z_o - z_1}{S_T} \quad (3.3)$$

$$L_S = \frac{L_T(S_T - S_o) - L_B \cdot S_o}{S_S + S_o} \quad (3.4)$$

$$z_3 = L_S \cdot S_S + z_1 \quad (3.5)$$

Donde:

$L_T$  Largo de la transición de la salida de la alcantarilla hasta el fondo del tanque amortiguador (m).

$L_S$  Largo del tanque amortiguador desde el fondo hasta la salida del mismo (m).

$L_B$  Largo del tanque amortiguador en su zona horizontal (m).

$S_T$  Pendiente de la transición en la entrada del tanque amortiguador (m/m).

$S_S$  Pendiente a la salida del tanque amortiguador (m/m).

$S_o$  Pendiente longitudinal de la alcantarilla (m/m).

$z_o$  Cota en la entrada de tanque amortiguador (m).

$z_1$  Cota en la salida de la alcantarilla (m).

$z_3$  Cota de salida del tanque amortiguador (m).

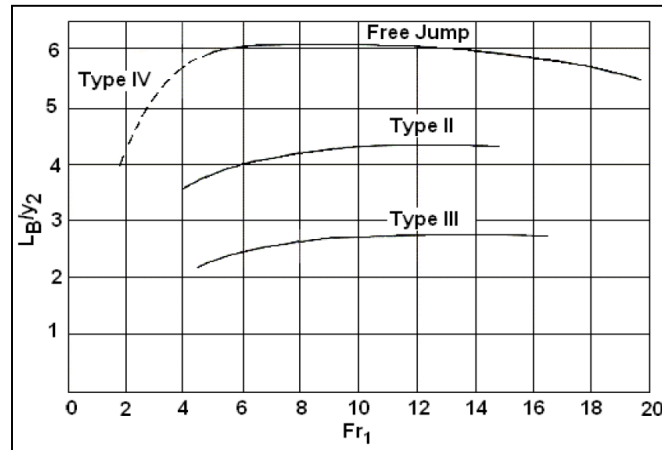


Figura 3.19 Largo del tanque amortiguador en su zona horizontal. (Federal Highway Administration, 2006).

6. Determinar el radio de curvatura necesaria para que los cambios se introduzcan en la pendiente del tanque amortiguador utilizando la ecuación 3.6.

$$r = \frac{y}{\frac{1.5}{e^{Fr^2} - 1}} \quad (3.6)$$

Donde,

Radio de curvatura de transición (m).

Profundidad cercana a la curvatura (m).

Número de Froude.

r

De esta manera, se obtiene un tanque amortiguador con las dimensiones esquematizadas en la figura 3.20.

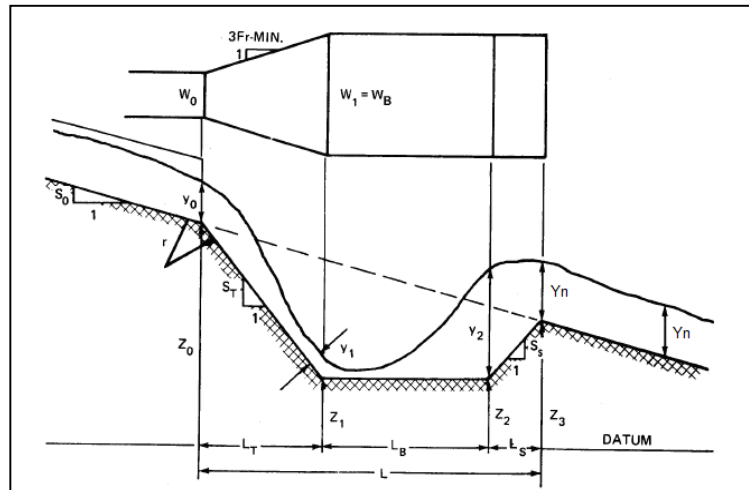


Figura 3.20 Dimensiones del tanque amortiguador. (Federal Highway Administration, 2006).

### 3.2.10.3 Disipador de enrocado

Es uno de los sistemas más útiles y económicos, siempre y cuando sea fácil la obtención de las rocas. Según Bolinaga, (1979), estos consisten en un lecho de rocas sueltas de diámetro variable dependiente de la velocidad y tirante, a la salida de la obra de drenaje; cuyo fin primordial es permitir que el agua alcance la velocidad y profundidad características del cauce natural antes de ser devueltas a éste, impidiendo de esta manera la socavación del mismo.

Para el proyecto de disipadores de enrocado, no existen reglas establecidas cuya eficiencia haya sido ampliamente comprobada, sin embargo, varias instituciones a nivel mundial han desarrollado algunos métodos de diseño entre los cuales se encuentra el propuesto por la Universidad del Estado de Colorado para el Departamento de Carreteras del Estado de Wyoming en Estados Unidos de Norteamérica. Este método se basa en una serie de mediciones hechas en la universidad mencionada en alcantarillas y cajones de concreto, a partir de las cuales

se elaboraron curvas de proyecto, a fin de que no se produzca socavación a la salida de los conductos de drenaje.

❖ Características hidráulicas de los disipadores de enrocado: para el proyecto hidráulico de los disipadores de enrocado, se supone como conocidos los siguientes datos, según la figura 3.21: gasto de proyecto ( $Q$ ) para el disipador de enrocado; profundidad en el extremo aguas abajo de la alcantarilla ( $y_A$ ); profundidad en el canal de drenaje ( $y_S$ ). A partir de estos datos, mediante el uso del gráfico de la figura 3.23 y las relaciones geométricas indicadas, se calcula la profundidad del socavón ( $h_S$ ), la longitud del socavón ( $L_S$ ) y el ancho del mismo ( $B_S$ ), los cuales están relacionados con las características del material  $d_{50}$ . (Figuras 3.21 y 3.22).

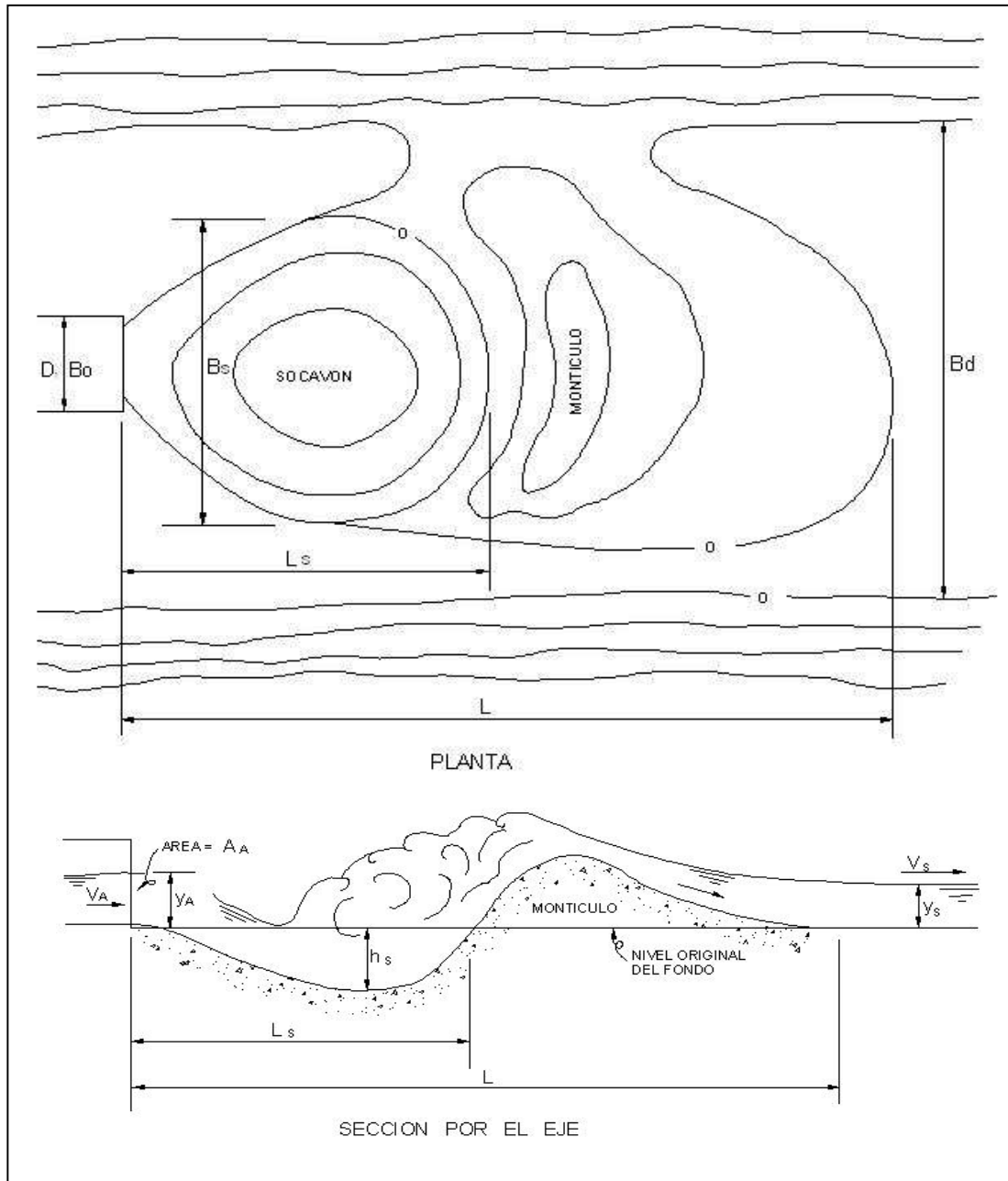


Figura 3.21 Parámetros para el proyecto de disipadores de enrocado (Bolinaga, 1979).

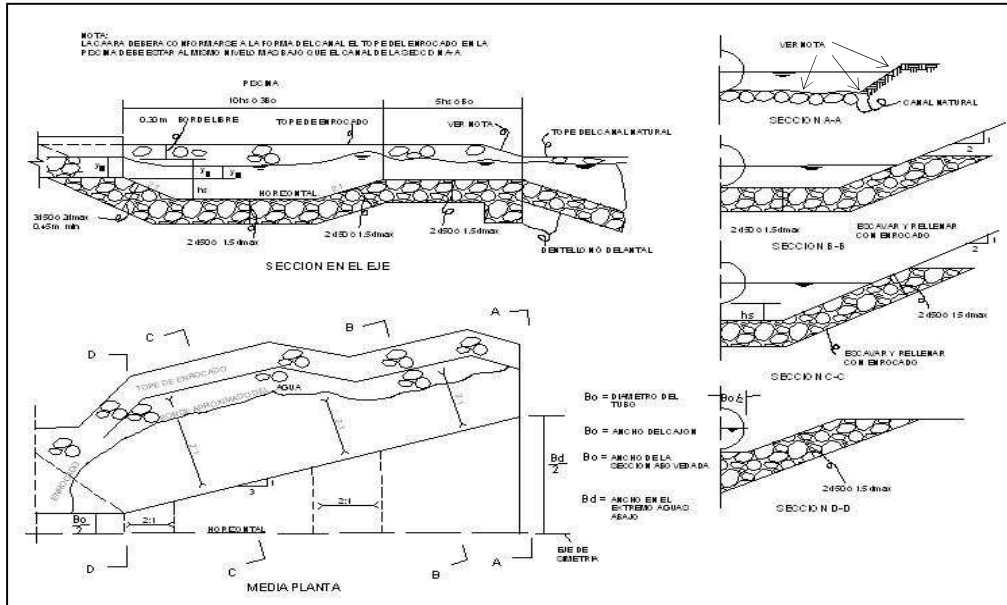


Figura 3.22 Dimensiones del dissipador de enrocado (Bolinaga, 1979).

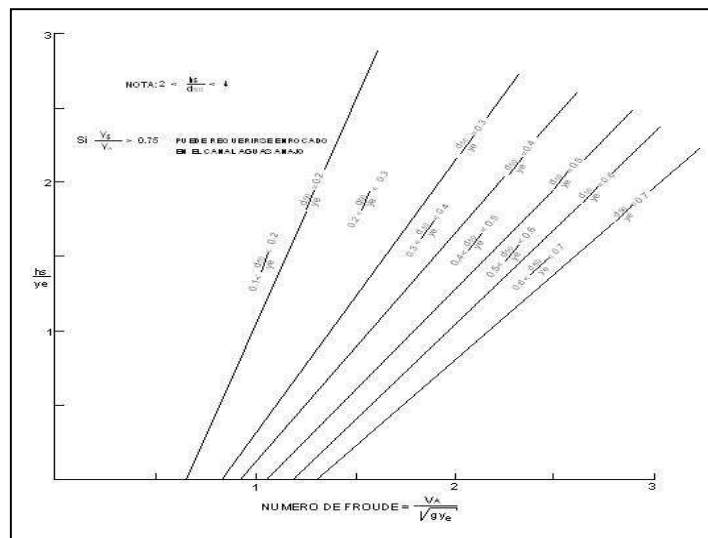


Figura 3.23 Profundidad relativa de socavación como función del número de Froude en la descarga para distintos tamaños relativos de roca (Bolinaga, 1979).



Algunas de las recomendaciones que pueden ayudar al proyecto y mantenimiento de los disipadores de enrocado son:

1. Las dimensiones de socavón en una cámara construida con rocas angulosas, son aproximadamente iguales a las de una cámara construida con rocas redondeadas, cuando el tamaño de la roca y otras variables son similares.

2. Cuando la relación entre el nivel aguas abajo y la profundidad en la descarga de la alcantarilla  $y_s/y_A$  sea menor de 0.75; y la relación entre la profundidad del socavón y el diámetro del material  $h_s/d_{50}$  sea mayor que 2; el hueco del socavón disipará eficientemente la energía.

3. El montículo de enrocado que se forma aguas abajo del socavón contribuye a la disipación de la energía y reduce el tamaño de aquél; por tanto, en cámaras disipadoras, ya estabilizadas después de algunas crecidas, no debe removerse el montículo formado aguas abajo.

4. Para disipadores en los cuales la relación  $y_s/y_A$  sea mayor que 0.75, el chorro pasará directamente a través de la cámara, produciendo un socavón más llano y mucho más largo por lo que puede requerirse una protección adicional a lo largo de un trecho de canal. (Figura 3.24).

5. La cámara debe recubrirse con un enrocado cuyo espesor tiene que ser igual a  $2d_{50}$  ó a  $1,5d_{\max}$  (el mayor de los dos), como lo indica la figura 3.22, donde  $d_{\max}$  es el máximo tamaño de roca en el enrocado y  $d_{50}$  el de 50% pasante. El mínimo tamaño de rocas a usar en zonas pobladas de fácil acceso es de 30 cm.

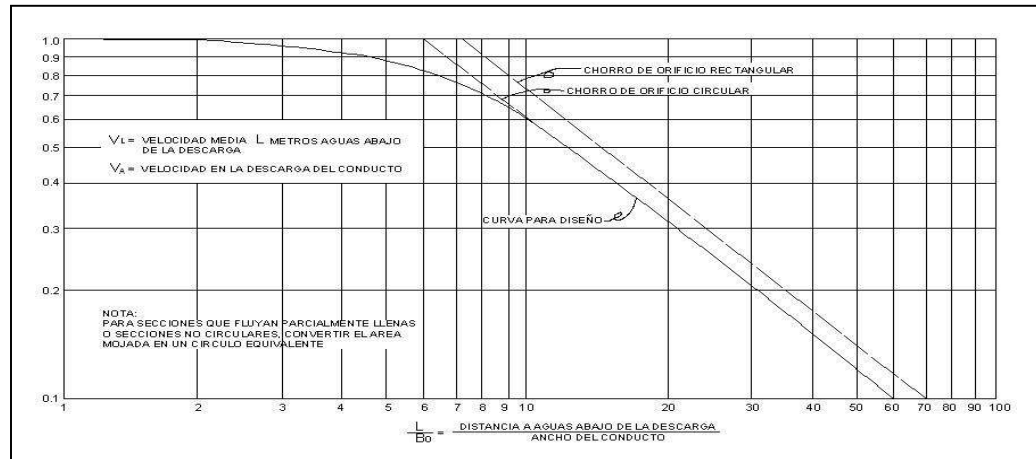


Figura 3.24 Distribución de velocidades en el eje de un chorro sumergido aguas debajo de una alcantarilla (Bolinaga, 1979).

6. La superficie del fondo de la cámara debe construirse a una distancia  $h_s$  por debajo del fondo de la alcantarilla o canal. La relación  $h_s/d_{50}$  debe ser mayor que 2 y menor que 4.

7. La longitud de la piscina de la cámara disipadora es de  $10h_s$  ó  $3B_0$  (el mayor de los dos). La longitud total del disipador debe ser de  $15h_s$  ó  $4B_0$  (el mayor de los dos).  $B_0$  corresponde al ancho del canal que desemboca en el disipador de enrocado. (Figura 3.22).

8. El ancho en el extremo aguas abajo  $B_d$  viene dado por la ecuación 3.7 y de acuerdo a la figura 3.22.

$$B_d = B_0 + \frac{2}{3} \cdot L \quad (3.7)$$

Donde:

Ancho en el extremo aguas abajo (m).

d

Ancho de la alcantarilla o canal que descarga en el dissipador de enrocado (m).

o

Longitud total de la cámara dissipadora (m).

Según las recomendaciones anteriores, los pasos de diseño a seguir son los siguientes:

1. Calcular las condiciones del flujo en el canal de descarga y su profundidad  $y_s$ , bien sea la normal o la que impongan las condiciones aguas abajo.

2. Calcular las propiedades del flujo en la salida de la alcantarilla, conducto, o entrada al dissipador, estableciendo una profundidad tal en la salida que  $y_s/y_A$  menor o igual a 0.75 para el gasto del proyecto.

3. Partiendo de las condiciones geológicas y de los suelos del sitio, determinar si se requiere o no una protección del enrocado.

4. Si se requiere protección de enrocado, calcular el número de Froude  $F_A$ , según la ecuación 3.8, en la entrada del dissipador.

$$F_A = \frac{V_A}{\sqrt{g \cdot y_e}} \quad (3.8)$$

Donde:

Número de Froude en la entrada del dissipador.

A

Velocidad del agua en la entrada del dissipador (m/s).

A

Aceleración de gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

profundidad hidráulica (m).

e

La profundidad hidráulica  $y_e$  corresponde a la relación entre el área de la sección A y su ancho superficial, de acuerdo a la ecuación 3.9, para secciones no rectangulares. Para secciones rectangulares la profundidad equivalente  $y_e$  es igual a la profundidad normal  $y_n$ .

$$y_e = \frac{A}{T} \quad (3.9)$$

Donde:

Profundidad equivalente (m).

e

Es el área que ocupa el flujo en la sección de salida (m<sup>2</sup>).

Ancho superficial (m).

5. Se selecciona el tamaño del material apropiado para la roca posible de obtener en la zona y se determina la correspondiente relación  $d_{50}/y_e$ . Los mejores resultados se obtienen para la relación  $1/4 < d_{50}/y_e < 1/2$ .

6. Obtener la relación  $h_s/y_e$  de la figura 3.23 y verificar que se satisfaga la condición de que  $2 \leq h_s / d_{50} \leq 4$ .

7. Repetir los cálculos indicados en el punto 5, si los valores de  $h_s/d_{50}$  caen fuera del rango establecido.

8. Establecer las dimensiones de la cámara según lo indicado en la figura 3.22.

9. Si las características del canal aguas abajo obligasen a que la velocidad a la salida de la cámara no supere un valor especificado  $V_s$ , la cámara se podrá extender hasta que su ancho en el extremo aguas abajo  $B_d$  sea tal que se cumpla la ecuación 3.10.

$$B_d \cdot y_s = \frac{Q}{V_s} \quad (3.10)$$

Donde:

Ancho en el extremo aguas abajo (m).

d

Tirante de agua en el extremo aguas abajo (m).

s

Caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

Velocidad en el extremo aguas abajo (m/s).

s

10. Si en el canal en la descarga existiese la posibilidad de profundidades tales que  $y_s/y_A < 0.75$ , se hace necesario revestir el canal con algún tipo de protección.

### 3.3 Definición de términos básicos

**Acuífero:** estrato o formación geológica que almacena y transmite agua. Permite la circulación de agua a través de sus poros o grietas.

**Afloramiento:** lugar donde se asoma a la superficie terrestre un filón, masa rocosa o capa mineral consolidados en el subsuelo.

**Agua de escorrentía:** fracción de la precipitación que no se infiltra y discurre libremente sobre la superficie del terreno hasta alcanzar los cursos de agua superficiales.

**Canal:** cauce artificial por donde se conduce el agua para darle salida o para diversos usos.

**Cárcava:** hoyo o zanja grande que suelen hacer en la tierra las avenidas impetuosas del agua.

**Caudal:** cantidad de agua que mana o corre en cada unidad de tiempo.

**Geotecnia:** es la aplicación de las ciencias de la tierra a la solución de los problemas de ingeniería civil.

**Hidrología:** ciencia que estudia las aguas continentales y subterráneas, sus propiedades, distribución y utilización.

**Infiltración:** penetración del agua superficial a través de las capas permeables hasta encontrar en la profundidad un nivel impermeable, por encima del cual

constituye una capa acuífera que queda inmóvil o circular en forma de corrientes subterráneas.

**Levantamiento topográfico:** es el conjunto de operaciones que se necesita realizar para poder confeccionar una correcta representación gráfica planimétrica, o plano, de una extensión cualquiera de terreno, sin dejar de considerar las diferencias de cotas o desniveles que presente dicha extensión.

**Pendiente:** inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal.

**Quebrada:** hondonada profunda de paredes abruptas, excavada por las aguas en el transcurso del tiempo o por acción tectónica, por cuyo fondo corre un riachuelo o arroyo al menos durante una parte del año.

**Riveras:** curso pequeño de agua. El lecho por donde corre el agua.

**Rugosidad hidráulica:** es función del material con que están construidos las paredes de los canales y tuberías.

**Sedimentación:** es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

**Sedimentos:** es un material sólido, acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, en la hidrósfera y en la biósfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas,

desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

**Socavación:** excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica.

**Suelos residuales:** suelos cuyo material originario resulta de la meteorización in situ de lechos rocosos, duros o blandos.

**Talud:** inclinación del paramento de un muro o del terreno.



## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Nivel de la investigación**

Para poder plantear un sistema disipador de energía, para controlar la erosión producida por la descarga de una alcantarilla será necesario conocer las características naturales a las que éste se verá sometido, por lo que se recolectará información en el campo para su posterior análisis e interpretación. Por esta razón este estudio se basa en una investigación de tipo descriptiva, ya que, según Lerma, (2003): “la investigación descriptiva tiene por objeto describir el estado, las características, factores y procedimientos presentes en fenómenos y hechos que ocurren en forma natural, sin explicar las relaciones que se identifiquen” (p. 54). Y también como lo refiere Hernández, (2003): “la investigación descriptiva busca especificar las propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (p. 267).

#### **4.2 Diseño de la investigación**

De acuerdo con la manera de enfocar el problema, las estrategias o métodos aplicados en el mismo para la consecución de los objetivos, se puede afirmar que el diseño de la investigación es de campo y no experimental, debido a que consistirá en la recolección de datos directamente del sitio donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna. Como lo expresa Hernández, (2003): “una investigación no experimental es un estudio que se realiza sin manipular deliberadamente variables y en que sólo se observan los fenómenos tales y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos” (p. 267).

### **4.3 Población y muestra**

La población o universo a estudiar, se concibe como el espacio de donde se extraerá la muestra que se va a utilizar en la investigación. En este sentido, Balestrini, (2006), expresa que: “una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación” (p. 158). Mientras que la muestra puede ser definida como un subgrupo de elementos de la población.

Para el estudio en consideración, la población o universo y la muestra están representadas por la cárcava en estudio, ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.

### **4.4 Técnicas de recolección de datos**

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, (2006): “un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información” (p.143). En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación descriptiva - no experimental, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

#### **4.4.1 Observación directa**

Tamayo, (2006), define observación directa como: “...aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” (p. 99).

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a: patrones de drenaje, presencia de vegetación, condiciones estructurales de la alcantarilla e identificación de riesgos para la comunidad del área de estudio; así como también se identificarán los lugares más idóneos para la toma de muestras para la realización de los ensayos de suelos requeridos y las zonas relevantes a tomar en cuenta para la caracterización topográfica.

#### **4.4.2 Revisión literaria**

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo, (2006): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado” (p. 325).

#### **4.4.3 Entrevistas no estructuradas**

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio.

Tal como lo expresa Sabino, (2006): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas” (p. 145).

Éstas serán realizadas a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles e ingenieros geólogos de la Universidad de Oriente (UDO) y al personal que

labora en INVIOBRAS, lugar donde se nos proporcionó información acerca de la situación del lugar de estudio.

#### **4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de los datos**

Los datos obtenidos deben ser procesados luego de haber obtenido toda la información requerida. Para esto se deberán aplicar una serie de técnicas en pro del ordenamiento, comprensión y utilización de esos datos, orientadas hacia la obtención de una propuesta adecuada, tal como lo expresa Sabino, (2006):

...finalizadas las tareas de recolección el investigador quedará en posesión de un cierto número de datos, a partir de los cuales será posible sacar las conclusiones generales que apunten a esclarecer el problema formulado en los inicios de la investigación. Pero esa masa de datos por sí sola, no nos dirá nada, no nos permitirá obtener ninguna síntesis de valor si, previamente, no ejercemos sobre ella una serie de actividades tendientes a organizarla, a poner en orden todo su conjunto. Estas acciones son las que integran el procesamiento de datos... (p.179)

Por lo tanto, se hará una revisión detallada de la información existente y obtenida acerca de la situación actual de la cárcava en estudio, atendiendo en especial a su coherencia, confiabilidad y validez, a fin de establecer un plan de trabajo que permita procesar la información para su análisis e interpretación.

##### **4.5.1 Análisis cualitativo de los datos**

La información recopilada se organizará para ser resumida e interpretada a fin de verificar su veracidad e importancia para el desarrollo de la investigación, lo que permitirá eliminar divergencias o contradicciones en la información manejada, presentando un estudio confiable. Sabino, (2006), establece sobre el procesamiento de

los datos cualitativos que: "...el análisis se efectúa cotejando los datos que se refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la fiabilidad de cada información..." (p.199).

#### 4.5.1.1 Identificación de los factores involucrados en la formación de cárcavas.

La información obtenida de documentos, informes de la región emitidos por INVIOBRAS y la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G), trabajos de grado de la Universidad de Oriente (U.D.O) y libros disponibles, será analizada y comparada con la situación observada en la cárcava en estudio, a fin de identificar los factores que influyen en la formación de cárcavas en general y exponerlos de manera detallada.

#### 4.5.1.2 Determinación de los riesgos que corre la comunidad adyacente.

En esta etapa, a través de los datos obtenidos en la observación directa acerca de la situación actual del área de estudio, mediante la revisión literaria en relación a los riesgos que presenta la construcción de obras civiles y el asentamiento de comunidades en zonas adyacentes a cárcavas y a través de los testimonios de la comunidad de Mi Campito, se determinarán los riesgos a los cuales está sometida dicha comunidad, con el propósito de dar las recomendaciones y las soluciones más idóneas para prevenirlos o aminorarlos.

### **4.5.2 Análisis cuantitativo de los datos**

Sabino, (2006), establece que:

el análisis de los datos cuantitativos se efectúa, con toda la información numérica resultante de la investigación. Ésta, luego del procedimiento sufrido, se

presentará como un conjunto de tablas, cuadros y medida, a las cuales habrá que pasar en limpio, calculando sus porcentajes y otorgándoles forma definitiva...” (p.197).

El análisis cuantitativo comprende el cálculo del caudal de agua pluvial en la alcantarilla que descarga en la cárcava de Mi Campito, a través de la caracterización hidrológica. Además, se clasificará el tipo de suelo presente a través de los estudios de suelos y se definirán los patrones de drenaje del área de estudio a través de una caracterización topográfica. Datos con los cuales se planteará el sistema de control de erosión más adecuado en la descarga de la alcantarilla.

#### 4.5.2.1 Caracterización de la zona desde el punto de vista topográfico, geotécnico e hidrológico.

Esta etapa se llevará a cabo en 3 fases, que son las siguientes:

❖ Caracterización topográfica: a fin de conocer el comportamiento del agua en el terreno o patrones de drenaje en la zona de estudio, se realizará el perfil longitudinal de la cárcava y los perfiles transversales de la misma, en las secciones más críticas, a través de un levantamiento planialtimétrico por radiación con un teodolito Wild T1, una mira graduada, una brújula azimutal y cinta métrica, partiendo de un punto de estación de cota conocida y un punto de referencia cuya ubicación se determinará mediante la brújula y la cinta métrica.

Encerando el teodolito en el punto de referencia se visarán los puntos deseados correspondientes a los perfiles requeridos tabulando sus ángulos vertical y horizontal y su distancia inclinada (determinada por taquimetría) en la minuta de campo correspondiente a la tabla A.1, donde se expresarán de igual forma las distancias horizontales, los desniveles y las cotas de dichos puntos.

Las distancias horizontales serán obtenidas multiplicando las distancias inclinadas obtenidas en campo por el seno cuadrado de los ángulos verticales tabulados, tal como lo expresa la ecuación 4.1.

$$DH = D_i \cdot \text{Sen}^2 V \quad (4.1)$$

Donde:

D            Distancia horizontal (m).  
H  
D            Distancia inclinada (m).  
i  
S            Seno al cuadrado del ángulo vertical.  
en<sup>2</sup>V

A fin determinar los desniveles existentes entre el punto de estación y los puntos visados, se multiplicará la distancia inclinada de la estación al punto por el coseno del ángulo vertical obtenido en campo, según la ecuación 4.2.

$$DN = D_i \cdot \text{Cos} V \quad (4.2)$$

Donde:

                  Desnivel (m).  
N  
                  Distancia inclinada (m).  
i  
C            Coseno del ángulo vertical.

os V

Finalmente se calcularán las cotas o alturas de los puntos mediante la suma algebraica entre la cota el punto de estación y los desniveles obtenidos, como lo indica la ecuación 4.3

$$C = C_{\text{est}} + DN \quad (4.3)$$

Donde :

Cota del punto (m).

Cota de punto de estación del teodolito (m).

est

Desnivel (m).

N

Partiendo de los datos obtenidos, se realizará el plano de ubicación de los puntos para su representación planimétrica, utilizando los ángulos horizontales y las distancias horizontales calculadas. A partir del plano de ubicación y conjuntamente con las cotas de los puntos, se elaborarán los perfiles transversales y el perfil longitudinal, para la representación altimétrica de dichos puntos.

❖ Caracterización geotécnica: a fin de determinar las características físico-mecánicas del suelo mediante ensayos de laboratorio, se realizará el muestreo tomando en cuenta, principalmente, la variación en la coloración. Se excavará con la ayuda de picos y palas, extrayendo de manera manual la cantidad de material necesario, y se colocará posteriormente en sacos sellados y debidamente identificados.



Los ensayos de suelos serán realizados en el laboratorio de suelos de la Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar y serán los siguientes:

*Análisis granulométrico – método mecánico:* el análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una muestra de suelo dada.

Para realizar este ensayo se utilizará una balanza electrónica con una apreciación de 0.1 g, bandejas de aluminio para el pesaje de las muestras, mortero, martillo con punta de goma y un juego de tamices con las siguientes aberturas mostradas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Aberturas del juego de tamices utilizado en el análisis granulométrico.

<b>N° de Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>N° de Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>
4	4.75	120	0.125
10	2	200	0.075
40	0.425	PAN	_____
60	0.250	_____	_____

El procedimiento a seguir será el siguiente: se tomará una muestra representativa (entre 300 g y 500 g) del suelo secado en plancha, la cual se pulverizará en el mortero con el martillo de punta de goma. Dicha muestra pulverizada, se pasará por el tamiz N° 200 y luego se lavará la misma en dicho tamiz para descartar la fracción más fina. El lavado se realizará en las muestras que presentan gran cantidad de finos, en las muestras más gruesas sólo se realizará el tamizado. Una vez lavada la muestra se deja secar en plancha para luego ser

pulverizada y pesada. Se determinará el peso de cada uno de los tamices y se apilarán uno sobre otro, siguiendo el orden de la tabla anterior.

Hecho esto, se colocará la muestra en los tamices y se realizará un tamizado a mano por un tiempo de 10 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se obtendrán los pesos del material más cada tamiz y por consiguiente el peso de muestra retenida en cada tamiz. Dichos datos serán anotados en la hoja de cálculo de análisis granulométrico por tamizado para luego ser sometidos a los cálculos correspondientes (porcentaje de suelo en cada tamiz y porcentaje pasante en cada tamiz), a fin de obtener la curva granulométrica del suelo.

Los pesos retenidos se sumarán y se compararán con el peso total inicial de la muestra, para detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico. Si se tiene una pérdida mayor del 2% con respecto al peso original se considera que el experimento no es satisfactorio y debe repetirse.

Se calculará el porcentaje de suelo en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original, según la ecuación 4.4.

$$\%_{\text{ret}} = \left( \frac{P_{\text{ret}}}{P_{\text{muestra}}} \right) \cdot 100 \quad (4.4)$$

Donde:

- (  $P_{\text{ret}}$  ) Porcentaje de suelo retenido en el tamiz.
- ret
- ]  $P_{\text{muestra}}$  Peso retenido de la muestra en el tamiz (g).
- ret

P                    Peso total de la muestra inicial (g).  
muestra

Luego se determinará el porcentaje que pasa (o porcentaje más fino) comenzando por el 100% y se sustrae el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.

En general el porcentaje que pasa se calcula como lo expresa la ecuación 4.5.

$$\%_{\text{pasa}} = \%_{\text{llega}} - \%_{\text{ret.acum}} \quad (4.5)$$

Donde:

%                    Porcentaje de suelo que pasa por el tamiz.  
pasa

%                    Porcentaje de suelo que llega al tamiz.  
llega

%ret.                Porcentaje retenido acumulado hasta el tamiz.  
acum

Finalmente se construirá la gráfica semilogarítmica, porcentaje más fino contra tamaño o diámetro de las partículas. Dichos resultados serán reflejados en la hoja de cálculo de análisis granulométrico por tamizado. Es importante señalar que si más del 12% del material pasa a través del tamiz No. 200 es necesario realizar un análisis de hidrómetro para completar la forma de la curva.

*Análisis granulométrico – método del hidrómetro:* es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas

partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm.

Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de porcentaje de material más fino contra el diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido, o sea mayor que el tamiz N° 200.

El principal objetivo del análisis de hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino de 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica, cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200, no es utilizada como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

Para realizar el ensayo se utilizará: un hidrómetro 152-H, un termómetro de apreciación 1 °C (grado centígrado) y cilindros graduados de capacidad 1000 mL (mililitros).

Se deben tomar 50 g de muestra de suelo secado al horno y pulverizado que se mezclarán con 125 mL de solución al 4% de  $\text{NaPO}_3$  (metafosfato de sodio) y dejar asentar dicha mezcla entre 10 a 16 horas, para después batirla en una máquina batidora de refrescos por un lapso de 3 a 5 minutos y transferir el contenido en un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad, añadiendo agua desmineralizada hasta completar la marca de los 1000 mL y homogeneizar la mezcla.

Debe prepararse, paralelamente, un cilindro patrón con agua desmineralizada donde se mantendrán el hidrómetro y el termómetro.

Luego se pondrá el cilindro sobre la mesa e inmediatamente se introducirá el hidrómetro para tomar lecturas a los 1, 2, 4, 8 minutos. Luego se retirará el hidrómetro, se colocara en el cilindro de control, y se introducirá el termómetro para tomar la temperatura.

Dicho procedimiento se repetirá en los intervalos de tiempo de 15, 30, 60, 120, 240... hasta completar las 96 horas. Los datos serán anotados en la hoja de cálculo correspondiente al ensayo de hidrómetro.

Para obtener la curva granulométrica de hidrómetro porcentaje más fino versus diámetro de las partículas, estos datos recopilados deberán someterse a una serie de cálculos. Dichos cálculos están basados en determinar: la lectura corregida del hidrómetro, el porcentaje más fino, la lectura corregida por menisco, la velocidad de caída y el diámetro de las partículas.

La lectura corregida del hidrómetro se obtiene mediante la suma algebraica de la lectura real del hidrómetro, la corrección cero y la corrección por temperatura, como lo indica la ecuación 4.6.

$$R_C = R_a - C_{\text{cero}} - C_T \quad (4.6)$$

Donde:

Lectura corregida del hidrómetro.

c

Lectura real del hidrómetro.

a

Corrección cero.

T  
C Corrección por temperatura.  
cero

La lectura real del hidrómetro es la lectura que se obtendrá durante la realización del ensayo; la corrección cero se refiere a la corrección por la presencia del defloculante o agente dispersante (metafosfato de sodio) y se obtiene introduciendo el hidrómetro en una solución de agua desmineralizada con defloculante, correspondiendo, la lectura arrojada por éste, a la corrección cero.

La corrección por temperatura se toma de la tabla de factores de corrección por temperatura  $C_T$ . (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Factores de corrección por temperatura  $C_T$  (Bowles, 1981).

Te mp. (°C)	C T	Te mp. (°C)	C T	Te mp. (° C)	C T	Te mp. (°C)	C T
15	- 1.10	19	- 0.30	23	+0 .70	27	+2 .00
16	- 0.90	20	0. 00	24	+1 .00	28	+2 .50
17	- 0.70	21	+0 .20	25	+1 .30	29	+3 .05
18	- 0.50	22	+0 .40	26	+1 .65	30	+3 .80

Para determinar el porcentaje más fino, el producto entre la lectura corregida del hidrómetro y el factor de corrección para el peso unitario de sólidos se divide entre el peso total de la muestra de suelos utilizada para el ensayo, multiplicando ese resultado por 100, de acuerdo a la ecuación 4.7.

$$\% \text{ Más Fino} = \left( \frac{R_c \cdot a}{W_s} \right) \cdot 100 \quad (4.7)$$

Donde:

%	Porcentaje más fino.
Más Fino	Lectura corregida del hidrómetro.
c	Factor de corrección para el peso unitario de sólidos.
s	Peso total de la muestra utilizada para el ensayo (g).

El factor de corrección “a” viene dado por la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Factor de corrección  $a$  para el peso unitario de sólidos (Bowles, 1981).

<b>Peso Unitario de los Sólidos del Suelo (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>Factor de Corrección <math>a</math></b>
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

La lectura corregida por menisco se refiere a la suma algebraica entre la lectura del hidrómetro (tomada durante el ensayo) y la corrección por menisco, la cual se obtiene introduciendo el hidrómetro en 1000 mL de agua desmineralizada y tomando la lectura correspondiente. (Ecuación 4.8).

$$R = R_a + C_M \quad (4.8)$$

Donde:

Lectura corregida por menisco.

Lectura real del hidrómetro.

$a$

Corrección por menisco.



M

En cuanto a la determinación de la velocidad de caída de las partículas, simplemente se divide la profundidad efectiva, que se obtiene de la tabla 4.4, entre el tiempo transcurrido, como lo especifica la ecuación 4.9.

$$V = \frac{L}{t} \quad (4.9)$$

Donde:

Velocidad de caída de las partículas (cm/min).

Profundidad efectiva (cm).

Tiempo transcurrido (min).

Finalmente, para calcular el diámetro de las partículas se multiplica el factor K de la tabla 4.5 por la raíz cuadrada de la velocidad de caída. (Ecuación 4.10).

$$D = K \cdot \sqrt{V} \quad (4.10)$$

Donde:

D = Diámetro de las partículas (mm).

K = Coeficiente de la tabla 4.5 para diferentes combinaciones de pesos unitarios y temperaturas.

V = Velocidad de caída (cm/min).

Tabla 4.4 Valores de L (profundidad efectiva) para usar en la fórmula de Stokes en la determinación del diámetro de partículas con el hidrómetro ASTM 152H. (Bowles, 1981).

<b>Lectura Original del Hidrómetro o (corregida por menisco)</b>	<b>Profundidad Efectiva L (cm)</b>	<b>Lectura Original del Hidrómetro o (corregida por menisco)</b>	<b>Profundidad Efectiva L (cm)</b>	<b>Lectura Original del Hidrómetro o (corregida por menisco)</b>	<b>Profundidad Efectiva L (cm)</b>
0	16.3	21	12.9	42	9.4
1	16.1	22	12.7	43	9.2
2	16.0	23	12.5	44	9.1
3	15.8	24	12.4	45	8.9
4	15.6	25	12.2	46	8.8
5	15.5	26	12.0	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.2	28	11.7	49	8.3
8	15.0	29	11.5	50	8.1
9	14.8	30	11.4	51	7.9
10	14.7	31	11.2	52	7.8
11	14.5	32	11.1	53	7.6
12	14.3	33	10.9	54	7.4
13	14.2	34	10.7	55	7.3
14	14.0	35	10.5	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	7.0

16	13.7	37	10.2	58	6.8
17	13.5	38	10.1	59	6.6
18	13.3	39	9.9	60	6.5
19	13.2	40	9.7		
20	13.0	41	9.6		

Tabla 4.5 Valores de K para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas.  
(Bowles, 1981).

Temp. (°C)	Peso Unitario de los Sólidos del Suelo (g/cm <sup>3</sup> )							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

*Ensayo de gravedad específica:* la gravedad específica de un suelo sin ninguna clasificación se toma como el valor promedio para los granos del suelo y puede

definirse como el peso unitario del material en cuestión por el peso unitario del agua destilada a 4 °C.

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también para el ensayo de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo. Ocasionalmente la gravedad específica puede utilizarse en la clasificación de los minerales del suelo.

Para la realización de este ensayo debe hacerse, primeramente, la calibración del picnómetro a utilizar durante el mismo. Dicha calibración consiste en obtener un gráfica peso contra temperatura, calentando agua desmineralizada en el picnómetro en cuestión.

Luego de calibrado el picnómetro, se siguió el siguiente procedimiento para obtener la gravedad específica de cada muestra de suelos:

1. Tomar aproximadamente 100 g se suelo (si se trabaja con un picnómetro de 500 mililitros de capacidad) seco, pulverizado en un mortero con su mazo.
2. Colocar la muestra de suelo en el picnómetro y agregar agua hasta que se mezcle bien con el suelo y completar hasta la línea de aforo.
3. Calentar el picnómetro con la mezcla en baño maría para sacar todo el aire a la muestra. Una vez hecho esto, se deja enfriar el matraz con la mezcla a temperatura ambiente.
4. Enfriado el picnómetro, se toma la temperatura exacta y se toma con la balanza el peso del picnómetro más el agua más el suelo.

5. Por último, se vierte el contenido del picnómetro en una bandeja de aluminio y se seca al horno hasta que el suelo quedó completamente seco y se pesa en la balanza.

Con la temperatura tomada se entra en la curva de calibración del picnómetro para obtener el peso del picnómetro más agua a capacidad total y con todos esos datos se calcula la gravedad específica del suelo a la temperatura ambiente la cual viene dada por el peso del suelo secado al horno entre la resta del peso del suelo secado al horno menos la diferencia del peso del picnómetro más agua más suelo y el peso del picnómetro más agua a capacidad total. (Ecuación 4.11).

$$G_{\text{Samb}} = \frac{W_o}{W_o - (W_1 - W_2)} \quad (4.11)$$

Donde:

$G_s$  ambiente = Gravedad específica a temperatura ambiente.

$W_o$  = Peso del suelo secado al horno (g).

$W_1$  = Peso del picnómetro + agua + suelo (g).

$W_2$  = Peso del picnómetro + agua a capacidad total (g).

Teniendo la gravedad específica a temperatura ambiente se determina la gravedad específica del suelo, dada para 20 °C.

La cual se obtiene multiplicando la gravedad específica a temperatura ambiente por un factor de corrección de viscosidad de agua a 20 °C obtenido de la tabla 4.6. (Ecuación 4.12).

$$G_{S20^\circ\text{C}} = G_{\text{Samb}} \cdot \gamma \quad (4.12)$$

Donde:

$G_s$  20°C = Gravedad específica del suelo (g/cm<sup>3</sup>).

$G_s$  ambiente = Gravedad específica a temperatura ambiente.

$\gamma$  = Factor de corrección de viscosidad del agua (g/cm<sup>3</sup>).

Tabla 4.6 Valores típicos del factor de corrección de viscosidad del agua. (Bowles, 1981)

Temperatura (°C)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )
16	0.99897
18	0.99862
20	0.99823
22	0.99780
24	0.99732
26	0.99681

*Ensayo de límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico):* los límites líquido y plástico son sólo dos de los cinco “límites” propuestos por A. Atterberg, un científico sueco dedicado a la agricultura. El límite líquido es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico; a este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su

comportamiento al de un fluido viscoso. Por su lado, el límite plástico es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material no plástico. Estos dos límites son ampliamente utilizados en el mundo, principalmente con objetivos de identificación y clasificación de suelos.

Los materiales y equipos a utilizar para la obtención del límite líquido son: mortero con su mazo, bandeja de aluminio, tamiz N° 40, equipo Casagrande eléctrico, balanza, ranurador, espátula, agua desmineralizada, recipientes pequeños de arcilla (taras). El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Pulverizar, en un mortero con su mazo, una cantidad suficiente de suelo seco y hacerla pasar por el tamiz N° 40.

2. Humedecer la muestra con agua desmineralizada.

3. Colocar una cantidad de muestra húmeda en la cazuela de bronce del equipo casagrande hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, bien centrada en la cazuela con respecto al pasador. A continuación, se debe emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula y mediante el uso del ranurador, cortar una ranura clara, recta y que separe completamente la masa de suelo en dos partes.

4. Iniciar el conteo de golpes hasta el punto en que se unan las dos partes de suelo, antes divididas. Se anota el número de golpes y se toma una muestra de suelo correspondiente al lugar donde se cerró la abertura, se coloca en un recipiente pequeño de arcilla (previamente pesado) y se pesa en la balanza. Se anota el peso de la tara más el suelo.

5. Los pasos anteriores deben repetirse con diferentes humedades del suelo, a fin de obtener tres muestras con un conteo de golpes menor de 25 golpes y tres muestras con un conteo superior a 25 golpes, a fin de obtener la cantidad de puntos necesarios para realizar la gráfica porcentaje de humedad versus número de golpes.

6. Una vez obtenidas las muestras necesarias, se secan al horno durante 24 horas y se toma con la balanza el peso de la tara más el suelo seco.

7. Se anotan los datos en la hoja de cálculo de ensayos de suelo correspondiente a límite líquido para su posterior procesamiento y obtención del valor del límite líquido.

A fin obtener el porcentaje de humedad de cada muestra con un número de golpes determinado se aplica la ecuación 4.13 en donde el porcentaje de humedad viene dado por el peso del agua entre el peso seco de la muestra de suelo y multiplicado ese resultado por 100.

$$\% W = \left( \frac{W_{\text{agua}}}{W_{\text{suelo seco}}} \right) \cdot 100 \quad (4.13)$$

Donde:

$\% W$  = Porcentaje de humedad.

$W_{\text{agua}}$  = Peso del agua (g).

$W_{\text{suelo seco}}$  = Peso del suelo seco (g).



Con los porcentajes de humedad y el número de golpes de cada muestra se realiza la gráfica humedad versus número de golpes, a fin de determinar la humedad del suelo a los 25 golpes, la cual representa el límite líquido del suelo.

Por otro lado, para determinar el límite plástico del suelo, de la muestra de suelo húmeda restante del límite líquido, se toma una porción para enrollar el suelo con la mano extendida sobre un pedazo de papel colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro de diámetro uniforme. Cuando el diámetro del cilindro de suelo llegue a 3 milímetros (mm) y éste presente muestras de desmoronamiento se coloca en un recipiente de humedad (previamente pesado) hasta completar dos recipientes de 10 gramos de cilindros de suelo aproximadamente. Se toma el peso del recipiente más el suelo húmedo con la balanza. Se deja secar al horno por 24 horas y se pesa el suelo seco más el recipiente.

Teniendo estos datos se calcula el porcentaje de humedad de cada muestra según la ecuación 4.13 y se promedian esas humedades a fin de obtener el límite plástico del suelo.

*Ensayo de clasificación de suelos:* existen varios métodos para la clasificación de los suelos, entre los más usados se encuentran el conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. En general todos los métodos de clasificación de los suelos utilizan los límites de Atterberg con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo.

Básicamente el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos considera que un suelo es una Grava (G) si más del 50% de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz No. 4; es una arena (S) si más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz

No. 4; o que es un limo (M) o arcilla (C) si más del 50% de la fracción fina pasa por el tamiz No. 200.

Este sistema de clasificación de los suelos se presenta en la tabla 4.7, en donde se establecen todos los parámetros considerados que permiten clasificar el suelo por medio de un proceso de eliminación. Una vez realizado el ensayo granulométrico, se establece si el suelo es una grava, arena, o un suelo fino (limo, arcilla u orgánico).

A continuación, es necesario obtener la subdivisión del grupo, para ello se obtiene de la gráfica de distribución granulométrica, el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de concavidad. (Ecuaciones 4.14 y 4.15).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

(4.14)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

(4.15)

Donde:

Coeficiente de uniformidad.

u

Coeficiente de concavidad.

c

Diámetro donde se encuentra retenido el 10% del material (mm).

10

	Diámetro donde se encuentra retenido el 30% del material (mm).
30	
	Diámetro donde se encuentra retenido el 60% del material (mm).
60	

Estos dos coeficientes permiten, en el caso de las gravas y arenas, conocer si se trata de un suelo bien gradado o pobremente gradado. En el caso de las fracciones finas lo primero que se debe considerar es el límite líquido y el índice de plasticidad, parámetros que son necesarios para utilizar el gráfico de plasticidad elaborado por Casagrande, que se observa en la figura 4.1, y que permitirán la identificación de la muestra de suelo, acompañando siempre el símbolo de clasificación con la descripción respectiva. (Tabla 4.7).

Tabla 4.7 Sistema unificado de clasificación de suelos. (Bowles, 1981)

Divisiones Principales		Símbolo	Nombres Típicos	Identificación de Campo (excluyendo partículas mayores de 7 cm basando las fracciones en peso o estima)	Identificación de Laboratorio	
Suelo de grano grueso, más de la mitad del material retenido en el tamiz  Arenas. Más de la mitad de Grava. Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en el tamiz N°4  la fracción gruesa es pasa en el tamiz	Gravas limpias (poco)	GW	Gravas bien gradadas, mezcla de grava y arena, poco o sin finos.	Amplia escala en el tamaño de las partículas y cantidades sustanciales de los tamaños intermedios.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$	
		GP	Grava mal gradada, mezcla de grava y arena, pocos o sin finos.	Principalmente un tamaño o serie de tamaños, con falta de intermedios.		
		Gravas con finos (apreciables)	GM	Gravas limosas, mezcla grava-arena-limo	Finos no plásticos o de plasticidad reducida.	Límites de Atterberg debajo de la línea "A" O $IP < 4$  Límites de Atterberg encima de la línea "A" O $IP > 7$
			GC	Gravas arcillosas, mezcla grava-arena-arcilla	Finos Plásticos	
	Arenas con finos (apreciables)	SW	SW	Arenas bien gradadas, arenas con grava, pocos o sin finos.	Amplia escala en el tamaño de las partículas y cantidades sustanciales de los tamaños intermedios.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$
						Encima de la Línea "A" con $IP$ entre 4 y 7 son casos que requieren doble símbolo.
Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica, según el porcentaje de finos (fracción menor al tamiz N° 200), los suelos de grano grueso se clasifican: menos del 5%: GW, GP, SW. SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC; 5 al 12%: casos						

Arenas con finos (apreciables)

			SP	Arenas mal gradadas, arenas con grava, pocos o sin finos	Principalmente un tamaño o serie de tamaños, con falta de intermedios.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW	
			SM	Arenas limosas, mezcla de arena y limo	Finos no plásticos o de plasticidad reducida.		Límites de Atterberg debajo de la línea "A" O IP < 4	Encima de la Línea "A" con IP entre 4 y 7 son casos que requieren doble símbolo.
			SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos		Límites de Atterberg encima de la línea "A" O IP > 7	

Continuación tabla 4.7.

Divisiones Principales	Símbolos del Grupo	Nombres Típicos	Identificación de Campo			Identificación de Laboratorio
			Resistencia en Estado Seco (características al rompimiento)	Dilatancia (reacción al agitado)	Tenacidad (consistencia del límite plástico)	
Suelos finos. Más de la mitad del material pasa el	Limos y arcillas.	ML	Limo inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos y arcillosos con poca plasticidad	Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras	Media a alta	Nula a muy lenta	Media
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Ligera a Media	Lenta	Ligera
	Limos y arcillas.	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	Alta a muy alta	Nula	Alta
		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos inorgánicos de	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media

Utilizar la carta de Plasticidad de

			media plasticidad				
Suelos Altamente Orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa				

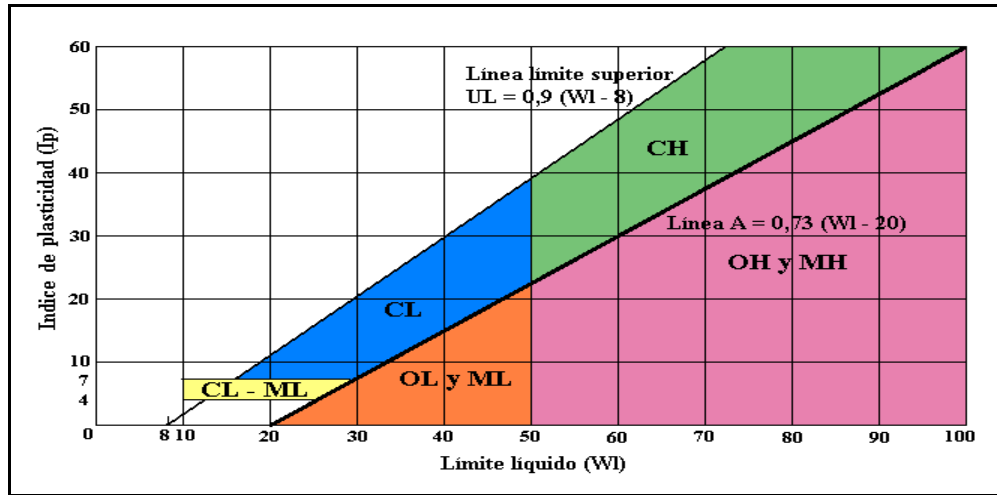


Figura 4.1 Gráfico de plasticidad de Casagrande utilizado en el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (Bowles, 1981).

*Ensayo de corte directo:* este ensayo induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. El equipo utilizado para este ensayo incluye la máquina de corte directo, martillo para compactar, bandeja de aluminio, vernier, taras para determinación de la humedad, balanza de 20 Kg con apreciación de 1 gr. El procedimiento a utilizar es para suelos no cohesivos por tratarse de arenas. Se pesa una bandeja con una cantidad de suelo húmedo suficiente para realizar el ensayo y se determina el contenido de humedad de la muestra.

Se ensambla cuidadosamente la caja de corte y se fija la caja en posición, luego se obtiene la sección transversal A de la muestra. Se coloca cuidadosamente el suelo en la caja de corte hasta cerca de 5 mm del borde de la superficie del anillo y se coloca el pistón de carga (incluyendo la piedra porosa) sobre la superficie del suelo.

A continuación se pesa el recipiente con el suelo para determinar el peso exacto del material utilizado, se obtiene a continuación una referencia del espesor de la



muestra de suelo marcando en varios puntos del borde del pistón o bloque de carga alrededor del perímetro con respecto a la altura de la caja de corte.

Se aplica la carga normal  $P_v$  deseada y se coloca el dial para determinar el desplazamiento vertical (incluyendo el peso del pistón de carga y la mitad superior de la caja de corte como parte del peso  $P_v$ )

Se separan dos partes de la caja de corte desplazando los tornillos espaciadores que se encuentran en la parte superior de la caja. A continuación, se fija el bloque de carga apretando los tornillos de fijación provistos para tal propósito a los lados de la parte superior de la caja de corte, inmediatamente después de separar los tornillos espaciadores de manera que se libere la parte inferior de la caja, la carga normal, la mitad de la caja de corte y el bloque o pistón de carga se encontrarán actuando sobre la muestra de suelo.

Se ajusta el deformímetro de carátula para medir el desplazamiento en cortante, luego se comienza la carga horizontal (cortante) y se toman las lecturas del deformímetro de desplazamiento cortante cada 10 unidades de desplazamiento horizontal hasta que la muestra “falle”.

Sin retirar la muestra de suelo de la caja de corte, se duplica la carga horizontal y nuevamente se toman las lecturas correspondientes.

Se procede a calcular el esfuerzo normal nominal, mediante la ecuación 4.16.

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A}$$

(4.16)

Donde:

Esfuerzo normal nominal ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

n

Carga total normal incluido el peso del bloque de carga y la mitad

v superior de la caja de corte (Kg).

Área de la sección transversal de la muestra de suelo en la caja de corte ( $\text{cm}^2$ ).

Se dibuja la curva de desplazamiento horizontal contra el esfuerzo cortante para obtener el mayor valor de la fuerza cortante última. A continuación, se dibuja el valor del esfuerzo cortante contra el esfuerzo normal nominal para el ensayo (utilizando la misma escala para ambos ejes), se traza una línea recta sobre los puntos dibujados y se obtiene el intercepto de cohesión (si existía) con el eje ordenado y se mide la pendiente de la línea para obtener el ángulo de fricción interna (ángulo de fricción existente entre las partículas o granos del suelo).

❖ Caracterización hidrológica: se iniciará con el estudio del plano en digital de la zona Ciudad Bolívar – Soledad, a fin de delimitar la cuenca que comprende el área de estudio con las divisorias de agua, para la posterior determinación y cálculo del área que abarca dicha cuenca con la ayuda del programa Autocad. En base a esto se determinará la longitud máxima del recorrido y el desnivel total de la cuenca, para obtener así el tiempo de concentración en minutos, utilizando el nomograma de la California Culverst Practice de la figura 4.2. Posteriormente se procederá a determinar la descarga de diseño o el volumen de agua que llegará al punto de descarga de la alcantarilla en un determinado instante.

#### 4.5.2.2 Cálculo del gasto en la descarga de agua pluvial.

Este cálculo se realizará siguiendo el conocido método racional, el cual es ampliamente utilizado y supone que si en un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegará un momento en que la cantidad de agua que cae equivaldrá a la que sale del área, siempre y cuando ésta sea impermeable.

De acuerdo a lo propuesto por el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas, (1967), este método puede ser utilizado para las obras de drenaje de cuencas menores de 500 has. Aplicándose mediante la fórmula 4.17.

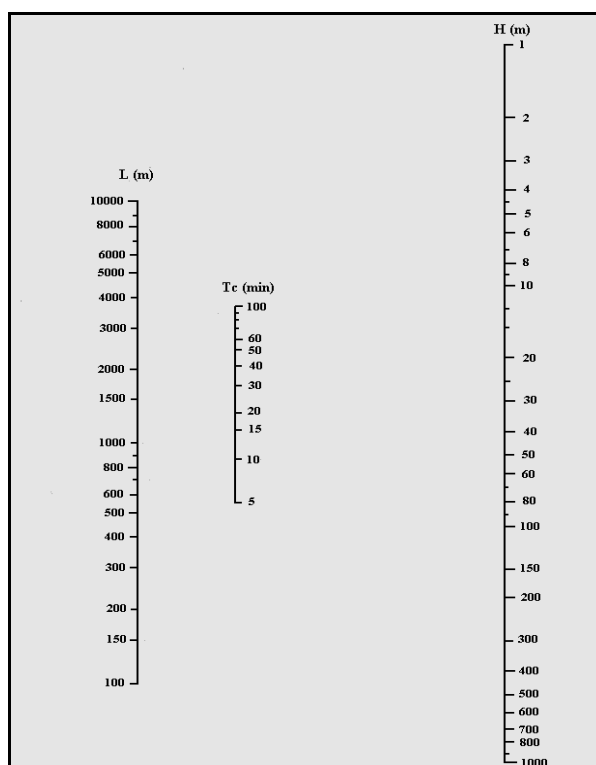


Figura 4.2 Nomograma de la California Culvert Practice (Guntermann, 2000).

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (4.17)$$

Donde:

Gasto o caudal de diseño en (Lts/seg), (LPS).

Coefficiente de escorrentía.

Intensidad de lluvia, cuya duración es igual al tiempo de concentración (lts/seg/Ha), (LPS/Ha).

Área de la cuenca (Ha).

El área de la cuenca se obtendrá mediante el procedimiento explicado anteriormente. El coeficiente de escorrentía; el cual es el indicador en porcentaje de la capacidad que tiene una cuenca hidrográfica de producir escurrimiento superficial y es definido según el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.), (1967), como la relación entre el gasto máximo y la precipitación y los factores que intervienen en su determinación están dados principalmente por la permeabilidad del suelo, por la cobertura vegetal, la topografía del terreno y por el grado de saturación del suelo; será determinado mediante el uso de la tabla 4.8 extraída de las normas para proyectos de alcantarillado del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (I.N.O.S), (1975).

Teniéndose también los coeficientes de escorrentía, adaptados a los usos de tierras comunes en Venezuela (tipo de zonificación), de acuerdo a planes que se elaboran en cada tipo de superficie. Por otra parte, la intensidad de la lluvia que se encuentra registrada por el Servicio de Meteorología de la F.A.V para cada región del país, será determinada a través las diferentes curvas existentes de intensidad, duración y frecuencia para cada región de acuerdo a los valores de cada estación. (Figura 4.3).

Tabla 4.8 Coeficientes de escorrentía según normas para proyectos de alcantarillado (I.N.O.S, 1975).

<b>Coeficientes de Escorrentía</b>			
<b>Respecto al Tipo de Superficie</b>		<b>Respecto a la Clasificación de la Zona</b>	
Pavimento de concreto	0.70 a 0.95	Comercial, en el centro del la localidad	0.70 a 0.95
Pavimento asfáltico	0.70 a 0.95	Comercial, en otra ubicación	0.50 a 0.70
Pavimento de ladrillos	0.70 a 0.85	Residencial, unifamiliar	0.30 a 0.50
Tejados y azoteas	0.75 a 0.95	Residencial multifamiliar, separadas	0.40 a 0.60
Patios pavimentados	0.85	Residencial multifamiliar, agrupadas	0.60 a 0.75
Caminos de grava	0.30	Residencial suburbanas	0.25 a 0.40
Jardines y zonas verdes	0.30	Zona industrial	0.50 a 0.80
Praderas	0.20	Parques y cementerios	0.10 a 0.25
-----	-----	Parques de juegos	0.20 a 0.35

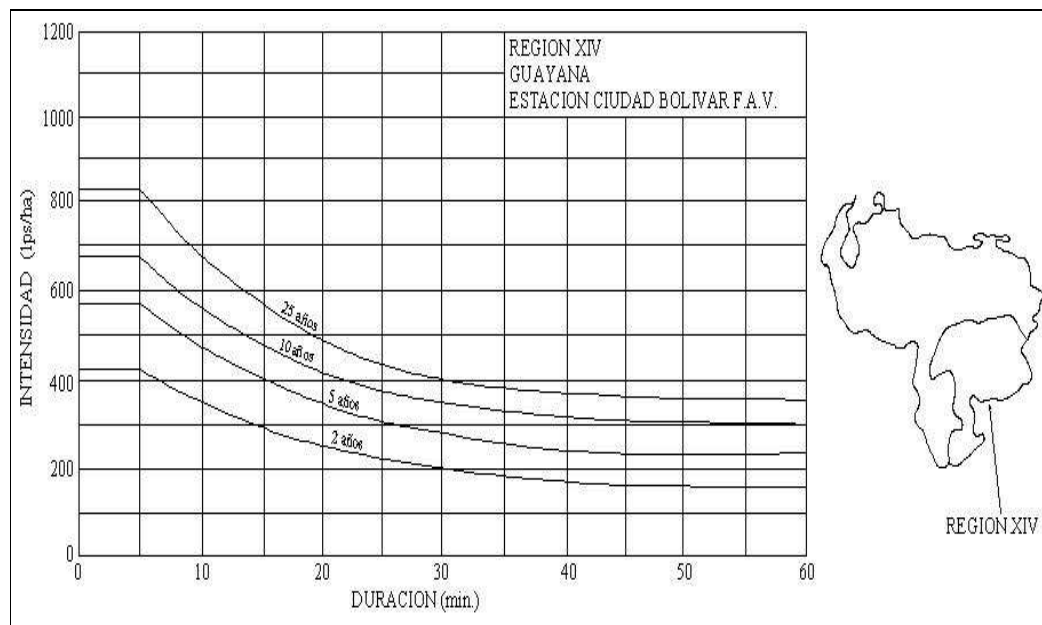


Figura 4.3 Precipitaciones, región Guayana, estación Ciudad Bolívar. Curvas intensidad- duración- frecuencia. (Carciente, 1980).

#### 4.5.2.3 Propuesta de un sistema de descarga adecuado para prevenir la erosión

La propuesta estará basada en los resultados obtenidos mediante la aplicación de las técnicas de recolección, análisis e interpretación de los datos que serán aplicadas. Atendiendo a los factores que influyen en la formación de cárcavas en general, los riesgos para la comunidad presentes en la zona y los resultados de los estudios topográfico (en cuanto a patrones de drenaje), geotécnico (comportamiento de los suelos) e hidrológico (caudal de diseño).

Todos estos resultados serán estudiados y analizados a fin de poder proponer la solución más adecuada, eficaz y eficiente a la problemática presentada, teniendo en cuenta las diferentes técnicas de control de erosión existentes.

### 4.6 Flujograma del proceso de la investigación y su descripción

La investigación se realizará en cuatro fases que conducirán a la elaboración final del trabajo de grado. Estas etapas se explican en la figura 4.1.

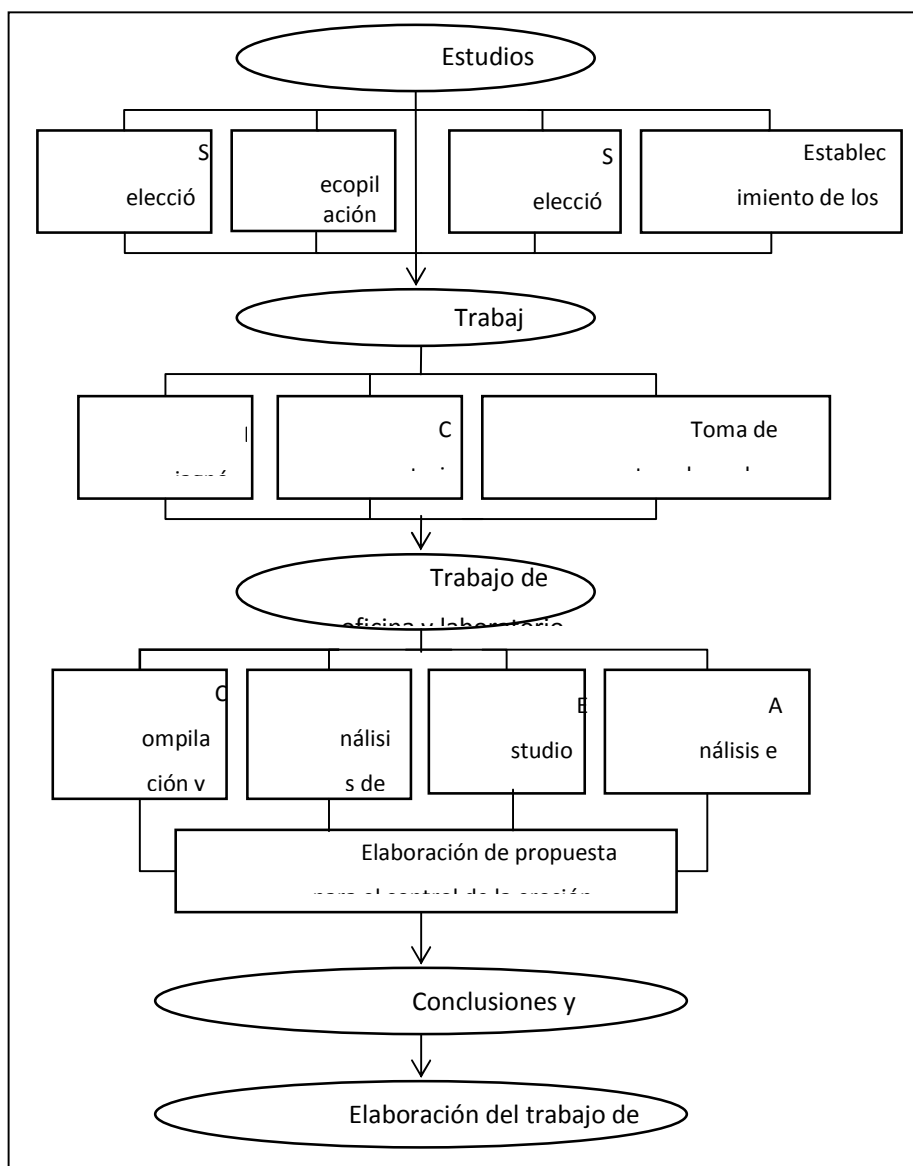


Figura 4.4 Flujograma del proceso de la investigación

#### **4.6.1 Descripción del flujograma del proceso de la investigación**

##### 4.6.1.1 Fase I – estudios preliminares.

Durante esta etapa se estudian las múltiples problemáticas que afectan a la ciudad a nivel de infraestructura, lo que conlleva a la selección del tema, a cerca del cual se recopila la información necesaria para delimitar su alcance y establecer los objetivos tanto generales como específicos. Partiendo de estos objetivos se elabora el plan de trabajo para garantizar el desarrollo de las metas en los plazos fijados y se determina la metodología de trabajo a desarrollar.

##### 4.6.1.2 Fase II – trabajo de campo.

Esta etapa de la investigación consistirá en la búsqueda de los datos necesarios en campo. Se realizarán visitas a la zona de estudio a fin de hacer el diagnóstico de las condiciones generales en las que se encuentra, la caracterización topográfica del área y la toma de muestras de suelos para su posterior análisis en el laboratorio.

##### 4.6.1.3 Fase III – trabajo de oficina y laboratorio.

Los datos de campo serán organizados en esta etapa, donde se realizarán los análisis de laboratorio requeridos a las muestras de suelo tomadas y el estudio y caracterización hidrológica. Los resultados obtenidos serán analizados e interpretados con el objeto de elaborar, finalmente, la propuesta para el control de la erosión en la descarga de la alcantarilla ubicada en el área de estudio.



#### 4.6.1.4 Fase IV – etapa final.

Una vez desarrollados los objetivos, a través de las fases anteriores, se podrán establecer las conclusiones obtenidas para cada uno de ellos y de igual forma las recomendaciones que sustentan la investigación para, de esta manera, concluir con la elaboración del trabajo de grado.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Factores involucrados en la formación de cárcavas en general**

Analizada la información obtenida y comparada con la situación observada en el área de estudio, se pudieron identificar diferentes variables que contribuyen a la formación de las cárcavas.

En general, los sitios donde se concentran grandes volúmenes de escorrentía son los lugares más propensos a la formación de cárcavas y en base a esto se pueden enumerar varios elementos que, en conjunto, hacen de algunas zonas las más proclives a ser afectadas por dicha problemática.

En cuanto a elementos de orden natural se tienen los siguientes:

1. Un clima en donde se presentan lluvias torrenciales esporádicas, que son las que poseen mayor poder erosivo, puesto que generan un mayor impacto de las gotas de lluvia en el suelo, lo que rompe su estructura y lo separa en partículas que serán arrastradas por la escorrentía superficial. Por lo que puede decirse que a mayor cantidad, intensidad y duración de la lluvia mayor erosión se producirá.

2. Una topografía caracterizada por la presencia de pendientes pronunciadas, lo que genera mayores velocidades de escorrentía superficial y hace al suelo más susceptible al deslizamiento por acción de las lluvias.

3. Suelos erosionables, en cuya estructura se destaca la presencia de arenas y limos, que tienden a ser no cohesivos y fácilmente erosionables, o suelos con presencia de arcillas susceptibles a la erosión.

4. La falta de cobertura vegetal. Esto disminuye la capacidad de los suelos para retener el agua precipitada, lo que se traduce en un aumento de la escorrentía superficial, pues habrá menos obstáculos a lo largo de las vertientes.

Estas condiciones naturales, de alta erodabilidad de los terrenos, aunadas a la intervención del hombre a través de ciertas actividades realizadas en dichas zonas, acelera el proceso erosivo constituyendo una grave problemática social.

Entre algunos elementos antrópicos que intervienen los procesos erosivos de formación de cárcavas, se pueden mencionar:

1. La deforestación, el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas, que traen como consecuencia la alteración de la cobertura vegetal de los suelos, lo cual acelera los procesos erosivos.

2. El urbanismo mal planificado. Al no proyectar adecuadamente los sistemas de recolección y descarga de las aguas de escorrentía recogidas por las vialidades y por las otras obras del urbanismo, se produce el cárcavamiento. Esto es debido a que una vez que se impermeabiliza la superficie gracias al cemento, el asfalto y los techos de las viviendas, durante las lluvias gran parte del agua que debería infiltrarse convierte las calles en ríos que desembocan en las cabeceras de las cárcavas a modo de saltos con gran poder erosivo.

3. La descarga de alcantarillas sin protección adecuada, que constituye una obra que acelera dramáticamente los procesos de formación de cárcavas, puesto que son

zonas en las cuales se concentran grandes cantidades de agua con una velocidad muy elevada.

En lo referente al área de estudio, el proceso erosivo de la cárcava presente, la cual pertenece a la cuenca del río Santa Bárbara, se ve acelerado por la presencia de una alcantarilla que descarga en la cabecera de la misma sin ningún sistema de control, en una zona altamente inestable por sus condiciones topográficas y geotécnicas.

## **5.2 Riesgos que corren las comunidades adyacentes**

La comunidad en donde se ubica el área de estudio corresponde a la comunidad del sector “Mi Campito” de la urbanización “El Perú” de Ciudad Bolívar. A través de las observaciones realizadas mediante visitas al sitio y en base a conversaciones con algunos de los vecinos de la comunidad mencionada, se pudo identificar lo siguiente:

1. Los bordes de la cárcava objeto de estudio constituyen los patios de varias de las viviendas de la población del sector, las cuales se encuentran a muy poca distancia de la cárcava. (Figura 5.1).
2. La descarga de la alcantarilla no se encuentra controlada por ningún tipo de estructura. (Figura 5.2).
3. En la zona de descarga, la alcantarilla no posee cabezal de concreto de protección. (Figura 5.3).
4. Presencia de grandes cantidades de basura en la descarga de la alcantarilla y áreas adyacentes. (Figura 5.4).

5. Ausencia de protección en los taludes de la carretera y los taludes de la cárcava. (Figuras 5.5 y 5.6).

6. Ausencia de brocal o cuneta de canalización del agua de escorrentía en el lado de la calzada que se encuentra inmediatamente por encima de la descarga de la alcantarilla. (Figura 5.7).

7. Evidencia de la falla de la alcantarilla y del colapso de la vialidad en ocasiones anteriores.

De acuerdo a lo observado, se puede identificar como riesgo principal el colapso de la alcantarilla por falla de la base granular como consecuencia de la socavación producida por una descarga de agua pluvial carente de sistemas de disipadores de energía y protecciones de talud que controlen la erosión. Situación que traería como consecuencia el derrumbe de la vialidad, cortando la comunicación directa del sector “Mi Campito” con el resto de la urbanización “El Perú” e impidiendo el acceso del resto de la población de la ciudad con la Troncal 19 por esta vía de acceso, dejando como única alternativa la vía Perimetral de la ciudad.

Además, la erosión ocasiona el continuo ensanchamiento de la cárcava, lo que produciría un derrumbe de las viviendas adyacentes (10 viviendas) que se encuentran muy cercanas a los taludes inestables, constituyendo un peligro para la vida de sus habitantes, además de las pérdidas materiales que acarrearía.



Figura 5.1 Viviendas cercanas a los bordes de la cárcava.



Figura 5.2 Descarga de alcantarilla sin ningún tipo de estructuras de control o disipación de la energía.



Figura 5.3 Ausencia de cabezal de protección en la alcantarilla en la zona de la descarga.



Figura 5.4 Grandes cantidades de basura arrojada por la comunidad en las áreas adyacentes a la alcantarilla.



Figura 5.5 Talud de la vialidad sin ningún tipo de protección.



Figura 5.6 Taludes con poca vegetación y sin protección.





Figura 5.7 Ausencia de brocal en el sentido Av. El Perú – Troncal 19 de la vialidad.

### **5.3 Caracterización de la zona desde el punto de vista topográfico, geotécnico e hidrológico**

#### **5.3.1 Caracterización topográfica**

A partir de los datos obtenidos en campo mediante un levantamiento planialtimétrico, que se observan en la tabla A.1, se obtuvo la posición en el plano de los puntos tomados, como se muestra en la figura A.2, el perfil longitudinal correspondiente a la figura A.3, y los perfiles transversales en las figuras A.3, A.4 y A.5, en los cuales se observaron pendientes muy elevadas, en el orden del 239% en el perfil longitudinal o curso del agua descargada y entre el 200% y el 500% en los perfiles transversales correspondientes a los taludes del borde de la cárcava.

Lo que evidencia la presencia de pendientes fuertes que permiten o inciden en un proceso de fuerte erosión.

Por otro lado, las menores pendientes presentadas fueron del 2% y el 4% en el perfil longitudinal a partir de los 35 metros después de la descarga y entre el 5% y el 7% en los perfiles transversales correspondiente a la zona que se aleja de escarpe en el perfil A, como se observa en la figura A.4, en el fondo de la cárcava en el perfil D, correspondiente a la figura A.5, y en las zonas laterales a la salida de la alcantarilla en el perfil I. (Figura A.6).

Los perfiles transversales tomados, muestran una zona estrecha de 11 metros de ancho y de 9 metros de profundidad aproximadamente en la zona inmediata a la descarga, como se observa en la figura A.4, y un ensanchamiento de unos 37 metros y una profundidad 11 metros a partir de los 30 m de la descarga, correspondiente a la figura A.5. En las áreas laterales a la salida de la alcantarilla, correspondientes al talud de la vialidad, se observan zonas un poco más bajas que otras, como se muestra en la figura A.6, que corresponden a lugares por donde escurre el agua desde la calzada hacia la cárcava sin ningún tipo de control.

### **5.3.2 Caracterización geotécnica**

Realizada la recolección de las muestras y sometidas éstas a los ensayos de análisis granulométrico – método mecánico, análisis granulométrico – método de hidrómetro, gravedad específica, límites de Atterberg, clasificación de suelos y corte directo, a fin de distinguir algunas de las características físico-mecánicas de los suelos presentes en el fondo de la cárcava, el talud en la descarga y el talud de la vialidad. (Apéndices B, C, D, E y F).

Para los cuales se obtuvo lo siguiente:

1. Muestra HK-01, fondo de la cárcava. El ensayo de análisis granulométrico por el método mecánico mostró un porcentaje pasante del tamiz N° 200 del 2.02% con un porcentaje pasante del tamiz N° 4 del 81.32%, como se observa en la figura B.1, por lo que sólo se necesitó de este ensayo para obtener una clasificación del suelo de arena mal gradada (SP), según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (S.U.C.S). Además, el ensayo de corte directo mostró una cohesión de 0 Kg/cm<sup>2</sup> (kilogramos por centímetro cuadrado) con un ángulo de fricción interna de 36.2 grados. (Figuras F.1 y F.2).

2. Muestra HK-02, talud en la descarga. El análisis granulométrico por el método mecánico evidenció la presencia de un 25.43% de finos (porcentaje pasante del tamiz N° 200) y un porcentaje pasante del tamiz N° 4 del 100%, como se observa en la figura B.2, por lo que se realizó el análisis granulométrico por el método del hidrómetro, gravedad específica y límites de Atterberg, mostrados en las figuras C.1, D.1 y E.1 respectivamente, para obtener una clasificación del suelo de una arena limosa (SM) según el S.U.C.S. El límite líquido obtenido fue de 17% y el límite plástico de 15%, obteniendo así un índice de plasticidad del 2%. El ensayo de corte directo arrojó una pequeña cohesión de 0,493 Kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción interna de 27 grados. (Figuras F.3 y F.4)

3. Muestra HK-03, talud de la vialidad. El análisis granulométrico por el método mecánico evidenció la presencia de un 54.00% de finos (porcentaje pasante del tamiz N° 200), como se muestra en la figura B.3, por lo que también se realizó el análisis granulométrico por el método del hidrómetro, el ensayo de gravedad específica y límites de Atterberg, correspondientes a las figuras C.2, D.2 y E.2 respectivamente, para obtener una clasificación del suelo de una arcilla inorgánica de media a baja plasticidad (CL) según el S.U.C.S. El límite líquido obtenido fue de

28% y el límite plástico de 17%, obteniendo así un índice de plasticidad del 11%. El ensayo de corte directo arrojó una cohesión de  $0,881 \text{ Kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción interna de 18.7 grados. (Figuras F.5 y F.6).

Por lo que se observa que los suelos característicos de la zona son las arenas por lo que son suelos no plásticos que presentan poca o nula cohesión. La arcilla encontrada corresponde a rellenos realizados en la zona de descarga de la alcantarilla en los procesos de reparación de la vialidad y restitución del tubo de concreto que constituye la alcantarilla.

### **5.3.3 Caracterización hidrológica**

Utilizando un plano de Ciudad Bolívar – Soledad, del cual extrajimos la sección correspondiente a la zona de estudio, se delimitó la cuenca que dirige sus aguas hacia la alcantarilla en cuestión, como se puede observar en la figura G.1, resultando un área de 17.88 hectáreas, con una longitud máxima de recorrido de 640 metros y un desnivel total de la cuenca de 18 metros, obteniendo un tiempo de concentración de 12 minutos.

### **5.4 Gasto en la descarga de agua pluvial**

A partir de los datos obtenidos en la caracterización hidrológica y aplicando la ecuación 4.16, correspondiente al método racional, utilizando un coeficiente de escorrentía de 0.5 correspondiente a zona residencial, unifamiliar dado por el I.N.O.S en la tabla 4.8, y un período de retorno de 25 años (por ser el período de retorno más desfavorable), se obtuvo de las curvas de intensidad, duración y frecuencia correspondientes a Ciudad Bolívar, como se observa en la figura 4.3, una intensidad de lluvia de 640 LPS/ha (litros por segundo por hectárea). Determinando así un gasto

en la descarga de agua pluvial de 5721,60 LPS (litros por segundo) o 5,72 m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo).

### **5.5 Propuesta de sistema de descarga adecuado para prevenir la erosión**

De acuerdo con las condiciones topográficas, geotécnicas e hidrológicas de la zona, que nos indican fuertes pendientes, un suelo inestable y un caudal elevado con altas velocidades en la descarga; se plantea conducir el agua a través de una tubería hasta el fondo de la cárcava donde se manejará el caudal con un tanque amortiguador, el cual reducirá la velocidad del agua mediante la formación de un resalto hidráulico, para continuar con un dissipador de enrocado y base de grava, que disminuirá aún más la velocidad hasta el nivel en que pueda ser manejada con revegetación del suelo.

Las estructuras mencionadas se colocarán a lo largo del perfil longitudinal de la cárcava y atendiendo a las limitantes dadas por los perfiles transversales y la observación de campo.

La colocación de una base de grava en el enrocado se debe hacer a fin de prevenir el arrastre de finos por debajo de la estructura y prevenir su colapso por falla en la base granular debido a la socavación.

De igual manera, la tubería de concreto deberá ser cubierta (para su protección) con la utilización de tierra armada. Las zonas adyacentes a las estructuras dissipadoras deberán ser protegidas con concreto y rocas y los taludes laterales de la cárcava, deben ser estabilizados geotécnicamente y revegetalizados a fin de prevenir la situación de socavación del suelo adyacente a las obras antes mencionadas.

Además, debe revegetalizarse también la zona posterior al dissipador de enrocado, para que el suelo pueda manejar mejor el agua descargada y evitar la falla de base granular en dicha estructura debida a la erosión.

## **CAPÍTULO VI**

### **FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA**

Identificados los factores que intervienen en la formación de cárcavas y los riesgos que corren las comunidades adyacentes; realizados los estudios topográfico, geotécnico e hidrológico y determinado el gasto en la descarga de agua pluvial; se determinan los parámetros hidráulicos iniciales en la descarga de la alcantarilla en la cárcava en estudio y se realizan una serie de planteamientos orientados a la disipación de la energía a fin de controlar la erosión producida, los cuales se especifican a continuación.

#### **6.1 Parámetros hidráulicos iniciales en la descarga**

A partir de un perfil transversal de la vialidad, realizado en la sección en la que se encuentra la alcantarilla, como se muestra en la figura 6.1, se determinó la pendiente longitudinal de la alcantarilla, la cual viene dada por la ecuación 6.1.

$$S_o = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (6.1)$$

Donde:

$S_o$  = Pendiente longitudinal de la alcantarilla (m/m).

$\Delta Y$  = Diferencia de altura (m).

$\Delta X$  = Distancia horizontal (m).

Por lo que se obtuvo una pendiente de:

$$S_o = \frac{1.356\text{m}}{14.5\text{m}} \Rightarrow S_o = 0.0935 = 9.35\%$$

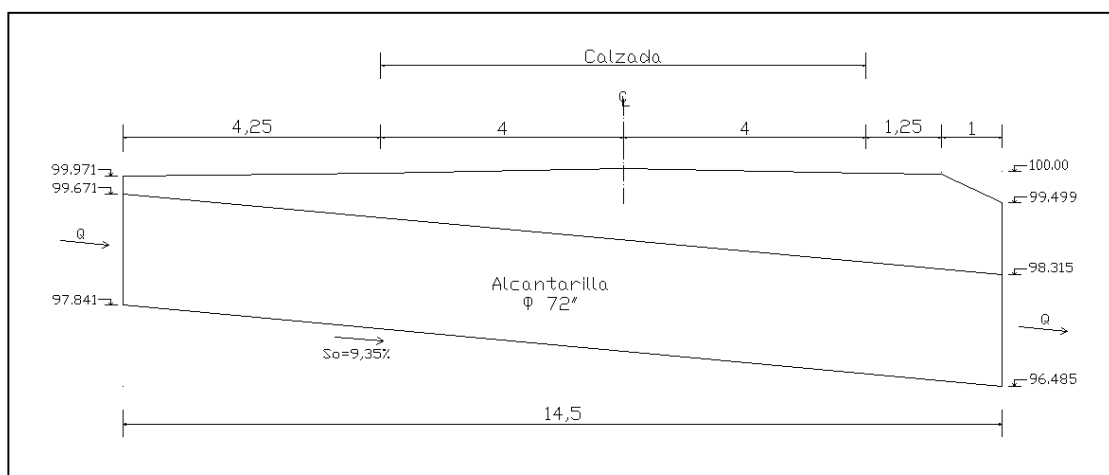


Figura 6.1 Perfil transversal de la vialidad en la sección donde se encuentra ubicada la alcantarilla.

Teniendo un caudal de diseño ( $Q$ ) de  $5.72 \text{ m}^3/\text{s}$ , obtenido a través del estudio hidrológico, una alcantarilla de concreto de diámetro  $D = 72''$  ( $1,83 \text{ m}$ ) y coeficiente de rugosidad de Manning de  $n = 0.014$  de la tabla H.1. Se determinan las profundidades normal ( $Y_n$ ) y crítica ( $Y_c$ ) del flujo, a fin de comprobar si la capacidad de la alcantarilla es suficiente para el caudal de diseño y calcular la velocidad ( $V$ ) y el número de Froude ( $F$ ) en la salida de la alcantarilla.

La profundidad normal viene dada por la figura 6.2, en la cual se entra con la relación:

$$\frac{Q \cdot n}{S_o^{1/2} \cdot D^{8/3}} = \frac{(5.72 \text{ m}^3/\text{s})(0.014)}{(0.0935)^{1/2}(1.83\text{m})^{8/3}} = 0.052$$



Valor a través del cual se obtiene la relación  $Y_n/D = 0.28$ , por lo que la profundidad normal resulta:

$$\frac{Y_n}{D} = 0.28 \Rightarrow Y_n = 0.28 \cdot D = (0.28)(1.83\text{m}) \Rightarrow Y_n = 0.51\text{m}$$

De forma similar, la profundidad crítica del flujo se obtiene a través de la figura 6.2, entrando con la relación:

$$\frac{Q}{\sqrt{g} \cdot D^{5/2}} = \frac{5.72\text{m}^3/\text{s}}{\sqrt{9.81\text{m}/\text{s}^2}(1.83\text{m})^{5/2}} = 0.40$$

Con lo que se obtiene una relación  $Y_c/D = 0.64$ , por lo tanto la profundidad crítica es:

$$\frac{Y_c}{D} = 0.64 \Rightarrow Y_c = 0.64 \cdot D = (0.64)(1.83\text{m}) \Rightarrow Y_c = 1.17\text{m}$$

Se observa, de esta manera, que  $Y_n < Y_c$  por lo tanto el flujo es catalogado como flujo supercrítico.

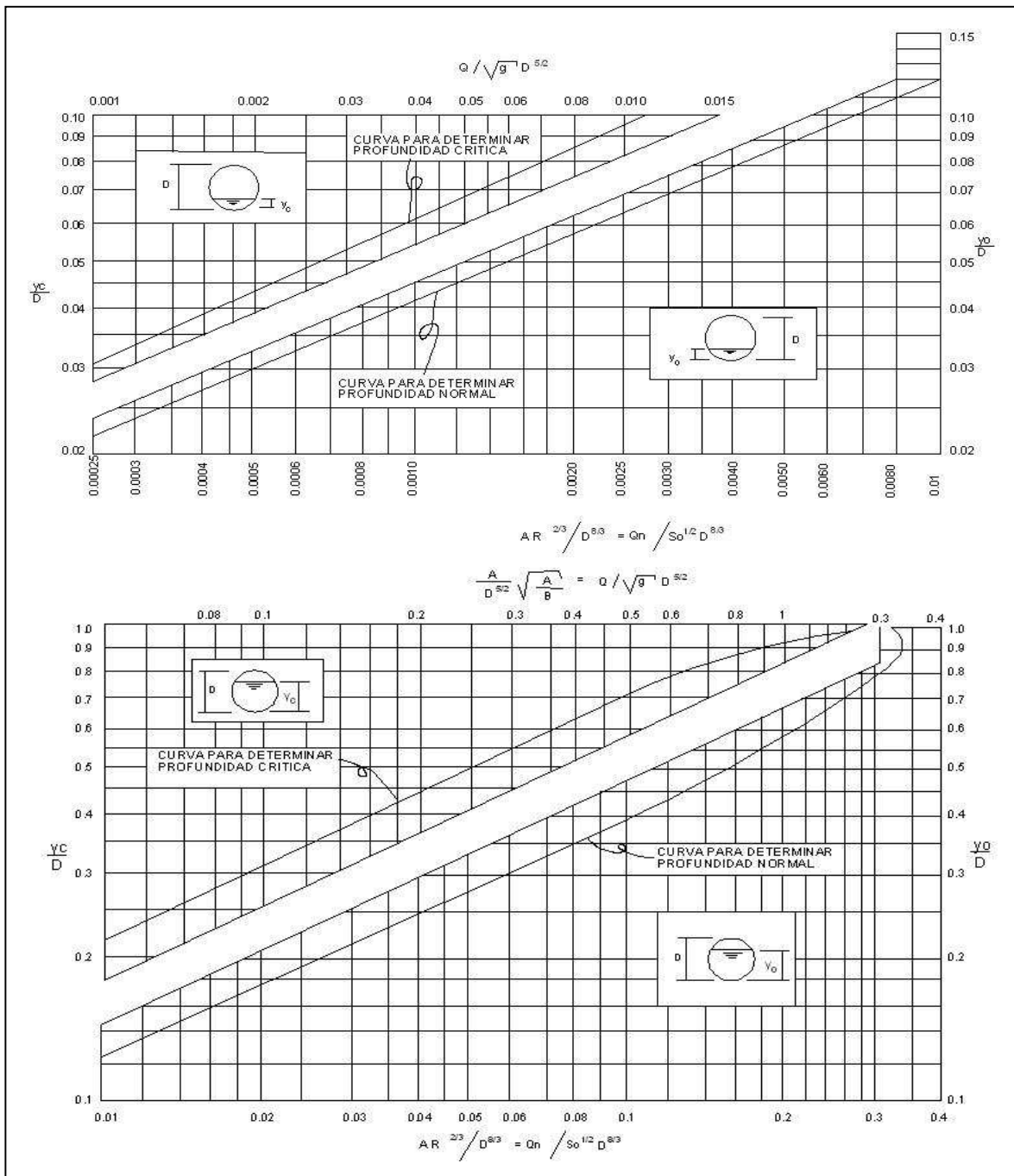


Figura 6.2 Profundidad crítica y profundidad normal de secciones circulares (Bolinaga, 1979).

Para verificar que la capacidad de la alcantarilla existente sea la adecuada para el caudal de diseño se calcula el caudal a sección llena a través de la fórmula de Manning. (Ecuación 6.2).

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \quad (6.2)$$

Donde:

Caudal ( $m^3/s$ ).

Coefficiente de rugosidad de Manning.

Área de la sección del flujo ( $m^2$ ).

Radio hidráulico (m).

Perfil longitudinal (m/m).

o

Trabajando a sección llena, el área de la sección corresponde al área de un círculo, según la ecuación 6.3, y el radio hidráulico se calcula a través de la ecuación 6.4.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (6.3)$$

$$R = \frac{D}{4} \quad (6.4)$$

Por lo tanto en caudal a sección llena resulta:

$$Q_C = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{2/3} \cdot (S_o)^{1/2} = \left( \frac{1}{0.014} \right) \left( \frac{\pi \cdot (1.83\text{m})^2}{4} \right) \left( \frac{1.83\text{m}}{4} \right)^{2/3} (0.0935)^{1/2}$$

$$Q_C = \frac{1}{0.014} \cdot (2.63)(0.46)^{2/3}(0.0935)^{1/2} \Rightarrow Q_C = 34.23\text{m}^3/\text{s}$$

Como  $Q_C > Q$  ( $34.23 \text{ m}^3/\text{s} > 5.72 \text{ m}^3/\text{s}$ ), entonces el diámetro de la alcantarilla existente es adecuado para el caudal de diseño.

En cuanto a la velocidad de salida del flujo, ésta se obtiene utilizando la figura 6.3, para la cual se requiere la relación  $Y_n/D$  y la velocidad del flujo trabajando a capacidad llena o total. (Ecuación 6.5).

$$V_C = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \quad (6.5)$$

Donde:

c Velocidad a capacidad llena  
(m/s).

C Coeficiente de rugosidad de Manning.

R Radio hidráulico (m) (ecuación 6.4).

S Pendiente longitudinal (m/m).

o

Por lo tanto, la velocidad a capacidad llena es:

$$V_c = \frac{1}{0.014} (0.46\text{m})^{2/3} (0.0935)^{1/2} \Rightarrow V_c = 13.02\text{m/s}$$

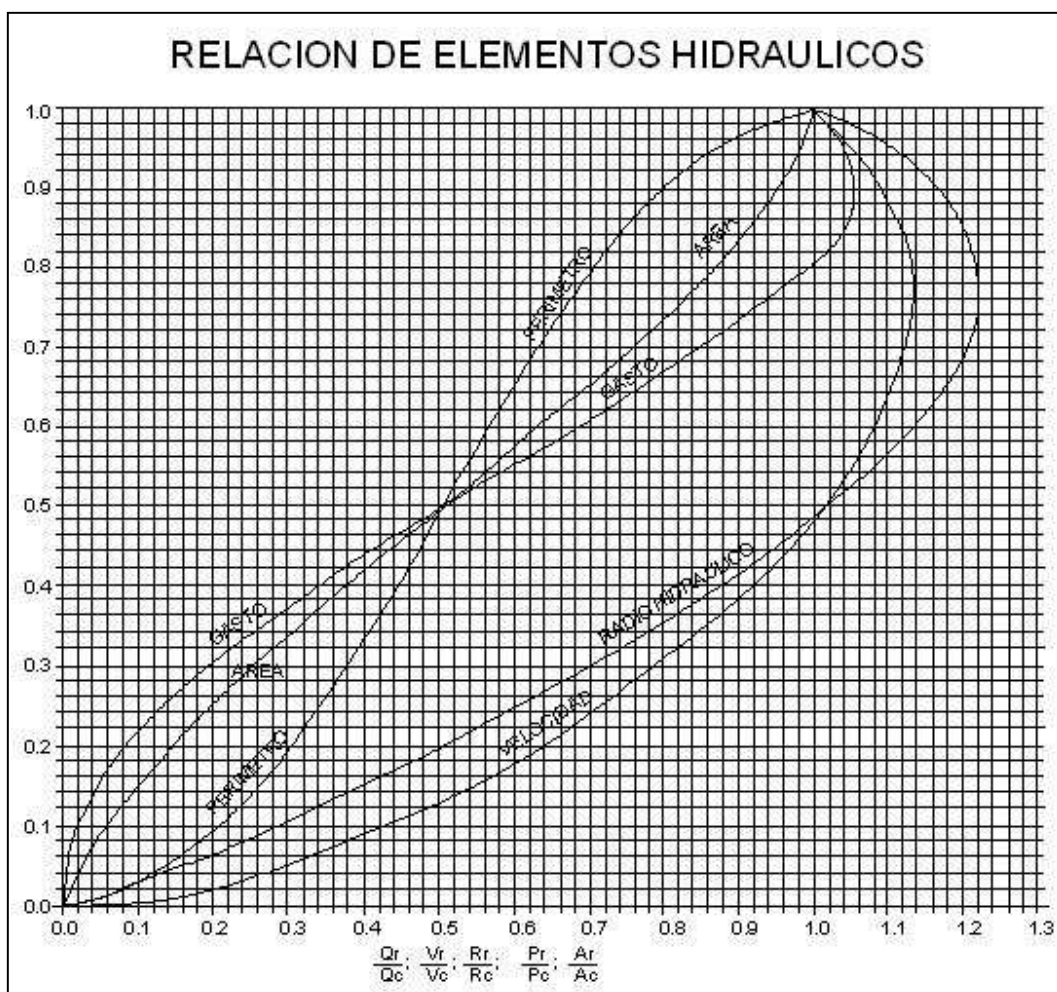


Figura 6.3 Parámetros hidráulicos en conductos circulares.

Con la relación  $Y_n/D = 0.28$ , se entra en la gráfica de la figura 6.3, chocando con la curva de la velocidad para obtener la relación  $V_r/V_c = 0.76$ . Por lo tanto, con el valor de la velocidad a sección llena ( $V_c$ ), se obtiene la velocidad real del flujo ( $V_r$ ) en la salida de la alcantarilla:

$$\frac{V_r}{V_C} = 0.76 \Rightarrow V_r = 0.76 \cdot V_C = 0.76 \cdot (13.02 \text{ m/s}) \Rightarrow V_r = 9.90 \text{ m/s}$$

Por último, se determina el número de Froude de acuerdo a las ecuaciones 3.8 y 3.9. Donde el ancho superficial se calcula mediante la ecuación presentada en la figura H.2 y el área de la sección para la profundidad normal del flujo se obtiene utilizando la figura 6.3, entrando con la relación  $Y_n/D = 0.28$  y chocando con la curva del área, para obtener la relación  $A_r/A_C = 0.23$ .

Sabiendo que el área a sección llena  $A_C = 2.63 \text{ m}^2$ , el área real del flujo para la profundidad normal es:

$$\frac{A_r}{A_C} = 0.23 \Rightarrow A_r = 0.23 \cdot A_C = 0.23 \cdot (2.63 \text{ m}^2) \Rightarrow A_C = 0.60 \text{ m}^2$$

De esta forma, utilizando las ecuaciones 3.8 y 3.9, se hallan la profundidad hidráulica y el número de Froude del flujo en la salida de la alcantarilla:

$$Y_e = \frac{0.60 \text{ m}^2}{2 \cdot \sqrt{0.51 \cdot (1.83 - 0.51)}} \Rightarrow Y_e = 0.37 \text{ m}$$

$$F = \frac{9.90 \text{ m/s}}{\sqrt{(9.81 \text{ m/s}^2)(0.37 \text{ m})}} \Rightarrow F = 5.20$$

## 6.2 Formulación de la propuesta

Como se describió en el título 5.5, inmediatamente en la descarga se colocará una tubería, hasta el fondo de la cárcava, donde se descargará el caudal en un tanque

amortiguador para reducir la velocidad del agua hasta un nivel en el que pueda ser manejada con un disipador de enrocado que disminuirá la velocidad hasta la admisible por el tipo de suelo presente.

De acuerdo con el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) esta velocidad es de 0.75 m/s, como se observa en la tabla H.3, para ser descargada en el suelo revegetalizado.

### 6.2.1 Diseño de la tubería

Partiendo de los parámetros hidráulicos iniciales de la alcantarilla en la descarga que se encuentra presente en la actualidad, tales como el caudal de diseño  $Q = 5.72 \text{ m}^3/\text{s}$ , la velocidad en la descarga  $V = 9.90 \text{ m/s}$  y una profundidad normal  $Y_n = 0.51 \text{ m}$ . Con un desnivel presente de 8.579 m entre las cotas  $K_1 = 96,485 \text{ m}$  (descarga de la alcantarilla) y  $O_1 = 87,906 \text{ m}$  (punto más bajo al que podría llegar la tubería en el fondo de la cárcava) según el esquema general de la posición de la tubería de concreto que se muestra en la figura 6.4.

Se calcula la velocidad final de la tubería en el punto más bajo a través de la ecuación de Bernoulli. (Ecuación 6.6).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + hf \quad (6.6)$$

Donde:

Presión en el punto de partida

1 (Pascal).

Presión en el punto de llegada

- 2 (Pascal).  
 Peso específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ ).  
 Velocidad en el punto de partida  
 1 (m/s).  
 Velocidad en el punto de llegada  
 2 (m/s).  
 Cota del punto de partida (m).  
 1  
 Cota en el punto de llegada (m).  
 2  
 Potencia de la bomba (m).  
 b  
 Pérdidas de energía por fricción  
 f (m).  
 Aceleración de gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

En este caso la energía por presión no está presente, por tratarse de un flujo trabajando a superficie libre y no hay energía suministrada por bombas; por lo tanto, despejando de la ecuación 6.6, la velocidad en el punto más bajo ( $V_2$ ) viene dada por la ecuación 6.7.

$$V_2 = \sqrt{2g \left( \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - Z_2 - hf \right)} \quad (6.7)$$

En donde las pérdidas de energía por fricción son calculadas a través de la ecuación 6.8.



$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (6.8)$$

Si despreciamos las pérdidas de energía por fricción en la tubería, de la ecuación 6.7, se obtiene una velocidad en el fondo ( $V_2$ ) de:

$$V_2 = \sqrt{2(9,81\text{m/s}^2) \left[ \frac{(9,90\text{m/s})^2}{2(9,81\text{m/s}^2)} + 96,485\text{m} - 87,906\text{m} \right]} = \sqrt{266,33\text{m}^2/\text{s}^2} \Rightarrow V_2 = 16,32\text{m/s}$$

En base esta velocidad (la más desfavorable) se plantea el uso de una tubería de concreto, por ser la más accesible para el diámetro requerido a colocar (72" = 1.83 m). Este tipo de tubería, presenta unos límites de velocidad que varían entre 5 m/s y 9.5 m/s dependiendo de su resistencia, según las Normas Generales para el Proyecto de Alcantarillas Gaceta Oficial N° 5318 Extraordinario en la tabla H.4, por lo que se observa que las velocidades máximas encontradas superan a las admisibles. Sin embargo, por tratarse de una tubería que no presentará un flujo permanente o continuo de agua a estas velocidades altamente erosivas para el concreto, ya que formará parte de un sistema de recolección de agua de lluvia, se considera adecuada la utilización de este material puesto que la ocurrencia momentánea del caudal y las velocidades de diseño (que son los valores máximos) no afectaría en grado extremo la vida útil de la tubería.

Trabajando con un diámetro igual al de la alcantarilla original ( $D = 72'' = 1.83$  m), un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014 correspondiente al concreto en la tabla H.1 y una longitud de tubería de 14,022 m con una pendiente longitudinal del 100%, se tiene que las pérdidas producidas por fricción en las condiciones más desfavorables, según la ecuación 6.7, son:

$$h_f = 0.014 \cdot \frac{14,022\text{m}}{1.83\text{m}} \cdot \frac{(16,32\text{m/s})^2}{2 \cdot (9.81\text{m/s}^2)} \Rightarrow h_f = 1.46\text{m}$$

Resultando así la velocidad más desfavorable de la tubería de concreto de  $V = 15,42 \text{ m/s}$ , que tomaremos para el diseño del tanque amortiguador.

El esquema general de la posición de la tubería planteada, se muestra en la figura 6.4. En base a la cual, se determinarán las profundidades normales en sus puntos críticos. La profundidad normal en el punto  $O_1$  de la tubería de concreto se determina a través de la figura 6.2, utilizando la relación:

$$\frac{Q \cdot n}{(S_o)^{1/2} \cdot D^{8/3}} = \frac{(5.72\text{m/s})(0.014)}{(1)^{1/2} (1.83)^{8/3}} = 0.016$$

Para obtener la relación  $Y_n/D = 0.16$ ; por lo que la profundidad normal en el punto  $O_1$  de la tubería es  $Y_n = 0.29\text{m}$ .

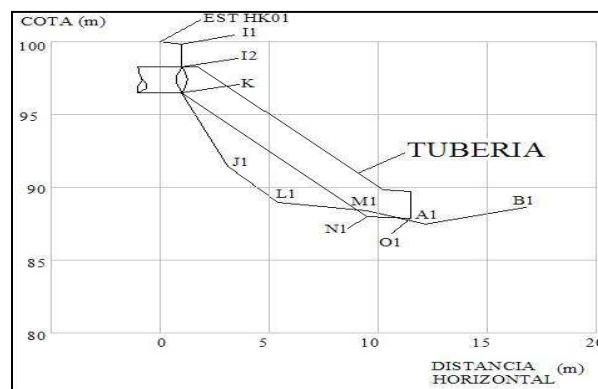


Figura 6.4 Esquema general de la posición de la tubería de concreto.

Finalmente, se determina el número de Froude de la misma forma en que se especifico en el título 6.1, entrando con la relación  $Y_n/D = 0.16$  y chocando con la curva del área, para obtener la relación  $A_r/A_C = 0.11$ . Sabiendo que el área a sección llena  $A_C = 2.63 \text{ m}^2$ , el área real del flujo para la profundidad normal es:

$$\frac{A_r}{A_C} = 0.11 \Rightarrow A_r = 0.11 \cdot A_C = 0.11 \cdot (2.63 \text{ m}^2) \Rightarrow A_C = 0.29 \text{ m}^2$$

De esta forma, utilizando la ecuación 3.8 y 3.9 se hallan la profundidad hidráulica y el número de Froude del flujo en la salida de la alcantarilla:

$$Y_e = \frac{0.29 \text{ m}^2}{2 \cdot \sqrt{0.29 \cdot (1.83 - 0.29)}} \Rightarrow Y_e = 0.22 \text{ m}$$

$$F = \frac{15.35 \text{ m/s}}{\sqrt{(9.81 \text{ m/s}^2)(0.22 \text{ m})}} \Rightarrow F = 10.4$$

### 6.2.2 Diseño del tanque amortiguador

Con el caudal de diseño  $Q = 5.72 \text{ m}^3/\text{s}$ , una tubería de entrada de diámetro  $D = 1.83 \text{ m}$ , con un coeficiente de rugosidad de Manning para el concreto de  $n = 0.014$ , una pendiente  $S_o = 0.04$  y una cota inicial  $z_o = 87.906 \text{ m}$ , para terminar en un canal trapezoidal aguas abajo de base  $B = 2.00 \text{ m}$  taludes de  $Z = 2$  y un coeficiente de rugosidad de Manning de  $n = 0.03$  correspondiente a grouted riprap en la tabla H.5; se determinan las dimensiones del tanque amortiguador, siguiendo los pasos especificados en el título 3.2.10.2, de la siguiente manera:

1. Se determina el número de Froude mediante la ecuación 3.8. Para esto se debe conocer la velocidad y la profundidad del agua en la salida de la tubería de concreto. Donde la velocidad es de  $V = 15,42$  m/s y la profundidad normal es de  $Y_o = 0,29$  m, según los cálculos realizados en el título 6.2.1. Se tiene que el número de Froude es 10,4.

Como el número de Froude es mayor a 1, la profundidad normal es supercrítica y se usa esta como la profundidad de la salida.

2. Se halla la velocidad y la profundidad del agua en el canal receptor trapezoidal (aguas abajo). Mediante un método iterativo utilizando la ecuación de Manning, correspondiente a la ecuación 6.2, se tiene una velocidad de  $V_n = 3,47$  m/s y la profundidad del agua es  $Y_n = 0,54$  m.

3. Se estima la profundidad conjugada con las condiciones presentes en la salida de la alcantarilla, usando la ecuación 3.1, con  $C = 1$ .

$$y_2 = \frac{C y_o}{2} \left( \sqrt{1 + 8 Fr_0^2} - 1 \right) = \frac{1,0(0,31)}{2} \left( \sqrt{1 + 8(10,4)^2} - 1 \right) = 4,12$$

Como  $y_2 (4,12) > Y_n (0,54)$ ; se necesita el tanque amortiguador para que ocurra el salto hidráulico.

4. Como  $y_2 - Y_n = 3,58$  m, se prueba con un valor de  $Z_1 = Z_o - 3,58 = 84,326$  m. También se elige el ancho del tanque  $W_B = 2$  m (solo un pequeño incremento de la alcantarilla al tanque) y pendientes  $S_T = 0,5$  y  $S_S = 0,5$ . Se chequea  $W_B$  usando la ecuación 3.2, pero primero se calcula la longitud de la transición mediante la ecuación 3.3.

$$L_T = \frac{Z_O - Z_1}{S_T} = \frac{87.906 - 84.326}{0.5} = 7,16$$

$$W_B \leq W_O + \frac{2L_T \sqrt{S_T^2 + 1}}{3Fr_0} = 1.83 + \frac{2(7,16) \sqrt{(0,5)^2 + 1}}{3(10,4)} = 2,34$$

Usando la ecuación 6.8 se tiene que la velocidad y la altura del agua en la entrada del tanque amortiguador son iguales a  $V_1 = 19,29$  m/s y  $y_1 = 0,162$  m.

$$Q = y_1 \cdot W_B \left[ 2 \cdot g \cdot (z_o - z_1 + y_o - y_1) + V_0^2 \right]^{1/2} \quad (6.9)$$

Donde:

Ancho del tanque amortiguador (m).

B

Velocidad a la salida de la alcantarilla (m/s).

o

Profundidad en la entrada del tanque amortiguador  
(m).

1

Profundidad a la salida de la alcantarilla (m).

o

Cota en la entrada del tanque amortiguador (m).

1

Cota en la salida de la alcantarilla (m).

o

Además, se tiene un número de Froude, según la ecuación 3.8, igual a:

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{19,29}{\sqrt{9.81(0.162)}} = 15,3$$

5. Se calcula la profundidad conjugada para un salto hidráulico libre ( $C=1$ ) usando la ecuación 3.1.

$$Y_2 = \frac{Cy_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) = \frac{1.0(0.162)}{2} \left( \sqrt{1 + 8(15,3)^2} - 1 \right) = 3,42\text{m}$$

De la Figura 3.19, se obtiene la relación  $L_B/y_2 = 5.9$  con la cual se obtiene la longitud del tanque amortiguador, por lo tanto  $L_B=20,21$  m. Por otro lado, la longitud total del tanque amortiguador se calcula con la ecuación 3.4.

$$L_S = \frac{L_T(S_T - S_O) - L_B S_O}{S_S + S_O} = \frac{7,16(0.5 - 0.04) - 20,21(0.04)}{0.5 + 0.04} = 4,60\text{m}$$

Para calcular la elevación de la entrada del canal trapezoidal se utiliza la ecuación 3.5.

$$Z_3 = L_S S_S + Z_1 = 4,60(0.5) + 84,326 = 86,626\text{m}$$

Como  $Y_2 + Z_1 (3.42+84,326) > Z_3 + y_2 (86,626 + 0.54)$ , se debe repetir el procedimiento a partir del paso 4 (como se explica en el título 3.2.10.2) y utilizar un valor menor de  $Z_1$ .

6. Se realiza una segunda iteración con  $Z_1 = 83,600$  y donde  $W_B$ ,  $S_T$  y  $S_S$  se mantiene iguales.

$$L_T = \frac{Z_O - Z_1}{S_T} = \frac{87,906 - 83,600}{0.5} = 8.61\text{m}$$

Usando la ecuación 6.8 se tiene que la velocidad y la altura del agua en la entrada del pozo disipador son  $V_1 = 19,66$  m/s y  $y_1 = 0.159$  m, y mediante la ecuación 3.8 se tiene un número de Froude de:

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{19,66}{\sqrt{9.81(0.159)}} = 15.7$$

7. Se calcula de nuevo la profundidad conjugada para un salto hidráulico libre ( $C=1$ ) usando la ecuación 3.1.

$$Y_2 = \frac{Cy_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) = \frac{1.0(0.159)}{2} \left( \sqrt{1 + 8(15.7)^2} - 1 \right) = 3.45\text{m}$$

De la Figura 3.19 se obtiene la relación  $L_B/y_2 = 5.8$ , por lo que la longitud del tanque amortiguador es  $L_B = 20,02$  m. Se calcula la longitud total del pozo disipador con la ecuación 3.4.

$$L_S = \frac{L_T(S_T - S_O) - L_B S_O}{S_S + S_O} = \frac{8.61(0.5 - 0.04) - 20,02(0.04)}{0.5 + 0.04} = 5,85\text{m}$$

Por lo tanto, mediante la ecuación 3.5, se tiene que la elevación de la entrada del canal trapezoidal es:

$$Z_3 = L_S S_S + Z_1 = 5.85(0.5) + 83,600 = 86.525\text{m}$$

Como  $Y_2 + Z_2 (3.45+83,600) < Z_3 + y_2 (86,525+0.54)$ , se puede continuar con el paso 6 explicado en el título 3.2.10.2.

8. Para el cambio de pendiente en la transición de la alcantarilla al pozo disipador, se determina el radio de curvatura necesario mediante la ecuación 3.6 y los resultados obtenidos en el punto 1.

$$r = \frac{y_0}{\left( \frac{1,5}{e^{Fr^2}} - 1 \right)} = \frac{0,29}{\left( \frac{1,5}{e^{10,4^2}} - 1 \right)} = 20,76\text{m}$$

9. De esta manera, se obtienen las dimensiones de los elementos del pozo disipador, representados en la figura 6.5, donde la longitud total del pozo disipador corresponde a:

$$\text{Longitud total del pozo} = 8.61 \text{ m} + 20,02 \text{ m} + 5,85 \text{ m} = 34.48 \text{ m.}$$

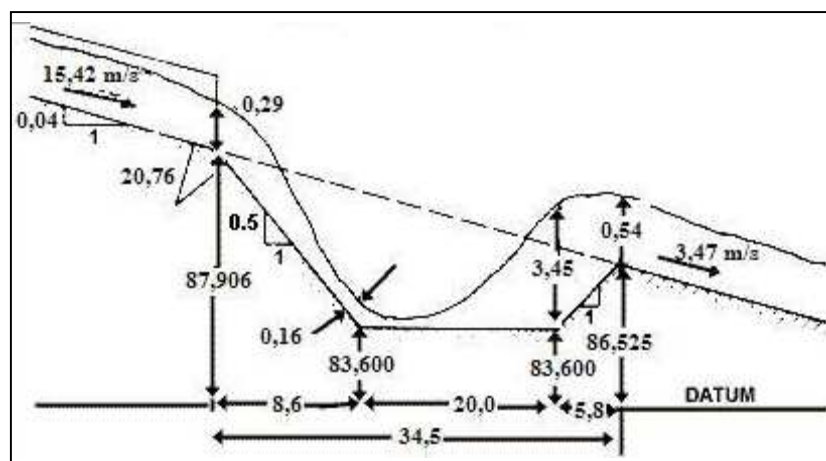


Figura 6.5 Dimensiones de los elementos del pozo disipador.



### 6.2.3 Diseño del dissipador de enrocado

Teniendo como condiciones de entrada al dissipador un canal trapecial de 2 m de base ( $B_o$ ) con taludes de  $z = 2$  de pendiente longitudinal de 4%, una velocidad  $V_A$  de 3.47 m/s correspondiente a un caudal de diseño de 5.72 m<sup>3</sup>/s y una profundidad normal de 0.54 m (obtenidos a partir del diseño anterior), se procede al diseño según lo expuesto en el título 3.2.10.3:

1. Se determina la profundidad hidráulica según la ecuación 3.9, donde el área de la sección y el ancho superficial se calculan según las ecuaciones presentadas en la figura H.2, y se calcula el número de Froude en la entrada del dissipador mediante la ecuación 3.8:

$$y_e = \frac{(2m + 2(0.54m))(0.54m)}{2m + (2)(2)(0.54m)} \Rightarrow y_e = 0.40m$$

$$F_A = \frac{3.47m/s}{\sqrt{(9.81m/s^2)(0.40m)}} \Rightarrow F_A = 1.75$$

2. Se establece como condición de salida  $y_s / y_A \leq 0.75$  por lo que se asumirá un  $y_s$  acorde con la relación dada:

$$y_s \leq 0.75 \cdot y_A \Rightarrow y_s \leq 0.75 \cdot (0.54m) \Rightarrow y_s \leq 0.405m$$

Por lo que se toma un  $y_s$  de 0.40 m y se verifica en cumplimiento de la relación dada:

$$\frac{0.40\text{m}}{0.54\text{m}} \leq 0.75 \Rightarrow 0.74 < 0.75 \text{ Cumple.}$$

3. Se determina el tamaño de las rocas, partiendo de la primera condición a considerar, que se especifica que  $1/4 < d_{50}/y_e < 1/2$ , por lo que se tiene que el rango de tamaño de roca a considerarse es el siguiente:

$$0.25 < \frac{d_{50}}{y_e} < 0.5 \Rightarrow 0.25 \cdot y_e < d_{50} < 0.5 \cdot y_e \Rightarrow 0.25 \cdot (0.40\text{m}) < d_{50} < 0.5 \cdot (0.40\text{m})$$

$$0.10\text{m} < d_{50} < 0.20\text{m}$$

Considerando una relación de  $d_{50}/y_e = 0.4$  correspondiente a un tamaño de roca de 0.16 m y en conjunto con el número de Froude se obtiene la relación  $h_s/y_e = 1.3$  de la figura 3.23, por lo tanto la profundidad del socavón ( $h_s$ ) será:

$$h_s = 1.3 \cdot y_e = 1.3 \cdot (0.40\text{m}) \Rightarrow h_s = 0.52\text{m}$$

4. Teniendo el tamaño de las rocas a utilizar ( $d_{50}$ ) y la profundidad del socavón ( $h_s$ ), se verifica la segunda condición orientadora que expresa que  $2 \leq h_s / d_{50} \leq 4$ , a fin de corroborar si el hueco del socavón disipará eficientemente la energía:

$$\frac{h_s}{d_{50}} = \frac{0.52\text{m}}{0.16\text{m}} = 3.25 \Rightarrow 2 < 3.25 < 4 \text{ Cumple.}$$

5. Comprobado el cumplimiento de las condiciones de diseño, se determina la longitud de la piscina de la cámara disipadora ( $L_s$ ) que corresponde a la mayor de las opciones entre  $10h_s$  y  $3B_o$ :

$$L_s = 10 \cdot (0.52\text{m}) = 5.2\text{m} \quad \text{ó} \quad L_s = 3 \cdot (2\text{m}) = 6\text{m}$$

Se tomará una longitud de la piscina de la cámara disipadora de  $L_s = 6\text{ m}$ .

6. La longitud total de la cámara disipadora ( $L$ ) corresponde al mayor valor obtenido entre las condiciones correspondientes a  $15h_s$  y  $4B_o$ , como sigue:

$$L = 15 \cdot (0.52\text{m}) = 7.80\text{m} \quad \text{ó} \quad L = 4 \cdot (2\text{m}) = 8\text{m}$$

Por lo tanto, se adopta una longitud total de la cámara disipadora ( $L$ ) igual a 8 m.

7. Se calcula el ancho de la cámara en el extremo aguas abajo ( $B_d$ ) mediante la ecuación 3.7, como sigue:

$$B_d = 2\text{m} + \frac{2}{3} \cdot (8\text{m}) \Rightarrow B_d = 7.33\text{m}$$

8. Se chequea la velocidad correspondiente al caudal de diseño  $Q = 5.72\text{ m}^3/\text{s}$ , una profundidad aguas abajo  $y_s = 0.40\text{ m}$  y un ancho en el extremo aguas abajo  $B_d = 7.33\text{ m}$ :

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{5.72\text{m}^3/\text{s}}{(0.40\text{m})(7.33\text{m})} \Rightarrow V_s = 1.95\text{m/s}$$

Se observa que la velocidad continúa siendo muy elevada en comparación la velocidad admisible para el tipo de suelo presente (arenas), la cual corresponde a 0.75 m/s según la tabla H.3. Por lo tanto, se ampliará el ancho en el extremo aguas abajo según la ecuación 3.10:

$$B_d = \frac{Q}{y_s \cdot V_s} = \frac{5.72 \text{m}^3/\text{s}}{(0.40\text{m})(0.750\text{m}/\text{s})} \Rightarrow B_d = 19.06\text{m}$$

Por lo que se adopta un ancho en el extremo aguas abajo de 20 m y se verifica la nueva velocidad a obtener:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{5.72 \text{m}^3/\text{s}}{(0.40\text{m})(20\text{m})} \Rightarrow V_s = 0.715\text{m}/\text{s} < 0.75\text{m}/\text{s} \text{ Cumple}$$

Al aumentar el ancho aguas abajo del enrocado, se debe aumentar la longitud total del dissipador ya que el ensanchamiento del mismo debe ocurrir en una proporción 3:1, por lo que para 20 metros de ancho se deben adoptar 27 metros de longitud total de la cámara dissipadora. Realizados todos estos cálculos, las dimensiones del dissipador de enrocado corresponden a las mostradas en la figura 6.6. Y de esta manera se tiene el planteamiento final de la propuesta para el control de los problemas de erosión encontrados en la descarga de la alcantarilla ubicada en el sector Mi Campito de la urbanización El Perú de Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. (Figura 6.7).

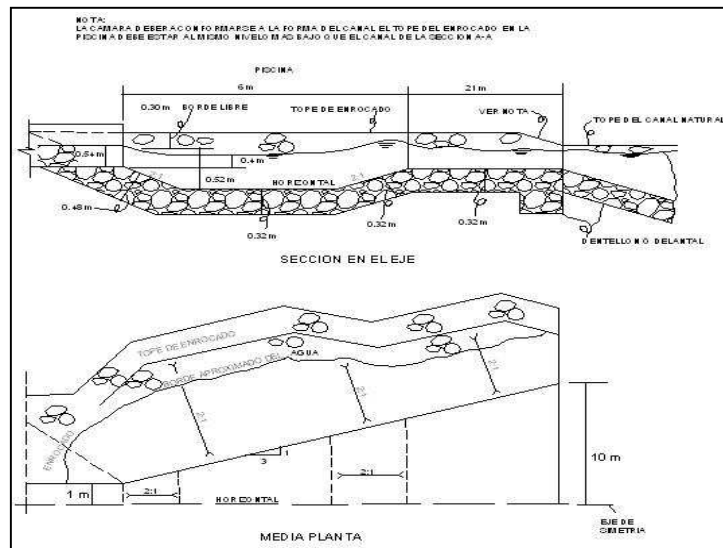


Figura 6.6 Dimensiones del dissipador de enrocado.

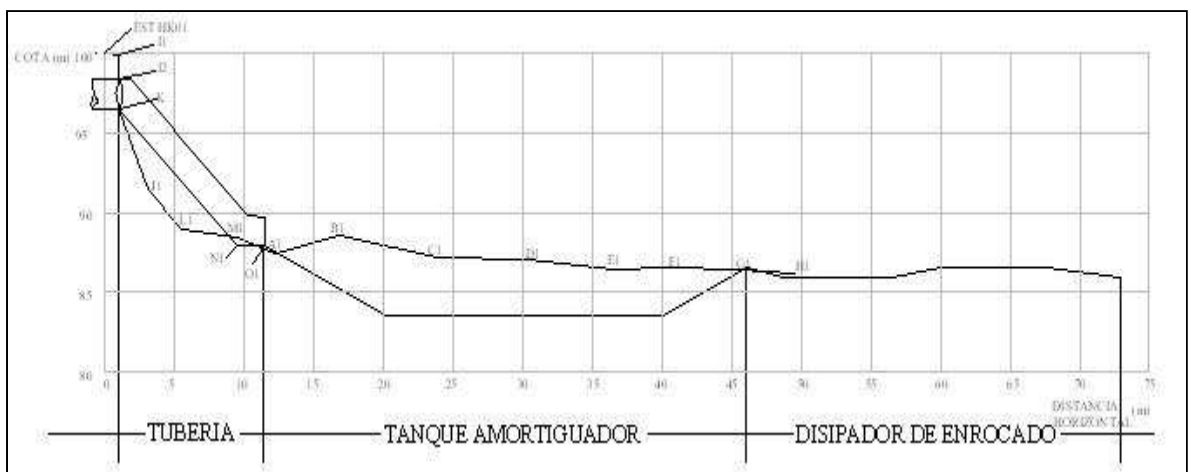


Figura 6.7 Planteamiento final de la propuesta.

### 6.2.4 Protecciones de zonas adyacentes a las estructuras y protecciones de taludes

En general, se propone colocar protecciones de enrocado o concreto con roca en parte de las áreas laterales de los disipadores (tanque amortiguador y disipador de enrocado) a fin de prevenir la socavación de la base de estas estructuras y así protegerlos de la erosión ocasionada por la lluvia que se precipita directamente sobre dichas áreas.

En cuanto a los taludes de la cárcavas, se recomienda su estabilización geotécnica y se plantea la revegetación de estas zonas, siguiendo las recomendaciones del Manual de Drenaje del Ministerio de obras Públicas (M.O.P), donde se especifica que para suelos arenosos con pendientes mayores del 67% la revegetación se deberá realizar por sembrado de semilla y agregar tierra vegetal y abono, protegiendo la zona con malla de sisal de cuadros menores de 1 cm o cubrirla con una capa protectora de emulsión asfáltica. En cuanto a la zona contigua al disipador de enrocado que presenta pendientes menores del 10%, ésta debe ser tratada con esteras y semilla. Dicha revegetación debe hacerse con especies adecuadas al clima de la región que, según el M.O.P, corresponden a hierba elefante, gamelote o ginea, hierba pará y yaraguá para siembra con esteras y gamelote o ginea, capin melao y grama bermuda par siembre por semillas.

Adicionalmente, se recomienda la utilización de tierra armada en toda el área que cubre la tubería que desemboca en el tanque amortiguador hasta el nivel de la vialidad existente, a fin de proporcionar mayor derecho de vía para la posterior ampliación de la vialidad y proteger, de igual manera, la tubería de la intemperie.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Una vez aplicados los instrumentos de recolección de datos, procesados los mismos y obtenida la información, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

1. El estudio realizado y la recopilación de la información llevaron a la identificación de los factores que inciden en la formación de cárcavas en general, lo cuales se traducen en elementos de orden natural, tales como: a) un clima con lluvias torrenciales, b) topografía con fuertes pendientes, c) suelos arenosos, areno-limosos o con arcillas susceptibles a la erosión, d) la falta de cobertura vegetal; y elementos de orden antrópico, como: e) la deforestación, el sobre pastoreo y las prácticas agrícolas, f) el urbanismo mal planificado y g) las descargas incontroladas de alcantarillas. Condiciones que, en combinación de unas con otras, producen y aceleran los procesos erosivos que forman las cárcavas.

2. La identificación de los elementos expuestos anteriormente, las visitas de campo y el contacto con la comunidad, permitieron determinar como riesgo principal de la descarga de la alcantarilla en la cárcava en estudio, el derrumbe de la vialidad por falla de base granular debido a la erosión retrógrada de la cárcava presente, cortando el acceso hacia la troncal 19.

3. Otro de los riesgos presentes encontrados fue la posibilidad del desplome por ensanchamiento de la cárcava de 10 viviendas ubicadas en las zonas de mayor riesgo adyacentes a la cárcava, las cuales corresponden a los bordes de los taludes más cercanos a la descarga de la alcantarilla.

4. La caracterización topográfica evidenció la presencia de pendientes muy altas, de hasta un 239% el perfil longitudinal y un 500% en los perfiles transversales trazados, los cuales fueron utilizados como referencias espaciales del área en el planteamiento de la propuesta.

5. La caracterización geotécnica demostró la presencia de suelos arenosos con presencia de limos que presentan diámetros medios en el orden de los 0.2 y 0.7 mm (según el  $d_{50}$  observado en el análisis granulométrico), propios de la constitución de la cárcava en estudio, evidenciando así su susceptibilidad a la erosión por ser suelos no plásticos y poco o no cohesivos.

6. La arcilla encontrada, pertenece a material de relleno que ha sido colocado en reparaciones anteriores, debidas al derrumbe de la vialidad por falla de la base granular debido a la erosión regresiva de la cárcava.

7. En cuanto a la caracterización hidrológica, la cuenca presentó un área de 17.88 hectáreas con una longitud máxima de recorrido de 640 metros y un desnivel total de la cuenca de 18 metros, resultando un tiempo de concentración de 12 minutos.

8. Con las características hidrológicas identificadas, se obtuvo un caudal en la descarga de agua pluvial de  $5.72 \text{ m}^3/\text{s}$  (5721,6 LPS) que, en conjunto con los elementos geométricos de la alcantarilla presente y su pendiente, arrojó una velocidad de salida del agua de  $9.90 \text{ m/s}$  (35.64 Km/h). La cual representa una velocidad de alto poder erosivo sobre un suelo desprotegido, con una velocidad admisible de  $0.75 \text{ m/s}$  y con pendientes elevadas.

9. En base todo el estudio realizado y a todos los resultados obtenidos, se analizaron las posibles opciones y se planteó la colocación de un conjunto de



estructuras destinadas a lograr la disminución de la velocidad del agua hasta la que pueda ser manejada por el suelo (disipación de la energía). Por lo que, la propuesta planteada se basó en el traslado del agua desde la alcantarilla existente hasta el fondo de la cárcava a través de una tubería de concreto de 72" (1.83m), donde se descarga el caudal en un tanque amortiguador que disipa la energía mediante un resalto hidráulico, reduciendo la velocidad en el fondo de la cárcava de 15.42 m/s a 3.47 m/s, la cual es manejada por un dissipador de enrocado, que la lleva hasta los niveles admitidos por el suelo (0.75 m/s).

11. Las velocidades encontradas exceden el límite de velocidad admisible para tuberías de concreto (que oscilan entre 5 m/s y 9.50 m/s); sin embargo, se utiliza este material por ser el más accesible para el diámetro a utilizar y tomando en cuenta el hecho de que el flujo no es permanente y por tanto no se verá afectada la vida útil de la tubería en gran medida ya que no está expuesta de forma continua a estas velocidades de erosivas.

12. Además de las estructuras mencionadas, se propuso cubrir la tubería de concreto, que llega hasta el fondo de la cárcava, con la utilización de tierra armada, lo que protege la tubería y a su vez aumenta el derecho de vía, lo cual permitiría el posterior ensanchamiento de la calzada. De igual manera, se propuso la protección de las zonas adyacentes a las estructuras de disipación de energía con concreto y enrocado, la estabilización geotécnica de los taludes y la protección de los mismos con la revegetación del área. Así mismo, se enfatiza en la revegetación de la zona posterior al dissipador de enrocado, lugar donde el agua entra en contacto con el suelo, a fin de hacerlo más resistente a la erosión.

## **Recomendaciones**

1. Evitar, por parte del Instituto de la Vivienda y Obras del Estado Bolívar (INVIOBRAS) y todos los entes de planeamiento urbano de Ciudad Bolívar, la concentración de caudales tan altos en un solo punto de las obras de drenaje vial, lo cual ocasiona (o acelera) la erosión del suelo y por ende la pérdida de la vialidad y de dichas obras.

2. Construir estructuras disipadoras de energía en todos aquellos puntos en los que las descargas de las obras de drenaje se realicen directamente sobre el suelo, a fin de evitar la problemática presentada.

3. De llevarse a cabo la propuesta planteada o de construirse cualquier otra obra de disipación de energía, debe realizarse un seguimiento continuo de la misma por parte de los entes gubernamentales, a fin de precisar cualquier falla, mantener la estructura estable y evitar la pérdida total por falla de base granular producida por la socavación del suelo; ya que la erosión, como proceso natural de la Tierra, no puede ser detenida totalmente.

4. Hacer estudios del proceso erosivo de la cárcava, posteriores a la construcción de los disipadores, con el propósito de poder establecer si la misma continúa su ensanchamiento y así prever un posible desalojo de la comunidad adyacente para evitar pérdidas humanas. Estudios que deben ser realizados por el Instituto de la Vivienda y Obras del Estado Bolívar (INVIOBRAS), encargado del mantenimiento del tipo de estructuras planteado en Ciudad Bolívar.

5. Prestar especial atención y cuidado a la limpieza de la cárcava por parte de la Alcaldía del Municipio Heres del Estado Bolívar y del Instituto de la Vivienda y Obras del Estado Bolívar, puesto que la basura puede obstruir los dispositivos de

disipación construidos e impedir su adecuado funcionamiento y la disipación de la energía. Lo que conlleva a un trabajo unificado entre el gobierno y la comunidad.

6. En el caso de plantearse la implementación, en el área estudiada, de la propuesta expuesta, se debe realizar un estudio más exhaustivo de las estructuras planteadas en cuanto a su diseño estructural, los materiales a utilizar y las protecciones a utilizar, puesto que las velocidades presentes constituyen un factor de alta erodabilidad y de grandes presiones sobre la tubería, el tanque amortiguador y el disipador de enrocado.

## REFERENCIAS

Álvarez J., Ameneiro R. (2004) **ESTUDIO GEOLÓGICO DEL SISTEMA DE CÁRCAVAS UBICADO EN EL SECTOR SANTA EDUVIGES EN CIUDAD BOLÍVAR Y PROPUESTAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN.** Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, (pp. 1-168).

Autodesk, Inc. (2007) **AUTOCAD.** (Windows, XP). Programa. Autodesk, Inc. Estados Unidos de América.

Balestrini, Miriam (2006) **CÓMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** BL Consultores Asociados Servicio Editorial, Caracas, Venezuela, (p. 158).

Barsa International Publishers (2000). **ENCICLOPEDIA HISPÁNICA.** Barsa International Publishers. Inc, Versailles, Estados Unidos, Tomo 6, (p. 5).

Bolinaga, Juan (1979) **DRENAJE URBANO.** Instituto Nacional de Obras Sociales, Caracas, Venezuela, (pp. 1-470).

Bowles, Joseph (1981) **MANUAL DE LABORATORIOS DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL.** Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana. Bogota, Colombia. (pp. 15-25, 35-56, 61-77, 175-183).

Bravo M., Pineda, M. (1997) **ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN DE DOS CÁRCAVAS DE CIUDAD BOLIVAR.** Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, (p. 125).

Brown R., Fuentes R., Castellano J. (2009) **ESTABILIZACIÓN DE TALUD DE ALCANTARILLA DE CONCRETO UBICADA EN EL SECTOR MI CAMPITO, URB. EL PERÚ, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR.** Instituto de la Vivienda y Obras del Estado Bolívar, Ciudad Bolívar, Venezuela, (pp. 1-4).

Campos, Oswaldo (1994) **CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS PARA EL CONTROL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS SANTA BÁRBARA, SAN RAFAEL Y BUENA VISTA.** Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, (p. 87).

Carciente, Jacob (1980) **CARRETERAS, ESTUDIO Y PROYECTO.** Ediciones Vega S.R.L, Caracas, Venezuela, (p. 79).

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Gerencia de Planificación y Proyectos (1992) **DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO, EROSIÓN DE BORDES DE MESAS DE CIUDAD BOLÍVAR.** Ciudad Bolívar, Venezuela, (pp. 1-39).

Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.  
**EROSIÓN.** 20 de octubre de 2009.  
[<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/EROSION.pdf>]

Fuerza Aérea Venezolana (F.A.V.) (2009) **INFORME DEL CLIMA DE CIUDAD BOLÍVAR**. Estación Climatológica de Ciudad Bolívar – Aeropuerto, Ciudad Bolívar, Venezuela, (pp. 1-30).

Federal Highway Administration (2006) **HYDRAULIC DESIGN OF ENERGY DISSIPATORS FOR CULVERTS AND CHANNELS**. National Highway Institute, Hydraulic Engineering Circular N° 14, Third Edition, Estados Unidos, (pp. 1-286).

González, Emilio. **EROSIÓN: LA IMPORTANCIA DE LA CONSERVCIÓN DEL SUELO**. 25 de octubre 2009. [[www.aeac-sv.org/pdfs/infoerosion.pdf](http://www.aeac-sv.org/pdfs/infoerosion.pdf)].

Google Earth (2009) **IMÁGENES SATELITALES DE CIUDAD BOLÍVAR**. 30 de noviembre de 2009, [<http://earth.google.com/int/es>].

Guntermann, Alejandro (2000) **APUNTES SOBRE EL CONTROL DE EROSIÓN**. Ciudad Bolívar, Venezuela, (p. 68).

Hernández, Roberto (2003) **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**. Editorial McGraw-Hill, México, (p. 267).

Henández R., Malpica K. (2007) **ESTUDIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL EN CÁRCAVAS DE LA URBANIZACIÓN 24 DE JULIO EN EL MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, (p. 32).

Instituto de Enseñanza de Noreña. **FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PROCESOS EROSIVOS**. 21 de octubre de 2009.

[<http://iesnorena.iespana.es/bioygeo/apuntes/ctma2bach/06.pdf>].

Intituto Nacional de Obras Sanitarias (I.N.O.S.) (1975) **NORMAS E INSTRUCTIVOS PARA EL PROYECTO DE ALCANTARILLADOS**. Caracas, Venezuela. (p. 17).

Jouayed, Rita (1999) **CONTROL DE LA EROSIÓN Y VEGETACIÓN DE ÁREAS DE CÁRCAVAS EN LOS BARRIOS JERUSALEN, BRISAS DEL ESTE Y EL MIRADOR DE CIUDAD BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, (p. 170).

Lerma, Héctor (2003) **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**. ECOE Ediciones, Bogotá, Colombia, (p. 54).

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MIAMB), Ministerio de Desarrollo Urbano (MINDUR) (1999) **NORMAS GENERALES PARA EL PROYECTO DE ALCANTARILLADOS**. Gaceta Oficial 5318 Extraordinario, Caracas, Venezuela, (p. 8).

Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.) (1967) **MANUAL DE DRENAJE**. Dirección de Vialidad, División de Estudios y Proyectos, Caracas, Venezuela, (pp. 1-161).

Sabino, Carlos (2006) **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. El Cid Editor, Caracas, Venezuela, (p. 143, 145, 179,199, 197).

Suárez, Jaime (2001) **CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES**. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, (pp 57-83, 491-523).

Tamayo y Tamayo, Mario. (2006). **METODOLOGÍA FORMAL DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICAL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Limusa, Caracas, Venezuela, (pp 99, 325).

Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra (2005). **MANUAL DE LAS NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO**. Ciudad Bolívar, Venezuela, (pp. 1-53).

Venezuelatuya.com S.A. **MAPA DE VENEZUELA**. 20 de Enero de 2010.  
[<http://www.venezuelatuya.com/geografia/mapavenezuela.htm>]



## APÉNDICES

### APÉNDICE A

#### CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA

Tabla A.1 Minuta de campo del levantamiento topográfico.

Estación	Punto	Ángulo	Ángulo	Distancia	Distancia	Desnivel	Cotas	Azimut
	Visado	Horizontal	Vertical	Inclinada	Horizontal			
	Poste	00°00'00"			25			77°00'00"
HK-Est1							100	
	A2	90°03'05"	12611'30"	18,70	12,180	-11,042	88,958	
	A1	94°12'50"	128°34'05"	20,10	12,287	-12,531	87,469	
	A3	102°05'20"	125°29'30"	18,90	12'529	-10,973	89,027	
	A4	87°11'15"	123°03'05"	17,30	12,154	-9,435	90,565	
	A5	75°14'40"	121°26'10"	17,20	12,521	-8,971	91,029	
	A6	72°59'40"	110°48'50"	14,50	12,669	-5,152	94,848	
	A7	111°41'25"	119°51'55"	17,60	13,236	-8,764	91,236	
	A8	43°08'35"	104°51'25"	18,50	17,284	-4,744	95,256	
	A9	27°04'25"	95°00'30"	25,40	25,206	-2,217	97,783	
	B1	94°12'50"	120°13'50"	22,60	16,871	-11,379	88,621	
	C1	94°12'50"	115°48'15"	29,50	23,910	-12,841	87,159	
	D1	94°12'50"	111°43'10"	35,00	30,207	-12,952	87,048	
	D2	90°42'30"	110°20'05"	34,70	30,510	-12,058	87,942	
	D3	82°20'10"	107°08'25"	34,20	31,230	-10,079	89,921	
	D4	77°35'50"	103°40'50"	34,00	32,098	-8,041	91,959	
	D5	69°35'35"	95°17'40"	34,50	34,206	-3,183	96,817	
	D6	100°11'00"	112°12'40"	35,10	30,084	-13,269	86,731	
	D7	100°11'00"	111°20'25"	34,90	30,277	-12,701	87,299	
	D8	118°55'45"	109°43'35"	35,60	31,544	-12,016	87,984	
	D9	128°49'55"	102°40'15"	37,00	35,220	-8,116	91,884	
	D10	58°18'35"	93°07'10"	38,70	38,585	-2,106	97,894	
	E1	94°12'50"	109°19'50"	41,00	36,508	-13,572	86,428	
	F1	94°12'50"	107°31'43"	44.60	41	-13,421	86,579	

	G1	94°12'50"	106°04'35"	40,20	45,427	-13,624	86,376	
	H1	94°12'50"	105°01'53"	53,1	49,528	-13,771	86,253	
	D13	126°07'18"	107°48'35"	37,70	34,173	-11,530	88,469	
	HK-Est1	00°00'00"	69°14'55"	9,00	7,764	3,335	100	189°00'00"

Continuación tabla A.1.

Estación	Punto	Ángulo		Distancia		Desnivel	Cotas	Azimut
		Horizontal	Vertical	Inclinada	Horizontal			
HK-Est2							96,665	
	I1	356°09'40"	76°33'55"	7,10	6,717	1,650	98,315	
	I2	356°09'40"	66°41'05"	8,00	6,747	3,166	99,831	
	I3	00°32'25"	68°06'05"	7,60	6,543	2,834	99,499	
	I4	04°06'35"	77°40'50"	6,70	6,395	1,430	98,095	
	I5	34°10'50"	80°41'55"	6,40	6,233	1,035	97,700	
	HK-Est1	00°00'00"	69°14'55"	9,00	7,764	3,335	100	189°00'00"
HK-Est2							96,665	
	I6	72°07'40"	78°22'25"	9,90	9,498	1,995	98,660	
	I7	86°09'10"	85°24'50"	14,20	14,109	1,135	97,800	
	I8	94°20'50"	82°39'05"	20,90	20,558	2,673	99,338	
	I9	353°10'35"	67°43'50"	8,00	6,851	3,032	99,697	
	I10	349°05'15"	78°15'25"	7,50	7,189	1,526	98,191	
	I11	340°20'00"	81°32'35"	8,40	8,218	1,235	97,900	
	I12	320°37'05"	81°05'35"	13,40	13,079	2,074	98,739	
	I13	304°48'35"	84°10'25"	29,50	29,196	2,995	99,660	
	A11	226°12'05"	94°36'45"	12,10	12,00	-0,973	95,692	
	A12	275°08'25"	87°26'30"	18,70	18,663	0,835	97,50	
	D12	255°03'55"	94°22'15"	33,60	33,405	-2,561	94,104	
	D11	256°41'50"	88°26'40"	34,00	33,975	0,923	97,588	
	HK-Est1	00°00'00"	59°46'10"	22,60	16,871	11,379	100	
B							88,621	
	J1	00°00'00"	78°34'30"	14,40	13,835	2,852	91,473	
	L1	00°00'00"	88°06'40"	11,50	11,488	0,379	89,00	

	M1	00°00'00"	91°42'15"	7,40	7,393	-0,220	88,401	
	A10	280°45'35"	87°06'30"	29,40	29,325	1,483	98,148	

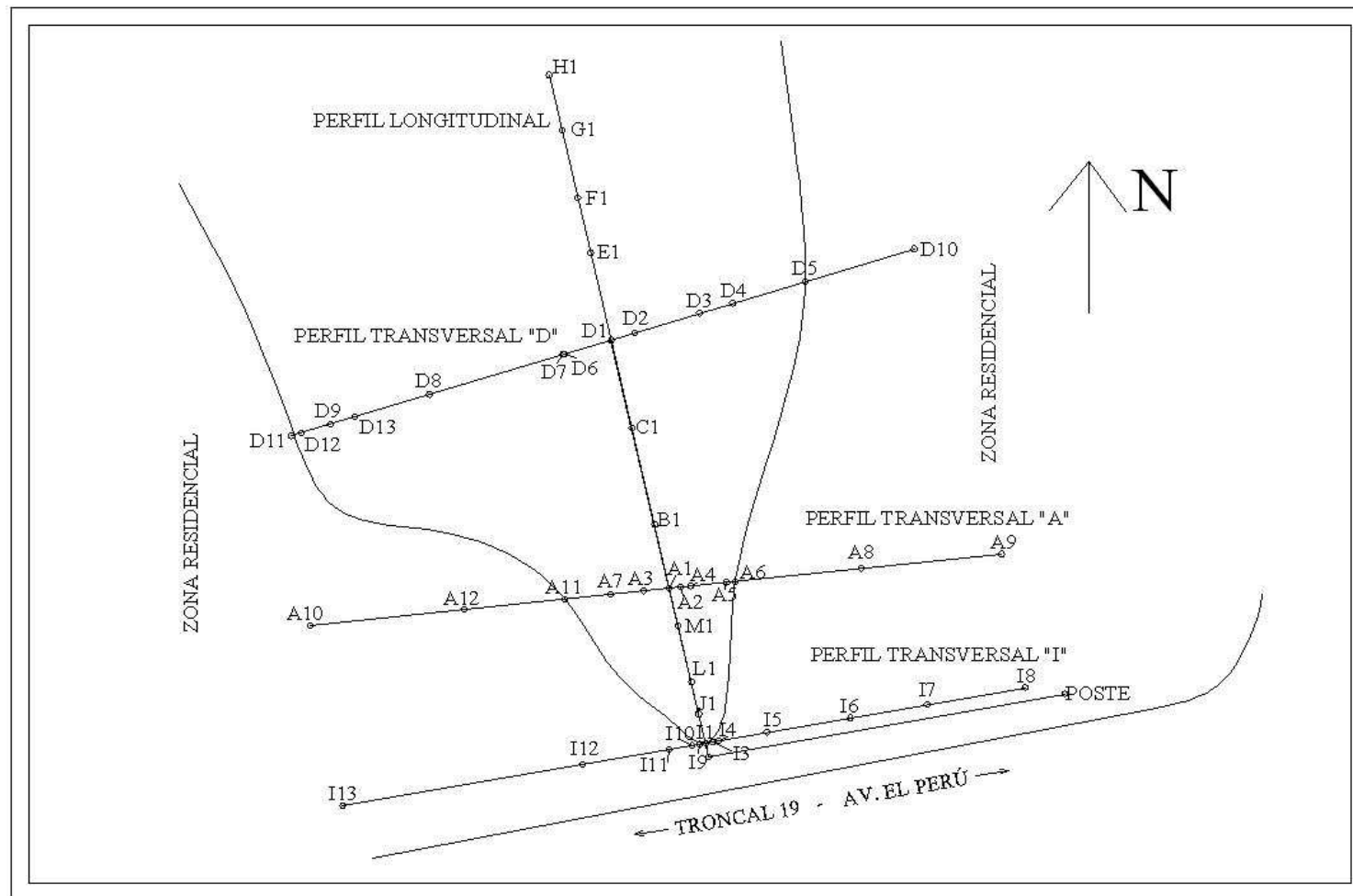


Figura A.2 Representación planialtimétrica de los perfiles longitudinal y transversales de la cárcava en estudio.

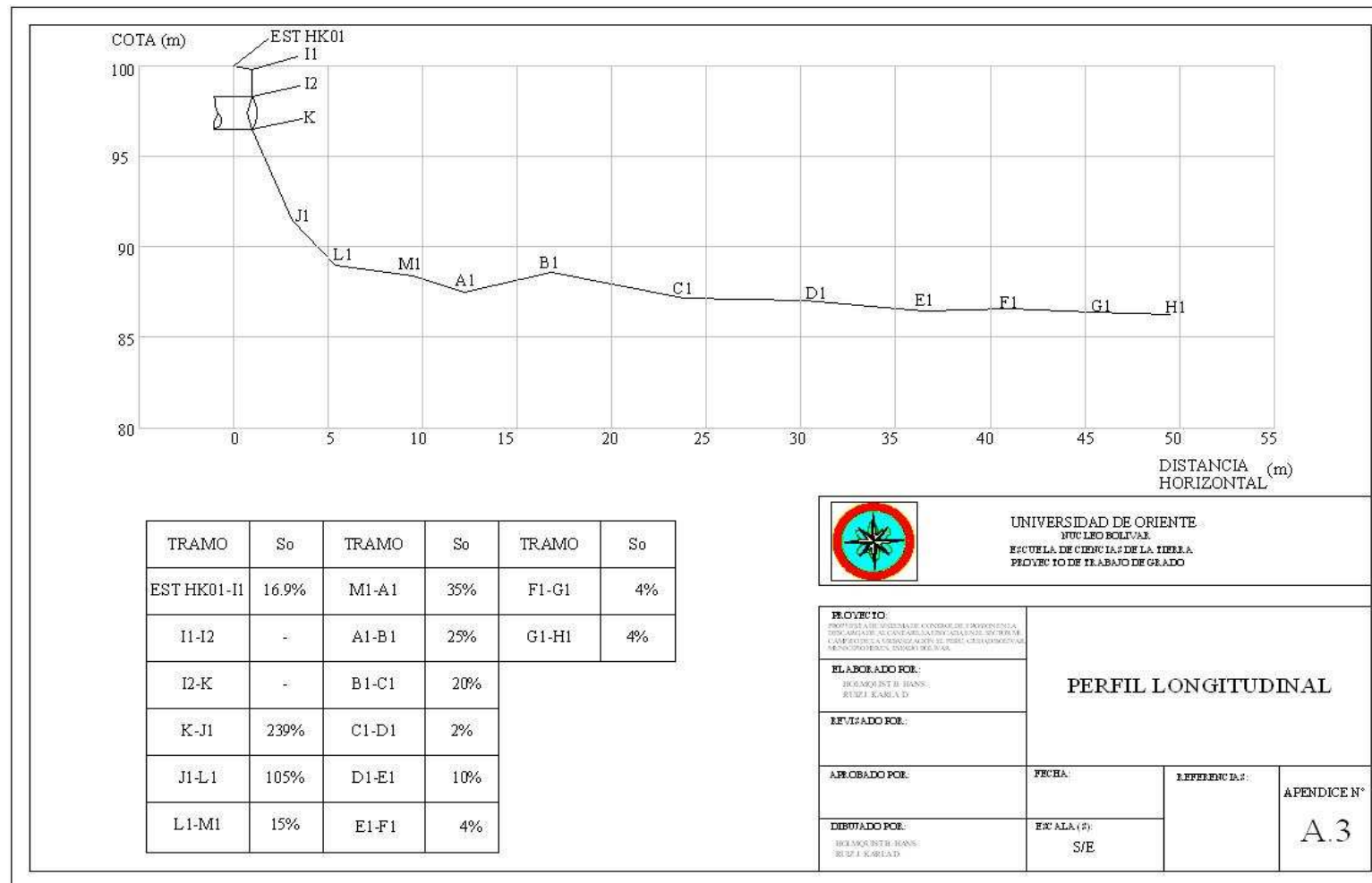


Figura A.3 Perfil longitudinal de la cárcava en estudio.

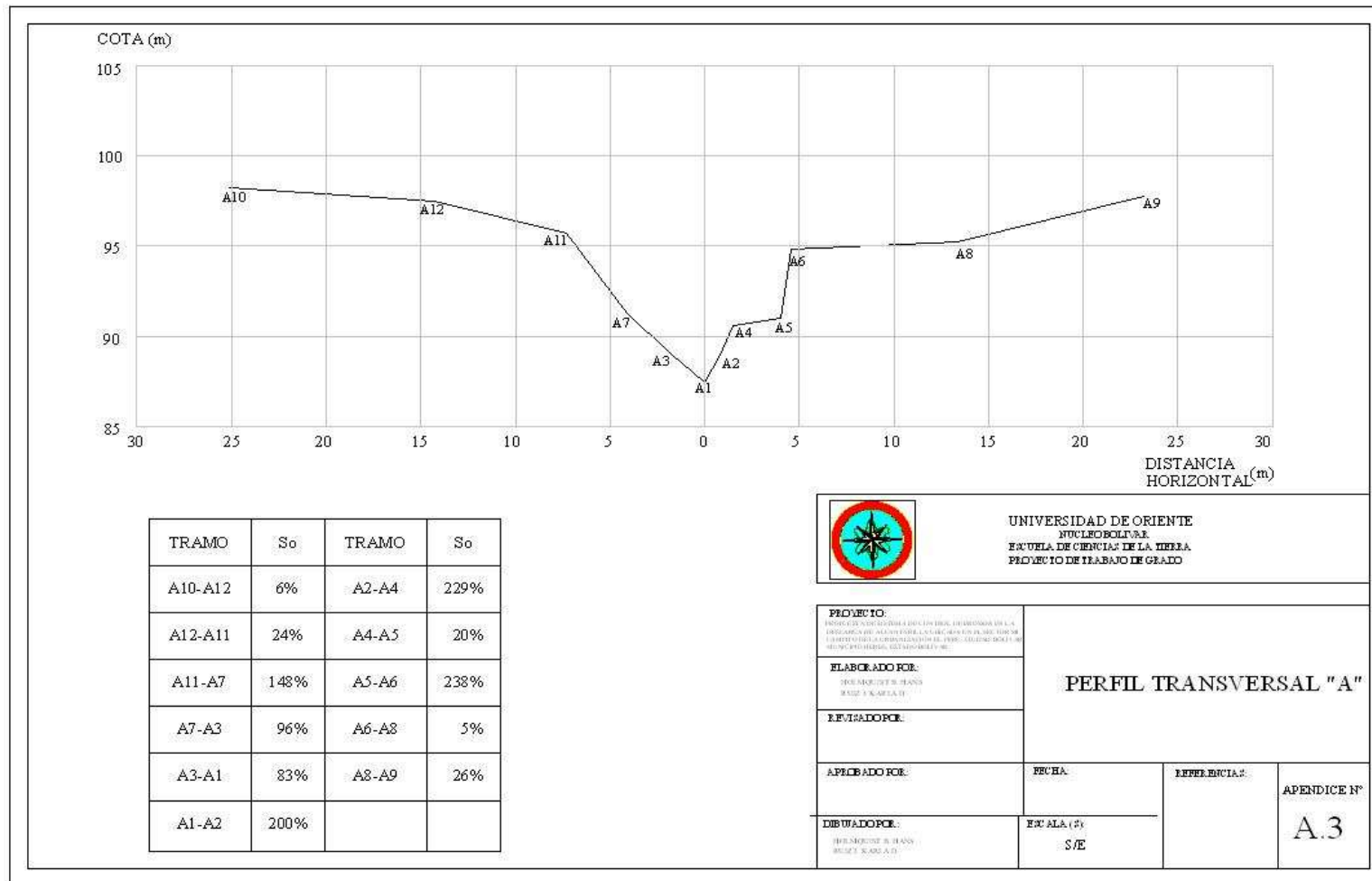


Figura A.4 Perfil transversal "A".

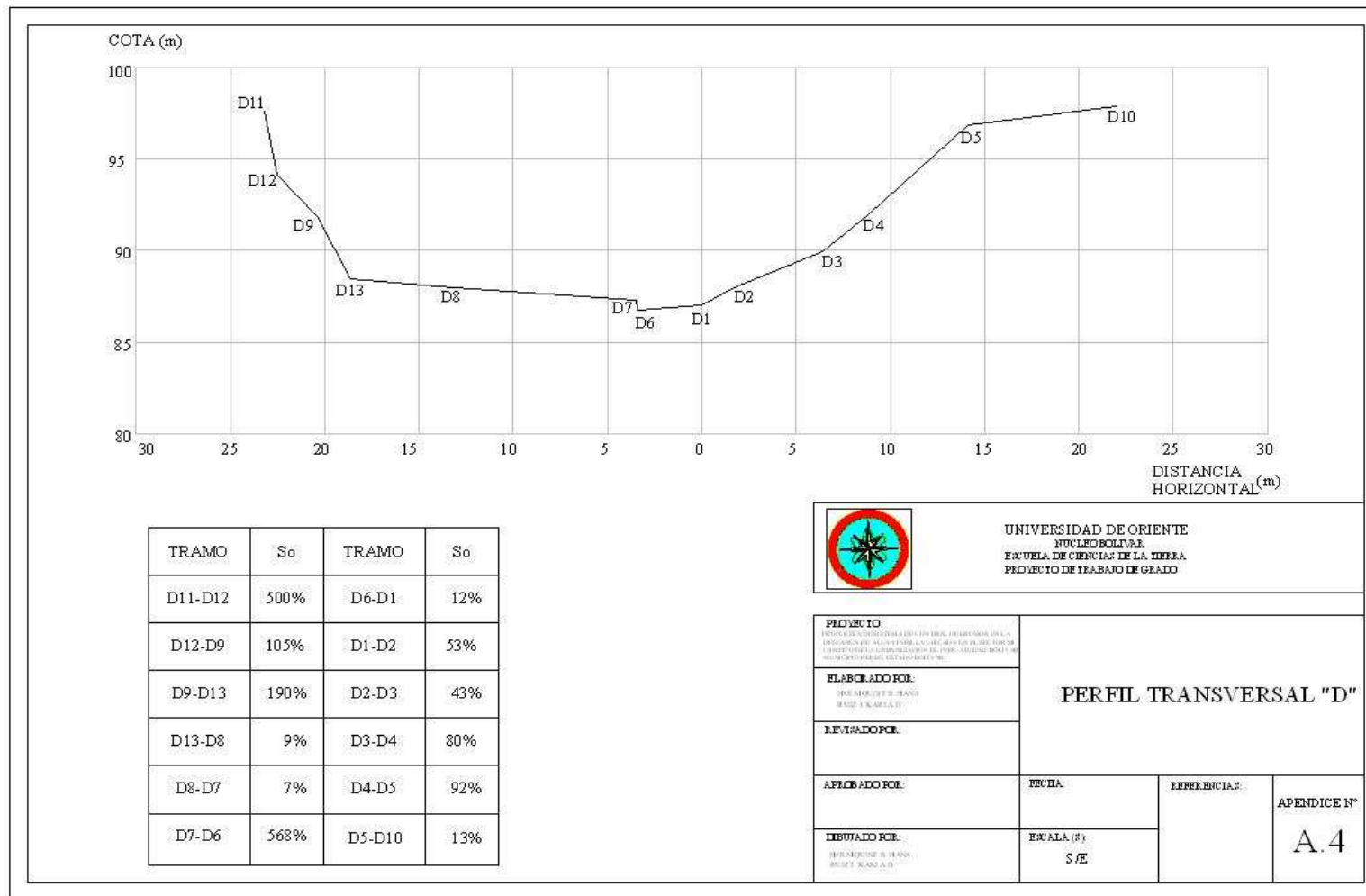


Figura A.5 Perfil transversal "D".

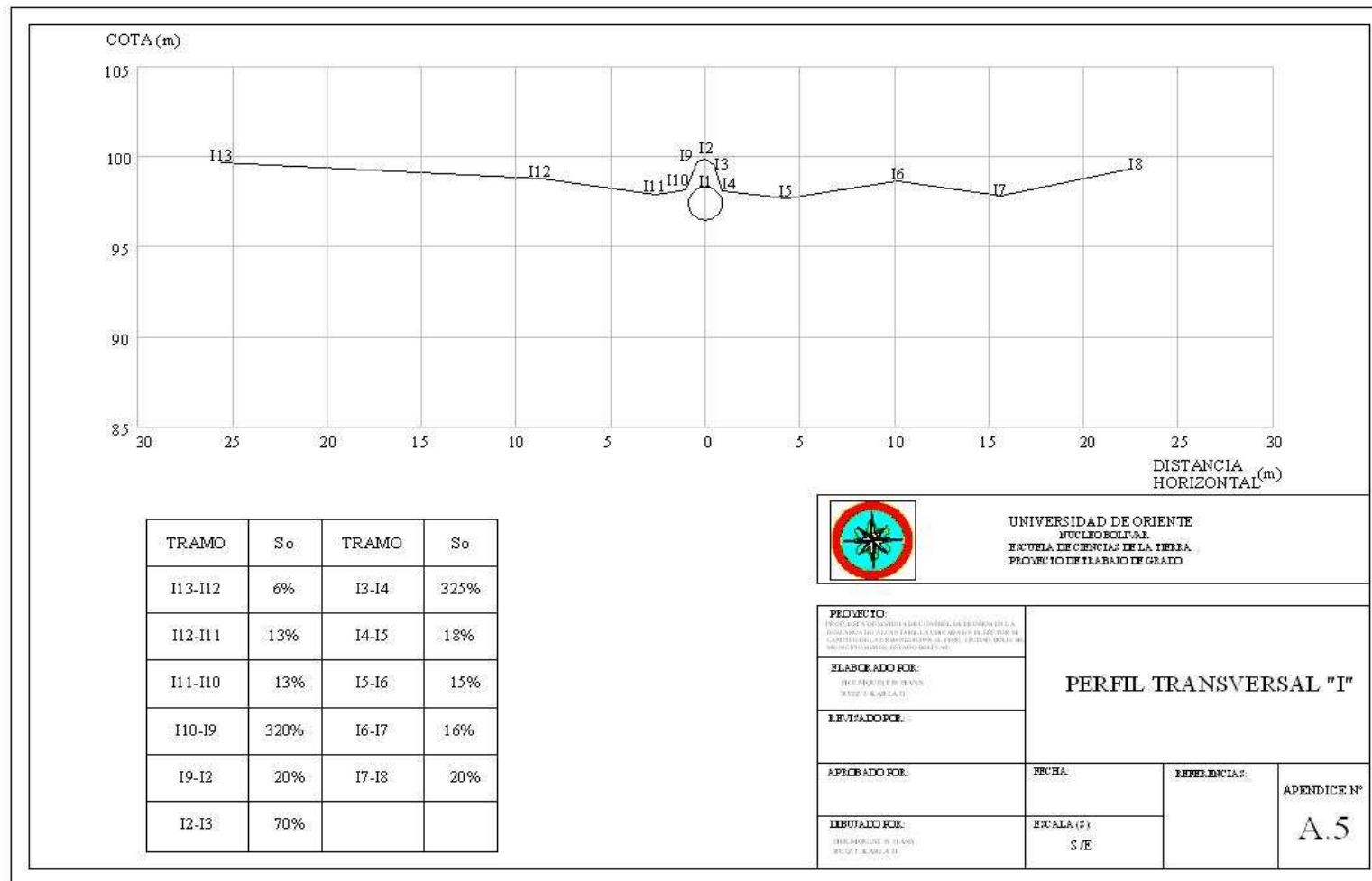


Figura A.6 Perfil transversal “T”.



## **APÉNDICE B**

### **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – METODO MECÁNICO**

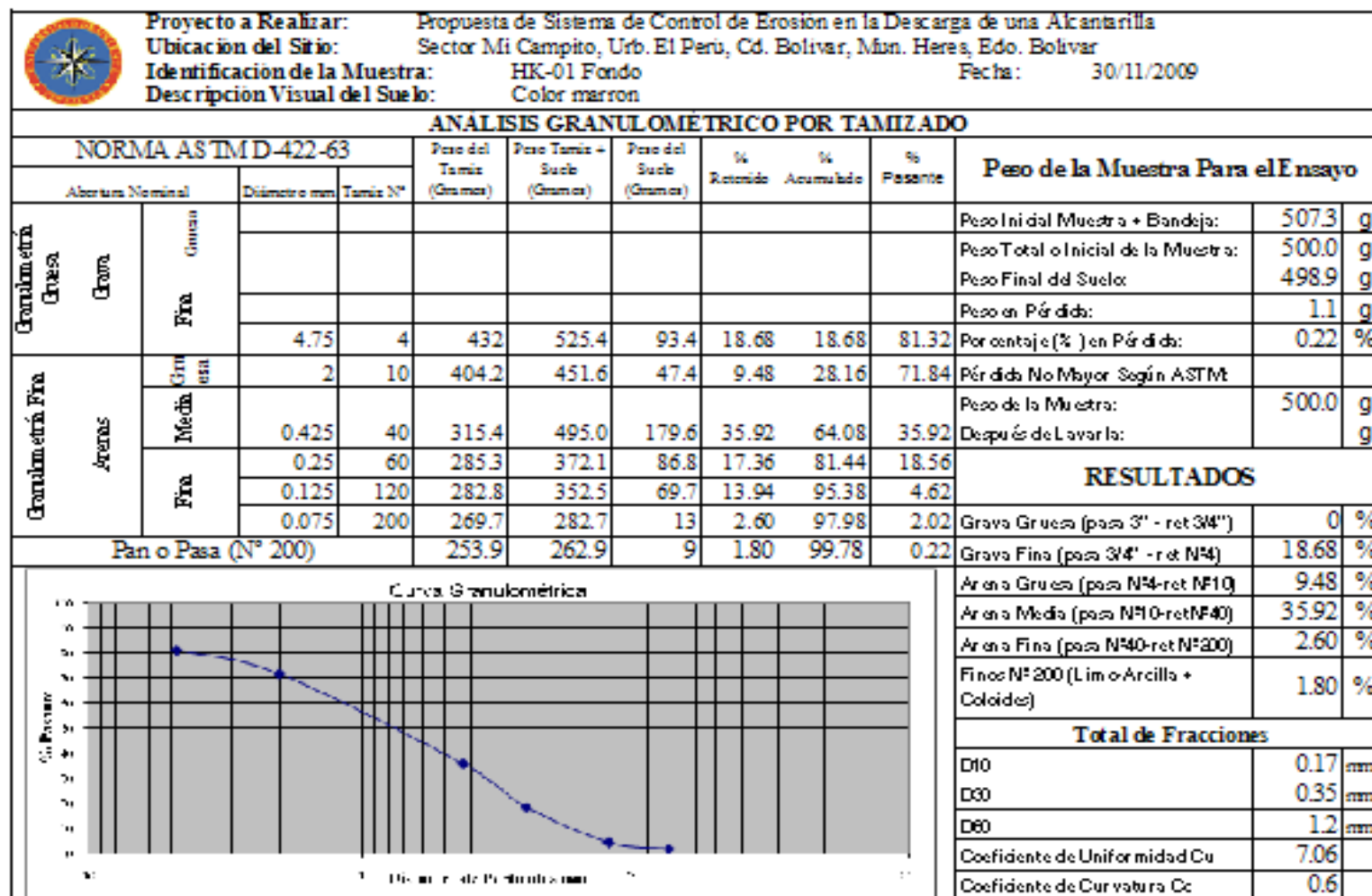


Figura B.1 Ensayo de análisis granulométrico - método mecánico muestra HK-01 fondo de la cárcava.

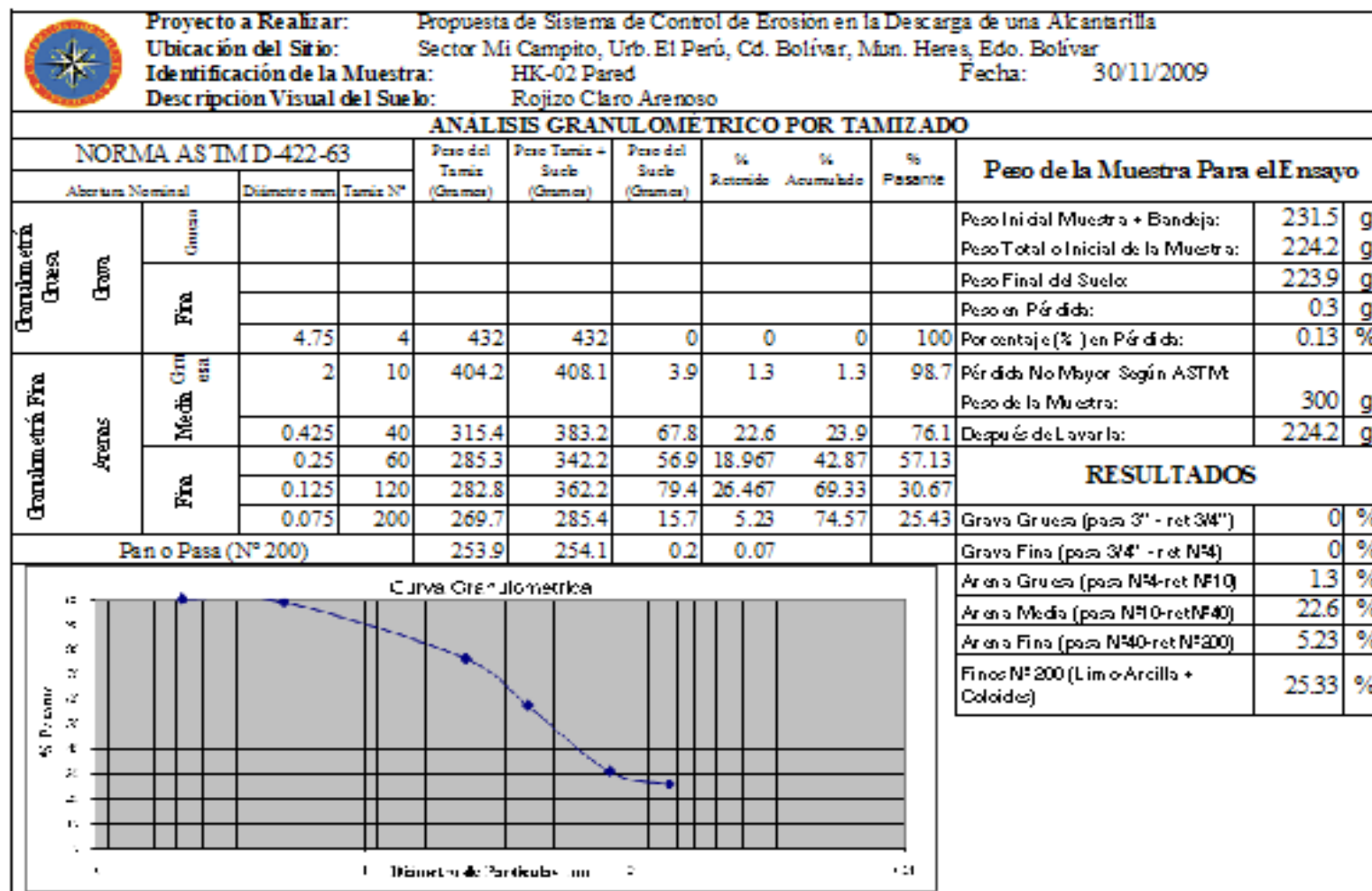


Figura B.2 Ensayo de análisis granulométrico - método mecánico muestra HK-02 pared de la cárcava.

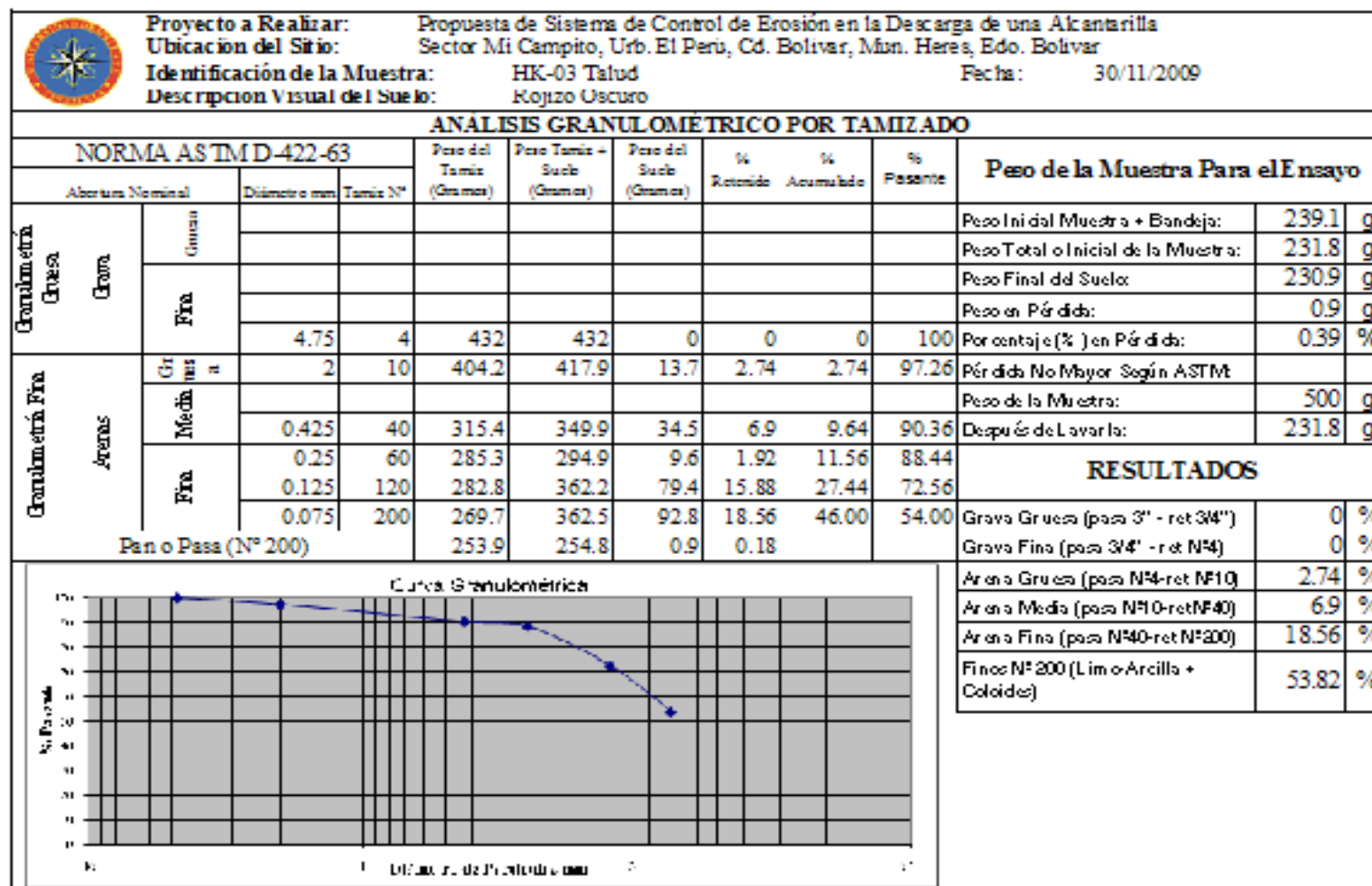


Figura B.3 Ensayo de análisis granulométrico - método mecánico muestra HK-03 talud de la vialidad.

**APÉNDICE C**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MÉTODO DE HIDRÓMETRO**

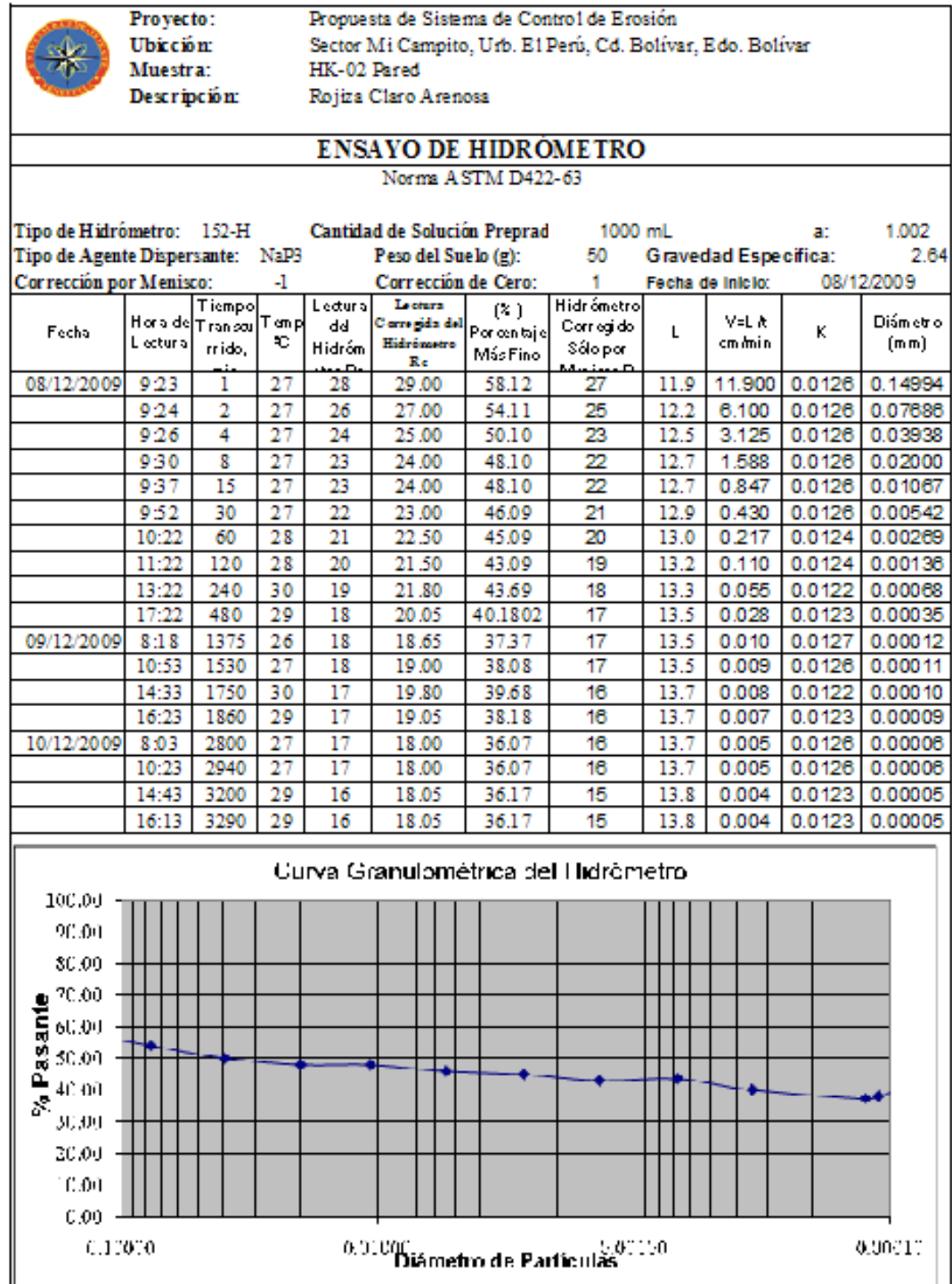


Figura C.1 Ensayo de análisis granulométrico - método de hidrómetro muestra HK-02.

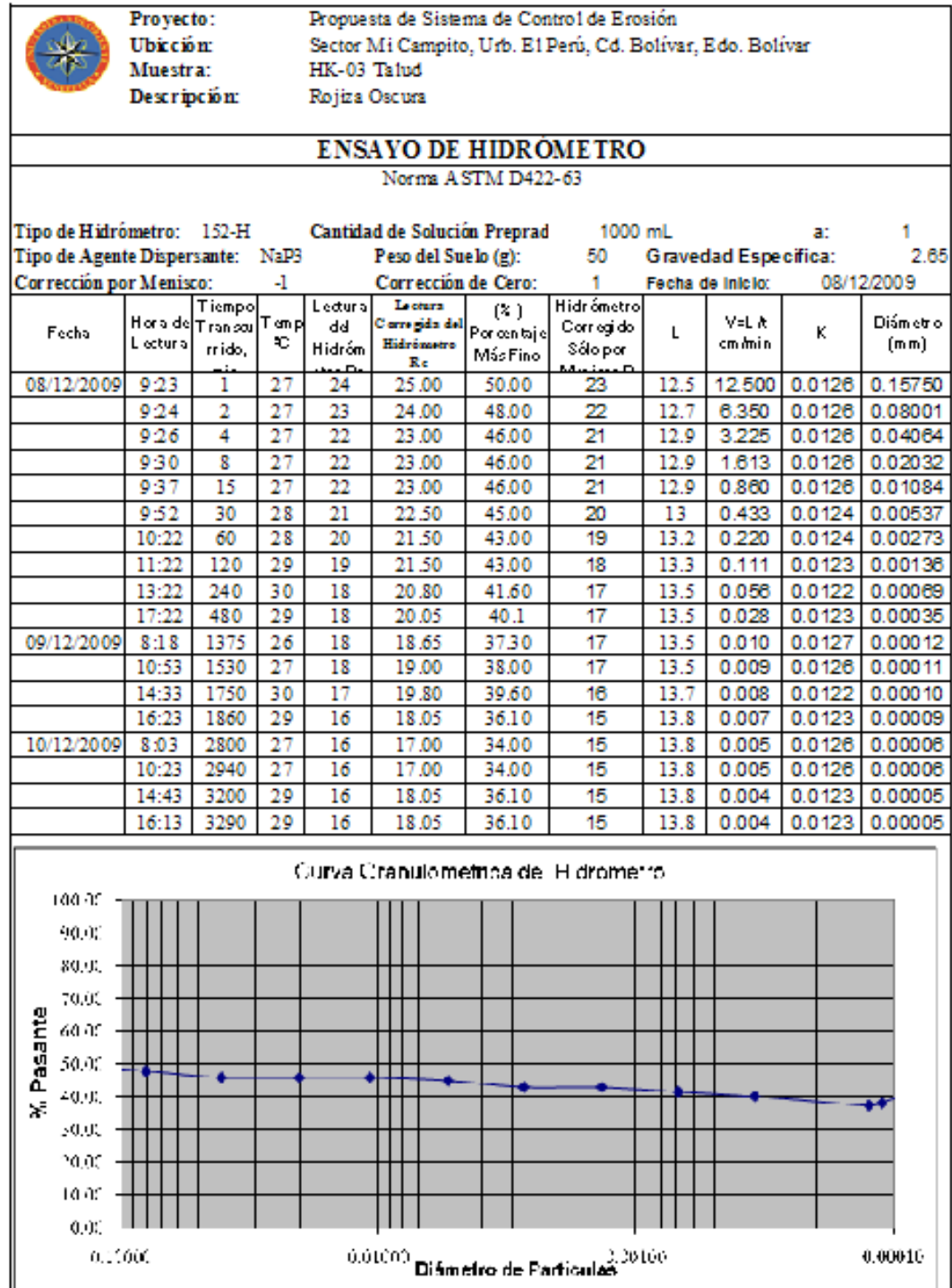


Figura C.2 Ensayo de análisis granulométrico - método de hidrómetro muestra HK-03.

## **APÉNDICE D**

### **GRAVEDAD ESPECÍFICA**



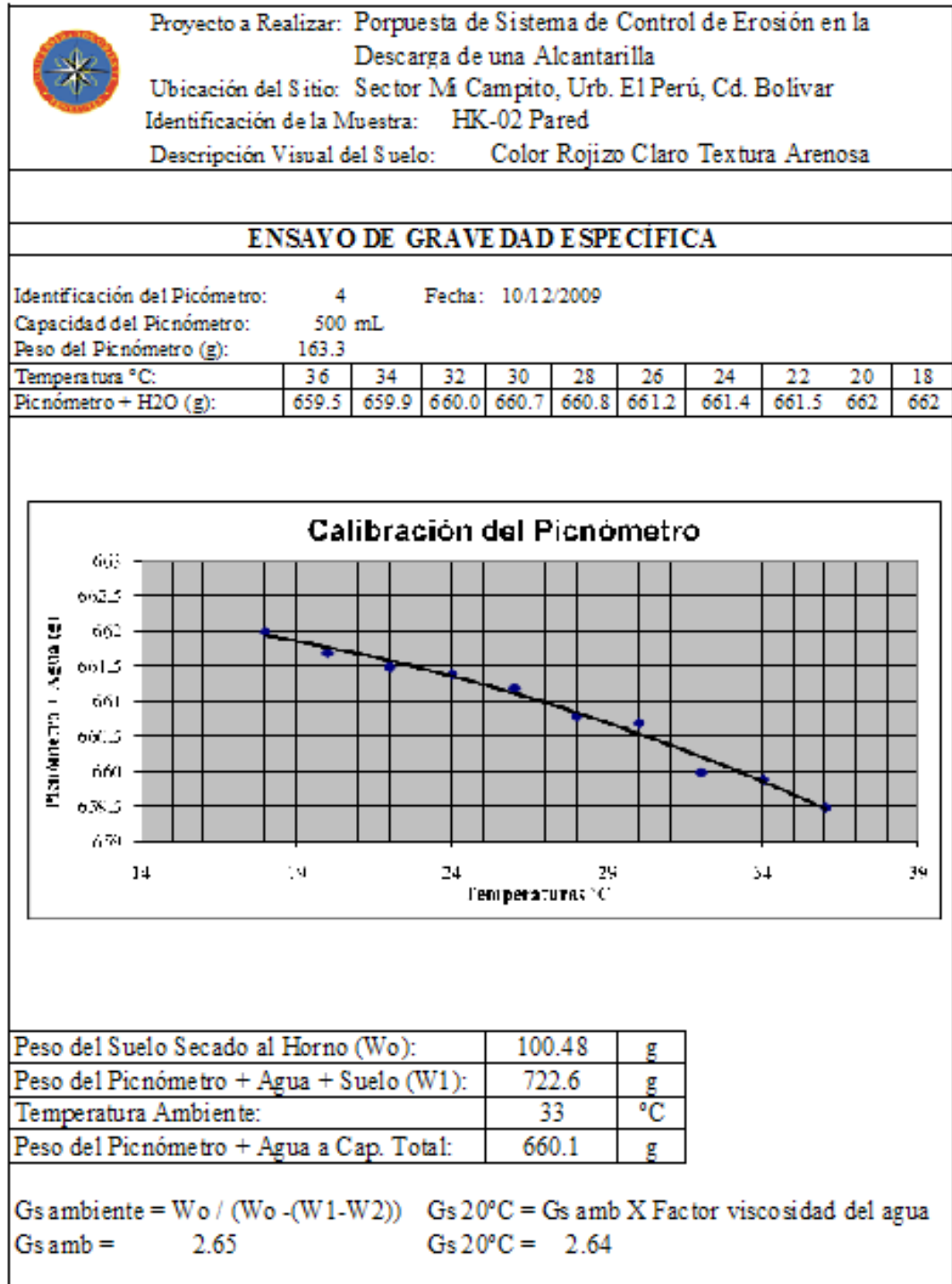


Figura D.1 Ensayo de gravedad específica muestra HK-02 pared de la cárcava.

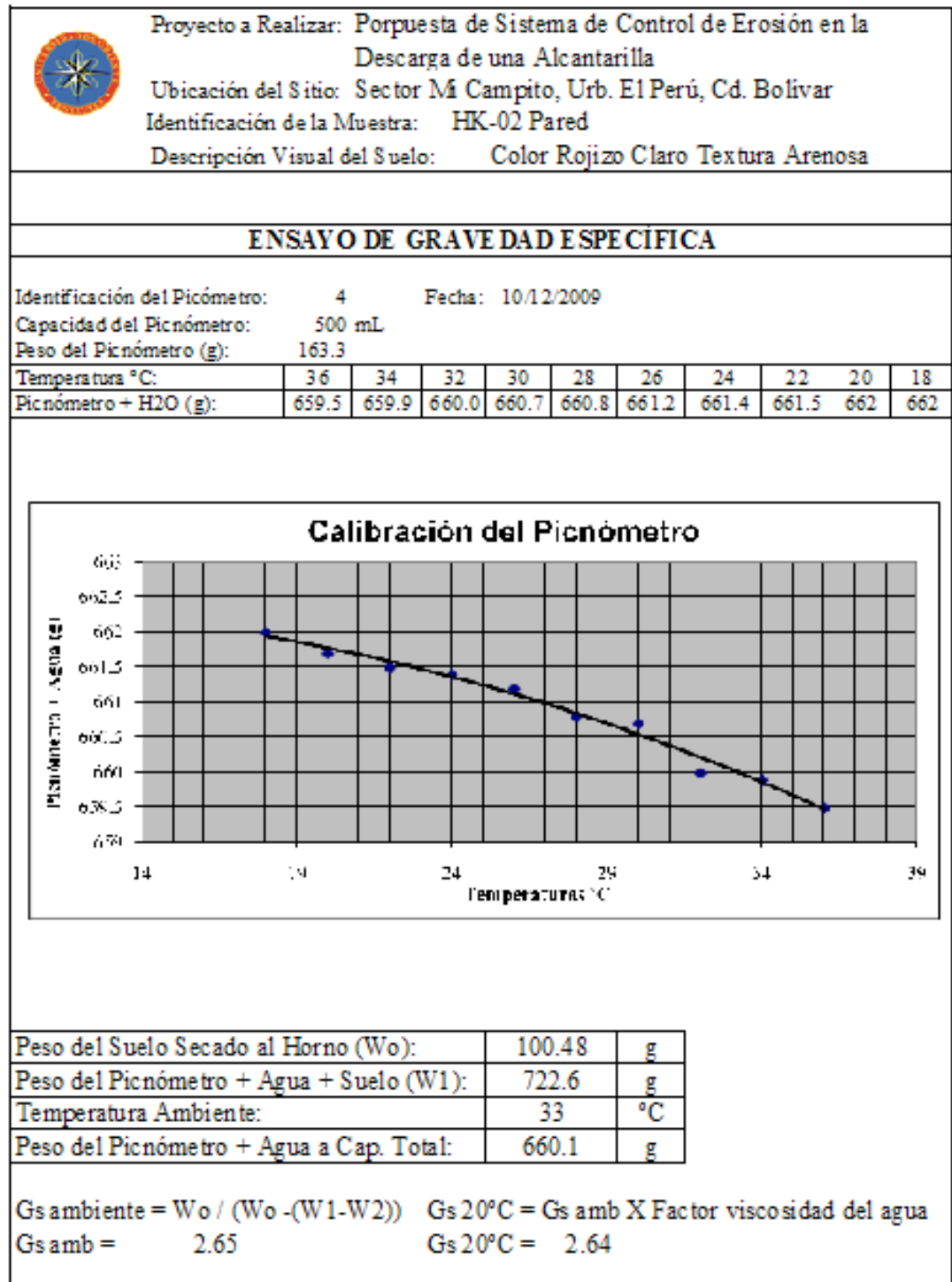


Figura D.2 Ensayo de gravedad específica muestra HK-03 talud de la vialidad.

## **APÉNDICE E**

### **LÍMITES DE ATTERBERG**


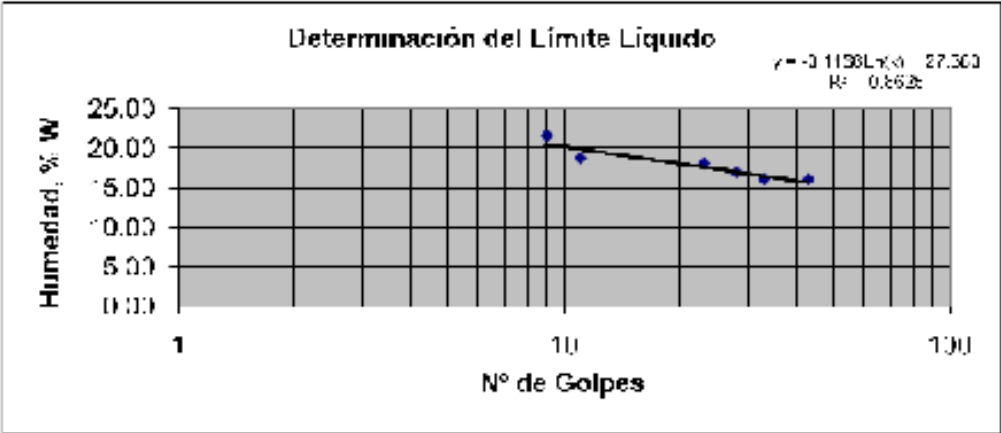
		<b>ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>				
<b>LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO</b>						
<b>Muestra:</b>	HK-02 Pared	<b>Proyecto:</b>	Propuesta de Sistema de Control de Erosion en la Descarga de Alcantarilla			
<b>Procedencia:</b>	Mi Campito					
<b>Fecha:</b>	01/12/2009					
<b>Determinación del Límite Líquido</b>						
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Tara + Suelo Húmedo</b>	45.33	53.63	49.24	42.89	43.67	46.75
<b>Tara + Suelo Seco</b>	43.95	50.95	47.13	41.81	42.45	45.29
<b>Peso Tara</b>	37.51	36.66	34.61	35.82	34.85	36.24
<b>Peso Suelo Seco</b>	6.44	14.29	12.52	5.99	7.60	9.06
<b>Peso de Agua</b>	1.39	2.67	2.11	1.08	1.22	1.45
<b>Humedad, W%</b>	21.54	18.69	16.87	18.02	16.02	16.05
<b>N° de Golpes</b>	9	11	28	23	43	33
						
<b>Límite Líquido:</b>	17	<b>Índice de Plasticidad:</b>	2			
<b>Límite Plástico:</b>	15					
<b>Determinación del Límite Plástico</b>						
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>				
<b>Tara + Suelo Húmedo</b>	105.02	111.01				
<b>Tara + Suelo Seco</b>	103.56	109.57				
<b>Peso Tara</b>	93.92	100.22				
<b>Peso Suelo Seco</b>	9.64	9.35				
<b>Peso de Agua</b>	1.46	1.44				
<b>Humedad, W %</b>	15.15	15.40				

Figura E.1 Ensayo de límites de atterberg muestra HK-02 pared de la cárcava.


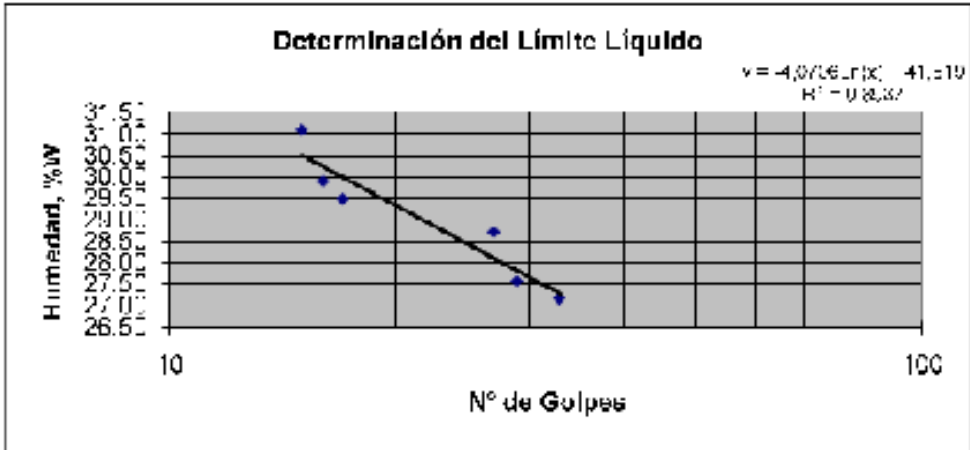
		ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA				
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
<b>LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO</b>						
Muestra:	HK-03 Talud	Proyecto:	Propuesta de Sistema de Control de Erosion en la Descarga de Alcantarilla			
Procedencia:	Mi Campito					
Fecha:	01/12/2009					
<b>Determinación del Límite Líquido</b>						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Tara + Suelo Húmedo	46.07	46.02	46.28	43.28	43.82	44.78
Tara + Suelo Seco	43.85	43.74	44.06	41.55	42.02	42.97
Peso Tara	36.73	36.12	36.50	35.52	35.49	36.30
Peso Suelo Seco	7.12	7.62	7.55	6.03	6.53	6.67
Peso de Agua	2.21	2.28	2.23	1.73	1.80	1.81
Humedad, W%	31.11	29.91	29.48	28.71	27.56	27.16
N° de Golpes	15	16	17	27	29	33
						
Límite Líquido:	28	Índice de Plasticidad:	11			
Límite Plástico:	17					
<b>Determinación del Límite Plástico</b>						
Tara N°	1	2				
Tara + Suelo Húmedo	46.73	46.74				
Tara + Suelo Seco	45.15	45.28				
Peso Tara	36.21	36.80				
Peso Suelo Seco	8.94	8.48				
Peso de Agua	1.58	1.47				
Humedad, W %	17.64	17.30				

Figura E.2 Ensayo de límites de atterberg muestra HK-03 talud de la vialidad.

**APÉNDICE F**  
**CORTE DIRECTO**

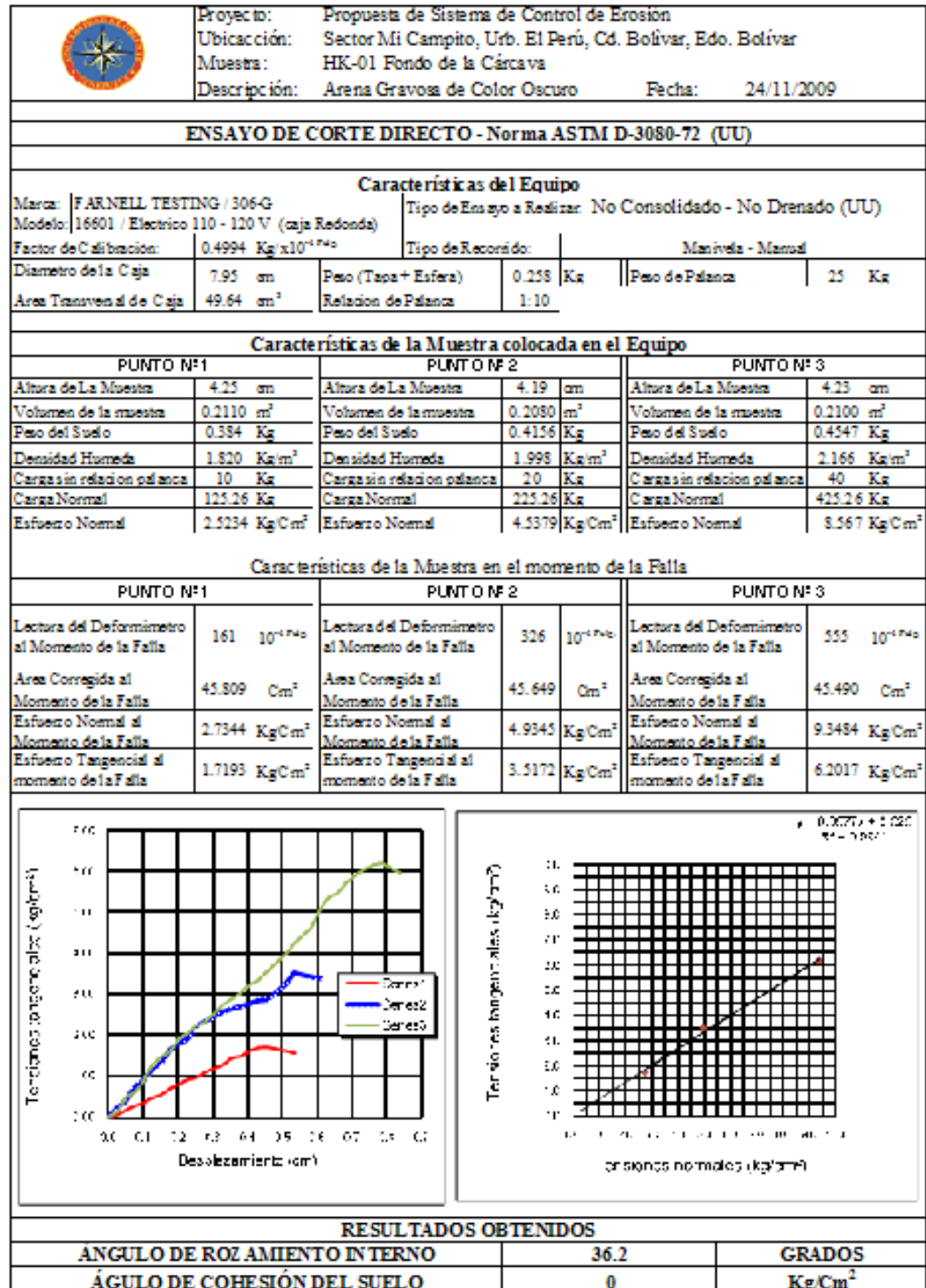


Figura F.1 Ensayo de corte directo muestra HK-01 fondo de la cárcava.

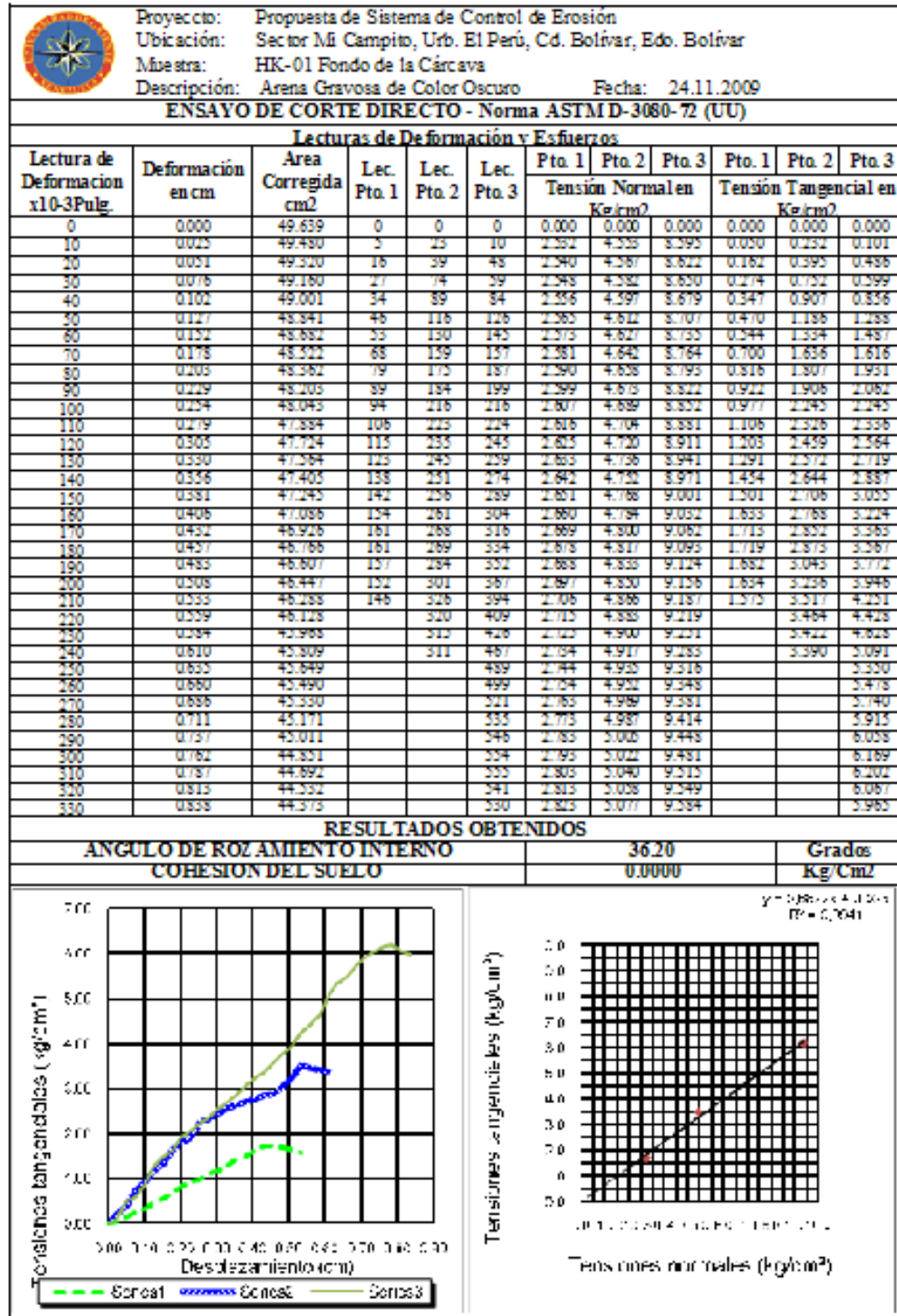


Figura F.2 Lecturas del deformímetro muestra HK-01 fondo de la cárcava.



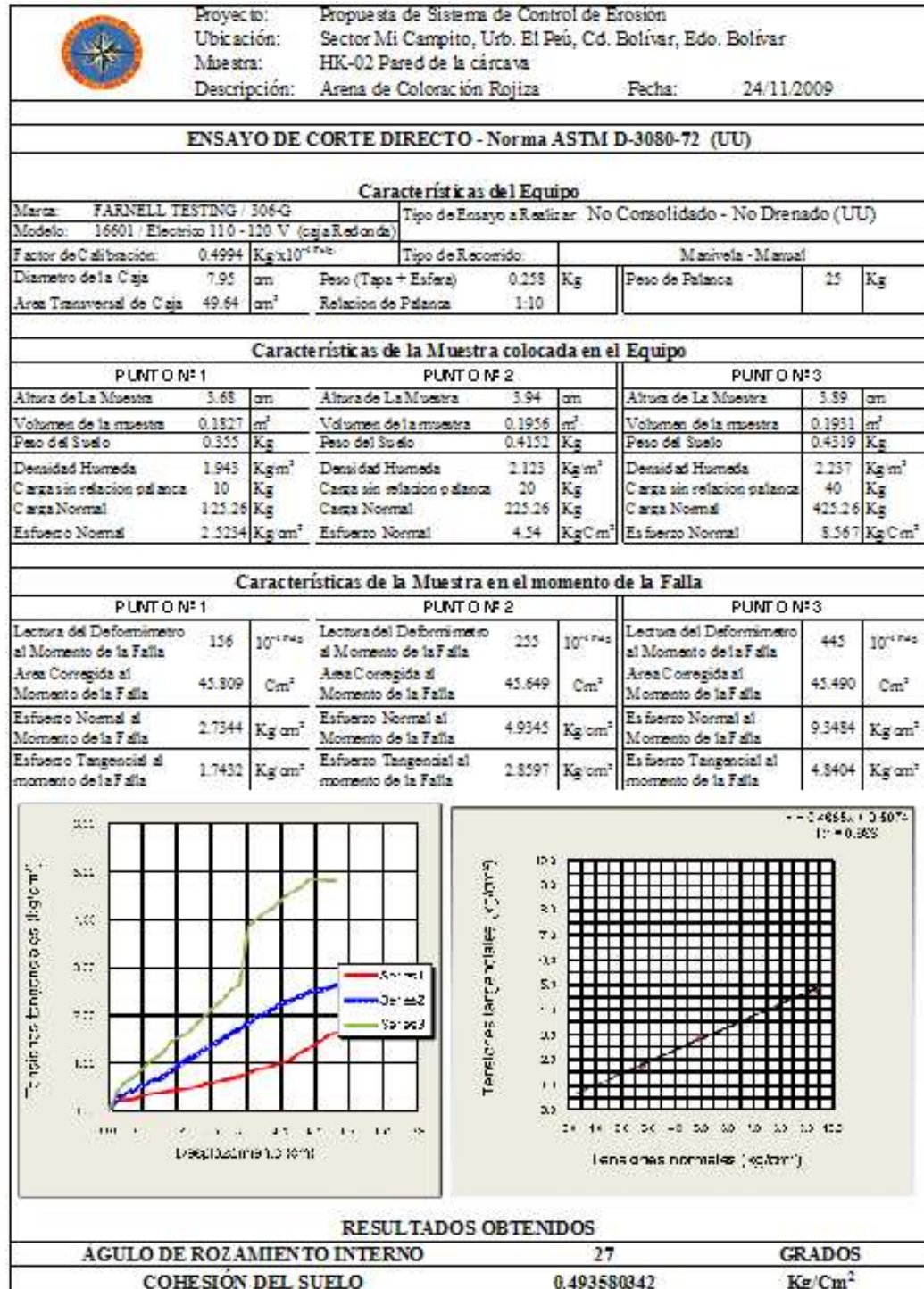


Figura F.3 Ensayo de corte directo muestra HK-02 pared de la cárcava.

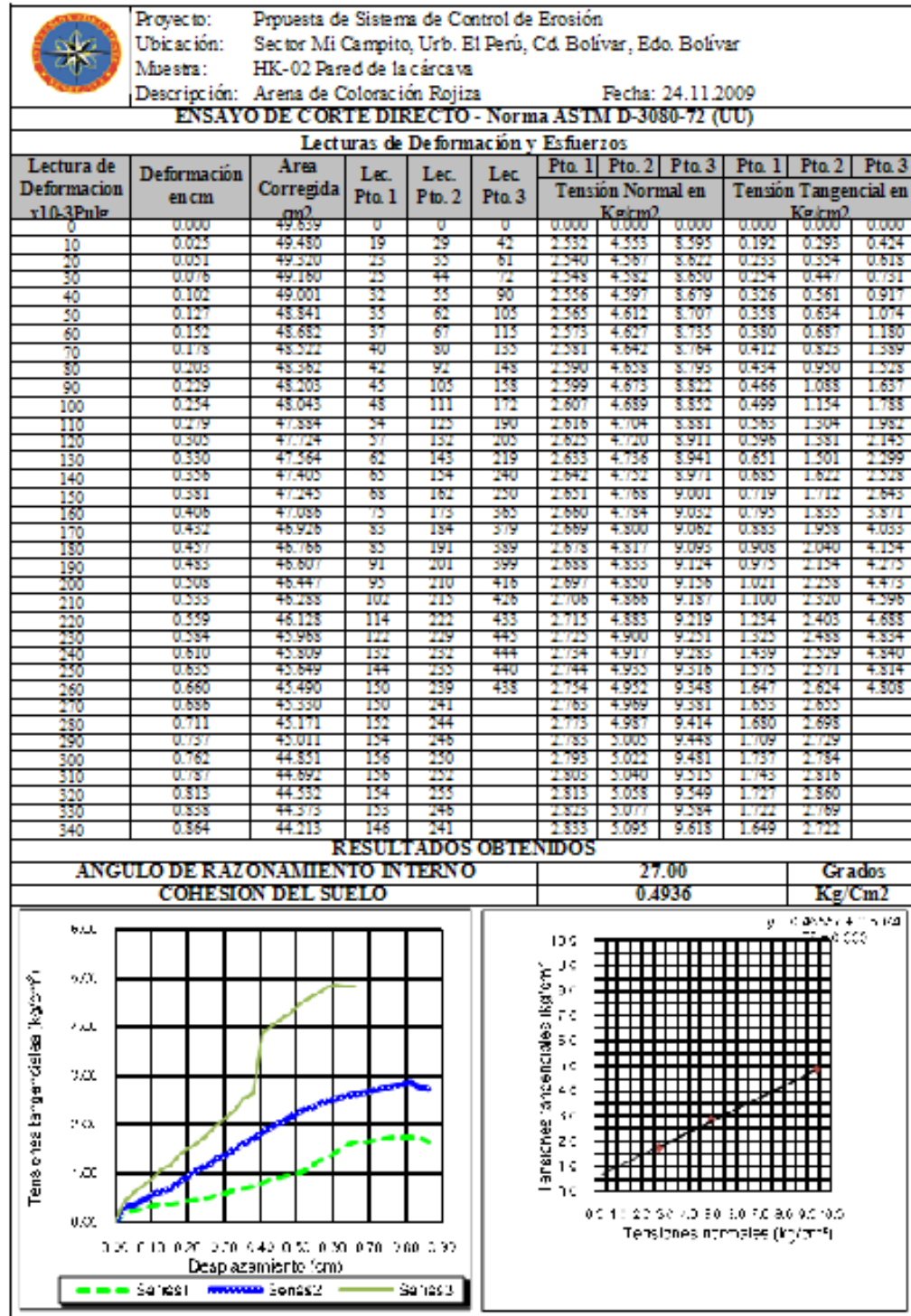


Figura F.4 Lecturas del deformímetro muestra HK-02 pared de la cárcava.

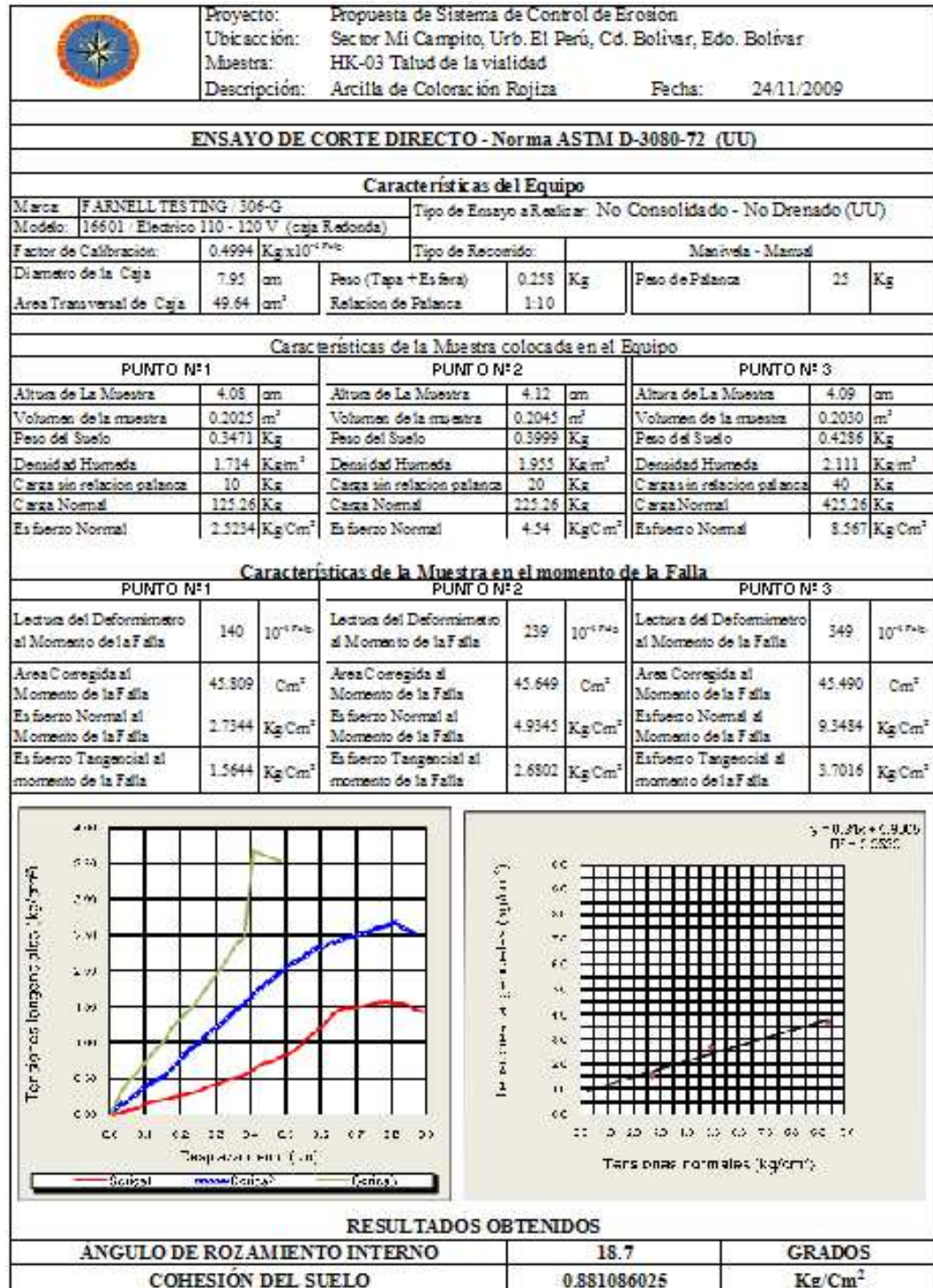


Figura F.5 Ensayo de corte directo muestra HK-03 talud de la vialidad.

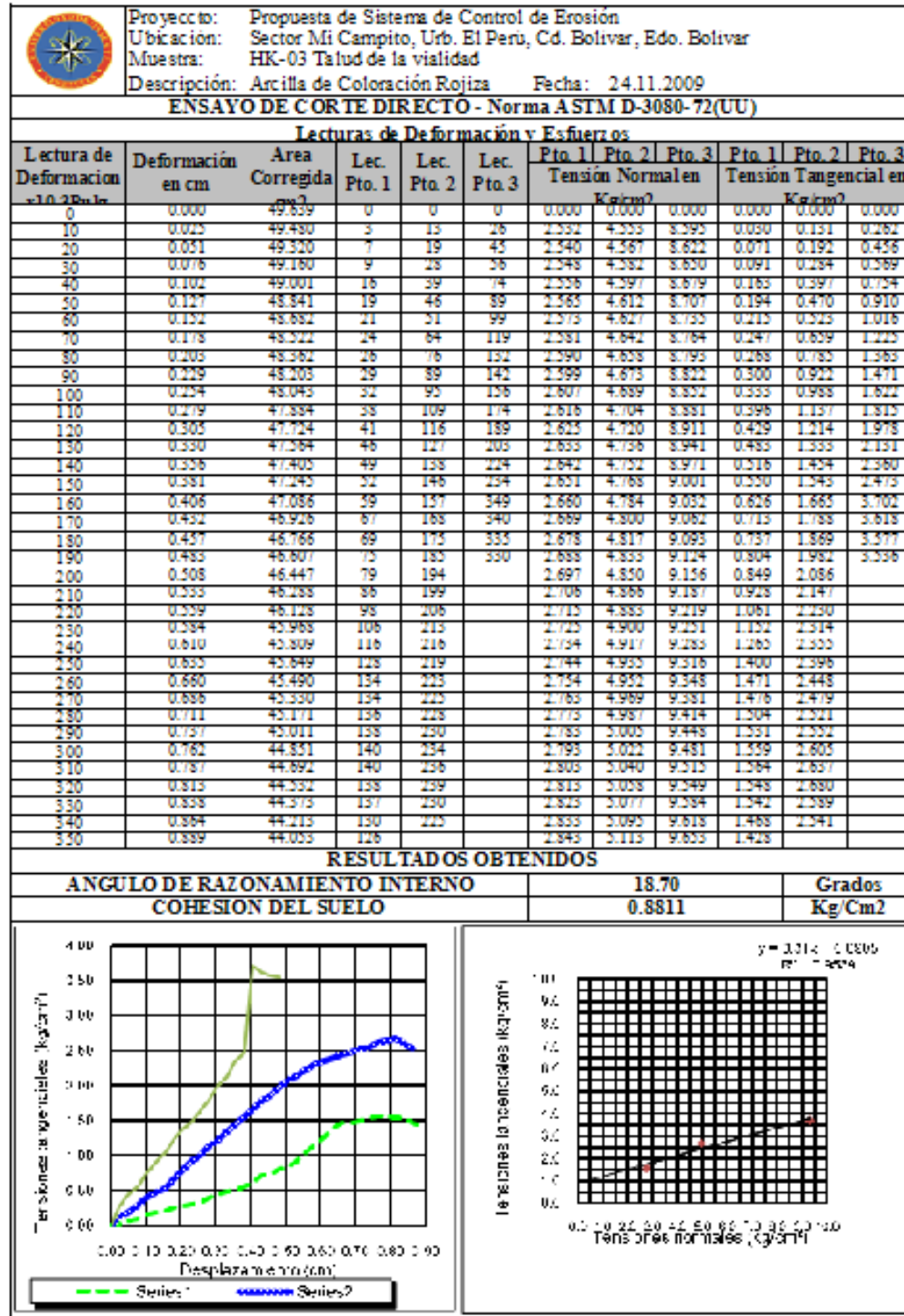


Figura F.6 Lecturas del deformímetro muestra HK-03 talud de la vialidad.

**APÉNDICE G**  
**DELIMITACIÓN DE LA CUENCA**

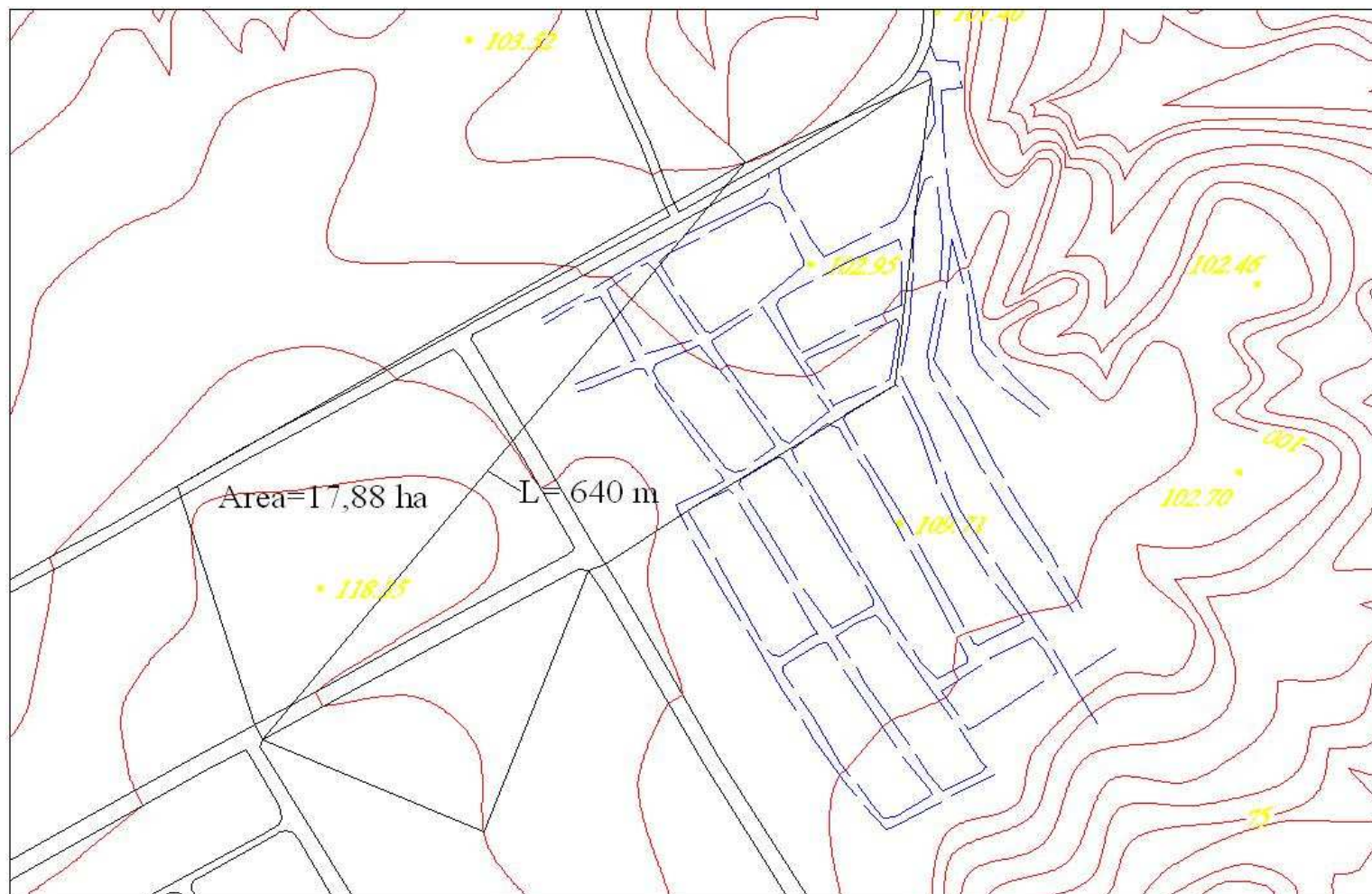


Figura G.1 Delimitación de la cuenca del área de estudio.

## APÉNDICE H

### INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA



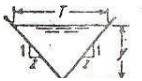
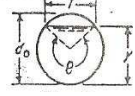
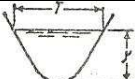
Tabla H.1 Coeficientes “n” de rugosidad de Manning para canales abiertos  
(Ministerio de Obras Públicas, 1967).

<b>Características del Canal</b>	<b>n</b>
<b>Canales Recubiertos</b>	
Concreto, acabado liso	0.013
Concreto, acabado con cepillo	0.015
Concreto, acabado con cepillo con algo de grava en el fondo	0.017
Concreto, acabado rústico	0.017
Concreto, “gunite” sección bien acabada	0.019
Concreto, “gunite” sección ondulada	0.022
Fondo de grava y lados de concreto	0.020
Fondo de grava y lados de zampeado	0.023

Fondo de grava y lados de gaviones	0.033
Asfalto liso	0.013
Asfalto rugoso	0.016
Hierba sin cortar, grama bermuda o similar	0.07
Hierba sin cortar, hierbas de 0.30 m de altura	0.11
Hierba sin cortar muy altas	0.14
<b>Conductos</b>	
Tubos de concreto prefabricado	0.012
Tubos de concreto vaciados en sitio	0.014
Tubos de metal corrugado galvanizado corriente	0.024
Tubos de metal corrugado galvanizado con 25% de su periferia pavimentada	0.021
Tubos de metal corrugado galvanizado con 50% de su periferia pavimentada	0.018
Hierro fundido	0.013
Acero	0.010
<b>Canales Excavados</b>	
En tierra, sección uniforme, limpios y sin vegetación	0.022
En tierra, sección uniforme, hierba corta y algunas malezas	0.027
En tierra, sección aproximadamente uniforme, sin vegetación	0.025
En tierra, sección aproximadamente uniforme, hierba corta y algunas malezas	0.030
En tierra, sección aproximadamente uniforme, plantas acuáticas, enea, etc	
En tierra, sección aproximadamente uniforme fondo de cantos rodados y taludes sin vegetación	0.040
Dragados sin vegetación	0.028
Dragados con vegetación ligera en los taludes	0.050
Sin manteniendo con gran cantidad de malezas	0.028
Sin mantenimiento con gran cantidad de malezas, arbustos y vegetación en las márgenes	0.100
En roca, sección uniforme y lisa	0.035
En roca, sección irregular y escabrosa	0.040



Tabla H.2 Elementos geométricos de secciones de canal (Bolinaga, 1979)

Sección	Área A	Perímetro Mojado P	Radio Hidráulico R	Ancho Superficial T	Profundidad Hidráulica D	Factor de Sección Z
 Rectángulo	$by$	$b+2y$	$\frac{b \cdot y}{b+2y}$	$b$	$y$	$by^{1.5}$
 Trapezio	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2zy}}$
 Triángulo	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)d_0$	$(\text{sen}1/2\theta)d_0$ ó $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}1/2\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \text{sen}\theta)^{1.5}}{32(\text{sen}1/2\theta)^{0.5}}d_0^{1.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6Ty}^{1.5}$

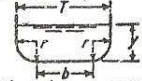

 Ángulo Esquinas Redonderadas	$\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2 + (b+2r)r$	$(\pi-2)r + b + 2y$	$\frac{(\frac{\pi}{2}-2)r^2 + (b+2r)r}{(\pi-2)r + b + 2y}$	$b+2r$	$\frac{(\frac{\pi}{2}-2)r^2}{b+2r}$	$\frac{[(\frac{\pi}{2}-2)r^2 + (b+2r)r]}{\sqrt{b+2r}}$
 Triángulo Fondo Redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1-z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1-z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y-r) + r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

Tabla H.3 Velocidades permisibles a la salida de alcantarillas para evitar la erosión del terreno (Ministerio de Obras Públicas, 1967).

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Velocidades en m/s</b>
Arena fina – no coloidal	0.75
Greda arenosa – no coloidal	0.75
Greda limosa – no coloidal	0.90
Greda firme	1.00
Greda fina	1.20
Arcilla dura – muy coloidal	1.40
Limos aluvionales – coloidales	1.40
Limos aluvionales – no coloidales	0.90
Materiales gradados – no coloidales, greda a grava	1.40
Materiales gradados – no coloidales, limo a grava	1.60
Materiales gradados – no coloidales, esquisto arcilloso	1.80
Materiales gradados – no coloidales, grava	1.80
Materiales gradados – no coloidales, grava gruesa	2.00
Materiales gradados – no coloidales, grava a cantos rodados	2.30

Tabla H.4 Velocidades máximas a sección llena en colectores de alcantarillados  
(Gaceta Oficial 5318 Extraordinario, 1999).

<b>Material de la Tubería</b>	<b>Velocidad Límite (m/s)</b>
Concreto Rcc18 = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	5.00
Concreto Rcc28 = 280 Kg/cm <sup>2</sup>	6.00
Concreto Rcc28 = 350 Kg/cm <sup>2</sup>	7.50
Concreto Rcc28 = 420 Kg/cm <sup>2</sup>	9.50
Arcilla Vitrificada	6.00
P.V.C	4.50
Hierro Fundido	Sin Límite
Acero	Sin Límite

Tabla H.5 Coeficientes de rugosidad de Manning (Federal Highway Administration, 2006).

		n – Value		
		Depth Ranges		
Lining Category	Lining Type	0 – 0.5 ft (0 – 150 mm)	0.5 – 2.0 ft (150 – 600 mm)	> 2.0 ft (> 600 mm)
Rigid	Concrete	0.015	0.013	0.013
	Grouted Riprap	0.040	0.030	0.028
	Stone Masonry	0.042	0.032	0.030
	Soil Cement	0.025	0.022	0.020
	Asphalt	0.018	0.016	0.016
Unlined	Bare Soil	0.023	0.020	0.020
	Rock Cut	0.045	0.035	0.025
Temporary	Jute Net	0.028	0.022	0.019
	Straw with Net	0.065	0.033	0.025
	Curled Wood Mat	0.066	0.035	0.028
	Synthetic Mat	0.036	0.025	0.021
Gravel Riprap	1-inch (25mm) D50	0.044	0.033	0.030
	2-inch (50mm) D50	0.066	0.041	0.034
Rock Riprap	6-inch (150mm) D50	0.104	0.069	0.035
	12-inch (300mm) D50	—	0.078	0.040



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	Propuesta de Sistema de Control de Erosión en la Descarga de Alcantarilla Ubicada en el Sector Mi Campito de la Urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.
<b>Subtítulo</b>	

**Autor(es)**

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
<b>Ruiz J., Karla D.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>18.238.983</b>
	<b>e-mail</b>	<b>karladjrj@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Karlavero15@hotmail.com</b>
<b>Holmquist B., Hans</b>	<b>CVLAC</b>	<b>18.477.471</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Hansholmquistb@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	<b>hansholmquist@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Palabras o frases claves:**

<b>Erosión</b>
<b>Cárcavas</b>
<b>Disipadores de energía</b>
<b>Enrocado</b>
<b>Tanque amortiguador</b>
<b>Alcantarilla</b>

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

## Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
<b>Ciencias de la Tierra</b>	<b>Ingeniería Civil</b>

## Resumen (abstract):

---

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general “Proponer un sistema para el control de la erosión en la descarga de una alcantarilla del río Santa Bárbara, ubicada en el sector Mi Campito, urbanización El Perú, Municipio Heres, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar”. Donde se adoptó una metodología de campo - no experimental y descriptiva, mediante la cual se realizó la caracterización topográfica, geotécnica e hidrológica del área de estudio, así como la identificación de los factores que intervienen en la formación de cárcavas y los riesgos que implica el continuo proceso erosivo al que se encuentra sometida. La colocación del punto de descarga del sistema de agua pluvial del sector mencionado, directamente hacia la cárcava, sin ningún tipo de protección, ha acelerado el proceso de erosión en la misma, debido a la concentración de grandes volúmenes de agua que se producen, evidenciando un caudal  $5.72 \text{ m}^3/\text{s}$  según el estudio hidrológico, en una zona de pendientes elevadas (en el orden del 239%), observadas en los perfiles topográficos, que se han visto intensificadas por las altas velocidades que alcanza el agua de escorrentía concentrada ( $9.90 \text{ m/s}$  en la descarga), y en presencia de un suelo principalmente arenoso y no cohesivo, como lo demuestran los estudios de suelo. Se propone un sistema de disipación de energía en la descarga, conformado por una tubería de concreto que traslada el agua desde la alcantarilla hasta el fondo de la cárcava, donde el caudal es manejado por un tanque amortiguador que disipa la energía a través de un resalto hidráulico, disminuyendo la velocidad desde  $15.42 \text{ m/s}$  hasta una velocidad de  $3.47 \text{ m/s}$  que pueda ser manejada por un dissipador de enrocado que reduce la velocidad del agua hasta la velocidad permisible para el suelo presente ( $0.75 \text{ m/s}$ ), terminando en la revegetación de la zona en donde el agua entre en contacto con el suelo. Además se plantea la protección de la tubería de concreto con la colocación de tierra armada y la protección de taludes mediante revegetación en algunas áreas y concreto y rocas en otras, a fin de evitar una erosión regresiva que implique la falla de las estructuras planteadas.

---



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Grus S., Carlos M.</b>	ROL	Tutor
	CVLAC	<b>08866972</b>
	e-mail	<a href="mailto:cmgrus@gmail.com">cmgrus@gmail.com</a>
	e-mail	
<b>Sequera, Mercedes</b>	ROL	Jurado
	CVLAC	<b>05083438</b>
	e-mail	<a href="mailto:merselu@hotmail.com">merselu@hotmail.com</a>
	e-mail	
<b>Echeverría, Dafnis</b>	ROL	Jurado
	CVLAC	<b>04506498</b>
	e-mail	<a href="mailto:djed4506@hotmail.com">djed4506@hotmail.com</a>
	e-mail	
	ROL	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
<b>2010</b>	<b>6</b>	<b>10</b>

Lenguaje: spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TESIS PROPUESTA DE SISTEMA DE CONTROL doc	Application/msword

### Alcance:

**Espacial :** Sector Mi Campito, Urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar.

**Temporal:** 10 Años

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Ingeniero Civil

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pregrado

**Área de Estudio:** Ingeniería Civil

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5


### Derechos:

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado  
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la  
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros  
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,  
quien lo participara al Consejo Universitario”

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



**Karla D. Ruiz J.**



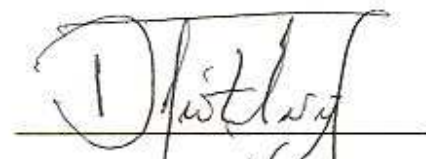
**Hans Holmquist B.**



**Prof. Carlos Grus  
TUTOR**



**Prof. Mercedes Sequera  
JURADO 1**



**Prof. Dafnis Echeverría  
JURADO 2**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:**



**Prof. Giovanni Grieco**