

# Atajados

su diseño y construcción

Bastiaan Tammes / Eduardo Villegas / Luis Guamán

Proyecto de gestión  
Integrada y Plan  
Maestro de la Cuenca  
del Rio Pilcomayo  
**BIBLIOTECA**

HH 171



Esta publicación fue posible gracias al apoyo financiero de la Cooperación Técnica Alemana, GTZ y el Banco Alemán Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW.

El presente libro fue elaborado por los consultores de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y del Fondo de Desarrollo Campesino (FDC) del Programa de Ayuda para Damnificados del Terremoto. Este programa ha sido financiado por la Cooperación Financiera Alemana a través del Banco Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Corrección: Ing. Irene Bloemen y Dr. Gustavo Giacoman  
Fotos: Bastiaan Tammes y Luis Guamán

*La genialidad del diseño yace en su sencillez*

© Bastiaan Tammes, Eduardo Villegas y Luis Guamán, 2000  
© Plural editores, 2000.  
ISBN: 99905-62-41-5  
D.L.: 4-1-1570-00

Producción y distribución:  
Plural Editores  
Rosendo Gutiérrez 595 esq. Ecuador  
Teléfono 411018 / Fax.: 411528, Casilla 5097, La Paz - Bolivia  
Email: plural@caoba.entelnet.bo

*Impreso en Bolivia*

# Contenido

---

Agradecimientos .....	11
Presentación .....	13
Símbolos .....	15
1. INTRODUCCIÓN .....	17
2. INVESTIGACIÓN Y PLANIFICACIÓN .....	19
2.1 Proceso de diseño .....	19
2.2 Propiedad y derechos de tierra y agua .....	21
2.3 Ubicación .....	21
2.3.1 Topografía .....	22
2.3.2 Características del suelo .....	22
2.4 La fuente de agua .....	24
2.4.1 Escorrentía superficial .....	25
2.4.2 Ríos, acequias, quebradas y cunetas .....	27
2.4.3 Vertientes .....	28
2.4.4 El aporte total de agua .....	28
2.5 El uso del agua .....	28
2.5.1 Uso para riego .....	30
2.5.2 Uso para animales .....	31
2.5.3 Uso doméstico .....	32
2.5.4 Pérdidas por el almacenamiento del agua .....	33
2.5.5 Requerimiento de agua .....	34
3. DISEÑO .....	35
3.1 Capacidad del atajado .....	35
3.2 Diseño Geométrico .....	38
3.3 Movimiento de tierra .....	41
3.4 Obras Complementarias .....	43
3.4.1 Canales de captación o aducción .....	43
3.4.2 Sedimentador .....	48
3.4.3 Canal de ingreso .....	50
3.4.4 Sistema de desfogue .....	50

3.4.5 Cámara disipadora de energía .....	55
3.4.6 Aliviadero .....	55
3.4.7 Canales de conducción .....	56
3.4.8 Cerco de protección perimetral .....	56
4. CONSTRUCCIÓN .....	59
4.1 Replanteo .....	59
4.2 El desbrozo de la capa arable .....	60
4.3 Emplazamiento del tubo de desfogue .....	60
4.4 Excavación del atajado y conformación de los terraplenes compactados .....	62
4.5 Construcción de las obras complementarias .....	62
4.5.1 Canal de captación o aducción .....	62
4.5.2 Sedimentador .....	63
4.5.3 Canal de ingreso .....	65
4.5.4 Sistema de desfogue .....	65
4.5.5 Cámara disipadora de energía .....	65
4.5.6 Aliviadero .....	67
4.5.7 Cerco de protección perimetral .....	67
4.5.8 Manejo del hormigón .....	69
4.5.9 Personal, maquinas, herramientas y materiales de construcción ....	69
5. MANEJO EN LA FASE DE CONSOLIDACIÓN DEL ATAJADO .....	71
5.1 Primer almacenamiento con agua .....	71
5.2 Manejo inicial del atajado .....	72
5.3 Protección del área de aporte .....	72
5.4 Manejo del agua almacenada .....	75
6. PROBLEMAS Y RECOMENDACIONES .....	77
7. PROYECTO DE UN CASO .....	87
7.1 Capacidad del atajado .....	88
7.2 Diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra .....	93
7.3 Obras Complementarias .....	97
7.4 Materiales, mano de obra y equipo .....	107
BIBLIOGRAFÍA .....	111
INDICE .....	113
ANEXOS .....	117
<b>FIGURAS</b>	
Figura 1: Aptitud de suelos para la construcción de atajados .....	23
Figura 2: Relación entre el volumen de las fuentes de agua, la capacidad del atajado y el uso del agua almacenada .....	35
Figura 3: Geometría del atajado (pirámide tronco invertido) .....	38
Figura 4: Niveles de agua en un atajado "tipo" .....	39
Figura 5: Área de corte y terraplén de un atajado "tipo" .....	41

Figura 6: Canal de captación o aducción .....	43
Figura 7: Sedimentador .....	49
Figura 8: Canal de ingreso .....	50
Figura 9: Sistema de desfogue .....	51
Figura 10: Cámara de protección para la llave de paso .....	53
Figura 11: Cámara disipadora de energía .....	55
Figura 12: Aliviadero .....	56
Figura 13: Cerco de protección perimetral .....	57
Figura 14: Polietileno en la base como medida de impermeabilización .....	79
Figura 15: Tubificación por el terraplén .....	81
Figura 16a: Diseño geométrico .....	95
Figura 16b: Diseño geométrico .....	96
Figura 17: Corte transversal terraplén atajado .....	97
Figura 18: Canal de captación o aducción .....	98
Figura 19: Sedimentador .....	99
Figura 20: Canal de ingreso .....	102
Figura 21: Sistema de desfogue .....	104
Figura 22: Llave de paso con cámara de protección .....	104
Figura 23: Cámara desipadora de energía y bebedero .....	105
Figura 24: Aliviadero .....	105
Figura 25: Cerco perimetral .....	107

**CUADROS**

Cuadro 1: Descripción de las decisiones necesarias y de las actividades preparatorias para cada nivel de diseño de atajados .....	20
Cuadro 2: Volumen de diseño y pendiente del terreno .....	22
Cuadro 3: Coeficientes de escorrentía (C) .....	26
Cuadro 4: Eficiencias en aplicación de riego .....	31
Cuadro 5: Requerimiento de agua para animales .....	32
Cuadro 6: Requerimiento de agua doméstico .....	33
Cuadro 7: Permeabilidad de suelos .....	34
Cuadro 8: Balance hídrico (formato) .....	37
Cuadro 9: Factor de esponjamiento .....	41
Cuadro 10: Coeficientes de rugosidad de canales ( $k_m$ ) .....	44
Cuadro 11: Area, radio hidráulico y perímetro mojado de canales .....	45
Cuadro 12: Velocidades máximas en canales de tierra de captación y aducción .....	46
Cuadro 13: Valores del factor F .....	47
Cuadro 14: Velocidades de decantación .....	49
Cuadro 15: Caudales de diseño del sistema de desfogue .....	51
Cuadro 16: Balance hídrico .....	90
Cuadro 17: Datos básicos del programa de diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra .....	93
Cuadro 18: Datos calculados con el programa de diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra .....	94
Cuadro 19: Coordenadas de corte y terraplén .....	94

Cuadro 20: Computos métricos .....	108
Cuadro 21: Mano de obra no calificada .....	108
Cuadro 22: Mano de obra calificada .....	109
Cuadro 23: Equipo y herramientas .....	109

## FOTOS

Foto 1: Atajado con canal de aducción (en construcción), canal de ingreso, aliviadero y canal de coronamiento .....	17
Foto 2: Planificación de ubicación de atajados en la comunidad .....	29
Foto 3: Aforo de vertiente .....	29
Foto 4: Tractor a oruga excavando un atajado .....	42
Foto 5: Tractor a oruga compactando el terraplén .....	42
Foto 6: Filtro al extremo interior del tubo de desfogue con protección .....	54
Foto 7: Cámara de protección de llave de paso y disipadora de energía .....	54
Foto 8: Desbrozo de la capa superficial .....	61
Foto 9: Aliviadero a punto de controlar el nivel máximo del agua en el atajado .....	61
Foto 10: Compactación del talud interior .....	64
Foto 11: Sedimentador .....	64
Foto 12: Cámara de protección para la llave de paso y cámara disipadora de energía .....	66
Foto 13: Canal de ingreso y aliviadero .....	66
Foto 14: Atajado protegido por un cerco de ramas .....	68
Foto 15: Atajado protegido por un cerco perimetral de postes de hormigón armado y alambre de púa .....	68
Foto 16: Talud exterior protegido por un piedraplén a la erosión hídrica y eólica .....	73
Foto 17: Talud exterior protegido a deslizamientos mediante terrazas de banco .....	73
Foto 18: Terraplén protegido con paja de trigo contra erosión hídrica y eólica ..	74
Foto 19: Terraplén protegido con pastos contra la erosión hídrica y eólica .....	74
Foto 20: Limnómetro para medir el volumen de agua almacenada en el atajado ..	76
Foto 21: Atajado complementado con sistema de riego por aspersión .....	76
Foto 22: Atajado impermeabilizado mediante una capa de arcilla sobre la base ..	80
Foto 23: Impermeabilización de la base de un atajado con polietileno .....	80
Foto 24: Atajado sedimentado por no contar con un sedimentador .....	82
Foto 25: Colmatador en una cárcava .....	82
Foto 26: Sedimentador lleno de sedimento .....	84
Foto 27: Canal de coronamiento .....	84
Foto 28: Erosión hídrica del talud interior .....	85
Foto 29: Atajado colapsado por sobre carga hidráulica .....	85

## Agradecimientos

El presente libro no hubiera sido posible sin el apoyo de los usuarios de los atajados en los municipios de Mizque, Aiquile y Totora; los ingenieros y técnicos que han construido los atajados, los responsables de los municipios, los dirigentes campesinos y los financiadores. A todos ellos queremos agradecer por su valiosa colaboración y en particular a las siguientes personas:

En primer instancia queremos agradecer al Lic. Wolf Dío e Ing. Roberto Tejada por su total apoyo al Programa así como al Lic. Michael Wehinger y Ing. Eberhard Goll para hacer posible la realización de este libro.

Agradecemos a los Ingenieros Michiel Verweij y Roberto Tejada por la revisión de los borradores y sus valiosos aportes al contenido, estilo e idioma, a los Ingenieros: Augusto Prudencio, Carlos Montaña y Fidel Amurrio por sus valiosos consejos respecto a los capítulos 3 y 7.

Agradecemos a la Ing. Alejandra Aranibar e Ing. Antonio Carrasco, que han programado el Diseño Geométrico y Movimiento de Tierra para Atajados en forma educativa y accesible.

Merecen nuestros agradecimientos todos los que han intercambiado criterios con nosotros sobre el diseño y la construcción de los atajados. Los criterios de cada uno han aportado en gran medida a este libro. Entre ellos se encuentran los Ingenieros: Grover Alvarez, Juan Carlos Escalera, Willy Daza, Conrado Duran, Juan Ferrufino, Walter García, Gonzalo Amaya, Magdalena Medrano, Eberhard Goll, Hernán Montaña, Jaime Ponce, Fernando Quinteros, Hujo Rojas, Nelson Romero, Raul Romero, Luis Salazar, Sergio Salazar, Raúl Tastaca, Michiel Verweij, Daniel Velasco, Martín Villarroel y Jorge Zambrana; los doctores Humberto Gandarillas, Edmundo Novillo y Luis Lopez; la licenciada Martha García y el licenciado Günther Schultz-Heiss; el padre Floriano Weiss y las señoras y los señores Emigdio Andia, Anselmo Avila, Mario Claros, Israel Gutierrez, Wilfredo Larrera, Pedro Lino,

Felix Martínez, Emilio Montaña, Donato Muñoz, Edgar Oporto, Abdon Paniagua, Wilfredo Paniagua, Luis Ríos, Toledo López, Vidal Luján, Crisanto Salazar, Noemi Siles, Carlos Torrico, Nemecio Villarroél, José Vargas, Raul Velasco y Gabriel Zurrita.

Queremos también agradecer a la Ing. Irene Bloemen que no solo ha revisado el texto en todas los borradores, si no además aportó con gran voluntad al contenido y la presentación del libro y, por último, al Dr. Gustavo Giácoman por la corrección final del texto.

Cabe mencionar que, a pesar de los muchos consejos y observaciones, la responsabilidad del contenido y eventuales errores quedan completamente a cargo de los autores.

#### Los autores

## Presentación

---

En el periodo 1998-2000 los gobiernos boliviano y alemán han implementado la construcción de 600 estanques de agua conocidos en la mayor parte de Bolivia como atajados, como parte de la ayuda para la reconstrucción productiva del área rural damnificada por un terremoto.

La técnica utilizada para la construcción de estos atajados es sencilla y ha logrado buenos resultados. Además, está basada en una técnica local, adecuada para almacenar agua en zonas áridas y semi-áridas de países en vías de desarrollo en general.

En los últimos años el interés por la construcción de atajados en los valles de los Andes, se ha incrementado significativamente. Aunque es una técnica sencilla, han habido atajados o proyectos de atajados que no han logrado su objetivo, por no tener un buen concepto y/o buena técnica de construcción.

Con este libro en el que se adjunta el "Programa de Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra", se pretende mejorar el concepto del diseño de atajados para implementar obras sostenibles en el área rural, que ayuden a asegurar la producción agropecuaria.

El concepto del diseño presentado es el resultado de la cooperación de varias instituciones como: el Fondo de Desarrollo Campesino y el Programa Nacional de Riego de Bolivia; Organizaciones no Gubernamentales como el Centro de Desarrollo Agropecuario, el Centro de Servicios y Asistencia a la Producción Triguera, el Programa de Asistencia Agrobioenergética al Campesino, el Programa de Unidad Rural Integral de Seguridad Alimentaria Nutricional Andina, la Radio Esperanza y la Corporación Agropecuaria Campesina Regional Aiquile y la Cooperación Técnica Alemana.

Bastiaan Tammes, Eduardo Villegas y Luis Guamán  
Cochabamba, Diciembre 2000

## Símbolos

A	Superficie del área de aporte, área de canal (m <sup>2</sup> )
A <sub>ba</sub>	Superficie de la base del atajado (m <sup>2</sup> )
A <sub>esp</sub>	Superficie del espejo del agua (m <sup>2</sup> )
A <sub>tub</sub>	Superficie del tubo (m <sup>2</sup> )
a	Ancho de base de atajado (m)
b	Ancho solera canal o largo de base de atajado (m)
$\beta$	Angulo de esquina
C	Coefficiente de escorrentía a dimensional
C <sub>anc</sub>	Ancho de corona (m)
C <sub>dom</sub>	Consumo diario por persona (l)
C <sub>pec</sub>	Consumo diario por animal (l)
D	Diámetro tubo (m)
d	Ancho de sedimentador, abrevadero (m)
$\Delta b$	Incremento de excavación (m)
ET <sub>r</sub>	Evapotranspiración referencial (mm)
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiración cultivo (mm)
e	Constante promedio de evaporación (mm/mes)
F	Factor de la formula modificada de Manning-Strickler
f	Bordo libre en canal (m)
$\phi$	Factor de esponjamiento
g	Gravedad 9.81 m/s <sup>2</sup>
H	Horizontal
H <sub>b</sub>	Altura del bordo libre (m)
H <sub>d</sub>	Altura del diseño (m)
H <sub>esp</sub>	Altura del espejo del agua (m)
H <sub>m</sub>	Altura del volumen muerto (m)
H <sub>t</sub>	Altura total del atajado (m)
H <sup>o</sup> C <sup>o</sup>	Hormigón Ciclópeo
H <sup>o</sup> A <sup>o</sup>	Hormigón Armado
h	Altura canal de aducción, conducción, canal de ingreso, cámara de protección, aliviadero, bebedero (m)
ha	Hectárea
i	Ancho entrada canal de ingreso (m)
j	Largo entrada canal de ingreso (m)
K	Factor permeabilidad de suelo (m/s)
k	Coefficiente de descarga
k <sub>c</sub>	Coefficiente del cultivo adimensional
k <sub>m</sub>	Coefficiente adimensional de la rugosidad de la superficie del canal (Manning-Strickler)

L	Longitud sedimentador, canal de ingreso, cámara de protección, aliviadero, bebedero, espacio entre postes (m)
m	Pendiente talud interior V/H
N	Número de animales (unidad)
NA	Nivel de agua
n	Pendiente talud exterior V/H
P	Precipitación anual o mensual (mm/año o mes)
$P_m$	Perímetro mojado (m)
$P_{ly2}$	Presión (atm)
$\pi$	3.14 a dimensional
Q	Caudal de diseño ( $m^3/s$ )
$Q_{can}$	Caudal canal (l/s)
$Q_{ver}$	Caudal vertiente (l/s)
q	Constante adimensional
R	Radio hidráulico (m)
$S_1$	Area inferior de la base tronco pirámide ( $m^2$ )
$S_2$	Area superior del tronco pirámide ( $m^2$ )
s	Pendiente de la solera canal (m/m)
$s_r$	Pendiente requerida de la solera del canal (m/m)
t	Tiempo (seg. o días)
U	Número de usuarios (personas)
u	Exponente para la formula de Manning-Strickler (8/3)
V	Vertical
$V_{apo}$	Volumen total aporte ( $m^3$ )
$V_{ata}$	Volumen atajado ( $m^3$ )
$V_c$	Volumen de corte ( $m^3$ )
$V_{c-des}$	Volumen de corte/desbrozo ( $m^3$ )
$V_{c-esp}$	Volumen corte esponjado ( $m^3$ )
$V_{can}$	Volumen canal ( $m^3$ )
$V_d$	Volumen de diseño ( $m^3$ )
$V_{des}$	Volumen de desbrozo ( $m^3$ )
$V_{dom}$	Volumen uso domestico ( $m^3$ )
$V_{esc}$	Volumen de escurrimiento anual o mensual ( $m^3/año$ o mes)
$V_{ev,a}$	Volumen de evaporación ( $m^3$ )
$V_{fil}$	Volumen de pérdida por filtraciones ( $m^3$ )
$V_m$	Volumen muerto ( $m^3$ )
$V_{pec}$	Volumen uso pecuario ( $m^3$ )
$V_{req}$	Volumen total del requerimiento del agua ( $m^3$ )
$V_{rir}$	Volumen del uso para riego ( $m^3$ )
$V_t$	Volumen terraplén ( $m^3$ )
$V_{tp}$	Volumen tronco pirámide ( $m^3$ )
$V_{ver}$	Volumen vertiente ( $m^3$ )
v	Velocidad del agua (m/s)
$v_r$	Velocidad requerida del agua (m/s)
w	Velocidad de decantación de partícula (m/s), relación b/y
y	Tirante (m)
Z	Espesor de desbrozo (m)
z	Angulo talud canal

## 1. Introducción

El almacenamiento de agua en atajados es una técnica secular en áreas áridas y semiáridas, mediante la cual se almacena la escorrentía de la precipitación pluvial, o agua de otras fuentes, en estanques excavados en la tierra. El agua luego se utiliza para abrevar al ganado, para riego o para uso doméstico, en caso de que las lluvias sean irregulares o durante el período de estiaje. Tradicionalmente y por lo general son estanques pequeños, excavados a mano.

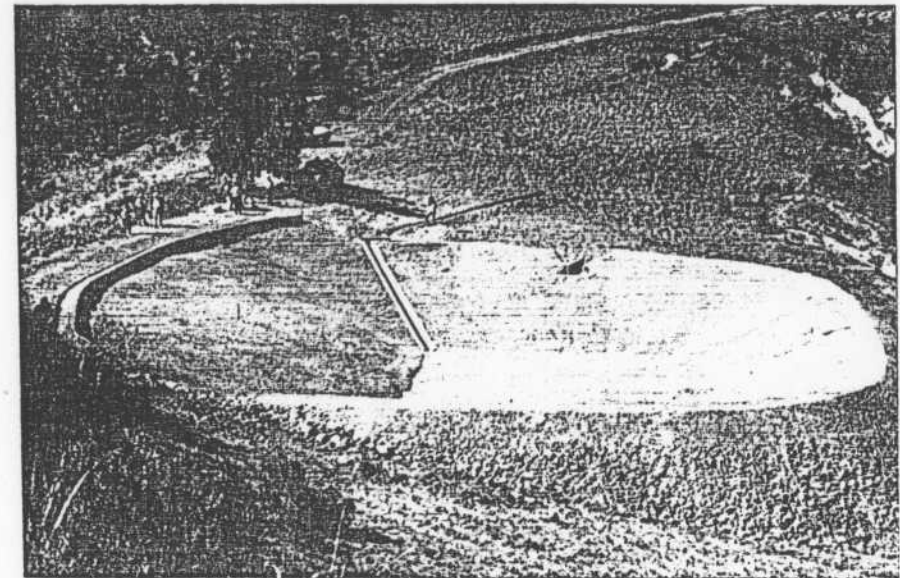


Foto 1. Atajado con canal de aducción (en construcción).  
canal de ingreso, aliviadero y canal de coronamiento



En los últimos años la demanda de agua en áreas áridas y semiáridas se ha incrementado considerablemente. En cierta época del año la intensidad de la precipitación en estas áreas es elevada y supera la capacidad de infiltración del suelo. Esto significa que mucha agua escurra sin poder ser aprovechada, sea para la producción agropecuaria, sea para consumo humano. Los atajados pueden ser una alternativa buena y barata, frente a represas grandes o en combinación con ellas, a fin de captar esta agua y utilizarla de manera eficiente.

Además, en muchos casos, la intercepción del agua mediante los canales de captación y aducción hacia los atajados, coadyuva a reducir la erosión hídrica.

Existen muchos diferentes atajados basados en conceptos distintos que pueden servir perfectamente para almacenar agua. En este libro se presenta sólo un tipo con la forma de un tronco de pirámide invertida, excavado en tierra con una capacidad de 500 hasta 3000 m<sup>3</sup>.

El diseño desarrollado no podrá ser utilizado como receta para cualquier de estos atajados, puesto que cada situación es diferente y cada diseño tiene que ser realizado en diálogo con sus usuarios y de acuerdo a su ambiente.

Este libro por lo tanto sólo proporciona pautas técnicas para el diseño y la construcción de este tipo de atajados, de tal manera, que sea accesible para los constructores.

El segundo capítulo trata de la investigación previa a ser realizada y de la planificación a realizarse en cuanto a la construcción de un atajado; brevemente toca aspectos del proceso de diseño de un atajado, la ubicación en el terreno y la hidrología. A partir de este capítulo el libro se dedica solamente a los aspectos técnicos del diseño de un atajado.

En el tercer capítulo se presentan las variables para el diseño de los atajados. Para el Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra se adjunta un programa para computadora con una presentación visual.

El cuarto capítulo presenta el proceso de construcción del atajado paso por paso.

Una vez construido el atajado, en el quinto capítulo se presta atención al manejo inicial del atajado.

El sexto capítulo describe los problemas más comunes de la construcción y el uso inicial de los atajados y sus respectivas recomendaciones para evitar o solucionar estos problemas.

En el último capítulo se presenta el diseño de un proyecto de caso específico de atajado con todos los pasos y cálculos respectivos.

## 2. Investigación y planificación

### 2.1 Proceso de diseño

La construcción de atajados, o grupo de atajados, es un proceso de varios pasos, en el cual se toma una serie de decisiones. Además, tiene que existir claridad entre las partes involucradas, como la institución de apoyo y los futuros usuarios, sobre la distribución de los atajados en la comunidad, las obligaciones de los futuros usuarios y los criterios de diseño de los atajados.

Las decisiones se toman en los diferentes niveles del diseño:

- El perfil del proyecto
- El estudio de factibilidad
- El diseño final

En el cuadro 1 se mencionan las principales decisiones necesarias y la actividades preparatorias de los tres niveles de diseño, a modo de guía para lograr la implementación de un buen atajado con un funcionamiento óptimo.

**Cuadro 1**  
**Descripción de las decisiones necesarias y de las actividades preparatorias para cada nivel de diseño de atajados**

PERFIL DEL PROYECTO	
DECISIONES	ACTIVIDADES PREPARATORIAS
Atajados versus alternativa de desarrollo Incorporación de potenciales usuarios al proyecto	Análisis de demandas y diferentes opciones Análisis de los derechos de agua en el área de captación Análisis de intereses y conflictos sobre agua en el área de captación Análisis del desarrollo de toda la zona, incluidas las zonas sin agua y las repercusiones de los atajados en la comunidad Análisis del futuro usuario o futuro grupo de usuarios
Definición de los requisitos para ser participante del proyecto Definición del concepto de la operación del sistema (en caso de atajados interconectados) Definición de las modalidades de cooperación entre instituciones y usuarios	Seguimiento del manejo tradicional de agua (en el caso de que existiese)  Análisis de instituciones presentes en la zona Creación de un comité de 'laguneros' para la organización durante y después de la construcción.
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	
DECISIONES	ACTIVIDADES PREPARATORIAS
Definición de objetivos Viabilidad técnica Viabilidad económica	Reuniones participativas Análisis de la ubicación de los atajados Techos presupuestarios y de cofinanciamiento Análisis de rentabilidad Análisis de riesgos
Viabilidad ambiental	Análisis de la degradación de los recursos naturales Análisis de riesgos Protección necesaria de las obras
Acuerdos sobre beneficios y obligaciones	Definición de los recursos humanos, técnicos y financieros Estrategias de implementación Definición de las funciones de las instituciones Cuantificación de los beneficios y las obligaciones
DISEÑO FINAL	
DECISIONES	ACTIVIDADES PREPARATORIAS
Definición de la estrategia para mejorar la producción agropecuaria	Análisis del diseño Elección de la mejor alternativa Análisis de consistencia de objetivos
Sistema de seguimiento y evaluación Retroalimentación para acciones futuras Diseño de la infraestructura	Análisis de experiencias Análisis de la topografía Análisis de la hidrología; fuente de abastecimiento de agua, caudales y volúmenes de escurrimiento Análisis de arrastre de sedimentos Análisis de las características del suelo Detalles constructivos sobre la capacidad. Volumen de excavación-relleno, taludes, obras de arte como canal de captación, sedimentador, canal de ingreso, vertedor de excedentes, tubo de desfogue Cronograma de ejecución compatible con las necesidades de los usuarios

Fuente: Según Burgmeijer y otros, modificado por los autores para el diseño de atajados, 1994

## 2.2 Propiedad y derechos de tierra y agua

Los derechos de propiedad de la tierra son determinantes para el funcionamiento final de un atajado o un sistema de atajados y tienen que ser conocidos antes del inicio de la construcción, a fin de evitar problemas durante la construcción y el uso posterior.

Además, se tienen que conocer los derechos de propiedad o uso de la tierra del área de aporte, a fin de asegurar la captación de agua y de evitar problemas en la conducción del agua mediante los canales de conducción.

En una situación donde se intercepta la escorrentía del agua de lluvia mediante canales de captación que bordean el cerro, generalmente los derechos de agua se encuentran vinculados con los derechos de la tierra. Pero en situaciones, donde se utiliza agua de ríos, acequias, vertientes u otras fuentes, se tendrá que determinar los derechos de agua en diálogo con los demás usuarios, la comunidad, autoridades locales o nacionales antes de iniciar la construcción.

## 2.3 Ubicación

La ubicación de un atajado es importante para un funcionamiento apropiado. Para la construcción de un atajado, hay que tomar en cuenta la ubicación del área de aporte y del área servida. Antes de tomar una decisión respecto al lugar de construcción, se recomienda hacer un estudio junto con el o los usuarios sobre las diferentes opciones.

A fin de garantizar el almacenamiento de agua, es importante que el material de construcción tenga una baja capacidad de infiltración

Habrà que buscar un equilibrio entre la capacidad de almacenamiento del atajado, el tamaño y las características del área de aporte, y las lluvias en el área. Además, el agua de escurrimiento tendrá que contener una baja carga de sedimento a fin de evitar la sedimentación del atajado.

De ser posible se evitará construir atajados de poca profundidad y con espejos de agua relativamente extensos, a fin de evitar las pérdidas por evaporación.

Desde el punto de vista económico, conviene construir un atajado en un lugar donde menos movimiento de tierra sea necesaria para obtener una capacidad de almacenamiento máxima, como por ejemplo: en una depresión natural cerca del área a ser regada o del abrevadero para los animales.

El atajado tiene que ser ubicado de tal manera que en caso de colapso no haya peligro para los seres vivientes o para la infraestructura circundante.

En los capítulos siguientes se tratarán temas más específicos sobre la ubicación.

**2.3.1 Topografía**

Los atajados pueden ser construidos en terrenos de variada pendiente. La más adecuada es la comprendida entre el 4% y el 15%.

En terrenos con pendientes mayores se necesita mayor movimiento de tierra para lograr la misma capacidad de almacenamiento, de manera que vale la pena buscar un lugar estratégico en la pendiente, como por ejemplo una depresión natural.

No se aconseja la implementación de atajados en pendientes con una inclinación mayor del 15%, debido a la inestabilidad del terraplén cuesta abajo.

La capacidad del atajado tiene relación con el rango de pendientes recomendados para su construcción. Cuanto más inclinado el terreno, menor es la capacidad del atajado que se puede construir garantizando su estabilidad.

**Cuadro 2**  
Volumen de diseño y pendiente del terreno

Volumen mínimo (m³)	Volumen máximo (m³)	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)
500	1600	4	15
1600	2000	4	12
2000	2500	4	9
2500	3000	4	8

Fuente: Elaboración propia

**2.3.2 Características del suelo**

*Suelo en el lugar de la obra*

Las características del suelo son determinantes para el éxito de los atajados. Tanto para la estabilidad de los terraplenes como para la impermeabilidad

En términos generales, se puede decir que los suelos con un elevado contenido de arcilla caolinita<sup>1</sup> son los más aptos para la construcción de

<sup>1</sup> Clase de arcilla con poca capacidad de absorción de agua, resulta en que no se expande ni se contrae

atajados. Pero también suelos con un contenido relativamente elevado de arcilla ilita<sup>2</sup>, y en menor grado montmorilonita<sup>3</sup> pueden ser utilizados para la construcción de atajados.

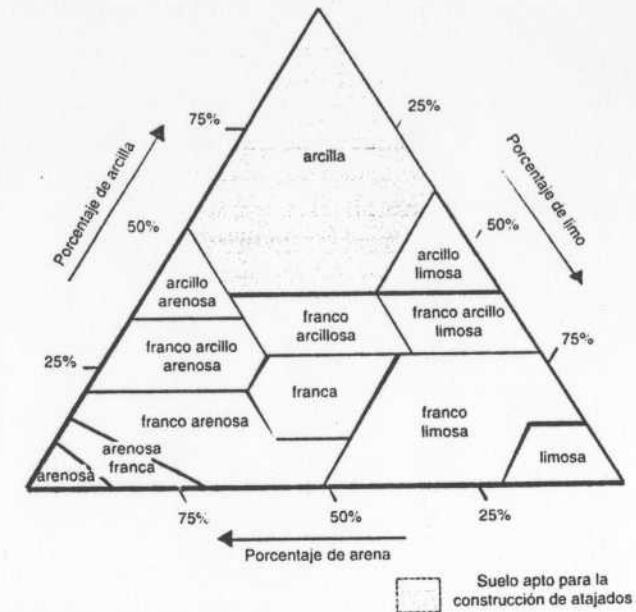
Aunque existen excepciones se puede delimitar la aptitud de suelos para la construcción de atajados con la siguiente regla.

Los más aptos para la construcción de atajados son los suelos con:

- < 50 % de arena (0.05-20mm.)
- < 40 % de limo (0.002-0.05mm.)
- > 30 % de arcilla (menos que 0.002mm.)

Extrapolando esta regla al triángulo de las clases de textura se tiene la siguiente figura.

**Figura 1**  
Aptitud de suelos para la construcción de atajados



<sup>2</sup> Clase de arcilla con capacidad de absorción de agua intermedia  
<sup>3</sup> Clase de arcilla con alta capacidad de absorción de agua, resulta en que se expande y contrae

Se debe evitar la construcción en suelos arenosos, rocosos, porosos, o suelos con fenómenos como tubificación y/o con un elevado contenido de cal o sal.

Antes de iniciar la construcción se debe conocer las características del suelo, tanto de la capa arable como del subsuelo. En áreas con suelos heterogéneos se recomienda excavar calicatas en cada lugar previsto para la implementación de atajados, a fin de analizar la aptitud del suelo y de esta manera evitar problemas durante la construcción y el almacenamiento de agua posterior.

Un método sencillo e indicativo para conocer la aptitud es echando un barril de agua en la calicata y observar la filtración del agua. Si el agua se infiltra rápido en el suelo, se necesitará un análisis más profundo.

#### *Suelo en el área de aporte*

Por lo general los suelos del área de aporte más aptos serán suelos con un elevado coeficiente de escorrentía (arcilla o roca en pendiente) y de poca susceptibilidad a erosión. En estos suelos se aprovechará al máximo el volumen de precipitación. Además, la vida útil del atajado será mayor, debido a una baja carga de sedimento en la escorrentía.

En situaciones donde existen suelos con elevado riesgo de erosión se tendrá que tomar medidas contra la erosión a fin de evitar sedimentación en el atajado. Sin embargo, muchas medidas contra la erosión causarán mayor infiltración del agua en el área de aporte causando una disminución del volumen total de escorrentía de agua. Esto se debe tomar en cuenta durante el diseño del atajado, para aumentar el área de aporte o disminuir el volumen de diseño de almacenamiento.

## **2.4 La fuente de agua**

La forma más común para captar agua en un atajado, en zonas áridas y semi-áridas, es interceptando el agua de lluvia que escurre superficialmente mediante canales de captación que bordeen las laderas de un cerro. Pero también existen muchas otras fuentes de agua para los atajados como ríos, acequias, vertientes, quebradas y cunetas o combinaciones de estas fuentes.

De manera general se pueden diferenciar tres grupos de fuentes de agua:

- Escorrentía de agua pluvial de un área de aporte
- Ríos, acequias, quebradas y cunetas
- Vertientes

En muchos casos es recomendable asegurar la captación de agua utilizando simultáneamente diferentes fuentes. Como por ejemplo, mediante la conexión de canales de captación que bordean los cerros con una quebrada o una vertiente.

El tipo de fuente determina los criterios del diseño de los canales de captación, del sedimentador y del canal de ingreso al atajado. Así, en zonas con precipitaciones torrenciales, donde la fuente de agua es la escorrentía superficial, el caudal de escorrentía es muy variable con picos elevados. En este caso los canales y el sedimentador tendrán que ser diseñados con una capacidad que permita transportar un caudal grande o incluir obras para regular el flujo. Cuando se trata de una vertiente con aducción constante, los canales y el sedimentador son diseñados con relación al caudal máximo de la vertiente.

### **2.4.1 Escorrentía superficial**

El volumen de escorrentía de agua pluvial en un área de aporte depende de varios factores. Estos factores pueden ser clasificados de acuerdo a dos procesos: la precipitación y la escorrentía.

En cuanto a la precipitación, no sólo es importante la cantidad, sino también la intensidad de la lluvia. Un chubasco breve e intenso resulta en un mayor volumen de escorrentía, que una lluvia de la misma cantidad de precipitación, pero por un período más largo.

En cuanto a la escorrentía influyen factores como la topografía, la vegetación y la capacidad de infiltración en el suelo.

Para estimar los valores de estos procesos hay varios métodos empíricos. Desde métodos muy sencillos que requieren pocos datos de insumo, hasta métodos más avanzados que parten de mayor cantidad de datos más precisos. La exactitud del resultado de estos métodos depende mucho de la precisión de los datos recopilados.

Lo importante en todos estos métodos empíricos es que se basan en las características de un área específica donde el método ha sido desarrollado. Por lo tanto, hay que tener mucho cuidado al aplicarlos en otras áreas donde los coeficientes tienen que ser representativos de acuerdo al área de aplicación.

En muchas áreas rurales, en países en vías de desarrollo, donde se implementan atajados, se dispondrá de pocos datos, y menos aún, de datos exactos sobre precipitación, intensidades de la precipitación y escorrentía.

Por lo tanto, un método adecuado para determinar el volumen de escorrentía es el que relacione la superficie con la precipitación mensual o anual y un coeficiente de escurrimiento.

Este método se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_{esc} = C * (0.8 * P) * A$$

Donde:  $V_{esc}$  = Volumen de escurrimiento anual o mensual ( $m^3$ /año o mes)  
 $C$  = Coeficiente de escorrentía adimensional  
 $0.8$  = Factor de ocurrencia  
 $P$  = Precipitación anual, mensual ( $mm$ /año, mes)  
 $A$  = Superficie del área de aporte ( $m^2$ )

En el caso de fórmulas empíricas, e inclusive en la fórmula de escurrimiento, por lo general, habrá que comprobar los resultados con las experiencias obtenidas en la zona.

*Jamás utilícese una fórmula empírica como fórmula matemáticamente deducida. Verifíquese siempre los resultados con datos observados en el campo. Analícese las diferencias, y de ser necesario, ajústese los coeficientes de introducción.*

#### Coeficiente de escorrentía (C)

En caso de que existiesen coeficientes de escorrentía de una situación comparable en la cercanía, éstos pueden ser utilizados para determinar el volumen escurrido. De no existir datos de referencia se puede hacer uso de la tabla de indicaciones.

**Cuadro 3**  
**Coeficientes de escorrentía (C).**

Topografía y vegetación	Textura de suelos		
	Franco arenoso	Franco arcilloso y Franco limoso	Arcilloso
Bosque			
-Plano 0-5% pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado 5-10% pendiente	0.25	0.35	0.50
Montañoso 10-30% pendiente	0.30	0.50	0.60
Pasto			
Plano 0-5% pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado 5-10% pendiente	0.16	0.36	0.55
Montañoso 10-30% pendiente	0.22	0.42	0.60
Tierra agrícola			
Plano 0-5% pendiente	0.30	0.50	0.60
Ondulado 5-10% pendiente	0.40	0.60	0.70
Montañoso 10-30% pendiente	0.52	0.72	0.82

Fuente: Schwab, Frevert, Edminster y Barnes 1966 modificada

En caso de que el área de aporte se componga de áreas parciales con diferentes características, el coeficiente de escorrentía se determina mediante la ponderación de los coeficientes de estas áreas parciales.

#### Intensidad de lluvia (I)

En muchos lugares no se dispone de datos pluviométricos exactos, y menos aún de datos sobre la intensidad de la precipitación. Además, frecuentemente existe una gran variación en los datos de precipitación e intensidad de las lluvias, lo cual dificulta la obtención de datos confiables, como por ejemplo en áreas montañosas. A menudo sí es posible disponer de datos confiables de la precipitación mensual o anual que pueden ser utilizados como insumo para la determinación del volumen escurrido.

#### Superficie (A)

La superficie de un área de aporte puede ser determinada mediante mapas topográficos (escala 1:5.000 o 1:10.000) o, ya que frecuentemente se trata de áreas pequeñas (2 a 10 hectáreas) a través de mediciones con cinta métrica.

En muchos casos el agua de los atajados será utilizada tanto en la época de lluvias (para riego complementario) como en la época de estiaje. Esto significa que el atajado puede llenarse varias veces. En este caso, en los cálculos hay que aplicar un área de captación mayor al que se aplica cuando se almacena agua una sola vez. Este manejo, entre otras cosas, dependerá del patrón de lluvia y del requerimiento de agua y las habilidades de colectar agua.

#### 2.4.2 Ríos, acequias, quebradas y cunetas

Los aportes a través de canales conectados con ríos, acequias, quebradas, cunetas, tajamares y galerías filtrantes constituyen otra fuente de agua para el almacenamiento del atajado. El caudal de estas fuentes se determina mediante un aforo durante un tiempo establecido en las diferentes estaciones.

El volumen de este aporte se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{can} = \frac{Q_{can} * t}{1000}$$

Donde:  $V_{can}$  = Volumen canal ( $m^3$ )  
 $Q_{can}$  = Caudal canal ( $l/s$ )  
 $t$  = Tiempo (s)

Se recomienda efectuar al menos tres mediciones consecutivas y luego promediar siguiendo la metodología anteriormente descrita.

### 2.4.3 Vertientes

Los aportes de vertientes son generalmente fuentes adicionales. Se trata de caudales más constantes que aquellos que provienen directamente de las lluvias durante el año. Al igual que en el caso de los canales, el caudal de una vertiente se determina mediante un aforo durante un tiempo establecido.

El volumen de este aporte se calcula mediante la expresión:

$$V_{ver} = \frac{Q_{ver} * t}{1000}$$

Donde:  $V_{ver}$  = Volumen vertiente (m<sup>3</sup>)  
 $Q_{ver}$  = Caudal vertiente (l/s)  
 $t$  = Tiempo de aporte bajo el caudal aforado (s)

### 2.4.4 El aporte total de agua

Para la determinación del volumen total del aporte de agua para el atajado se suman las tres posibles fuentes de aprovechamiento - el escurrimiento, los ríos y otros, y la vertiente - de la siguiente manera:

$$V_{apo} = V_{esc} + V_{ver} + V_{can}$$

Donde:  $V_{apo}$  = Volumen total aporte (m<sup>3</sup>)  
 $V_{esc}$  = Volumen de escurrimiento (m<sup>3</sup>)  
 $V_{ver}$  = Volumen vertiente (m<sup>3</sup>)  
 $V_{can}$  = Volumen canal (m<sup>3</sup>)

### 2.5 El uso del agua

El agua almacenada en atajados frecuentemente es utilizada para fines múltiples. Los más importantes son: riego, agua para los animales y uso doméstico, o una combinación de ellos. Además, en un número creciente de atajados se están criando peces; especialmente en los atajados que tienen una fuente de agua permanente.

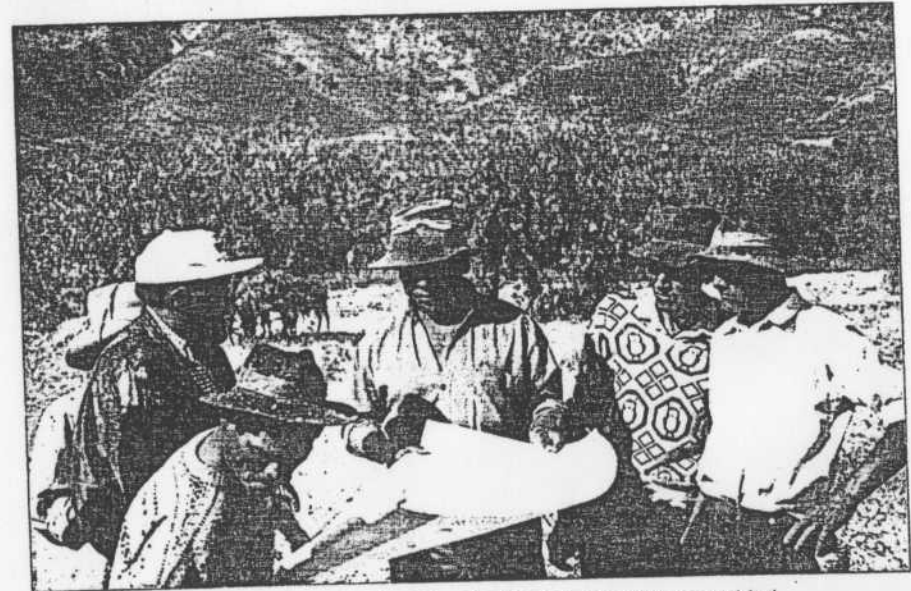


Foto 2. Planificación de ubicación de atajados en la comunidad

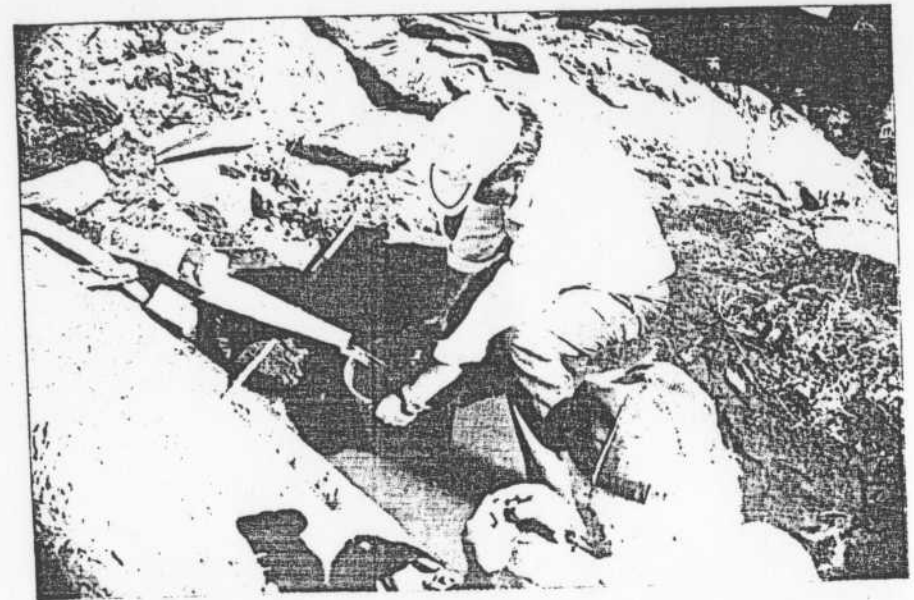


Foto 3. Aforo de vertiente

### 2.5.1 Uso para riego

Dependiendo de la zona, el régimen hidrológico y las necesidades de los cultivos y prioridades del productor, el agua de los atajados se puede utilizar para riego en la época de lluvias y/o en la época de estiaje. En la época de lluvias el riego se utiliza como complemento de las lluvias para asegurar la producción agrícola cuando no llueve. En este caso la superficie que se pueda regar con el agua almacenada en el atajado es mucho mayor dependiendo del régimen de las lluvias, la situación climatológica en general, el suelo, los cultivos y el manejo por el agricultor.

Cuando se utiliza el agua para riego en la época de estiaje, se trata de captar el mayor volumen posible al final de la época de lluvias para regar un "segundo" cultivo. Esta producción dependerá completamente del agua acumulada en el atajado. La superficie del área para regar fuera de la época de lluvias también depende de la situación climatológica, el suelo, los cultivos y más que todo el manejo del agua por el agricultor. Pero como valor referencial se puede partir de 5000 m<sup>3</sup> de agua para producir una hectárea de papa.

Para determinar más detalladamente el volumen de agua para riego se parte de la combinación de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo en su alrededor. Esta combinación de procesos se llama la evapotranspiración ( $ET_c$ ) y significa el requerimiento de agua de un cultivo.

Para calcular la ( $ET_c$ ) existen varios métodos. En este libro se usa el método de Doorenbos y Pruitt que consiste de dos pasos:

**Paso 1** Calcular el requerimiento de agua de un cultivo de referencia (pasto de 10 cm de altura en una parcela extensa). Esta evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) se calcula mediante una ligera modificación del método de Penman, Pan A o Blaney y Criddle. (Doorenbos y Pruitt, 1977)

**Paso 2** Introducir un coeficiente para el cultivo respectivo ( $k_c$ )

$$ET_c = k_c * ET_o$$

Coefficientes de cultivos  $k_c$  se presentan en el Anexo 2

De este volumen se debe restar las pérdidas totales de agua. Por ejemplo la pérdida debida a la conducción del agua desde el atajado hasta la parcela; y/o la pérdida por la aplicación del agua a los cultivos en la parcela misma.

La pérdida del agua por la conducción depende del tipo de suelo en donde está excavado el canal y la longitud del mismo, siendo un dato difícil de predeterminedar sin hacer alguna medición en el terreno. En el caso de los atajados esta pérdida es reducida porque se trata de canales relativamente cortos, menos de 50 m y muchas veces no se toma en cuenta esta pérdida.

La pérdida de agua por aplicación es significativa y está en función del tipo de riego. En el Cuadro 4 se presentan indicadores de las eficiencias en la aplicación bajo diferentes sistemas de riego.

**Cuadro 4**  
Eficiencias en aplicación de riego.

Método de riego	Eficiencia %
Riego por superficie	40-60
Riego por aspersión	60-80

Fuente: Peter Stern, 1994

Para conocer el volumen requerido, de agua para riego, almacenado en el atajado, se resta el volumen requerido de agua por los cultivos más las pérdidas por aplicación del volumen de precipitación efectiva.

En la agricultura se considera que sólo una parte de la precipitación es efectiva para el cultivo. Muchas veces el 80% de la precipitación real se toma como precipitación efectiva excluyendo los meses en los que ha llovido menos de 10 mm.

### 2.5.2 Uso para animales

El requerimiento del agua para animales varía mucho con el clima (temperatura y precipitación), tipo de comida (contenido de material seco) y el uso del animal (trabajo, leche, en descanso). En general los requerimientos se incrementan con temperaturas elevadas y baja humedad ambiental. El requerimiento también se incrementa cuando el contenido del agua en el forraje disminuye. Producción (leche, carne, huevos) y trabajo también incrementan los requerimientos del agua.

Con el conocimiento de estas variaciones se presenta el Cuadro 5 con los requerimientos de agua indicativos para animales.

**Cuadro 5**  
Requerimiento de agua para animales

Especie	Litros de agua por cabeza por día
Vacas	20 a 40
Vacas en producción de leche	70 a 100
Caballos	30 a 40
Ovejas y cabras	1 a 5
Alpacas, vicuñas y llamas	0.5
Cerdos	3 a 6
Cerdos lactando	25
Patos, gansos y gallinas	0.2 a 0.3

Fuente: Agricultural Compendium (modificada), 1985 y M. Tichit, 1991

El requerimiento de agua para uso pecuario se determina con la expresión:

$$V_{pec} = \frac{N * C_{pec} * t}{1000}$$

Donde:  $V_{pec}$  = Volumen uso pecuario (m<sup>3</sup>)  
 $N$  = Número de animales (unidad)  
 $C_{pec}$  = Consumo diario por animal (l)  
 $t$  = Tiempo (días)

### 2.5.3 Uso doméstico

El requerimiento del agua del atajado para uso doméstico depende mucho de la zona, del acceso al agua y del tipo de uso como la cocina, lavandería, higiene y otros.

El requerimiento de agua para uso doméstico se determina con la expresión:

$$V_{dom} = \frac{U * C_{dom} * t}{1000}$$

Donde:  $V_{dom}$  = Volumen uso doméstico (m<sup>3</sup>)  
 $U$  = Numero de usuarios (personas)  
 $C_{dom}$  = Consumo diario por persona (l)  
 $t$  = Tiempo (días)

Una indicación del requerimiento doméstico diario para el área rural de países en vías de desarrollo se presenta en el Cuadro 6.

**Cuadro 6**  
Requerimiento de agua doméstico

	Litros de agua por miembro de familia/día
Adultos	50*
Niños	40*

Fuente: Elaboración propia \* Volumen estimado para países en vías de desarrollo

### 2.5.4 Pérdidas por el almacenamiento del agua

Inherente al almacenamiento y uso del agua del atajado existen pérdidas. Estas puede ser de dos tipos: pérdidas por evaporación y pérdidas por filtraciones del agua en la base y los terraplenes del atajado.

#### *Pérdidas por la evaporación*

La pérdida por la evaporación del agua de un atajado está en relación con la temperatura, con la humedad, con la insolación y con la fuerza y frecuencia del viento (Doorenbos y Pruitt, 1984). El volumen de pérdida por otra parte está en relación con la superficie del espejo de agua.

El aumento de la temperatura o la disminución de la humedad ambiental incrementan la evaporación. El incremento de la insolación y del viento también aumentan la evaporación.

Habiéndose estimado la evaporación mensual en el lugar de construcción del atajado, el volumen de la pérdida se determina mediante la expresión:

$$V_{eva} = \frac{e}{1000} * A_{esp}$$

Donde:  $V_{eva}$  = Volumen de evaporación (m<sup>3</sup>)  
 $e$  = Constante promedio de evaporación (mm/mes)  
 $A_{esp}$  = Superficie del espejo de agua (m<sup>2</sup>)

Los datos de referencia de evaporación se presentan en el Anexo 1

#### *Pérdidas por filtraciones en la base y los taludes*

En el mejor de los casos las pérdidas por filtraciones en la base del atajado no existen. No obstante en muchos atajados pueden haber pérdidas por filtraciones, ya que, no se cuenta con suelos completamente impermeables. Al incrementarse el porcentaje de arena o limon en la base del



atajado y los terraplenes, se incrementa el riesgo de pérdidas por filtraciones.

Además, en atajados recién construidos existen pérdidas por filtraciones porque los terraplenes aun no están bien asentados. Este tipo de pérdida disminuye paulatinamente durante los primeros años después de la construcción.

Las pérdidas por filtraciones en la base y los terraplenes se determinan mediante la expresión:

$$V_{fil} = K * A_{bas} * t$$

Donde:  $V_{fil}$  = Volumen de pérdida por filtraciones ( $m^3$ )  
 $K$  = Factor de permeabilidad del suelo ( $m/s$ )  
 $A_{bas}$  = Superficie de la base del atajado ( $m^2$ )  
 $t$  = Tiempo (mes)

Los índices de permeabilidad, según tipo de suelo se menciona en el cuadro 7.

**Cuadro 7**  
Permeabilidad de suelos

Suelo	Permeabilidad K (m/s)
arcilla	$2.084 * 10^{-8}$
franco	$2.581 * 10^{-8}$
Arcillo arenoso	$3.097 * 10^{-8}$

Fuente: Elaboración propia

### 2.5.5 Requerimiento de agua

Para determinar el volumen de agua de un atajado se suman los volúmenes de los requerimientos de los usos para riego, para animales, para consumo doméstico más las pérdidas según la expresión:

$$V_{req} = V_{r-r} + V_{pec} + V_{dom} + V_{eva} + V_{fil}$$

Donde:  $V_{req}$  = Volumen total del requerimiento del agua ( $m^3$ )  
 $V_{r-r}$  = Volumen del uso para riego ( $m^3$ )  
 $V_{pec}$  = Volumen uso pecuario ( $m^3$ )  
 $V_{dom}$  = Volumen uso doméstico ( $m^3$ )  
 $V_{eva}$  = Volumen por evaporación ( $m^3$ )  
 $V_{fil}$  = Volumen de filtración ( $m^3$ )

## 3. Diseño

### 3.1 Capacidad del atajado

Es importante determinar la capacidad apropiada de un atajado o de un conjunto de los mismos para lograr un uso óptimo de los recursos. La capacidad está en función del volumen de las fuentes de agua y del uso posterior del agua almacenada. Conociendo el volumen disponible de las fuentes y el uso posterior del agua almacenada se puede hacer el diseño de la capacidad del atajado. En el proceso de diseño de la capacidad las tres variables deben llegar a un equilibrio como se indicaba en figura 2 y el balance hídrico del cuadro 8.

**Figura 2**  
Relación entre el volumen de las fuentes de agua, la capacidad del atajado y el uso del agua almacenada



\* Incluye la cantidad de vaciados y almacenadas del atajado

Cuando se utiliza el agua como complemento a las lluvias, el atajado es vaciado y rellenado varias veces durante la época de lluvias. Este manejo se debe tomar en cuenta para determinar la capacidad de almacenamiento de un atajado.

La relación se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$V_{apo} = V_{req} = V_{ata}$$

Donde:  $V_{apo} = V_{exc} + V_{ver} + V_{can}$   
 $V_{req} = V_{rr} + V_{pec} + V_{dom} + V_{eva} + V_{fil}$   
 $V_{ata} = V_{ata} * \text{número de almacenamientos}$

**Cuadro 8**  
**Balance hídrico (formato)**

DATOS GENERALES													
Ubicación													
Área de aporte (ha)													
Coeficiente de escorrentía													
Ocurrencia de lluvias													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot.
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Precipitación/ocur. (mm)													
Precipitación efec. (mm)													
ET <sub>c</sub> (mm/d)													
ET <sub>c</sub> (mm/mes)													
OFERTA DE AGUA													
Volumen área aporte (m <sup>3</sup> )													
Caudal vertiente (l/s)													
Caudal ríos y otros (l/s)													
Volumen oferta total (m <sup>3</sup> )													
DEMANDA RIEGO													
Cultivo (a-b-c)													
K <sub>c</sub>													
ET <sub>c</sub> (mm)													
Área de cultivo (ha)													
Eficiencia de aplicación													
Vol. requerido (m <sup>3</sup> )													
Vol. req. efect. (m <sup>3</sup> )													
Vol. cubierto/lluvias (m <sup>3</sup> )													
Vol. faltante req. (m <sup>3</sup> )													
DEMANDA PECUARIA													
Ganado mayor (m <sup>3</sup> )													
Ganado menor (m <sup>3</sup> )													
Avícola (m <sup>3</sup> )													
Otros (m <sup>3</sup> )													
Vol. tot. pecuario (m <sup>3</sup> )													
DEMANDA DOMESTICA													
Adultos (m <sup>3</sup> )													
Niños (m <sup>3</sup> )													
Vol. tot. domestico (m <sup>3</sup> )													
PERDIDAS LOCALES													
Por filtración (m <sup>3</sup> )													
Por evaporación (m <sup>3</sup> )													
Otro (m <sup>3</sup> )													
Vol. tot. pérdidas (m <sup>3</sup> )													
CAPACIDAD ATAJADO													
Vol. demanda total (m <sup>3</sup> )													
Vol. oferta total (m <sup>3</sup> )													
Vol deficitario (m <sup>3</sup> )													
Capacidad atajado (m <sup>3</sup> )													

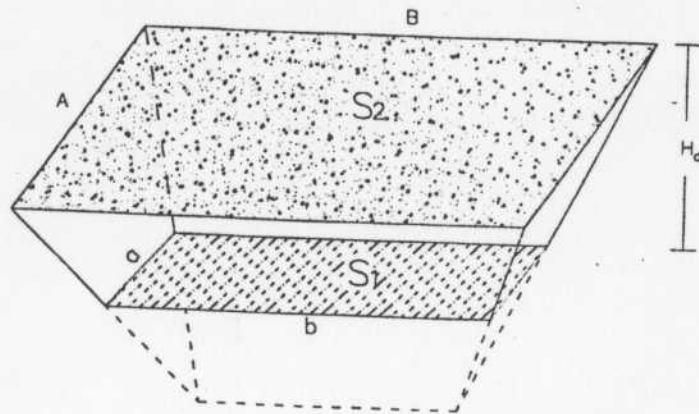
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Diseño Geométrico

Conociendo la capacidad requerida se puede diseñar el atajado, definiendo el largo, el ancho, la profundidad y las pendientes de los terraplenes.

La forma elegida es la de un tronco de pirámide invertida. Aunque no es la forma óptima en comparación con el tronco cónico invertido, es una forma práctica para cuantificar la excavación y la conformación de los terraplenes posteriormente.

Figura 3  
Geometría del atajado (pirámide tronco invertido)



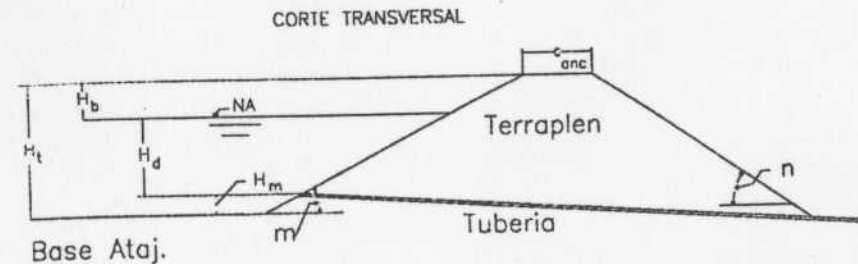
El volumen de este tronco de pirámide invertida se define mediante la expresión:

$$V_{ip} = \frac{H_d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 * S_2})$$

Donde:  $V_{ip}$  = Volumen tronco pirámide (m<sup>3</sup>)  
 $S_1$  = Área de la base (m<sup>2</sup>) (a \* b)  
 $S_2$  = Área superior (m<sup>2</sup>) (A \* B)  
 $H_d$  = Altura de diseño (entre superficies) (m)

Analizando el corte transversal del atajado, se ubica también el terraplén conformado con el ancho de la corona, el ancho de la base y las pendientes de los taludes interiores y exteriores.

Figura 4  
Niveles de agua en un atajado "tipo"



La altura o profundidad total del atajado ( $H_t$ ) es la suma de la altura del volumen muerto, la altura de diseño y la altura del borde libre y se expresa de la siguiente manera:

$$H_t = H_m + H_d + H_b$$

Donde:  $H_t$  = Altura total del atajado (m)  
 $H_m$  = Altura del volumen muerto (m)  
 $H_d$  = Altura de diseño (m)  
 $H_b$  = Altura del borde libre (m)

#### Altura del volumen muerto

La altura muerta es la altura entre la base del atajado y el tubo de desfogue del agua. Esta altura está incorporada como depósito de sedimentos y generalmente no sobrepasa 0.35 m. Si por alguna razón entraran sedimentos en el atajado, el tubo de desfogue no se colmatará y el sistema pueda seguir funcionando.

La altura muerta se expresa de la siguiente forma:

$$H_m = 0.15H_d$$

Donde:  $H_m$  = Altura muerta (m)  
 $H_d$  = Altura de diseño (m)

#### Altura de diseño

La altura de diseño es la altura entre la salida del tubo de desfogue y el nivel máximo de almacenamiento. En la propuesta de diseño en este libro

la altura de diseño no debe ser mayor a 2.00 metros, debido a que es la máxima altura del terraplén que se puede conformar con un tractor a oruga. Además, la estabilidad de los terraplenes disminuye por la presión hidráulica a medida que incrementa la altura del espejo del agua.

#### Altura de bordo libre

La altura de bordo libre es la altura entre el espejo del agua en el nivel de la máxima capacidad de almacenamiento y la corona del terraplén. Esta altura se incorpora en el diseño para asegurar que el agua no desborde del terraplén.

La altura de bordo libre se expresa de la siguiente forma:

$$H_b = \frac{H_d}{2}$$

Donde:  $H_b$  = Altura de bordo libre (m)  
 $H_d$  = Altura de diseño (m)

#### Ancho de coronamiento

El ancho de la corona se determina mediante la expresión:

$$C_{anc} \geq \frac{H_d}{2}$$

Donde:  $C_{anc}$  = Ancho de la corona (m)  
 $H_d$  = Altura de diseño del atajado (m)

Como ancho mínimo se recomienda no construir coronas menos de 1.00 m de ancho para garantizar la estabilidad del terraplén.

#### Estabilidad de los terraplenes

La estabilidad de los terraplenes de atajados se aseguran mediante una relación entre la altura y el ancho en función del tipo de suelo. Cuanto más suelto el suelo, menos pendiente debe tener el terraplén.

La relación segura entre la altura y el ancho es; V: H = (1 : 1.8 hasta 1 : 3, para el talud interior; y 1 : 1.2 hasta 1 : 2 para el talud exterior) para los suelos indicados en título 2.3.2 y para pendientes no mayores al 15%.

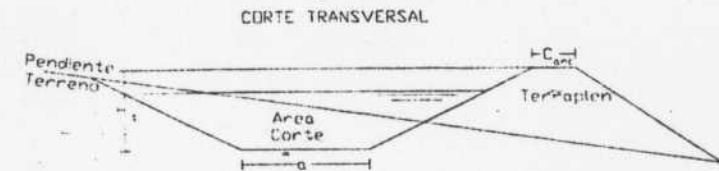
### 3.3 Movimiento de tierra

Con las dimensiones geométricas del atajado como el largo y ancho de la base, la profundidad e inclinación del terraplén interior, la capacidad deseada y la pendiente natural del terreno se puede cuantificar el volumen del movimiento de tierra.

El cálculo del movimiento de tierra parte de las coordenadas que definen el área de corte, para luego definir el volumen de corte. De la misma manera se define el volumen de la conformación de los terraplenes. Primero las coordenadas, después el área y luego el volumen de conformación de los terraplenes.

El movimiento de tierra debe contemplar el criterio de equilibrio, del volumen de corte y el volumen de conformación de los terraplenes.

Figura 5  
 Área de corte y terraplén de un atajado "tipo"



Para facilitar el diseño geométrico, el cálculo del volumen de corte y del volumen de conformación de los terraplenes se recomienda utilizar el programa "Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra" adjuntado al libro.

El factor de esponjamiento de los diferentes suelos, para el cálculo del volumen de corte y la conformación de los terraplenes, se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9  
 Factor de esponjamiento

Suelo	Factor de esponjamiento ( $\phi$ )
Arcilla	1.10 - 1.15
Arcillo arenoso	1.15 - 1.25
Franco	1.25 - 1.35

Fuente: Elaboración propia

Véase Anexo 4 y 5 para información del diseño geométrico y cálculo del movimiento de tierra.

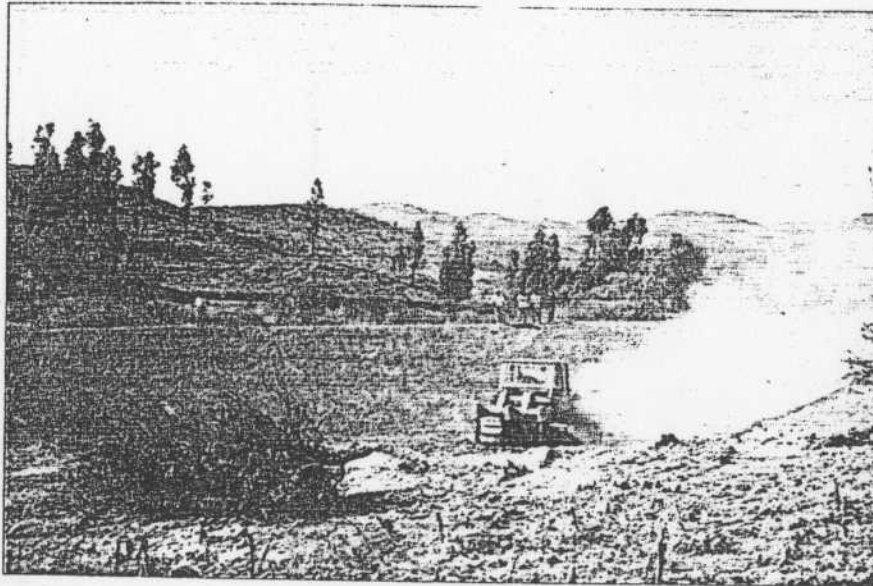


Foto 4. Tractor a oruga excavando un atajado

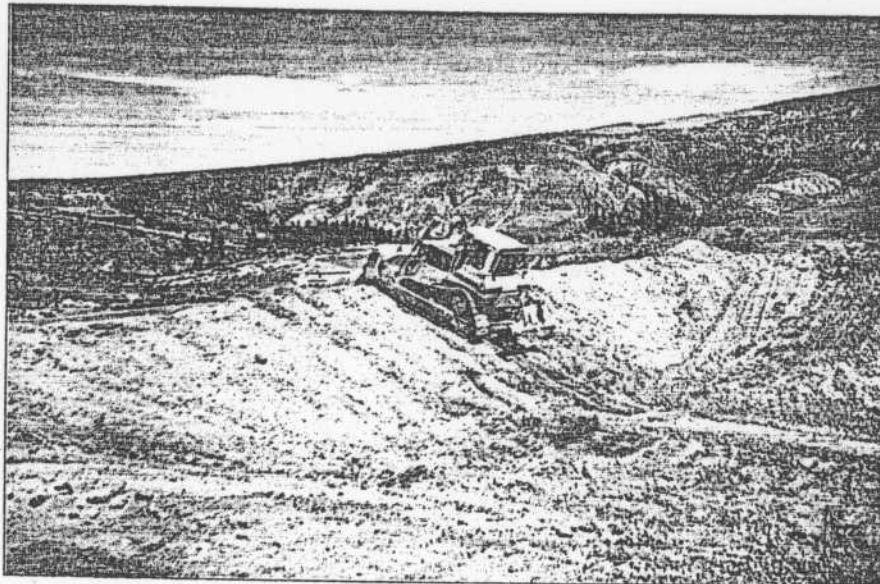


Foto 5. Tractor a oruga compactando el terraplén

### 3.4 Obras Complementarias

Para un buen funcionamiento y un uso sostenible del atajado son necesarias la implementación de obras complementarias a la excavación del atajado y a la conformación de los terraplenes. Estas obras especialmente se implementan para captar y expulsar el agua de manera eficiente y sostenible.

Las obras complementarias de los atajados son:

- Canales de captación o aducción
- Sedimentador
- Canal de ingreso
- Sistema de desfogue
- Cámara disipadora de energía
- Aliviadero
- Canal de conducción
- Cerco de protección perimetral

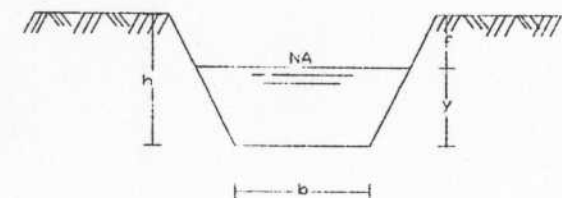
#### 3.4.1 Canales de captación o aducción

Los canales de captación o aducción se implementan para captar el agua y transportarla desde las fuentes hasta el atajado. Normalmente son canales en tierra. En circunstancias extraordinarias, como suelos arenosos, se recomienda revestir los canales con hormigón o mampostería seca para disminuir las pérdidas durante el transporte del agua y mejorar la conducción.

Los canales de captación o aducción se diseñan mediante la fórmula empírica de Manning-Strickler.

Figura 6  
Canal de captación o aducción

CORTE TRANSVERSAL



$$Q = A * k_m * s^{1/2} * R^{2/3}$$

$$Q = v * A$$

$$v = k_m * s^{1/2} * R^{2/3}$$

- Donde: A = Área mojada trapecio (m<sup>2</sup>)  
 Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)  
 R = Radio hidráulico (m)  
 s = Pendiente de la solera del canal (m/m)  
 k<sub>m</sub> = Coeficiente adimensional de rugosidad de la superficie del canal  
 v = Velocidad del agua (m/s)

**Coefficiente de rugosidad (k<sub>m</sub>)**

La rugosidad de la solera y las paredes de un canal, junto con la pendiente y la sección, define la velocidad y el caudal que puede transportar un canal. Una mala interpretación de los coeficientes de rugosidad puede tener un impacto significativo en los niveles de agua en los canales. Razón por la cual se tiene que estimar este coeficiente con bastante precisión.

En el Cuadro 10 se presenta una indicación de los coeficientes de rugosidad de canales con diferentes superficies.

**Cuadro 10**  
**Coefficientes de rugosidad de canales (k<sub>m</sub>) de Manning-Strickler**

Tipo de superficie	Coefficiente de rugosidad k <sub>m</sub>
Canales revestidos	
Mampostería	40
Concreto	56
Canales de tierra	
Curvo y lento con fondo de tierra y costados de piedra partida	33
Excavado con pala o dragado sin vegetación	36

Fuente: Ven te Chow, 1959

**Sección transversal**

La sección transversal más apta para los canales del atajado son: la rectangular para canales revestidos de hormigón y la trapezoidal para canales en tierra por la facilidad en su construcción.

Tomando ciertos valores para la rugosidad (k<sub>m</sub>) y la pendiente (s), la velocidad máxima ocurre cuando el radio hidráulico (R=A/P) es óptimo.

La sección transversal de mayor eficiencia hidráulica para canales trapezoidales es la semi-hexagonal. Para canales rectangulares es una sección igual a la mitad de un cuadrado (b = 2y). La aplicación de la sección hidráulica óptima resulta en caudales máximos a un costo mínimo, especialmente en canales revestidos.

**Cuadro 11**  
**Área, radio hidráulico y perímetro mojado de canales**

forma	Area (A)	Radio hidráulico (R)	Perímetro mojado (P)
	by	$\frac{by}{b+2y}$	b+2y
	(b+zy)y	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b+2y√(1+z <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia

**Bordo libre**

Para evitar que el agua rebase del canal se adiciona un bordo libre al diseño. Este bordo libre debería tener suficiente altura para soportar fluctuaciones en el caudal máximo. Para canales pequeños en tierra se calcula un bordo libre (f) igual al 50% del tirante de agua (y). En ningún caso este bordo podrá ser menor a 0.3 m. El tirante de agua es la altura que existe entre la solera del canal y la superficie del agua.

En el diseño se suma el tirante de agua (y) con el bordo libre (f) para tener la altura total del canal. (h)

**Velocidad**

La velocidad del agua en canales de tierra es restringida. Por un lado existe una velocidad mínima de 0.15 m/s para evitar sedimentación en el canal y por el otro lado hay velocidades máximas para evitar la erosión. Las velocidades máximas permisibles dependen del suelo y de la cobertura del canal.

En el Cuadro 12 se presentan valores indicativos para velocidades máximas en canales de captación y aducción en diferentes circunstancias.

**Cuadro 12**  
Velocidades máximas en canales de tierra de captación y aducción

Material	Velocidad máxima en m/sec		
	Sin cobertura	Cobertura regular de pasto	Buena cobertura de pasto
Arena arcillosa muy liviana	0.3	0.75	1.5
Arena liviana suelta	0.5	0.9	1.5
Arena áspera	0.75	1.25	1.7
Suelo arenoso	0.75	1.5	2.0
Franco arcilloso (firme)	1.0	1.7	2.3
Arcilla dura o suelo duro gravoso	1.5	1.8	2.5
Grava pedregosa	1.5	1.8	-
Granita, subsuelo duro, roca blanda, etc.	1.8	2.1	-
Conglomerados duros y cementados	2.5	-	-
Valores intermedarios son permitidos			

Fuente: Hudson, 1986

En el caso de canales revestidos el rango de velocidades es más amplio, de 0.6m/s hasta 2.5m/s.

Si la velocidad del diseño en el canal es demasiada alta, la forma más conveniente para reducirla es bajar la pendiente de la solera del canal. Una forma para estimar la pendiente requerida es:

$$s_r = s \left( \frac{v_r}{v} \right)^u$$

Donde:  $s_r$  = Pendiente requerida (m/m)  
 $s$  = Pendiente actual (m/m)  
 $v_r$  = Velocidad requerida (m/s)  
 $v$  = Velocidad del agua actual (m/s)  
 $u$  = Exponente para la formula de Manning-Strickler (8/3)

El diseño hidráulico de un canal con cierto caudal, rugosidad y pendiente requiere cálculos iterativos que son fáciles de hacer mediante programas computarizados.

De no existir estos programas de computación, se presenta a continuación un método para calcular las dimensiones de un canal con una calculadora de bolsillo. (Meijer, 1990)

Para facilitar el cálculo, primero se re-escribe la formula de Manning-Strickler de la siguiente forma:

$$Q = F * k_m * y^{8/3} * \sqrt{s} \quad y = \left( \frac{Q}{k_m * F * \sqrt{s}} \right)^{3/8} \quad F = \left( \frac{(w+z)^5}{w+2\sqrt{z^2+1}} \right)^{1/3}$$

Donde:  $Q$  = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)  
 $F$  = Factor de la fórmula modificada  
 $s$  = Pendiente de la solera del canal (m/m)  
 $k_m$  = Coeficiente de rugosidad del canal  
 $y$  = Tirante de agua (m)  
 $w$  = b/y  
 $z$  = Angulo talud canal

Luego se empieza el diseño según los siguientes pasos:

Paso 1 Seleccionar valores para el ángulo del talud del canal ( $z$ ) y la relación entre el ancho de la solera y la profundidad del agua ( $w$ ) deseada

Paso 2 Seleccionar el valor del factor ( $F$ ) del Cuadro 13

**Cuadro 13**  
Valores del factor F

Z \ W	0	1	1.5	2	3	4	6	8	10
0	-	0.481	0.853	1.260	2.134	3.050	4.950	6.900	8.860
0.5	0.184	0.898	1.319	1.759	2.676	3.620	5.550	7.510	9.480
1	0.500	1.297	1.734	2.184	3.110	4.060	6.000	7.960	9.930
1.25	0.668	1.484	1.923	2.375	3.300	4.250	6.180	8.140	10.110
1.5	0.836	1.664	2.105	2.557	3.480	4.430	6.360	8.130	10.280
2	1.170	2.010	2.451	2.902	3.820	4.770	6.690	8.630	10.590
2.5	1.499	2.344	2.785	3.230	4.150	5.090	7.000	8.930	10.880
3	1.825	2.672	3.110	3.560	4.470	5.400	7.300	9.220	11.170

Z = ángulo del talud del canal = H/V

W = relación entre el ancho de la solera y la profundidad del agua

Fuente: Meijer, 1990.

Paso 3 Calcular el tirante del agua mediante la formula:

$$y = \left( \frac{Q}{k_m * F * \sqrt{s}} \right)^{3/8} \quad (\text{tirante del agua})$$

Paso 4 Calcular la velocidad del agua (v) mediante la formula:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(w + z)y^2}$$

Si la velocidad del agua es demasiado alta, reducirla mediante la siguiente fórmula:

$$s_r = s \left( \frac{v_r}{v} \right)^{8/3}$$

Si no, continuar con el paso 5

Paso 5 Calcular preliminarmente el ancho de la solera mediante la fórmula:

$$b = w * y$$

Paso 6 Redondear el ancho de la solera (b) como se requiera y ajustar el tirante del agua (y) como se calculó en el paso 3.

Si el ancho de la solera (b) esta ajustado, se calcula la corrección del tirante del agua (y) = (Δy) con la formula:

$$\Delta y = \frac{-\Delta b}{1.5w + 2z - 0.5}$$

**2.4.2 Sedimentador**

El sedimentador es un pequeño estanque donde se hace disminuir la velocidad del agua antes de ingresar al atajado para que pueda decantar las partículas mayores, así se evita la sedimentación en el atajado.

El tamaño de un sedimentador se determina con las fórmulas:

$$Q = v * A$$

Donde: Q = Caudal (m³/s)  
v = Velocidad del agua (s)  
A = Superficie (m²)

$$L = \frac{1.5 * v * y}{w}$$

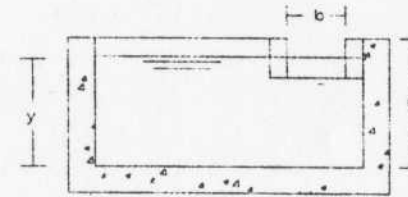
Donde: L = Longitud del sedimentador (m)  
v = Velocidad del agua asumida en el sedimentador (m/s)  
y = Tirante del sedimentador (m)  
w = Velocidad de decantación de la partícula elegida (m/s)

$$d = \frac{Q}{v * y}$$

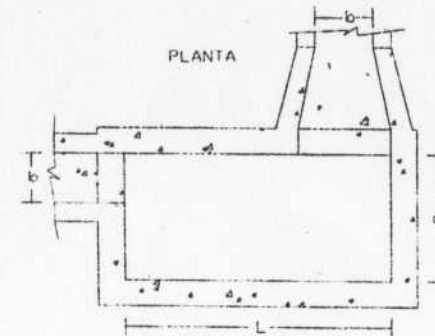
Donde: d = Ancho del sedimentador (m)  
Q = Caudal (m³/s)  
v = Velocidad del agua asumida en el sedimentador (m/s)  
y = Tirante del sedimentador (m)

**Figura 7 Sedimentador**

CORTE TRANSVERSAL



PLANTA



**Cuadro 14 Velocidades de decantación (w)**

Suelo	Diámetro (mm)	w (m/s)
Arena áspera	1.00-0.50	0.0944-0.0540
Arena de textura mediana	0.50-0.25	0.0540-0.0270
Arena fina	0.25-0.10	0.0270-0.0692
Arena muy fina	0.10-0.05	0.0692-0.0178

Fuente: Arkhangelski, 1947



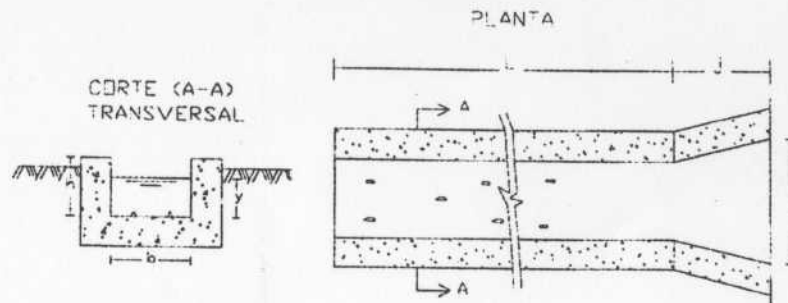
### 3.4.3 Canal de ingreso

Si el talud interior de los atajados tiene una pendiente fuerte (1:2 o 1:2.5) se construye un canal de ingreso revestido, desde el sedimentador hasta la base del atajado, para evitar la erosión del talud interior, causada por la alta velocidad del agua.

Para el diseño del canal de ingreso se utiliza la formula empírica de Manning-Strickler de la misma forma que para los canales de captación o aducción. El caudal de diseño del canal de ingreso es el mismo que el caudal de diseño del canal de captación, puesto que el agua captada que ingresa al sedimentador es la misma que sale de éste e ingresa al atajado. A diferencia de los canales de captación o aducción, el canal de ingreso es revestido y de forma rectangular.

Para disminuir la velocidad y evitar el desgaste de la solera se sugiere poner piedras del tamaño de 0.1\*0.05\*0.02m en la solera, creando así una rugosidad artificial.

Figura 8  
Canal de Ingreso



### 3.4.4 Sistema de desfogue

El sistema de desfogue se implementa para descargar el agua del atajado en forma eficiente y sin causar erosión. Existen diferentes formas de hacerlo. La más común es colocando un sifón por encima del talud. Otra es poner una tubería al fondo del terraplén del atajado. Por razones de sostenibilidad del sistema y la facilidad en el uso, se recomienda implementar un tubo de PVC o fierro galvanizado (F.G.) preferentemente ubicado a pocos centímetros del fondo del atajado, permitiendo así la evacuación del agua almacenada.

Conviene instalar la tubería de descarga bajo una ligera pendiente, de 1 a 2%. Esto coadyuva a una autolimpieza, debido a la presión hidráulica durante el proceso de descarga.

En el extremo interior del tubo de desfogue se coloca un filtro para evitar el ingreso de material grueso y al lado exterior se coloca una llave de paso para regular el caudal de salida.

Una indicación de caudales en los tubos de desfogue de PVC o hierro galvanizado con diferentes diámetros, longitudes y alturas de descarga se presenta en el Cuadro 15.

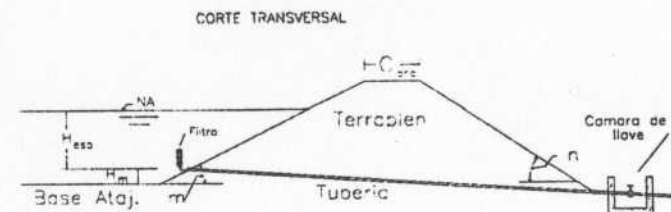
Cuadro 15  
Caudales de diseño del sistema de desfogue

Caudales en tubería de hierro galvanizado (l/s)												
tubo (m)	D = 2 pulgadas Hd (m)				D = 2.5 pulgadas Hd (m)				D = 3 pulgadas Hd (m)			
	0.50	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	2.00
8	4.99	7.05	8.64	2.98	7.84	11.09	13.58	15.68	11.34	16.03	19.64	22.67
12	4.93	6.97	8.54	9.86	7.77	10.98	13.45	15.53	11.24	15.90	19.48	22.49
16	4.87	6.89	8.44	9.74	7.69	10.88	13.32	15.38	11.15	15.77	19.32	22.31
20	4.82	6.81	8.34	9.63	7.62	10.78	13.20	15.24	11.07	15.65	19.17	22.13
24	4.76	6.73	8.25	9.52	7.55	10.68	13.08	15.10	10.98	15.53	19.02	21.96
Caudales de tubería de PVC l/s												
8	5.12	7.24	8.86	10.24	8.00	11.32	13.86	16.00	11.53	16.30	19.96	23.05
12	5.11	7.23	8.85	10.22	7.99	11.30	13.84	15.99	11.52	16.29	19.95	23.03
16	5.10	7.22	8.84	10.21	7.98	11.29	13.83	15.97	11.51	16.27	19.93	23.01
20	5.10	7.21	8.83	10.20	7.98	11.28	13.82	15.95	11.50	16.26	19.91	22.99
24	5.09	7.20	8.82	10.18	7.97	11.27	13.80	15.94	11.49	16.24	19.89	22.97

Fuente: Elaboración propia  
1 pulgada = 2.54 cm

Véase Anexo 3 para el cálculo del caudal de descarga del sistema de desfogue.

Figura 9  
Sistema de desfogue



Para fines del manejo del agua es oportuno conocer el volumen del agua almacenada en toda altura del espejo.

$$V_{\text{ata}} = \frac{4H_{\text{esp}}^3}{3m^2} + \frac{(a+b)H_{\text{esp}}^2}{m} + (a*b)H_{\text{esp}}$$

Donde:  $V_{\text{ata}}$  = Volumen (m<sup>3</sup>)  
 $H_{\text{esp}}$  = Altura del espejo del agua (m)  
 $a$  = Ancho de la base (m)  
 $b$  = Largo de la base (m)  
 $m$  = Pendiente talud interior

Mediante esta expresión se puede determinar el volumen de agua en el atajado mediante una medición con una regla lineal, pintada sobre el canal de ingreso.

También es importante, por seguridad, conocer el tiempo del vaciado para toda altura de almacenamiento del atajado. De acuerdo a la fórmula siguiente:

$$t = \frac{1}{z} \left[ \frac{8H^{2.5}}{5m^2} + \frac{4(a+b)H^{1.5}}{3m} + 2(a*b)\sqrt{H} \right]_{H_{\text{min}}}^{H_{\text{max}}} \quad z = A * k * \sqrt{2g}$$

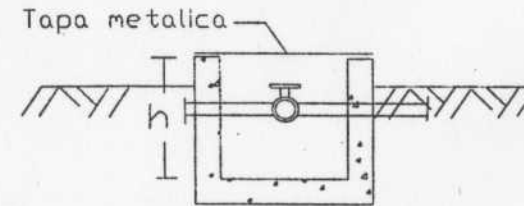
Donde:  $t$  = Tiempo (s)  
 $H$  = Altura espejo del agua (m)  
 $a$  = Ancho base (m)  
 $b$  = Largo base (m)  
 $z$  = Constante adimensional  
 $A$  = Área del tubo (m<sup>2</sup>)  
 $k$  = Factor de descarga (anexo 3)  
 $g$  = 9.81 (m/s<sup>2</sup>)  
 $m$  = Pendiente talud interior

Para poder controlar la descarga del agua y para proteger la llave de paso de regulación se construye una cámara de protección de hormigón ciclópeo con una tapa metálica.

Las dimensiones de esta cámara son las dimensiones mínimas de construcción, que permiten albergar y manejar en su interior la llave de paso, y con el espacio suficiente para manipuleo de herramientas de plomería para su mantenimiento. (0.50 m de largo \* 0.50 m de ancho \* 0.50 m de alto con un espesor de los muros de 0.15 m)

Figura 10  
Cámara de protección para la llave de paso

CORTE TRANSVERSAL



PLANTA

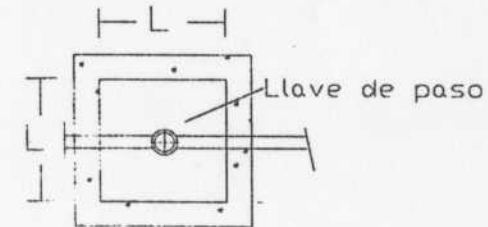




Foto 6. Filtro al extremo interior del tubo de desfogue con protección

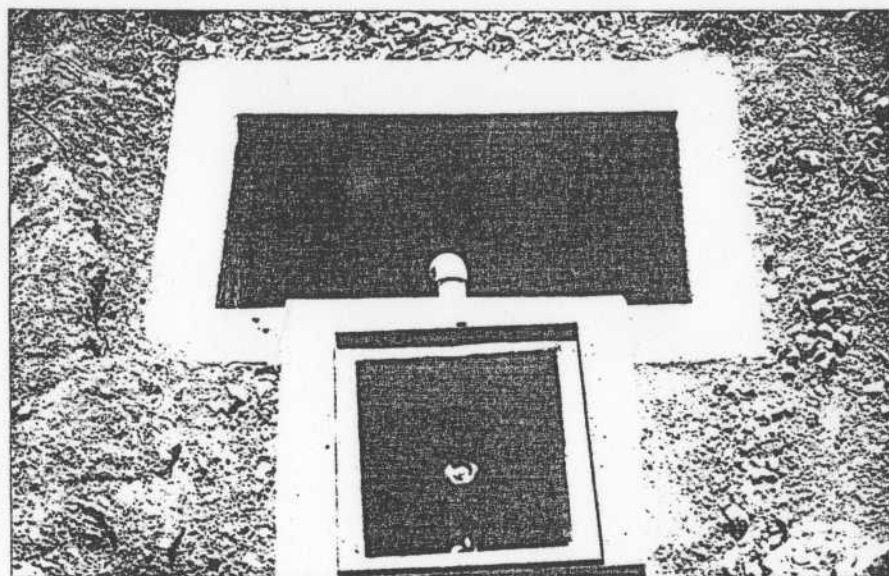


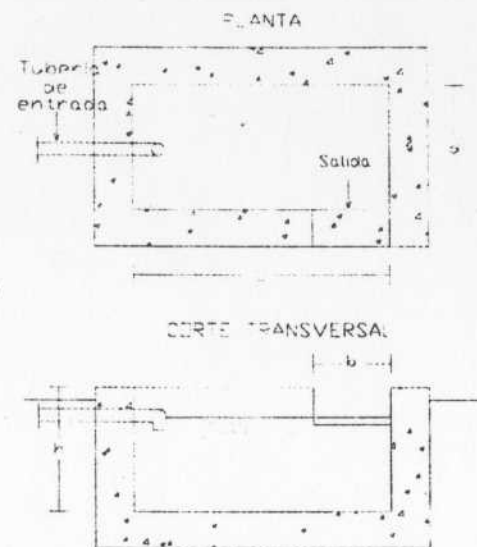
Foto 7. Cámara de protección de llave de paso y dissipadora de energía

### 3.4.5 Cámara dissipadora de energía

La cámara dissipadora de energía es una pequeña obra que se construye para disipar la energía del agua, que sale del tubo de desfogue. Además, es una obra que puede servir como abrevadero para el ganado, como lavadero de ropa y para el aseo personal.

Las dimensiones y la forma de la cámara dissipadora de energía depende del uso final. En muchos casos no son mayores a 1.00 m de largo \* 0.50 m de ancho \* 0.50 m de alto interior, con paredes de 0.15 m de espesor y un fondo de 0.15 a 0.20 m.

Figura 11  
Cámara dissipadora de energía



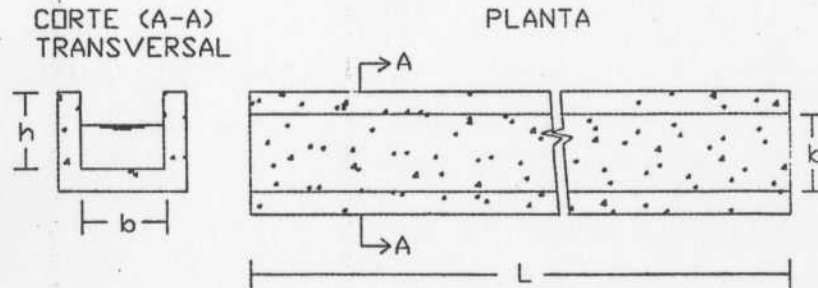
### 3.4.6 Aliviadero

El aliviadero es un canal de desvío del agua que se construye para controlar el nivel del espejo del agua en el atajado. Si la altura de diseño sobrepasa la relación que tiene con el bordo libre ( $H_b = H_d/2$ ) existe el peligro de tubificación y colapso del atajado.

El diseño del aliviadero se realiza sobre la base de las fórmulas de Manning-Strickler y de Continuidad de Flujo, mencionadas en el título 3.4.1.

Para el caudal de diseño se toma un caudal que sea cuatro veces mayor que el caudal de diseño del canal de ingreso. Este caudal de diseño toma en cuenta probables escorrentías superficiales no controladas en períodos de lluvias torrenciales que pueden ingresar al atajado.

**Figura 12**  
Aliviadero



El aliviadero se construye preferentemente sobre un suelo estable y no en terraplenes recién formados; esto, para evitar rajaduras en la base y las paredes causados por asentamientos.

Desde el aliviadero se conduce el agua a una quebrada aledaña u otro sistema de drenaje controlado.

### 3.4.7 Canales de conducción

Los canales de conducción transportan el agua del atajado hacia las parcelas de cultivo u otro lugar de uso.

El diseño de estos canales se realiza de la misma forma que los canales de captación o aducción como se indica en el título 3.4.1, con la fórmula de Manning-Strickler. Para el caudal de diseño se parte del caudal máximo del sistema de desfogue. Véase título 3.4.4..

### 3.4.8 Cerco de protección perimetral

El cerco de protección perimetral se coloca para proteger al atajado de daños físicos como el deterioro de los terraplenes causado por animales, para prevenir accidentes personales y para evitar la contaminación del agua.

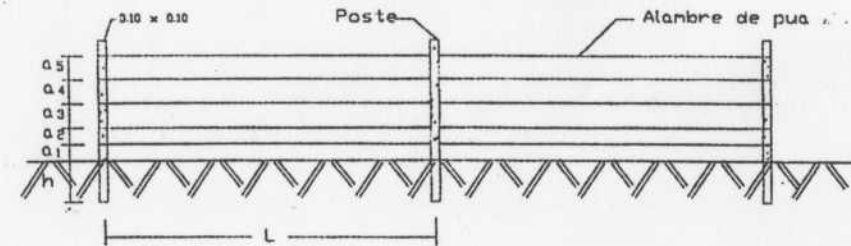
Se recomienda ubicar el cerco perimetral mínimamente a 5.00 m de distancia del pie del terraplén exterior en toda la periferia del atajado; la

cámara de llave de paso se encuentra dentro del cerco, mientras que la cámara disipadora de energía se encuentra fuera de él para que pueda cumplir la función de abrevadero, lavandería y aseo personal.

El material de construcción del cerco puede ser vegetal, como arbustos con espinos, o alambre de púa.

En caso de optar por un cerco con alambre de púa, se recomienda colocar postes de hormigón o bolillos de madera (eucalipto u otros) no menores a 2.00 m de alto y a cada 4.00 m de distancia como máximo.

**Figura 13**  
Cerco de protección perimetral



## 4. Construcción

---

El capítulo tres se ha referido al diseño del atajado en general, desde la determinación de su capacidad hasta el cerco perimetral. El presente capítulo describe un proceso constructivo de los atajados, incluyendo sus obras complementarias.

En la descripción del proceso, se presentan las actividades de la construcción en orden cronológico de acuerdo al siguiente detalle:

- Replanteo
- Desbrozo
- Emplazamiento de la tubería de desfogue
- Excavación y conformación del terraplén compactado
- Canal de captación o aducción
- Sedimentador
- Canal de ingreso o rápida
- Sistema de desfogue
- Cámara disipadora de energía
- Aliviadero
- Cerco de protección perimetral

### 4.1 Replanteo

El replanteo se realiza para ubicar el atajado en el terreno y luego para guiar el tractor a oruga durante el desbrozo y la excavación. Como base para las dimensiones del replanteo se utiliza el programa de "Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra" mencionado en los títulos 3.2 y 3.3.

Los jalones de referencia se ubican con la ayuda de un nivel de ingeniero y una cinta métrica para replantear las coordenadas.

El peinado de los terraplenes, con sus pendientes definidas, se controla a ojo, utilizando los jalones alineados por el operador y guiados por el respectivo encargado de la obra. Las cotas de control de excavación se efectúan con la ayuda de un nivel de ingeniero.

#### 4.2 El desbrozo de la capa arable

Antes de iniciar la excavación del atajado, se desbroza la capa arable, para separar el material vegetal, como raíces, malezas, matorrales y materia orgánica en la capa arable, del material de construcción de los terraplenes.

En la mayoría de los casos el desbrozo implica una limpieza del terreno, raspando la capa arable (0.05 a 0.20 m), colocando el material extraído fuera del área de construcción.

Concluido este trabajo, se ajustan los jalones del replanteo para iniciar el emplazamiento de la tubería de desfogue, la excavación y el control de niveles.

#### 4.3 Emplazamiento del tubo de desfogue

Antes del inicio de la excavación del atajado se excava una zanja de 0.5 m de profundidad. El ancho de excavación es un poco mayor que el diámetro de la tubería, a fin de poder colocarla. La longitud de la zanja es un poco mayor que la de la base del terraplén frontal, con la cota del fondo calculado según el programa "Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra".

Posterior a la colocación del tubo se rellena la zanja, compactándola en capas de 0.2 a 0.3 m de altura, a su densidad máxima, con el material extraído de la zanja. Aquí se tiene que estar alerta de tener los extremos de la tubería en los puntos de pie del talud frontal.

Para no dañar los extremos de la tubería en el proceso de excavación se recomienda marcarlos con jalones.



Foto 8. Desbrozo de la capa superficial

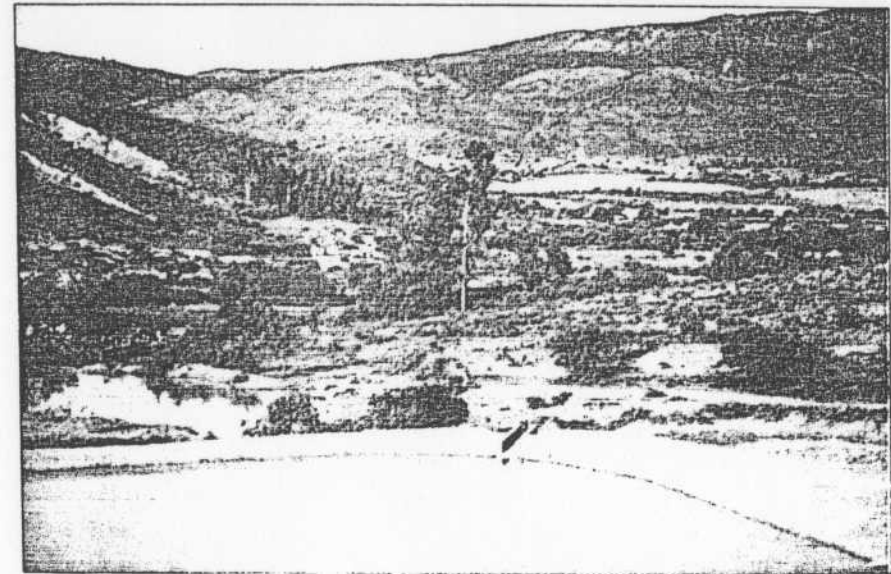


Foto 9. Aliviadero en punto de controlar el nivel máximo del agua en el atajado

#### 4.4 Excavación del atajado y conformación de los terraplenes compactados

Esta actividad es la parte principal en la construcción de un atajado, puesto que es la base de toda la obra, además, es la actividad más costosa.

Una vez efectuados los trabajos de replanteo, de desbrozo de la capa arable y de emplazamiento del tubo de desfogue, el tractor oruga inicia la excavación. Ésta se hace en dirección de la pendiente del terreno natural, de arriba hacia abajo, quitando el material hasta el límite indicado por los jalones.

El peinado de los terraplenes se controla visualmente, utilizando los jalones alineados por el operador y guiados por el respectivo encargado de la obra. Las cotas de control de excavación se efectúan con la ayuda de un nivel de ingeniero.

La construcción de los terraplenes se efectúa por capas no mayores a 0.5 m de espesor suelto, en toda la superficie de la base de los terraplenes frontal y laterales. Este trabajo se realiza hasta que las zapatas de la cadena del rodado del tractor ya no se hundan. Este ir y venir del tractor se efectúa en diferentes posiciones a lo largo y ancho de la superficie de la base del terraplén. Un tractor no puede compactar la parte superior del terraplén, ya que la corona del mismo fluctúa de 1.0 a 1.5 m. de ancho. Esta parte se compacta con un equipo liviano de compactación (compactador saltarín u otros) después del trabajo de nivelación y emparejado. Con este equipo se compacta además, el material superficial suelto y susceptible a la erosión.

#### 4.5 Construcción de las obras complementarias

En los títulos anteriores se describe como hacer el replanteo, el desbrozo de la capa arable, el emplazamiento del tubo de desfogue, la excavación del atajado y la conformación de los terraplén.

En este título se presenta una descripción de construcción para las obras complementarias.

##### 4.5.1 Canal de captación o aducción

Los canales de captación o aducción se ubican en la parte superior del atajado. La pendiente y la forma del canal han sido definidas en el diseño. Con un nivel de ingeniero se ubican jalones sobre el eje del canal de acuerdo a la pendiente requerida y a cada 20 metros de distancia. En terrenos muy irregulares los jalones se colocan de manera más seguida. El ancho de la excavación se controla mediante un hilo de albañilería doble y paralelo; la profundidad se controla con una regla graduada.

##### 4.5.2 Sedimentador

La construcción del sedimentador se inicia con la excavación del lugar elegido. El volumen excavado es el de diseño, más las dimensiones adicionales, necesarias para colocar los encofrados. Para las dimensiones adicionales se sugiere 0.2 m a lo ancho y 0.2 m a lo largo de la obra. El sedimentador debe estar enterrado en toda su altura para garantizar su estabilidad.



Foto 10. Compactación del talud interior

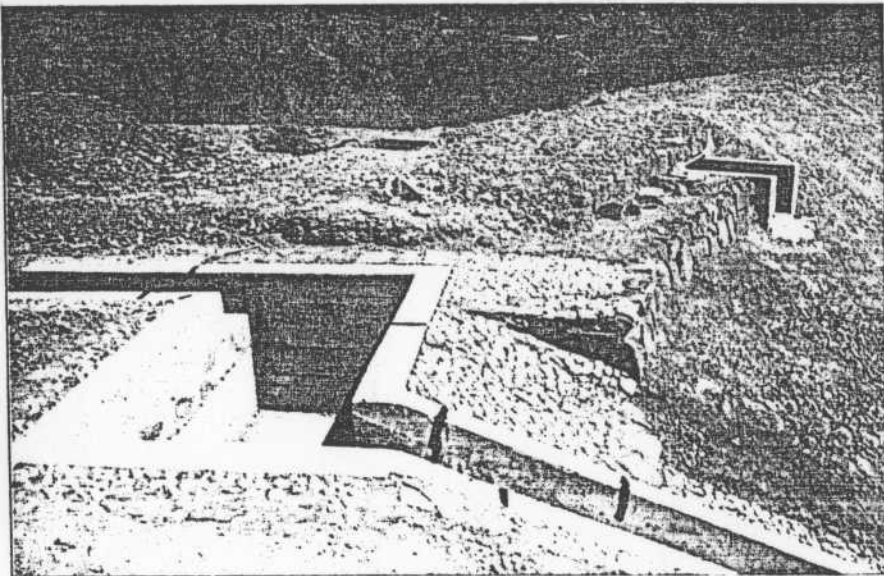


Foto11. Sedimentador

#### 4.5.3 Canal de ingreso

El canal de ingreso se excava desde la salida del sedimentador, hasta la base del atajado en el talud de corte. El tramo de excavación se marca con hilo de albañil con un sobre ancho de 0.2 m a ambos lados para albergar los encofrados. El canal debe estar enterrado en el suelo de igual manera que el sedimentador.

En la solera del canal se ubican pequeñas piedras para incrementar la rugosidad y disminuir la velocidad del agua en el canal.

#### 4.5.4 Sistema de desfogue

Después de la colocación del tubo y la conformación del terraplén, se coloca el filtro en el extremo interior del tubo. En el extremo exterior se coloca la llave de paso y se construye la cámara de protección.

#### 4.5.5 Cámara disipadora de energía

Normalmente se construye la cámara disipadora de energía al mismo tiempo que la cámara de protección para la llave de paso. Se sugiere ubicar la cámara fuera del cerco perimetral, para que pueda funcionar como abrevadero para los animales u otros usos.

Por razones de estabilidad, se recomienda enterrar la cámara por lo menos hasta la mitad de su altura.

Tratándose de dimensiones reducidas es posible utilizar elementos prefabricados listos para emplazarlos en el lugar recomendado.



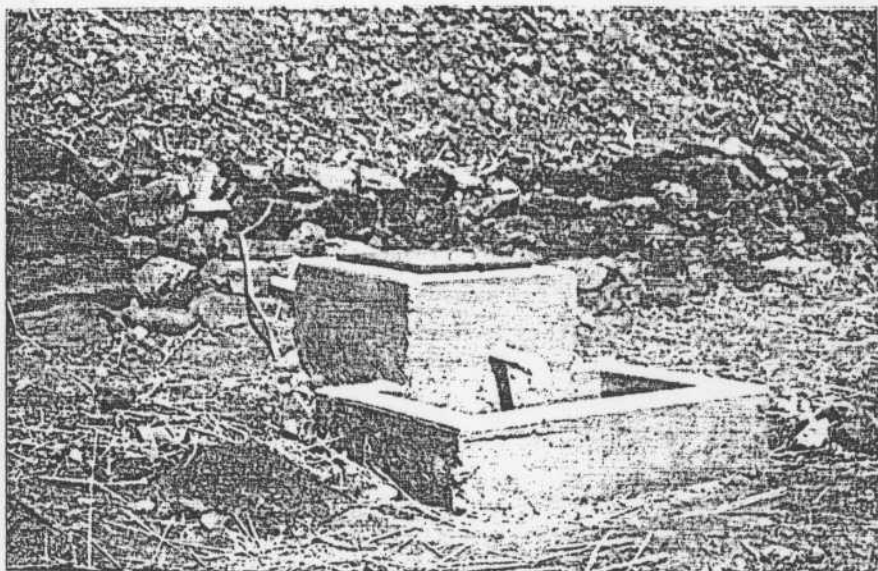


Foto 12. Cámara de protección para la llave de paso y cámara disipadora de energía

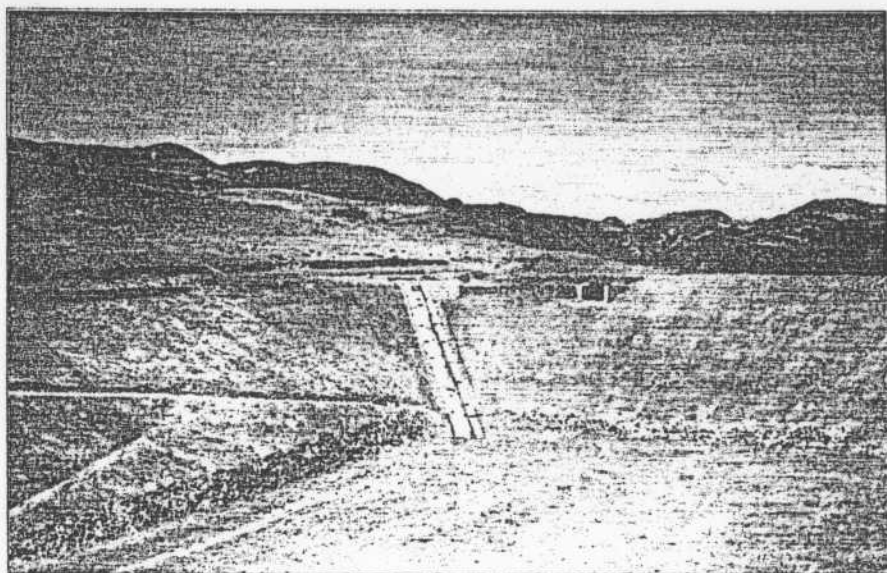


Foto 13. Canal de ingreso y aliviadero

#### 4.5.6 Aliviadero

El aliviadero preferentemente se emplaza en una de las esquinas de la intersección del terraplén lateral y el talud natural de corte (la ladera de un cerro). Es decir, un lugar más o menos estable, poco susceptible al asentamiento del terraplén.

El replanteo del aliviadero se hace con hilo de albañil de acuerdo a las dimensiones calculadas en el diseño, más un sobre ancho de 0.2 m a los dos lados para albergar los encofrados. El replanteo de la solera se hace con un nivel de ingeniero, partiendo del nivel muerto del atajado, sumando la altura correspondiente al volumen de diseño.

#### 4.5.7 Cerco de protección perimetral

El cerco perimetral se ubica a 5 m del pie de talud en toda la periferie. En el caso de optar por postes y alambre de púa se sugiere ubicar los postes a cada 4 m, con un espacio de 0.2 m entre las filas del alambre para proteger el atajado también de animales menores como ovejas y cabras.

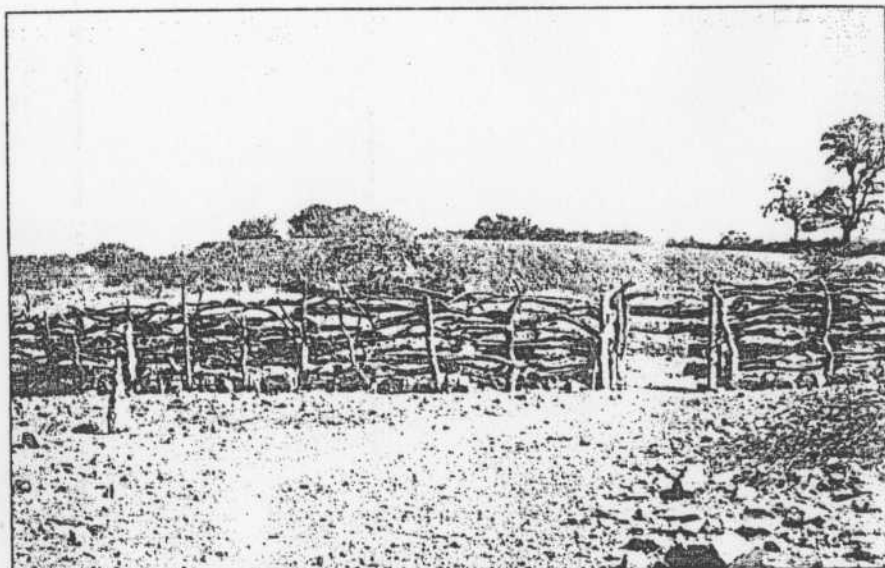


Foto 14. Atajado protegido por un cerco de ramas

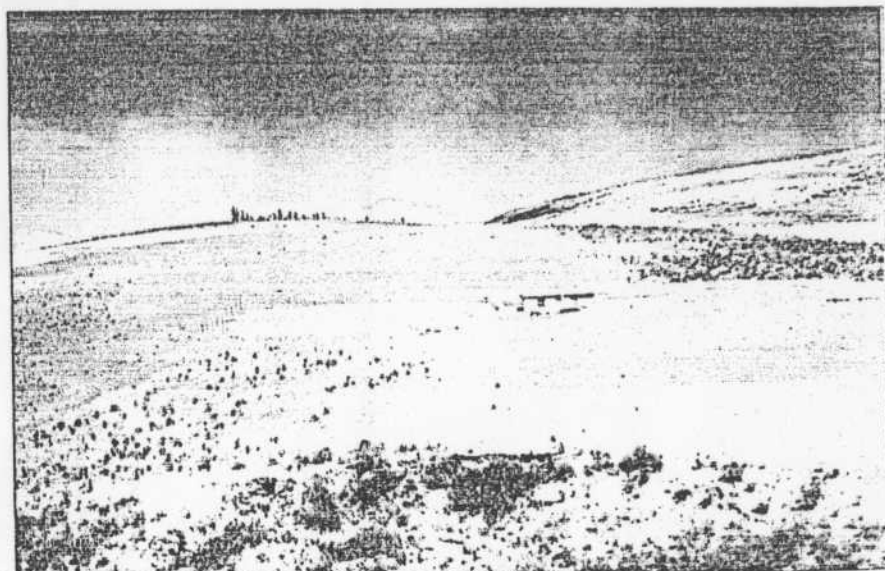


Foto 15. Atajado protegido por un cerco perimetral de postes de hormigón armado y alambre de pua

#### 4.5.8 Manejo del hormigón

La dosificación recomendada del hormigón para las obras complementarias es de 1:2:3 cemento, arena y grava respectivamente.

Al vaciar el hormigón se tiene que tener cuidado de no crear segregación en la mezcla (mezclas muy secas o aguanosas). Las piedras que conforman el hormigón ciclópeo deben estar limpias y húmedas para su buena adherencia con el hormigón. Además, las piedras deben estar completamente sumergidas en la mezcla y en lo posible no deben tocar el encofrado.

El desencofrado se realiza a los tres días después el vaciado como mínimo, procurando no golpear los encofrados. Para que el hormigón no se pame y llegue a tener una buena resistencia, hay que mantenerlo continuamente mojado durante 2 semanas.

#### 4.5.9 Personal, equipo, herramientas y materiales de construcción

La construcción de atajados requiere personal, equipo, herramientas y materiales de construcción. Su cantidad está en función del número de atajados que se construya simultáneamente. A continuación se enumera el personal, el equipo, las herramientas y el equipo mínimo para construir un atajado.

##### Personal

El personal mínimo es:

- Organizador
- Futuro o futuros usuarios del atajado
- Capataz con conocimiento de topografía y construcción de atajados
- Tractorista
- Ayudante de tractorista
- Albañil
- Ayudante de albañil

##### Equipo y herramientas

El equipo y herramientas son:

- Tractor a oruga (preferiblemente del modelo D6(H) o D7 con escarificador)

Volqueta  
 Camioneta  
 Carretilla (60-90 litros)  
 Mezcladora (150 litros)  
 Compactadora (tipo saltarín)  
 Jalones (20 piezas) de 3 m  
 Herramientas menores (huincha 50 m, nivel, balde, hilo, picota, pala, plomada, etc.)  
 Encofrados para obras complementarias

#### *Materiales de construcción*

Los materiales de construcción son:

Tubo de hierro galvanizado o PVC  
 Filtro  
 Llave de paso  
 Agua  
 Cemento  
 Arena - Grava  
 Piedras (limpias, tamaño máximo 2/3 de la dimensión menor en donde sea utilizada)

## 5. Manejo en la fase de consolidación del atajado

Los atajados necesitan mantenimiento durante toda su vida útil. En el primer año este mantenimiento o manejo es específico puesto que se trata de obras de tierra.

Los atajados están formados por terraplenes de tierra movida. Mientras esta tierra movida no esté bien asentada, muchos atajados son inestables y necesitan un manejo especial. Además, cada atajado es diferente y necesita un seguimiento estrecho en esta fase de consolidación a fin de conocer su funcionamiento. No sólo el funcionamiento del atajado, sino también del área de aporte y del área servida. En este título se dan pautas para este manejo inicial.

### 5.1 Primer almacenamiento con agua

En la fase de consolidación muchos atajados son inestables. Durante esta fase el almacenamiento con agua debe ser paulatino para que los terraplenes puedan asentarse lentamente, ayudados por la humedad del agua almacenada.

Además, mientras los terraplenes del atajado estén en proceso de asentamiento, se sugiere no llenar el atajado por más de la mitad de su capacidad.

Generalmente el volumen de agua almacenada es limitado, por lo cual hay que buscar formas de manejar el agua óptimamente.

Un instrumento para tener una idea del manejo del agua y para aprender a ser eficiente, es una regla pintada en el muro del canal de ingreso a modo de un limnómetro. Mediante este instrumento y una buena administración se va conociendo la relación entre la precipitación y el volumen de agua que ingresa al atajado; asimismo se puede averiguar la relación entre el volumen almacenado, el agua utilizada y las pérdidas por filtraciones y/o evaporación.

## 5.2 Manejo inicial del atajado

La construcción de atajados frecuentemente se realiza en la época de estiaje en terrenos heterogéneos y secos. Con la compactación con tractor y otros equipos no siempre se logra la densidad de compactación requerida. En este caso y cuando se presenten filtraciones, erosión o deslizamientos de los terraplenes, se sugiere seguir compactando durante la primera época de lluvias. Preferentemente después de una lluvia, cuando el suelo tiene la humedad adecuada para ser compactado. La compactación se hace con una compactadora (saltarín), un bloque de hormigón, o una pala.

Generalmente son las primeras lluvias las que provocan el transporte de mucho sedimento. Con estas lluvias el sedimentador puede colmatarse rápidamente. Para prevenir que el sedimento arrastrado del área de aporte entre al atajado, el sedimentador necesita estar limpio antes del inicio de cada lluvia.

Si los terraplenes del atajado son susceptibles a la erosión y existe material disponible adecuado para protegerlos, se sugiere protegerlos antes de que la erosión deteriore los terraplenes.

Para la protección se pueden utilizar muchos materiales. Algunos son: piedras para formar un piedraplén o hacer una terraza con muros de piedras; una cobertura con pastos o paja; o un cinturón de piedras.

En el primer año el asentamiento de los terraplenes puede ser significativo, sobre todo en lugares donde se realizó el mayor movimiento de tierra. Este asentamiento puede ser de consideración donde la corona llegue a nivelarse con la solera del aliviadero, no quedando un bordo libre de seguridad que pondría en peligro la estabilidad del terraplén. Por eso es importante emparejar y nivelar los terraplenes durante el proceso de asentamiento para mantener una altura segura de bordo libre.

Plantaciones forestales o frutales pueden ser muy funcionales en la protección del atajado. Además, pueden contribuir en la reducción de la evaporación, disminuyendo el efecto de los rayos solares y el viento. Si se decide hacer estas plantaciones, se sugiere colocar los árboles a una distancia no menor a 5 metros desde el pie del terraplén, para evitar que las raíces penetren al terraplén.

## 5.3 Protección del área de aporte

La función principal de un área de aporte de un atajado en una zona árida o semi-árida es captar de manera sostenible la máxima cantidad de agua; es decir, sin erosionar el área misma y sin causar sedimentación del atajado.

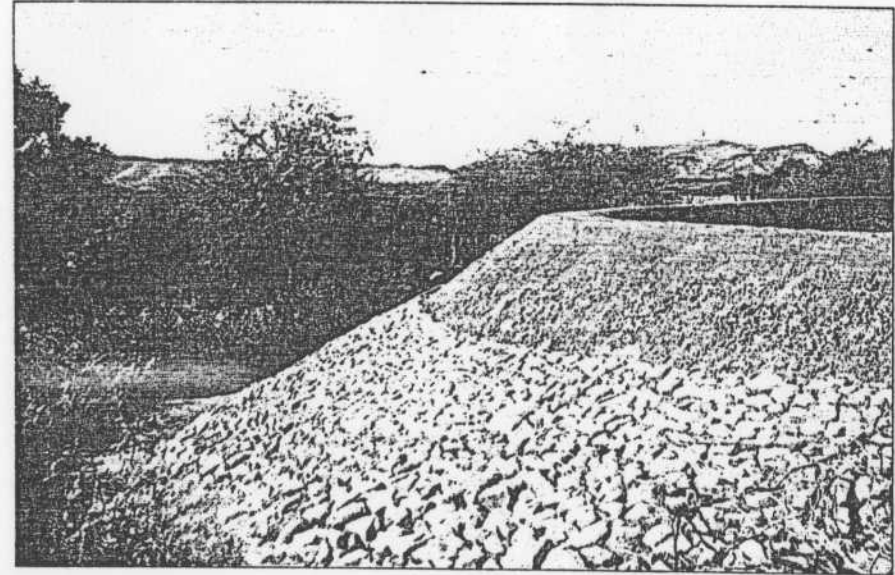


Foto 16. Talud exterior protegido por un piedraplén a la erosión hídrica y eólica

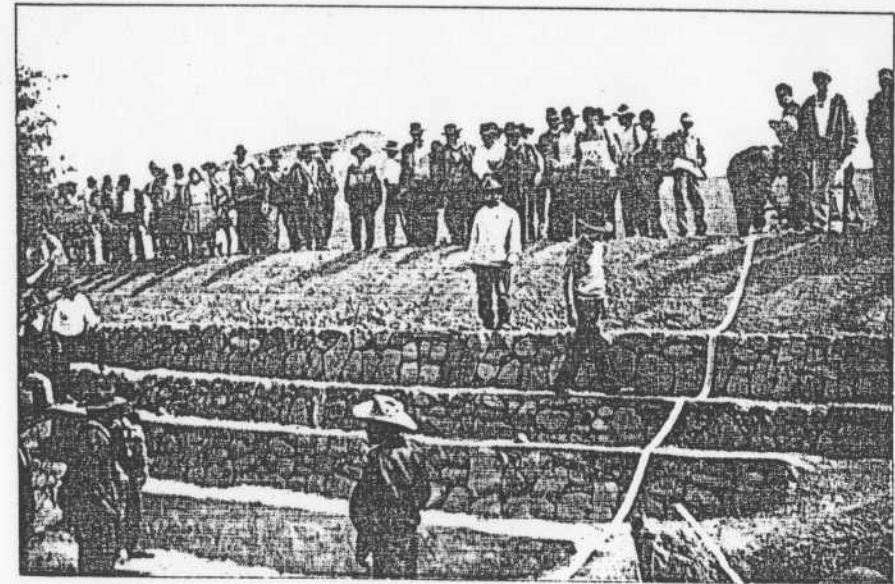


Foto 17. Talud exterior protegido a deslizamientos mediante terrazas de banco



Foto 18. Terraplén protegido con paja de trigo contra erosión hídrica y eólica

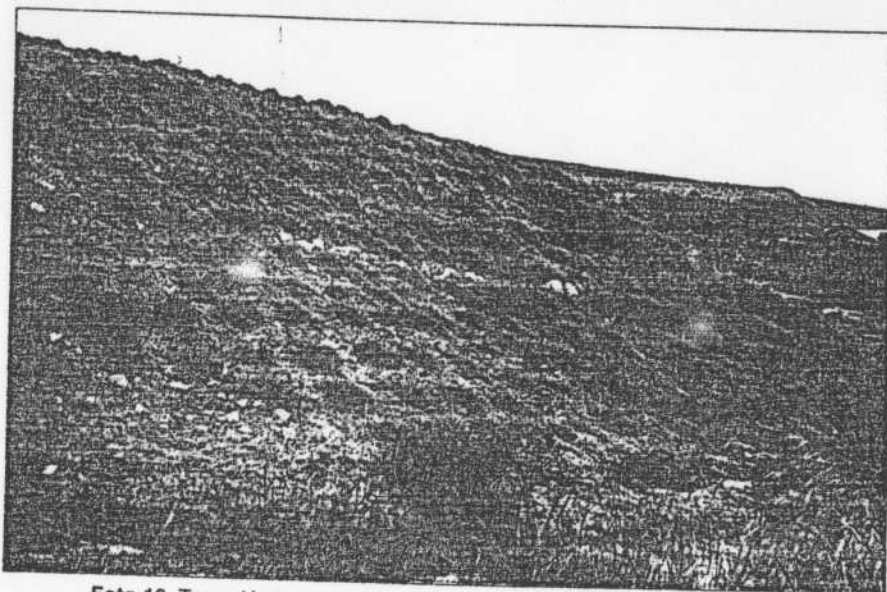


Foto 19. Terraplén protegido con pastos contra la erosión hídrica y eólica.

El agua llega al atajado mediante canales de conducción. Con las lluvias, durante el primer año, se puede observar si los canales captan toda el agua del área; asimismo, se puede constatar si la concentración del agua en los canales no causan erosión en los mismos. De ser necesario, se debe modificar el trazo de los canales para captar la cantidad requerida.

Zonas semi-áridas y áridas se caracterizan por lluvias intensas, esporádicas, que pueden arrastrar mucho sedimento. Si el área de aporte es susceptible a la erosión, es aconsejable implementar medidas que disminuyan la erosión. Existen muchas medidas y, dependiendo de las características del área, se eligen las apropiadas. Algunas medidas para las áreas de aporte son: la delimitación del área de aporte para prevenir el sobre pastoreo, la forestación o reforestación, la siembra de pastos y la construcción de muros de contención en las cárcavas.

Una de las características de las medidas para controlar la erosión consiste en disminuir la velocidad del flujo superficial del agua al mismo tiempo que se incrementa la infiltración en el suelo. La consecuencia puede ser que haya menor disponibilidad de agua para el atajado (disminuye el factor de escurrimiento). Si se planifica implementar medidas de control de erosión en el área de aporte, se tiene que reconsiderar el equilibrio entre el área de aporte y el volumen de agua que se quiere almacenar.

#### 5.4 Manejo del agua almacenada

Si se piensa utilizar el agua para regar parcelas, probablemente se trate de tierras anteriormente no regadas. Probablemente se podría cultivar de manera más intensiva, hasta dos cultivos por año. De ser así, es importante tomar en cuenta que el agua no es el único factor que determina la producción. En este contexto también la fertilidad y la estructura del suelo son factores importantes. A fin de no correr el riesgo de agotar la fertilidad del suelo y de deteriorar su estructura, se deben tomar precauciones, como la aplicación de abonos y fertilizantes en una cantidad adecuada para cada caso.

El volumen de agua almacenado en el atajado es reducido (500 hasta 3000 m<sup>3</sup>). En el riego superficial de los cultivos, generalmente se sufren bastantes pérdidas en su aplicación. De ser así habría que considerar formas de aplicación más eficientes. En lugares con suficiente desnivel, el riego por aspersión o goteo puede incrementar significativamente el ahorro del agua.

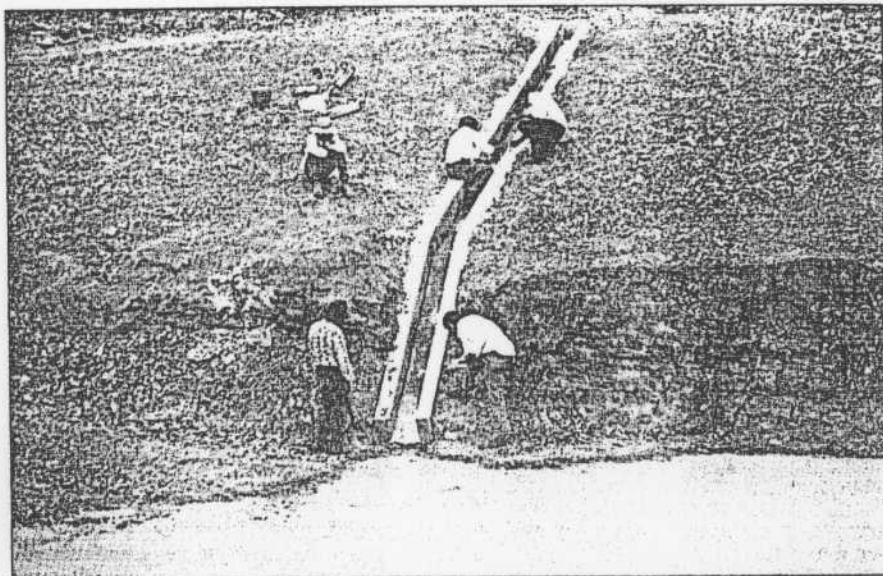


Foto 20. Limnómetro para medir el volumen de agua almacenada en el atajado.



Foto 21. Atajado complementado con sistema de riego por aspersión

## 6. Problemas y recomendaciones

En general los atajados necesitan un manejo específico durante la fase de consolidación y, mantenimiento continuo durante toda la vida útil para funcionar óptimamente. Sin embargo, frecuentemente ocurren problemas que van más allá del mantenimiento o manejo inicial de un atajado.

En este capítulo se señalan los problemas más frecuentes que, para poder ser solucionados, necesitan un tratamiento específico.

### Filtraciones

Pocos atajados son totalmente impermeables. Ligeras pérdidas por filtración son consideradas normales. Filtraciones aceleradas, por lo general, ocurren en el primer año de funcionamiento, cuando el atajado se llena por primera vez. En el transcurso del año estas filtraciones normalmente disminuyen.

Si las filtraciones persisten o se incrementan, se debe identificar y analizar la causa. Lo más común es que el agua filtra por la base o por los costados de la tubería. En ambos casos se debe vaciar el atajado para solucionar el problema, antes de que se formen túneles en la base o terraplén, que pueden causar daños mayores.

Si el agua filtra por los costados del tubo, la compactación del terraplén cerca del mismo es insuficiente. Si el contenido de arcilla es bajo se sugiere aumentar el contenido de arcilla alrededor de la tubería para lograr una mayor compactación.

En el caso de filtraciones por la base existen varias soluciones.

### Compactación

La solución más simple y menos costosa es la compactación con una compactadora, un tractor agrícola, una pala o un rebaño de ovejas. Esto

sólo tiene efecto si el material de la base o del terraplén contiene suficiente arcilla (>30%). Si esta solución no logra parar las filtraciones, se debería pensar en medidas más efectivas que garanticen la impermeabilidad.

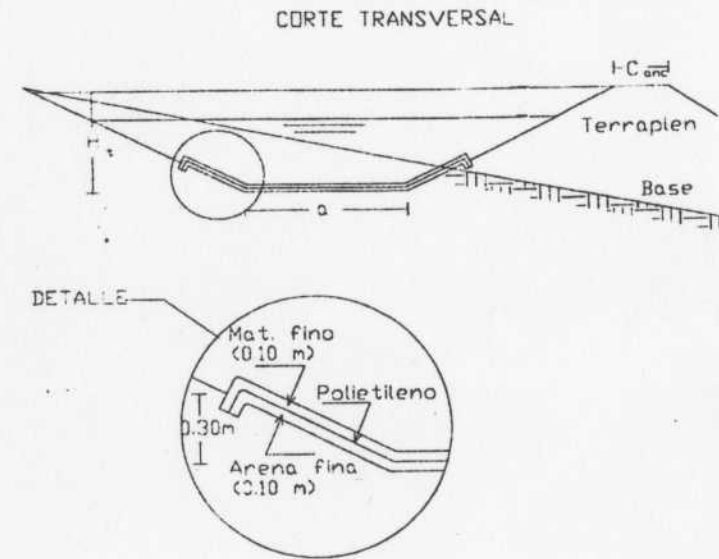
#### Capa de arcilla

En suelos con bajo contenido de arcilla (<30%) se puede solucionar el problema con una capa de arcilla. Ésta se debe colocar sobre la base y el talud interior del atajado. Además, tiene que ser formada de la misma manera que los terraplenes del atajado. Una capa de 10 cm encima de otra capa de arcilla con una buena humedad para ser compactada. El grosor de la capa para un atajado con un nivel de agua muerto y de diseño total de 2,50 m debería ser mínimamente de 0.3 m.

#### Polietileno

En suelos con bajo contenido de arcilla también se puede solucionar el problema con polietileno de 0.5 mm sobre la totalidad de la base del atajado. Para asegurar un buen funcionamiento, se nivela la base y luego se coloca una capa de 0.1 m de arena fina como cama para el polietileno. El polietileno se debe colocar sólo sobre la base del atajado y no sobre los terraplenes ya que el polietileno expuesto al sol se degradaría. Para proteger la base contra el sol se cubre el polietileno con una capa de 0.10 a 0.20 m de arena fina. El anclaje del polietileno con las bases de los terraplenes se hace mediante un pequeño canal, en donde se coloca el polietileno y luego se lo tapa con la tierra excavada.

**Figura 14**  
**Polietileno en la base como medida de impermeabilización**



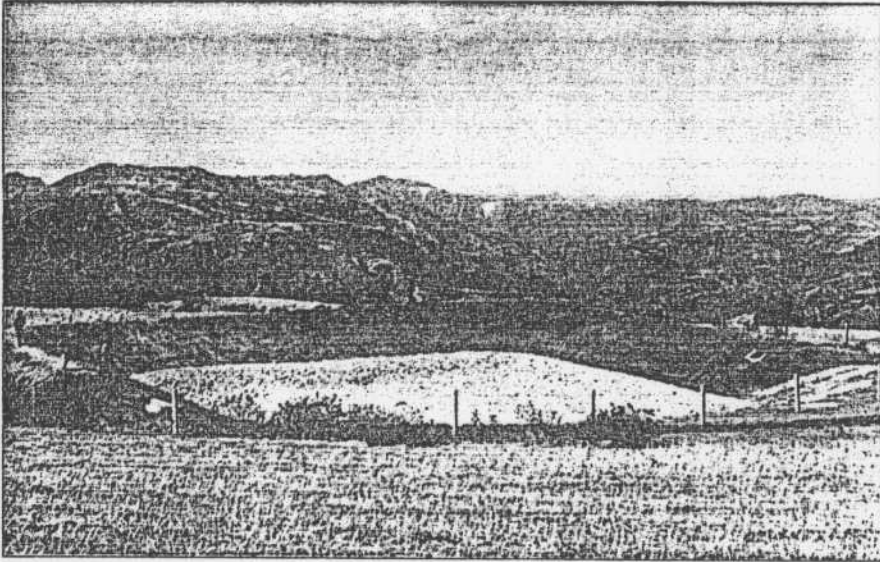


Foto 22. Atajado impermeabilizado mediante una capa de arcilla sobre la base.

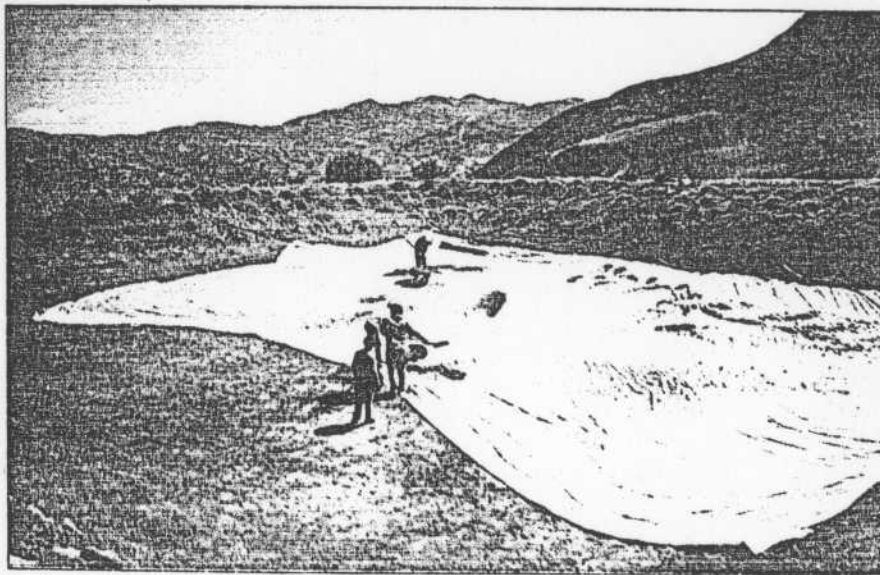


Foto 23. Impermeabilización de la base de un atajado con polietileno

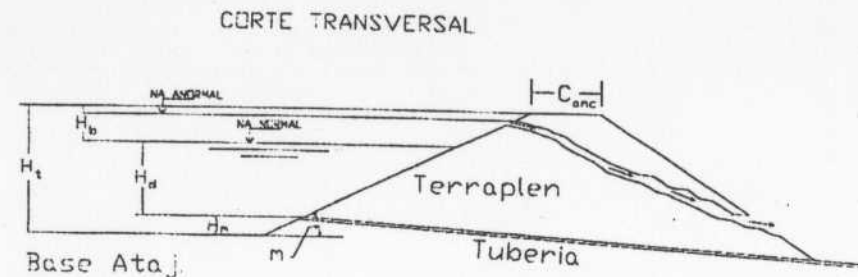
### Geomembrana

Si existen filtraciones en los terraplenes, las geomembranas pueden ser una alternativa para impermeabilizar todo el atajado. El costo de esta técnica es más elevado que el de las otras recomendaciones. En caso de utilizar algún tipo de geomembrana se debe cumplir las instrucciones de la fábrica o del distribuidor.

### Tubificación

Los terraplenes diseñados en el título 3.2 tienen capacidad para resistir una presión determinada del agua en el atajado. Si la presión sobrepasa la resistencia del terraplén, existe el peligro de tubificación y el colapso posterior del atajado. Esto ocurre cuando la altura del diseño del atajado es mayor a 2.0 m y/o cuando la altura del diseño es demasiado elevada en relación con el bordo libre.

Figura 15  
Tubificación por el terraplén



Para salvar este peligro de tubificación, causado por exceder la altura de diseño, se tiene que bajar la solera del aliviadero. Si el nivel de la altura del diseño se encuentra dentro del rango de 2 m y la altura del bordo libre es baja debido al asentamiento del terraplén, se debe incrementar el bordo libre hasta la mitad de la altura del diseño como mínimo.





Foto 24. Atajado sedimentado por no contar con un sedimentador.

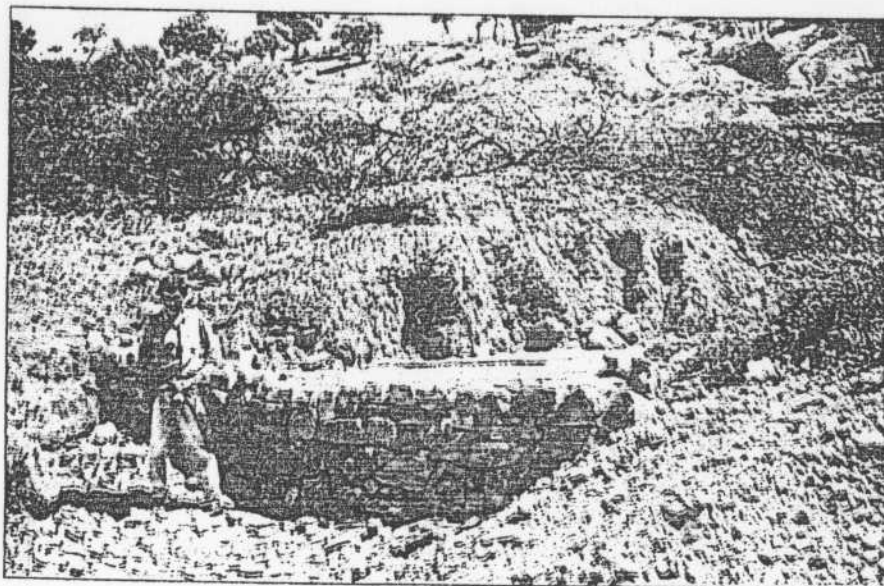


Foto 25. Colmatador en una cárcava

### *Colapso*

Si el agua rebasa la corona del atajado existe el peligro de colapso. Esto se previene asegurando que la altura del bordo libre sea la indicada.

Con atajados recién construidos la altura de llenado en el primer año no debe superar la mitad de su potencial de diseño. De esta manera se evita el peligro de colapso de los terraplenes que aún no tienen la resistencia requerida.

### *Sedimentación*

Excesiva sedimentación puede reducir la vida útil de un atajado. Esta sedimentación es el resultado de la erosión del área de aporte. En este caso sería necesario un mayor control de la erosión en el área de aporte; por ejemplo, mediante la forestación con arbustos, la siembra de pastos, la construcción de muros de contención, colmatadores en las cárcavas. Paralelamente a estas medidas se puede evitar el ingreso de sedimentos al atajado mediante la implementación de un segundo sedimentador. Si la sedimentación es causada por el ingreso directo del agua al atajado, sin pasar por el sedimentador, es necesaria la implementación de un canal de coronamiento.

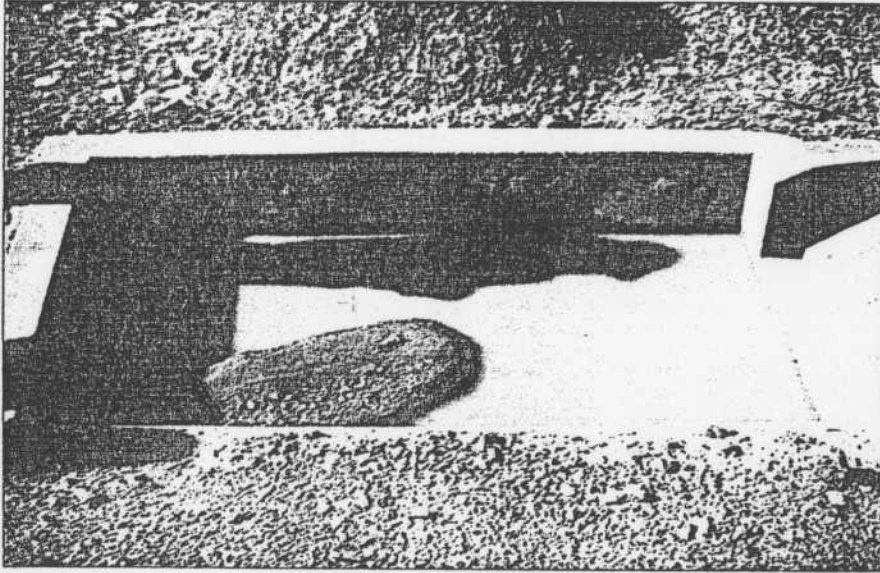


Foto 26. Sedimentador lleno de sedimento



Foto 27. Canal de coronamiento

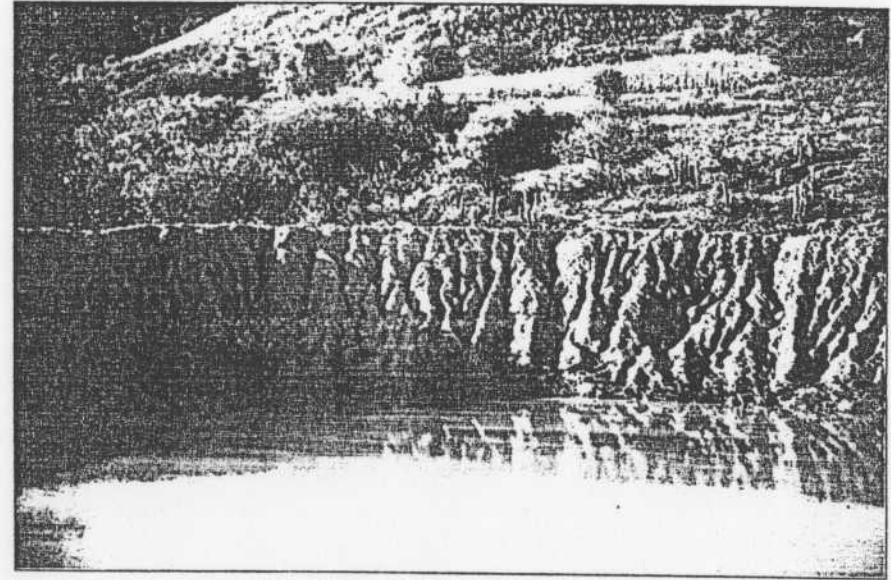


Foto 28. Erosión hídrica del talud interior

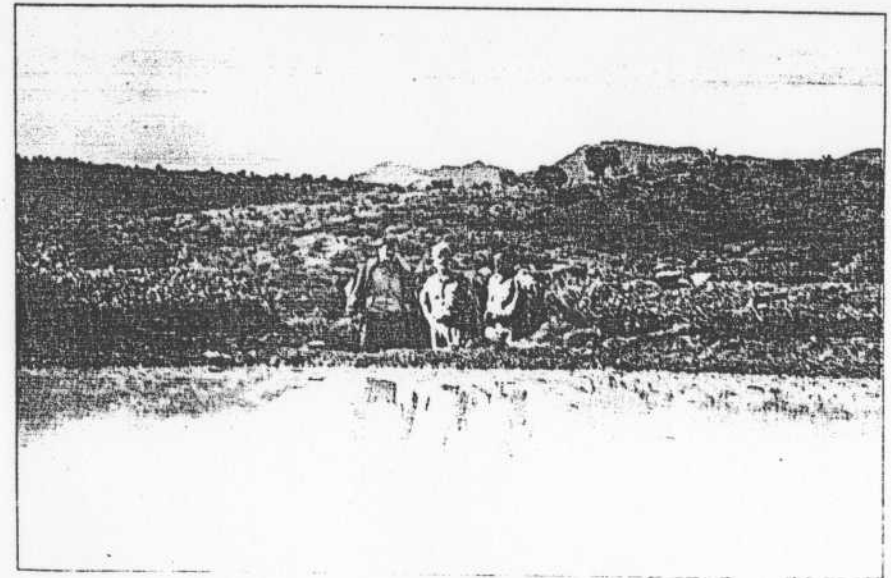


Foto 29. Atajado colapsado por sobre carga hidráulica

## 7. Proyecto de un caso

---

El proyecto de un caso presentado en este capítulo trata del diseño y la construcción de un atajado unifamiliar en el municipio de Titora que es una zona representativa de los Valles Inter Andinos de Bolivia, caracterizada por escasa precipitación pluvial y creciente deterioro de cobertura vegetal.

El método y los pasos del diseño son los mismos que los presentados en el capítulo 3.

Para el diseño geométrico del atajado y el movimiento de tierra se sugiere utilizar el programa de "Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra" (adjuntado al libro) para no complicar los cálculos.

Para los interesados en los pasos matemáticos del diseño geométrico y los cálculos de movimiento de tierra se ha incorporado un ejemplo de estos cálculos en el Anexo 5.

El diseño no pretende presentar el proceso completo de un proyecto de atajados, si no que enfoca específicamente la parte técnica como instrumento de apoyo para el diseño y construcción de un atajado.

## 7.1 Capacidad del atajado

Datos básicos generales	
Ubicación	: Totora
Area de aporte	: 6.00 ha.
Escurrentía superficial (C)	: 0.42 (cuadro 3)
Factor de ocurrencia de lluvias	: 80 %
Factor de precipitación efectiva (no se considera < 10 mm efectiva)	: 80 %
Datos de oferta de agua	
Caudal vertiente constante	: 0.033 l/s
Caudal ríos y otros	: 0.00 l/s
Datos de demanda de agua	
Riego 2 cultivos	
Papa (h)	: Parcela de cultivo en estado húmedo (anexo 2)
Periodo de cultivo (papa)	: Jul, Ago, Sep, Oct, Nov
Area de cultivo	: 0.20 ha
Eficiencia total	: 0.50 adimensional
$K_c$	: Véase anexo 2
$ET_c$	: Véase balance hídrico cuadro 16
Maíz (h)	: Parcela de cultivo en estado húmedo (anexo 2)
Periodo de cultivo (maíz)	: Dic, Ene, Feb, Mar, Abr
Area de cultivo	: 0.40 ha
Eficiencia total	: 0.50 adimensional
$K_c$	: Véase anexo 2
$ET_c$	: Véase balance hídrico cuadro 16
Pecuario	
Ganado mayor	: 2 vacas, 30 l/día (véase cuadro 5)
Ganado menor	: 15 ovejas, 3 l/día (véase cuadro 5)
Doméstico	
Adultos	: 2 personas 50 l/día (véase cuadro 6)
Niños	: 5 niños 40 l/día (véase cuadro 6)
Pérdidas generales	
Suelo arcillo-limo arenoso h	: $2.084 \cdot 10^{-8}$ m/s (véase cuadro 7)
Area de la base del atajado	: 289.40 m <sup>2</sup> (asumido)
Area espejo de agua	: 442.51 m <sup>2</sup> (asumido)
Datos generales auxiliares	
Esponjamiento del suelo	: 1.15 adimensional (véase cuadro 9)
Pendiente terreno natural	: 10 %
Rendimiento tractor (D6)	: 70 m <sup>3</sup> /h
Costo tractor (D6)	: 60Sus/hora

## Aporte de agua al atajado

El aporte del agua al atajado se determina sumando el aporte de escurrentía, vertiente, ríos y otros como se indica a continuación.

Los cálculos de los volúmenes de aporte son para el mes de enero. Para el volumen anual se suman los volúmenes de los meses correspondientes. Véase Cuadro 16.

## Aporte de la escurrentía:

$$V_{esc} = C * (0.8 * P) * A = 0.42 * (0.8 * 0.143) * 60000 = 2882.9 \text{ m}^3$$

## Aporte de la vertiente:

$$V_{ver} = \frac{Q_{ver} * t}{1000} = \frac{0.033 * 2678400}{1000} = 88.4 \text{ m}^3$$

$$t = 31 * 24 * 3600 = 2678400 \text{ s}$$

## Aporte de ríos, acequias, quebradas, cunetas

En este ejemplo no existe aporte.

## Aporte total de agua al atajado:

$$V_{apo} = V_{esc} + V_{ver} + V_{can} = 2882.9 + 88.4 + 0 = 2971.3 \text{ m}^3$$

El total de aportes anuales al atajado es de 12814.0 m<sup>3</sup>. Véase el balance hídrico, Cuadro 16.

Conociendo este volumen del aporte mensuales se pasa a analizar el volumen de requerimiento del agua total.

**Cuadro 16**  
**Balance hídrico**

Ubicación	Totora											
Área de aporte (ha)	6 00											
Coefficiente de escorrentía	0.42											
Ocurrencia de lluvias	0.80											
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación/ocur (mm)	114.4	106.4	67.2	20.8	3.2	3.2	2.4	4.8	4.8	19.2	51.2	88.0
Precipitación efec. (mm)	91.5	85.1	53.8	16.6						15.4	41.0	70.4
ET <sub>o</sub> (mm/d)	3.9	3.8	3.6	3.3	3.0	2.8	2.9	3.2	3.7	4.0	4.3	4.1
ET <sub>o</sub> (mm/mes)	120.9	106.4	111.6	99.0	93.0	84.0	89.9	99.2	111.0	124.0	129.0	127.1
OFERTA DE AGUA												
Volumen área aporte (m <sup>3</sup> )	2882.9	2681.3	1693.4	524.2						483.8	1290.2	2217.6
Caudal vertiente (l/s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Caudal ríos y otros (l/s)												
Volumen oferta total (m <sup>3</sup> )	2971.3	2761.1	1781.8	609.7	88.4	88.5	88.4	88.4	85.5	572.2	1375.7	2306.0
DEMANDA RIEGO												
Cultivo papa (h)												
K <sub>c</sub>							0.40	0.70	1.05	0.85	0.70	
ET <sub>c</sub> (mm)							35.96	69.44	116.6	105.4	90.30	
Área de cultivo (ha)							0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
Eficiencia de aplicación							0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
Vol. requerido (m <sup>3</sup> )							71.9	138.9	233.1	210.8	180.6	
Vol. req. efect.							143.8	277.8	466.2	421.6	361.2	
Vol. cubierto/lluvias (m <sup>3</sup> )							0.0	0.0	0.0	30.8	82.0	
Vol. faltante req. (m <sup>3</sup> )							143.8	277.8	466.2	390.8	279.2	
Cultivo maíz (h)												
K <sub>c</sub>	0.70	1.05	1.00	0.95								0.30
ET <sub>c</sub> (mm)	84.63	111.72	111.60	94.05								38.13
Área de cultivo (ha)	0.40	0.40	0.40	0.40								0.40
Eficiencia de aplicación	0.50	0.50	0.50	0.50								0.50
Vol. requerido (m <sup>3</sup> )	338.5	446.9	446.4	376.2								152.5
Vol. req. efect.	677.0	893.8	892.8	752.4								305.0
Vol. cubierto/lluvias (m <sup>3</sup> )	366.0	340.4	215.2	66.4								281.6
Vol. faltante req. (m <sup>3</sup> )	311.0	553.4	677.6	686.0								23.4
DEMANDA PECUARIA												
Ganado mayor (m <sup>3</sup> )	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
Ganado menor (m <sup>3</sup> )	1.40	1.26	1.40	1.35	1.40	1.35	1.40	1.40	1.35	1.40	1.35	1.40
Avecola (m <sup>3</sup> )												
Otros (m <sup>3</sup> )												
Vol. tot. pecuario (m <sup>3</sup> )	3.3	2.9	3.3	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.2	3.3	3.2	3.3
DEMANDA DOMÉSTICA												
Adultos (m <sup>3</sup> )	3.10	2.80	3.10	3.00	3.10	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.10
Niños (m <sup>3</sup> )	6.20	5.60	6.20	6.00	6.20	6.00	6.20	6.20	6.00	6.20	6.00	6.20
Vol. tot. domestico (m <sup>3</sup> )	9.3	8.4	9.3	9.0	9.3	9.0	9.3	9.3	9.0	9.3	9.0	9.3
PERDIDAS LOCALES												
Por filtración (m <sup>3</sup> )	16.2	14.6	16.2	15.6	16.2	15.6	16.2	16.2	15.6	16.2	15.6	16.2
Por evaporación (m <sup>3</sup> )	53.5	47.1	49.4	43.8	41.2	37.2	39.8	43.9	49.1	54.9	57.1	56.2
Otro (m <sup>3</sup> )												
Vol. tot. pérdidas (m <sup>3</sup> )	69.7	61.7	65.6	59.4	57.4	52.8	56.0	60.1	64.7	71.1	72.7	72.4
CAPACIDAD ATAJADO												
Vol. demanda total (m <sup>3</sup> )	393.3	626.4	755.8	757.6	70.0	65.0	212.4	350.5	543.1	474.5	364.1	108.4
Vol. oferta total (m <sup>3</sup> )	2971.3	2761.1	1781.8	609.7	88.4	88.5	88.4	88.4	85.5	572.2	1375.7	2306.0
Vol. deficitario (m <sup>3</sup> )	ND	ND	ND	147.9	ND	ND	124.0	262.1	457.6	ND	ND	ND
Capacidad atajado (m <sup>3</sup> )												992.0

ND: No deficit

### Requerimiento de agua para el atajado

El requerimiento de agua se determina sumando el requerimiento de agua para riego, ganado, uso domestico y las pérdidas por filtraciones y evaporación.

El cálculo del volumen de requerimiento está referido al mes de julio. Para el volumen anual se suma el volumen de los meses correspondientes. Véase Cuadro 16.

### Requerimiento de agua para riego:

El requerimiento de agua para riego es de 0.20ha de papa en el mes de julio y se calcula mediante el siguiente procedimiento.

Paso 1 Determinar datos de evapotransración de referencia (véase anexo 1) (julio)

$$ET_o(\text{mes}) = ET_o(\text{día}) * \text{días} = 2.9 * 31 = 89.9 \text{ mm}$$

Paso 2 Calcular la evapotranspiración (julio)

$$ET_c = k_c * ET_o = 0.40 * 89.9 = 36.0 \text{ mm}$$

Paso 3 Calcular el requerimiento de agua de los cultivos (julio)

$$V_{req} = ET_c * \text{Area} = \frac{36}{1000} * 0.20 * 10000 = 72.0 \text{ m}^3$$

Paso 4 Calcular el requerimiento de agua incluyendo las pérdidas totales (julio)

$$V_{req(\text{efectivo})} = V_{req} * \frac{1}{eff_{apl}} = 72.0 * \frac{1}{0.5} = 144.0 \text{ m}^3$$

Paso 5 Calcular la precipitación efectiva para la superficie de los cultivos (julio)

Precipitación promedio = 3 mm (<10 mm). Por lo tanto la precipitación efectiva se asumirá cero.

Paso 6 Calcular el requerimiento de riego (julio).

$$V_{\text{fal tante requerido}} = V_{\text{requerido efectivo}} - V_{\text{cubierto por las lluvias}}$$

Requerimiento pecuario (julio):

$$V_{\text{pec}} = \sum \frac{N * C_{\text{pec}} * t}{1000} = \left( \frac{2 * 30 * 31}{1000} \right)_{\text{vacas}} + \left( \frac{15 * 3 * 31}{1000} \right)_{\text{ovejas}} = 3.3 \text{ m}^3$$

Requerimiento doméstico (julio):

$$V_{\text{dom}} = \sum \frac{U * C_{\text{dom}} * t}{1000} = \left( \frac{2 * 50 * 31}{1000} \right)_{\text{adultos}} + \left( \frac{5 * 40 * 31}{1000} \right)_{\text{niños}} = 9.3 \text{ m}^3$$

Pérdidas por evaporación (julio):

$$V_{\text{eva}} = \frac{e}{1000} * A_{\text{esp}} = \frac{89.9}{1000} * (15 + 4) * (19.29 + 4) = 39.8 \text{ m}^3$$

$$e = 2.9 * 31 = 89.9 \text{ mm}$$

Pérdidas por filtración (julio):

$$V_{\text{fil}} = k * A_{\text{bas}} * t = (2.084 * 10^{-8}) * 289.35 * (2.678 * 10^6) = 16.1 \text{ m}^3$$

$$t = 31 * 24 * 3600 = 2678400 \text{ s}$$

Requerimiento total (julio):

$$V_{\text{req}} = V_{r-r} + V_{\text{pec}} + V_{\text{dom}} + V_{\text{eva}} + V_{\text{fil}} \\ = 144.0 + 3.3 + 9.3 + 39.8 + 16.1 = 212.5 \text{ m}^3$$

Capacidad del atajado:

En el cuadro de balance hídrico para el atajado se observa al final que la sumatoria de volúmenes deficitarios de los distintos meses del año, será la capacidad útil mínima requerida para el atajado que para este caso es de 992 m<sup>3</sup> que se puede redondear a 1000 m<sup>3</sup> para el diseño.

Con el régimen de lluvias solamente de los meses febrero y marzo (Cuadro 16) en la zona de construcción, el atajado se llegará a almacenar su

capacidad máxima hasta el mes de marzo; esto es posible debido a que no existe déficit en los primeros meses del año.

$$V_{\text{apo}} - V_{\text{req}} = V_{\text{res}}$$

$$\begin{aligned} \text{Marzo: } & 1781.8 - 755.8 = 1026.00 \text{ m}^3 \\ \text{Febrero: } & 2761.1 - 626.4 = 2134.70 \text{ m}^3 \\ \text{Total: } & = 3160.70 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$3160.7 \text{ m}^3 \gg 1000 \text{ m}^3 \quad (\text{No déficit})$$

Conociendo el volumen requerido del atajado se pueden determinar las dimensiones geométricas y los cálculos de volúmenes de tierra.

## 7.2 Diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra

Para el diseño geométrico y el cálculo de movimiento de tierra para atajados se recomienda utilizar el programa "Diseño Geométrico y Cálculo de Movimiento de Tierra". Para los interesados que desean seguir al detalle el análisis de este título, se incluyen en el anexo 5 las formulas desarrolladas para su cálculo.

Después de insertar los datos básicos como presentados en el Cuadro 17, el programa calcula las dimensiones geométricas del atajado y del movimiento de tierra óptimo de excavación, para la conformación de los terraplenes.

**Cuadro 17**  
Datos básicos del programa de diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra

DATOS BÁSICOS	
Volumen de diseño (V <sub>d</sub> )	1000.00 m <sup>3</sup>
Altura de diseño (H <sub>d</sub> )	2.00 m
Altura muerta (H <sub>m</sub> )	0.30 m
Altura total (H <sub>t</sub> )	3.30 m
Talud interior (m=1/H)	2.00
Talud exterior (n=1/H)	1.50
Pendiente terreno (P)	10.00 %
Esponjamiento (φ)	1.15
Angulo de esquina (β)	20.00
Coronamiento (C)	1.00 m
Ancho de base (a)	15.00 m
Espesor del desbrozo (z)	0.05 m
Rendimiento tractor hora	70.00 m <sup>3</sup> /hr
Costo tractor hora	60.00 \$/hr

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cálculo se presentan en los Cuadros 18, 19 y la Figura 16.

**Cuadro 18**  
**Datos calculados con el programa de diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra**

DATOS CALCULADOS	
Largo de base (b)	19.29 m
Volumen muerto ( $V_m$ )	93.14 m <sup>3</sup>
Volumen corte ( $V_c$ )	780.64 m <sup>3</sup>
Volumen corte/esp ( $V_{ce}$ )	897.73 m <sup>3</sup>
Volumen terraplén ( $V_t$ )	902.56 m <sup>3</sup>
Incremento exc. ( $\Delta b$ )	0.93 m
Total exc-desbroce ( $\Delta'b$ )	0.98 m
Diagonal del terreno ( $a^*$ )	15.07 m
Diagonal del terreno ( $A^*$ )	6.11 m
Diagonal tot. terreno ( $a^*+A^*$ )	21.18 m
Volumen desbroce ( $V_b$ )	68.30 m <sup>3</sup>
Volumen corte/desbroce ( $V_{cb}$ )	848.94 m <sup>3</sup>
Area de base (a.b)	289.40 m <sup>2</sup>
Longitud terraplen lateral (L)	25.25 m
Altura/rell. talud corte ( $h_s$ )	0.00 m
Base del área aux. ( $X_s$ )	0.00 m <sup>2</sup>
Vol. aux. talud corte ( $Y_s$ )	0.00 m <sup>3</sup>
Horas tractor	12.16 hr
Costo excavación y desbroce	727.66 \$us

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 19**  
**Coordenadas de corte y terraplén**

COORDENADAS CORTE			COORDENADAS TERRAPLÉN		
Punto	x	y	Punto	x	y
A	-6.08	2.11	E	1.55	-0.16
B	16.55	-0.16	F	6.60	2.37
C	15.00	-0.93	G	7.60	2.37
D	0	-0.93	H	13.12	-1.31
			I	11.39	-0.16

Fuente: elaboración propia

**Figura 16a**  
**Diseño geométrico**

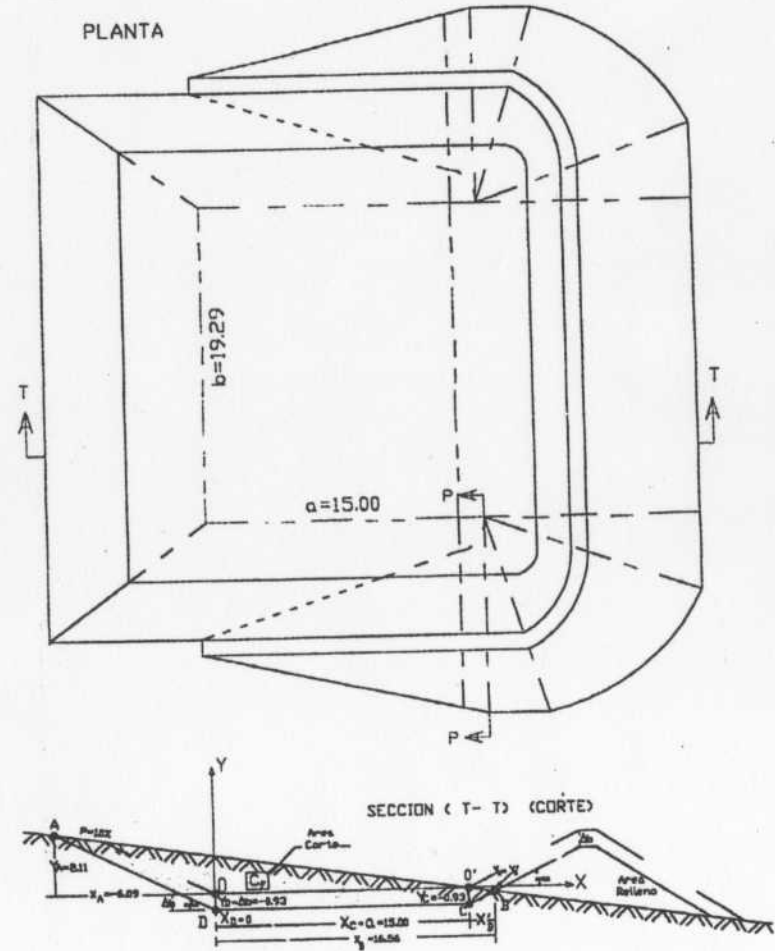


Figura 16b  
Diseño geométrico

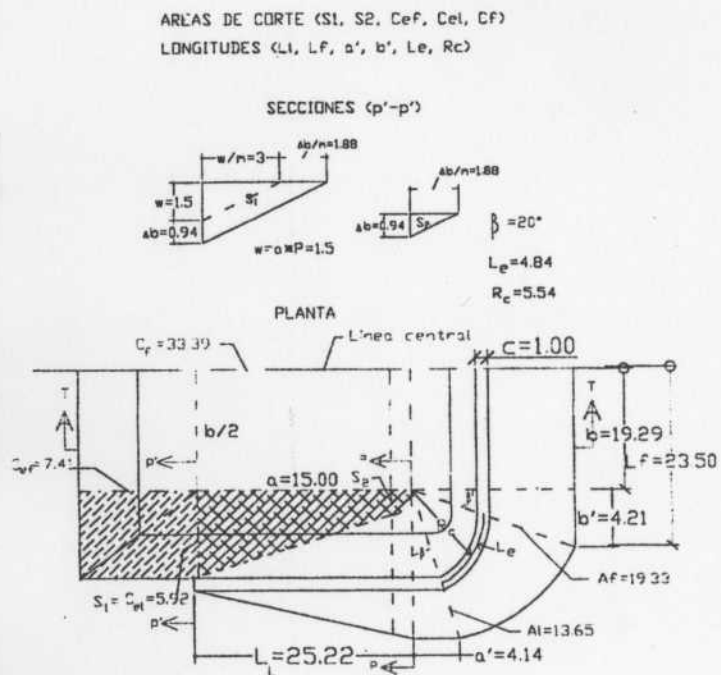
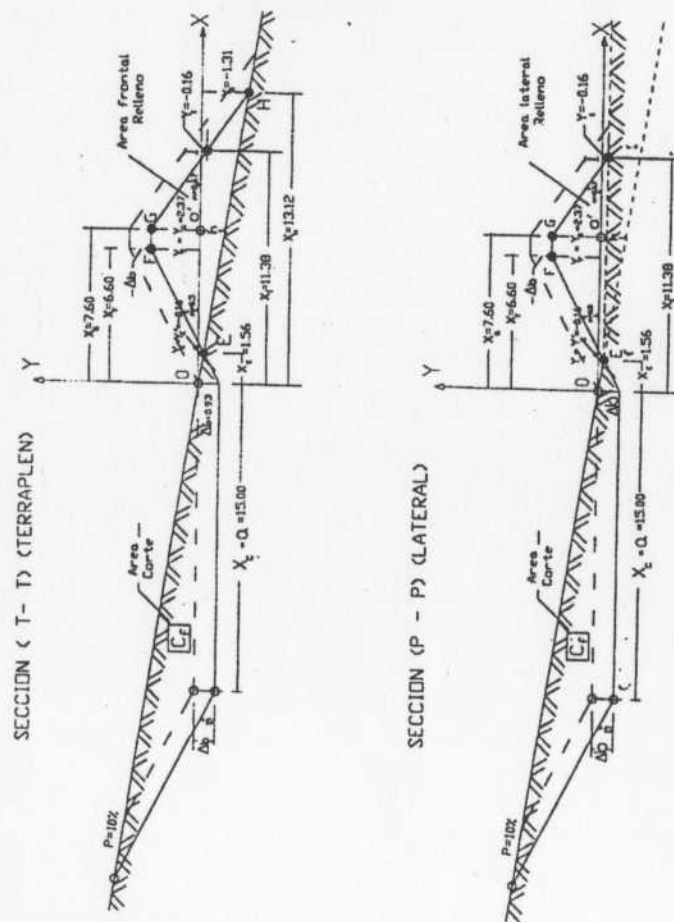


Figura 17  
Corte transversal terrapién atajado



### 7.3 Obras Complementarias

#### Caudal de diseño

El caudal de diseño del canal de captación o aducción, el sedimentador, el canal de ingreso y el aliviadero de un atajado se determinan en función de la superficie y las características del área de aporte, de la precipitación pluvial y sobre todo de la intensidad de las lluvias.



Muchos lugares no disponen de un registro de intensidades de lluvias, lo cual dificulta la determinación de un caudal de diseño.

Para obtener el caudal de diseño para el proyecto de caso se analiza el volumen de oferta mensual de los meses no deficitarios del periodo de lluvias (enero a marzo) donde el volumen del mes de marzo sería el crítico (ya que solo se disponen de 1000 m<sup>3</sup> como capacidad del atajado)

$$V_{\text{oferta}} = 1781.8 \text{ m}^3 \text{ (marzo)}$$

Se asume que la duración mínima de 16 horas y 45 minutos corresponden a las lluvias acumulados del mes de marzo.

#### Datos básicos

Volumen de oferta (escurrentía + vertiente)	1781.8 (m <sup>3</sup> )
Duración de precipitación acumulada mes/acum (s)	16hr./45min (60300 s.)

$$Q = \frac{1781.8 * 1000}{60300} = 29.55 \text{ l/s}$$

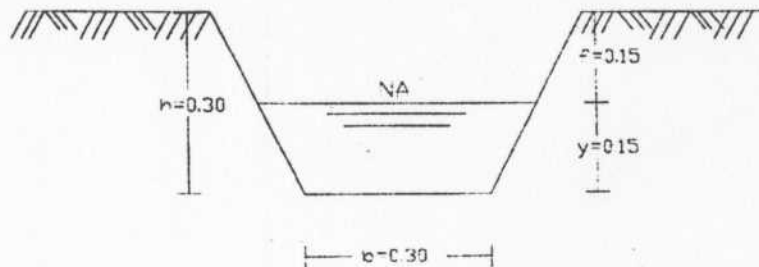
$$Q = 30 \text{ (l/s) (valor adoptado)}$$

Este será el caudal de diseño del canal de captación o aducción, del sedimentador, del canal de ingreso y también en forma relacionada del aliviadero.

#### Canal de captación o aducción

Figura 18  
Canal de captación o aducción

CORTE TRANSVERSAL



#### Datos básicos

Canal en tierra	
Q	= 30 (l/s) = 0.03 (m <sup>3</sup> /s)
k <sub>m</sub>	= 36 Canal de tierra. Véase cuadro 10.
s	= 0.5 % = 0.005 m/m

#### Cálculo

Paso 1 Seleccionar valores de (z) y (w)

$$z = \frac{H}{V} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$w = \frac{b}{y} = 2$$

Valor asumido

Paso 2 Con los valores de (z) y (w) se determina el valor del factor (F).

$$F = 1.759. \text{ Véase Cuadro 13.}$$

Paso 3 Calcular el tirante de agua en el canal

$$y = \left[ \frac{Q}{k_m * F * \sqrt{s}} \right]^{3/8} = \left[ \frac{0.03}{36 * 1.759 * \sqrt{0.005}} \right]^{3/8} = 0.15 \text{ m}$$

Paso 4 Calcular la velocidad del agua en el canal

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(w+z)y^2} = \frac{0.03}{(2+0.5)0.15^2} = 0.53 \text{ m/s}$$

Paso 5 Determinar el ancho de la solera del canal y altura total

$$b = w * y = 2 * 0.15 = 0.30 \text{ m}$$

$$b = 0.30 \text{ m (Valor adoptado)}$$

La altura total será:

$$h = 1.7y$$

$$h = 1.7 * 0.15 = 0.26 \text{ m}$$

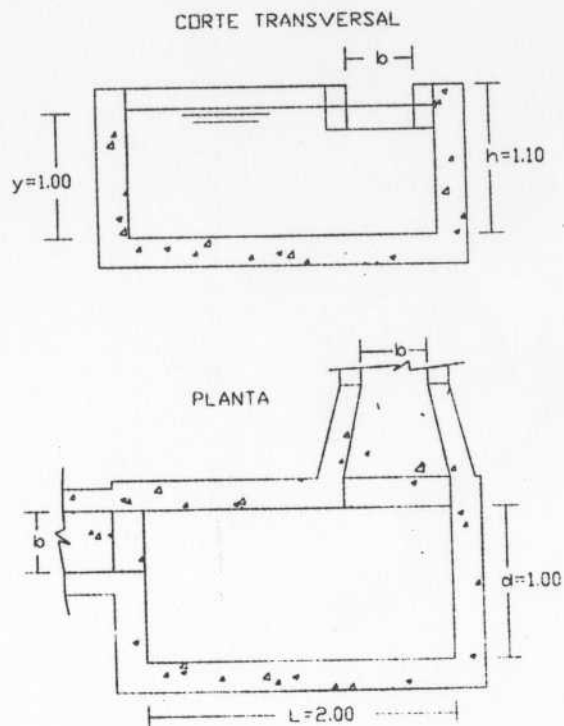
$$h = 0.30 \text{ m (Valor adoptado altura total)}$$

## Sedimentador

### Datos básicos

Tirante asumido en el sedimentador	$y = 1.0 \text{ m}$
Velocidad asumida en el sedimentador	$v = 0.028 \text{ m/s}$
Partícula de 0.2 mm de diámetro	$w = 0.0211 \text{ m/s}$ . Véase Cuadro 14.

**Figura 19**  
**Sedimentador**



### Cálculo

La longitud del sedimentador es:

$$L = \frac{(k * y * v)}{w} = \frac{(1.5 * 1.0 * 0.028)}{0.0211} = 1.99 \text{ m}$$

$$L = 2.00 \text{ m (Valor adoptado)}$$

El ancho y la profundidad del sedimentador son:

$$A = d * y$$

$$\frac{Q}{v} = d * y$$

$$d = \frac{Q}{v * y} = \frac{0.03}{0.028 * 1} = 1.07 \text{ m}$$

$$d = 1.0 \text{ m Adoptado para el ancho del sedimentador}$$

$$h = 1.1 * y = 1.1 * 1.0 = 1.10 \text{ m}$$

$$h = 1.10 \text{ m Altura o profundidad del sedimentador}$$

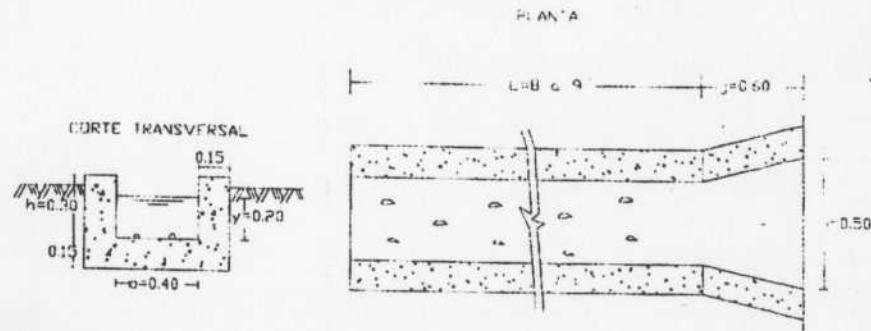
### Canal de ingreso

Se adiciona un pequeño tramo de canal del sedimentador al canal de ingreso que tiene las características de una rápida (flujo supercrítico). Por tener dimensiones muy pequeñas para ser tratado como rápida, las dimensiones de este canal son las mismas que las del canal que ingresa al sedimentador.

### Datos básicos

$k_m$	= 56 (revestido). Véase Cuadro 9
$Q$	= $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$
$s$	= $0.1 \% = 0.001 \text{ m/m}$

Figura 20  
Canal de ingreso



### Cálculo

Paso 1 Seleccionar valores de (z) y (w) (rectangular)

$$z = \frac{H}{V} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$w = \frac{b}{y} = 2$$

(Valor asumido)

Paso 2 Con los valores de (z) y (w) se determina el valor del factor (F).

F = 1.26. Véase Cuadro 13.

Paso 3 Calcular la profundidad del agua en el canal (tirante)

$$y = \left( \frac{Q}{k_m * F * \sqrt{s}} \right)^{3/8} = \left( \frac{0.03}{56 * 1.26 * \sqrt{0.001}} \right)^{3/8} = 0.20 \text{ m}$$

Paso 4 Calcular la velocidad del agua en el canal

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(w+z)y^2} = \frac{0.03}{(2+0)0.2^2} = 0.38 \text{ m/s}$$

Paso 5 Determinar el ancho de la solera del canal y altura total

$$b = w * y = 2 * 0.20 = 0.40 \text{ m}$$

$$b = 0.40 \text{ m (Valor adoptado)}$$

$$h = 1.5y$$

$$h = 1.5 * 0.20 = 0.30 \text{ m}$$

$$h = 0.30 \text{ m (altura total)}$$

La longitud del canal de ingreso está comprendida entre 7.0 a 9.0 m, según la ubicación del sedimentador.

Entre el sedimentador y el canal de ingreso al atajado se incorpora un canal de transición. Las dimensiones de este canal son:

$$j = 1.5 * b = 1.5 * 0.4 = 0.60 \text{ m}$$

$$j = 0.60 \text{ m (Largo del canal de transición)}$$

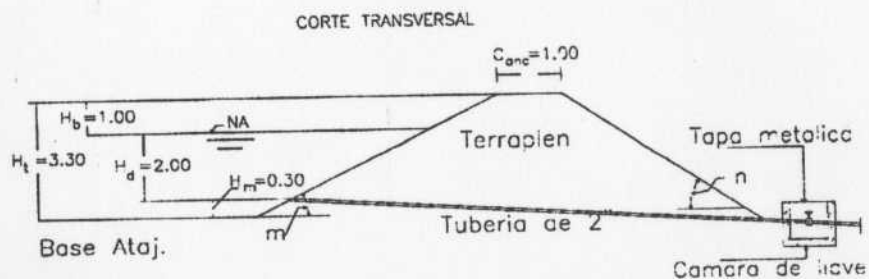
$$i = 1.30 * b = 1.3 * 0.4 = 0.52 \text{ m}$$

$$i = 0.50 \text{ m (Ancho de la salida del sedimentador)}$$

### Sistema de desfogue

Para el sistema de desfogue se elige una tubería de PVC de 2" pulgadas, con una longitud de 16 m, para un caudal de diseño de 10 l/s y una altura de descarga máxima de 2.00m donde se contempla además una llave de paso y un codo cerrado Véase Cuadro 15.

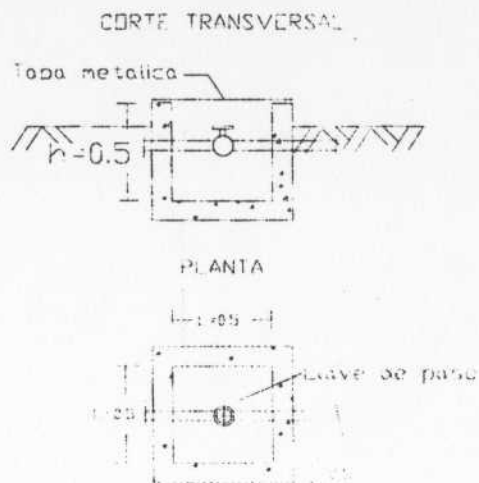
**Figura 21**  
**Sistema de desfogue**



Los datos extraídos del cuadro 15 corresponde a un caudal de 10.21 l/s muy semejante al de diseño de 10 l/s y se observa una tubería de PVC que corresponde a un diámetro de 2" (pulgadas.).

Para los cálculos de tiempos de vaciado se refiere al anexo 3

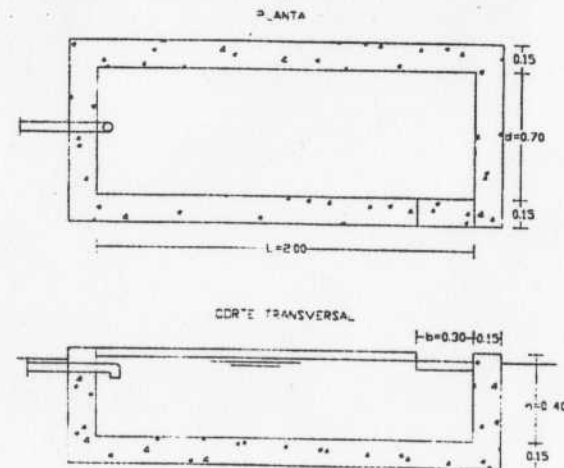
**Figura 22**  
**Llave de paso con cámara de protección**



**Cámara disipadora de energía**

El diseño de la cámara disipadora de energía esta en función del uso final. En este caso se diseña una cámara que, además, funciona como abrevadero para los animales.

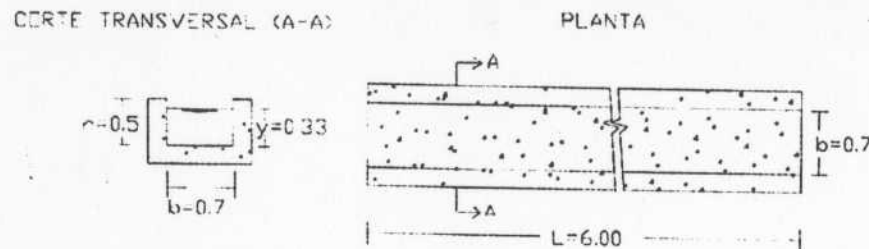
**Figura 23**  
**Cámara disipadora de energía y bebedero**



**Aliviadero**

Se considera como caudal de diseño cuatro veces el caudal de ingreso, es decir 120 l/s

**Figura 24**  
**Aliviadero**



**Datos Básicos**

- Q = 4 \* Q\_d = 4 \* 0.030 = 0.120 m³/s
- k\_m = 56 (revestido) Véase Cuadro 9
- s = 0.1 ‰ = 0.001

## Cálculo

Paso 1 Seleccionar los valores de (z) y (w)

$$z = \frac{H}{V} = 0 \quad (\text{Sección rectangular})$$

$$w = \frac{b}{v} = 2 \quad (\text{Valor asumido})$$

Paso 2 Con los valores de (z) y (w) se determina el valor del factor (F).

$$F = 1.26. \text{ Véase Cuadro 13.}$$

Paso 3 Calcular la profundidad del agua en el canal

$$y = \left[ \frac{Q}{k_m * F * \sqrt{s}} \right]^{3/8} = \left[ \frac{0.120}{56 * 1.26 * \sqrt{0.001}} \right]^{3/8} = 0.33 \text{ m}$$

Paso 4 Calcular la velocidad del agua en el canal

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(w+z)y^2} = \frac{0.120}{(2+0.0)0.33^2} = 0.55 \text{ m/s}$$

Paso 5 Determinar el ancho de la solera del canal y altura total

$$b = w * y = 2 * 0.33 = 0.66 \text{ m}$$

$$b = 0.70 \text{ m Valor adoptado}$$

Para la altura total se tiene:

$$h = 1.5 * 0.33 = 0.49 \text{ m}$$

$$h = 0.50 \text{ m (Valor adoptado)}$$

La longitud del aliviadero está en función del ancho del terraplén. En este ejemplo 6.00m.

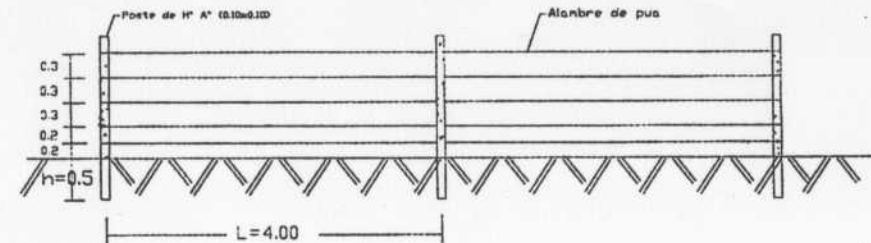
## Canales de conducción

Los canales de conducción para este ejemplo son de sección pequeña ya que el caudal máximo de desfogue es 10.21 l/s; se puede adoptar la sección mínima de construcción (0.30 x 0.20 m, ancho y alto respectivamente) si son de tierra. Para el caso de un caudal mayor se debe diseñar con la fórmula de Manning-Strickler como en los anteriores capítulos.

## Cercos de protección perimetral

En la zona del ejemplo la vegetación es muy escasa. Por eso se ha optado por un cerco con postes de hormigón armado colocados a cada 4 metros, con un espacio de 0.2 m entre las filas de alambre de púa y 0.3 m en la parte superior como muestra la figura. La profundidad de entramiento del poste no será menor a 0.5 m.

Figura 25  
Cercos perimetral



## 7.4 Materiales, mano de obra y equipo

Para construir atajados se necesitan materiales, mano de obra calificada y no calificada y equipo. Para tener una idea de la cantidad y magnitud de esto se presentan los cómputos métricos de los materiales, la mano de obra requerida y el equipo necesario para construir el atajado diseñado en los anteriores capítulos.

## Materiales

En el Cuadro 20 se presentan los cómputos métricos de los materiales para construir el atajado diseñado con sus obras complementarias.

**Cuadro 20**  
Cálculos métricos

Descripción	Dimensión	Cantidad	Unidad
HPC <sup>2</sup> Obras complementarias		7.18	m <sup>3</sup>
Aliviadero	$V_{al} = A_{al} \cdot L = [(1.0 \cdot 0.65) - (0.7 \cdot 0.5)] \cdot 6.0$	1.80	m <sup>3</sup>
Canal de ingreso	$V_{ca} = A_{ca} \cdot L = [(0.7 \cdot 0.45) - (0.4 \cdot 0.3)] \cdot 10$	1.95	m <sup>3</sup>
Sedimentador	$V_{sed} = (2.4 \cdot 1.4 \cdot 1.35) - (2.0 \cdot 1.10 \cdot 1.0)$	2.34	m <sup>3</sup>
Cámara de disipadora de energía	$V_{dis} = (2.3 \cdot 1.0 \cdot 0.65) - (2.0 \cdot 0.7 \cdot 0.5)$	0.80	m <sup>3</sup>
Cámara de llave	$V_{cam} = (0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.65) - (0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5)$	0.29	m <sup>3</sup>
Cemento	7.18 * 0.50 * 300	1077	kg
Volumen de piedra (50%)	7.18 * 0.50 * 1.35	4.85	m <sup>3</sup>
Volumen de agregado grueso (50%)	7.18 * 0.50 * 1.25	4.49	m <sup>3</sup>
Volumen de agregado fino (50%)	7.18 * 0.50 * 1.25	4.49	m <sup>3</sup>
Madera para encofrado	2(0.45 * 10.00) + 2(0.30 * 10.00)	15	m <sup>2</sup>
Alambrada con púas 5 filas	5 * 200	1000	m
Alambre de amarre		3	kg
Grapas		1	kg
Postes H <sup>2</sup> A <sup>2</sup>	200/4	50	pza
Tubería PVC 2.0"	12.81 + 5.0 = 17.81	18	m
Llave de paso 2"		1	pza
Codo de 2"		1	pza
Copla de 2"		1	pza
Rejilla PVC succión		1	pza

### Mano de obra

En los Cuadros 21 y 22 se presenta la mano de obra calificada y no calificada necesaria para construir el atajado diseñado en los capítulos anteriores.

**Cuadro 21**  
Mano de obra no calificada

Descripción	Número de personas	Días	Días total
Excavaciones	1	4	4
Emparejado y nivelado	4	2	8
Compactado	4	2	8
Impermeabilización (de ser necesaria)	2	3	6
Obras complementarias	3	8	24
Total			50

**Cuadro 22**  
Mano de obra calificada

Descripción	Número de personas	Días	Días total
Excavaciones	1	2	2
Emparejado y nivelado	1	1	1
Compactado	1	1	1
Impermeabilización (de ser necesaria)	1	1	1
Obras complementarias	1	10	10
Total			15

### Equipo y herramientas

En el Cuadro 23 se presentan el equipo y las herramientas necesarias para construir el atajado diseñado en los anteriores capítulos.

**Cuadro 23**  
Equipo y herramientas

Descripción	Cantidad
Tractor a oruga D6 con escarificador	1
Volqueta (8 a 10m <sup>3</sup> )	1
Vehículo liviano (camioneta)	1
Mezcladora de concreto (150lt)	1
Compactadora	1
Carretilla (60 - 90 lt)	3
Picota, pala	4
Jalones para replanteo (3m)	12
Turrones (200 lt)	3
Herramientas menores (nivel, plomada, sierra, etc.)	

## Bibliografía

---

Arkhangelskii

Calculation of unsteady flow in open channels. Academy of Sciences. USSR, 1947.

Burgmeijer J. y otros

Diseño, Operación y Mantenimiento del Sistema: Pautas para Proyectos en: Riego Comunitario Andino y Organización de Usuarios, Una guía para proyectos. Universidad Nacional de Loja y Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo, Loja, 1994.

Doorenbos. J. y Kassam A.H.

Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper nro. 33, Rome, 1986.

Doorenbos. J., Pruitt, W.O. y otros.

Crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper nro. 24, Rome, 1984.

Elsevier

Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics Amsterdam, 1985.

FAO

Climwat. FAO irrigation and drainage paper nro. 49, Rome, 1994.

Hudson N.

Soil Conservation. BT Batsford limited. London, 1986.

- Meijer T.K.E.  
Design of small holders irrigation systems. Universidad Agraria Wageningen, 1990.
- Nelson K.D.  
Design and construction of small earth dams. Melbourne, 1991.
- Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edminster y K.K. Barnes.  
Soil and water conservation engineering (2nd edition) Wiley, New York, 1966.
- Stern, P.H.  
Small scale irrigation. A manual of low cost water technology. Intermediate Technology Publications. London, 1994.
- Tichit, M.  
Los camélidos en Bolivia. Fades, La Paz, 1991.
- United States Department of Agriculture (USDA). Soil Conservation Service  
Agricultural Handbook Number 590, Ponds- Planning, Design, Construction. Washington DC, 1982.
- Ven Te Chow  
Open Channel hydraulics. Mc Graw-Hill. New York , 1959.
- Verweij M.J.  
Lagunas, Atajados Corporación Agropecuaria Campesina, CORACA-Aiquile Servicio Holandés de Cooperación al desarrollo, SNV. Cochabamba. no publicado.

## Índice de materias

- Acequia 21, 24, 27, 89
- Aliviadero 55  
caudal 56, 106  
construcción 67  
pendiente 106  
rugosidad 44, 106  
sección 106  
ubicación 56, 81
- Arcilla  
caolinita 22  
ilita 23  
montmorilonita 23
- Area de aporte  
coeficiente de escorrentía 27  
derechos 21  
erosión 75, 83  
protección 72  
suelo 24  
superficie 24, 27
- Atajado  
altura de diseño 39, 55, 81  
altura total 39  
bordo libre 40, 81, 83  
capacidad 18, 21, 35, 36, 71, 88, 92  
excavación 60, 62, 93  
manejo inicial 72  
mantenimiento 71  
pendiente 22
- primer almacenamiento 71  
tiempo de vaciado 52  
ubicación 21  
volumen 22, 38, 52, 75  
volumen muerto 39
- Calicata 24
- Cámara disipadora de energía 55, 104  
construcción 65  
dimensión 55, 104  
ubicación 55, 65
- Canal de captación  
caudal 44, 46, 99  
pendiente 44, 45, 46, 99  
rugosidad 44, 46, 99  
sección 45, 46  
ubicación 43, 62
- Canal de conducción  
caudal 56, 107  
ubicación 56
- Canal de coronamiento 83
- Canal de ingreso 50  
caudal 25, 50, 102  
construcción 65  
pendiente 102  
rugosidad 44, 50, 102  
sección 50, 102  
ubicación 50, 65



- Cerco de protección perimetral 56, 107  
 construcción 67, 107  
 ubicación 56, 67
- Cinturón de piedras 72
- Cobertura con pastos 72
- Coefficiente de cultivo  
*Véase anexo 2*
- Corona 38, 40
- Cuneta 24, 27, 89
- Derechos  
 agua 21  
 tierra 21
- Desbrozo 60
- Diseño  
 criterios 25  
 geométrico 38, 93  
 factibilidad 19  
 final 19  
 perfil 19  
 proceso 18
- Eficiencia de riego  
 aplicación 31  
 conducción 31
- Erosión 72, 77  
 protección 71, 75, 77, 81  
 sedimentación 83  
 tubificación 55, 81
- Escorrentía 25, 89  
 coeficiente 24, 26
- Esponjamiento 41  
 factor 41
- Evaporación 21, 33, 71, 92  
*Véase anexo 1*
- Evapotranspiración 91  
 de cultivo 30  
 referencial 30
- Filtración 19, 21, 24, 33, 34, 72, 75, 77, 92
- Fuente de agua 24, 25, 27, 28
- Geomembrana 81
- Hormigón 69
- Impermeabilidad 22, 77
- Limnómetro 71
- Llave de paso 51
- Manning-Strickler 43, 44, 46, 50, 55, 56
- Movimientos de tierra 41
- Permeabilidad 34
- Piedraplén 72
- Polietileno 78
- Precipitación *Véase anexo 1*  
 cantidad 25  
 efectiva 31, 91  
 intensidad 25, 27
- Propiedad  
 agua 21  
 tierra 21
- Quebrada 24, 25, 27, 56, 89
- Replanteo 59
- Requerimiento de agua 34  
 riego 30, 91  
 uso doméstico 32, 92  
 uso pecuario 32, 92
- Riego 30  
 aspersión 75  
 eficiencia 31, 75  
 goteo 75
- Río 21, 24, 27, 28, 89
- Sedimentador 48, 100  
 construcción 63  
 decantación de partículas 49  
 dimensión 48, 83, 101  
 mantenimiento 72
- Sistema de desfogue 50, 103  
 cámara de protección 52  
 construcción 65  
 dimensión 104  
 llave de paso 52, 104
- Suelo  
 estructura 75  
 fertilidad 75  
 textura 23

- Terraplén 38  
 asentamiento 56, 67, 81  
 compactación 72, 77  
 conformación 62  
 erosión 72, 77  
 estabilidad 22, 40, 72  
 pendiente 40
- Terraza 72
- Topografía 22, 25
- Tubo de desfogue 39, 50, 55, 60  
 caudal 51  
 pendiente 51  
 ubicación 51
- Vertiente 21, 24, 25, 28, 89



**Anexo 1**  
**DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA**  
**BOLIVIA**

Estación	Altura	Grado de latitud y longitud	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total
Camiri	810	20,03 S 63,34 W	168 <sup>1</sup> 4,6 <sup>2</sup>	145 4,2	108 3,9	54 3,4	22 3,0	13 2,6	8 3,1	9 4,0	12 4,8	37 5,2	70 5,1	148 4,6	794
Cochabamba	2548	17,27 S 66,06 W	123 3,9	104 3,8	61 3,5	18 3,0	4 2,4	2 2,0	2 2,2	5 3,0	8 3,8	19 4,5	48 4,6	94 4,3	488
El Belen	3820	16,03 S 68,41 W	89 3,3	79 3,2	59 3,0	31 2,7	30 2,6	1 2,3	5 2,2	12 2,5	29 2,8	31 3,4	52 3,4	97 3,4	515
La Paz - Ciudad	3632	16,30 S 68,08 W	121 3,4	93 3,2	64 3,2	29 3,2	12 2,7	6 2,7	6 2,9	11 3,1	37 3,3	35 3,8	50 3,8	91 3,4	555
La Paz - El alto	4107	16,31 S 68,11 W	126 3,2	104 3,0	70 2,9	31 2,6	13 2,6	5 2,4	8 2,3	14 2,7	29 2,9	39 3,4	50 3,5	94 3,5	583
Oploca	3120	21,19 S 65,46 W	68 3,8	63 4,0	25 3,9	3 3,5	0 2,8	0 2,5	0 2,5	0 3,0	2 3,8	2 4,4	21 4,5	62 4,6	246
Oruro	3708	17,58 S 67,06 W	85 3,9	76 3,7	43 3,5	17 3,1	4 2,7	1 2,4	4 2,4	10 2,9	12 3,2	15 3,8	20 4,1	53 4,0	340
Padilla	2130	19,19 S 64,20 W	134 4,1	119 3,8	80 3,7	28 3,1	11 2,7	4 2,4	5 2,7	8 3,0	26 3,7	55 4,1	75 4,3	124 4,1	669
Patacamaya	3789	17,12 S 67,55 W	88 3,6	69 3,5	47 3,3	15 3,0	8 2,6	2 2,3	1 2,3	9 2,6	37 3,0	18 3,5	33 3,9	76 4,0	403
Puna	3420	19,45 S 65,28 W	87 3,8	90 3,5	58 3,3	22 3,0	7 2,6	1 2,3	0 2,5	4 2,7	17 3,2	18 3,8	76 4,1	88 3,8	468
Sucre	2750	19,03 S 65,17 W	150 4,3	122 3,9	65 3,7	23 3,5	7 3,2	2 2,9	3 3,1	7 3,3	29 3,9	32 4,4	63 4,6	112 4,3	615
Tarija	1875	21,32 S 64,43 W	129 3,8	135 4,0	76 3,9	24 3,5	2 2,8	0 2,4	0 2,5	2 3,2	7 4,3	32 4,6	67 4,5	136 4,5	610
Totora	2789	17,41 S 65,09 W	143 3,9	133 3,8	84 3,6	26 3,3	4 3,0	4 2,8	3 2,9	6 3,2	6 3,7	24 4,0	64 4,3	110 4,1	607
Villazon	3460	22,05 S 65,35 W	72 4,9	64 4,5	41 4,1	10 3,6	1 2,9	0 2,6	0 2,6	0 3,3	4 4,3	11 5,0	22 5,5	102 5,1	327

**DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA  
ECUADOR**

Estación	Altura	Grado de latitud y longitud	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total
Ambato	2540	1.17 S 78.38 W	40 <sup>1</sup> 3.5 <sup>2</sup>	43 3.4	51 3.3	62 3.2	50 3.1	35 2.8	21 2.8	21 3.0	28 3.3	50 3.5	49 3.5	35 3.5	485
Ancon	6	2.19 S 80.51 W	30 2.9	86 3.3	86 3.5	30 3.5	1 2.9	1 2.6	2 2.3	1 2.3	2 2.5	1 2.4	0 2.6	2 2.6	242
Arenillas	15	0.33 S 80.04	87 3.0	102 3.2	104 3.4	84 3.5	41 3.0	30 2.7	8 2.7	4 3.0	18 3.1	12 2.9	7 3.0	10 3.1	507
Bahía de Caraquez	3	0.35 S 80.24 W	97 3.0	144 3.3	163 3.4	61 3.6	22 3.1	7 2.7	3 2.7	3 2.5	3 3.1	5 2.9	4 2.9	10 3.0	522
Canar	3120	2.33 S 78.56 W	49 2.8	63 2.7	67 2.8	68 2.7	31 3.0	39 2.7	19 2.7	18 3.0	29 3.0	48 3.0	45 3.0	35 3.0	511
Esmeraldas	6	0.57 N 79.36	114 2.9	154 3.0	102 3.2	104 3.2	63 2.9	56 2.7	44 2.7	26 3.0	24 3.1	14 2.9	10 3.0	36 2.9	447
Ibarra	2228	0.21 N 78.08 W	46 3.0	49 3.1	63 3.0	110 2.9	73 2.9	41 2.8	8 3.1	14 3.3	27 3.3	72 3.1	75 3.0	50 3.0	628
La Argelia-Loja	2040	4.00 S 79.12 W	83 3.0	84 3.1	100 2.9	86 3.1	50 2.9	59 2.8	49 3.0	49 3.1	49 3.3	60 3.3	52 3.5	67 3.4	788
Latacunga	2785	0.55 S 78.37 W	33 3.0	47 2.9	54 2.8	68 2.6	40 2.6	31 2.5	13 2.5	11 2.8	18 2.9	55 2.9	55 2.8	40 2.8	465
Morona	430	4.22 S 79.56 W	44 3.9	39 4.3	178 3.6	77 3.7	11 3.1	0 3.1	0 3.2	0 3.5	1 3.8	3 3.7	3 4.0	4 3.8	360
Machala	4	3.15 S 79.58 W	100 3.2	129 3.4	148 3.6	91 3.7	41 3	15 2.6	15 2.6	16 2.9	15 2.9	16 2.8	11 3	13 3.2	610
Manta	13	0.57 S 80.41 W	32 3.2	72 3.3	60 3.5	26 3.7	4 3.2	2 2.8	2 2.8	0 3.1	1 3.2	1 3	1 3.1	4 3.1	205
Paute	2360	1.18 S 78.30 W	32 3.2	35 3.2	55 3.2	57 3	66 2.9	87 2.6	57 2.8	58 2.8	42 3	57 3.2	36 3.4	47 3.3	629
P. Baquerizo (GAL)	6	0.54 S 89.36 W	57 4	139 4.5	115 4.4	88 4.5	24 4.3	4 4.2	10 3.8	6 3.6	4 3.7	6 3.9	5 4	13 4	471

**DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA  
ECUADOR (a continuación)**

Estación	Altura	Grado de latitud y longitud	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total
Piñaro	2805	1.09 S 78.33 W	48 3.1	43 3.1	73 2.9	63 2.9	52 2.7	65 2.5	31 2.4	34 2.7	36 3	63 3.1	68 3.3	44 3.2	620
Portoviejo	44	1.02 S 80.26 W	92 3.2	151 3.3	138 3.5	74 3.8	28 3.3	11 2.8	6 3	1 3.5	2 3.7	2 3.7	4 3.5	12 3.5	521
Riobamba	2796	1.38 S 78.40 W	26 3.3	40 3.2	47 3	54 2.9	32 2.8	33 2.7	11 2.7	15 3.1	23 3	49 3.2	40 3	29 3.2	399
Santa Isabel	1598	3.2 S 79.2 W	52 2.9	60 2.8	113 2.7	79 2.6	39 2.7	15 3	5 3.6	4 3.4	14 3.5	14 3.6	13 3.5	35 3	443
Seymour Airport (GAL)	16	0.27 S 90.16 W	5 4.1	13 4.6	36 4.5	14 4.4	0 4.4	0 4.2	0 3.7	0 3.9	1 4	1 4.1	2 4.3	1 4.1	73

**DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA  
PERU**

Estación	Altura	Grado de latitud y longitud	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total
Abancay	2398	13,38 S 72,53 W	100 <sup>1</sup> 3.9 <sup>2</sup>	115 3.9	126 3.8	30 3.7	10 3.5	3 3.4	7 3.7	6 4.1	17 4.3	47 5	48 4.8	58 4.1	567
Arequipa	2524	16,19 S 71,33 W	23 4.3	28 4	33 4	0 3.9	0 3.6	0 3.5	0 3.3	0 4.1	0 4.5	0 4.7	1 5	4 4.9	89
Cajamarca	2620	7,08 S 78,28 W	81 3.1	96 3.3	104 2.9	83 2.8	33 2.9	9 3.3	6 3.5	10 3.4	31 3.3	98 3.3	64 3.5	72 3.3	687
Casa Grande	157	7,4 S 79,1 W	2 5.1	4 5.3	5 4.8	2 4.6	0 3.9	0 3.4	0 2.9	0 3.4	0 4	1 4.5	1 4.7	2 4.9	17
Caylloma	4320	15,11 S 71,46 W	133 3.4	164 3.1	133 3	42 2.9	9 2.9	5 2.9	2 3	6 3.5	15 3.7	27 4.3	28 4.3	105 3.5	669
Chiclayo	34	6,47 S 79,50 W	8 5.3	6 5.2	10 5.4	12 5.1	0 4.5	0 3.8	0 3.5	0 3.6	1 3.6	4 4.3	3 4.6	8 4.9	52
Cuzco-Kayra	3349	13,33 S 71,59 W	142 3.5	173 3.4	106 3.4	60 3.4	15 3.2	1 3.1	4 3.3	8 3.8	30 4	49 4.3	74 4.3	130 3.8	792
Desaguadero	3850	16,39 S 69,00 W	125 4	132 3.8	95 3.6	29 3.4	13 3.1	4 3	4 2.9	6 3.4	22 3.7	18 4.3	41 4.4	119 4	608
Huamanga	2761	13,09 S 74,13 W	110 4.2	113 4	106 3.6	29 3.6	11 3.4	6 3.2	6 3.2	10 3.6	26 4.2	44 4.5	40 4.5	89 4.4	590
Huancaba	1952	5,14 S 79,22 W	53 3.5	66 3.5	90 3.5	48 3.5	28 3.5	14 3.5	5 3.5	6 3.7	11 3.7	32 3.8	39 3.8	40 3.7	432
Huancayo	3350	12,02 S 75,20 W	125 3.3	134 3.3	110 3	54 2.9	23 2.6	8 2.5	5 2.9	16 3.2	48 3.5	69 3.8	71 3.9	92 3.5	755
Huanuco	1859	9,54 S 76,45 W	53 3.7	59 3.4	52 3.5	20 3.4	11 3.3	5 3.1	4 3.2	9 3.6	20 3.8	46 3.9	47 4	52 3.8	378
Huaraz	3050	9,3 S 77,31 W	121 3.4	129 3.2	137 3.3	79 3.2	24 3	3 2.8	0 3	3 3.3	25 3.6	57 3.6	92 3.6	69 3.5	739

**DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA  
PERU ( a continuación)**

Ubicación estación	Altura m	Grado de latitud y longitud	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	total
Jauja	3387	11,47 S 75,30 W	119 3.4	110 3.5	132 3.3	53 3	11 2.9	3 2.8	6 3	10 3.3	29 3.5	66 3.7	62 3.8	112 3.6	713
July	3852	16,12 S 69,26 W	124 3	166 2.9	136 2.7	39 2.4	17 2.1	6 2	7 2	2 2.4	41 2.7	32 3.2	40 3.4	161 3.1	771
Lambayeque	27	6,41 S 79,53 W	1 5	4 5.1	5 5	3 4.7	1 4	0 3.3	0 3.1	0 3.3	0 3.7	0 3.9	0 4.3	1 5.2	15
Lampas Bajo	3950	10,04 S 77,22 W	100 2.7	137 2.5	164 2.4	75 2.4	20 2.4	3 2.4	3 2.6	3 2.8	16 2.8	67 2.9	69 3	75 2.9	732
La Oroya	3750	11,33 S 75,56 W	77 3.3	83 3.3	80 3.2	45 3	23 2.8	5 2.6	9 2.8	22 3.1	34 3.2	54 3.5	60 3.6	75 3.4	567
Lima	136	12,01 S 77,01 W	0 3.9	0 4.1	0 4	0 3.3	2 2.6	4 1.8	5 1.7	6 1.9	5 2.2	2 2.7	1 3.2	0 3.6	25
Mollendo	24	17,00 S 76,06 W	3 4	3 4	3 3.7	3 3.2	3 2.4	3 1.9	3 1.9	5 2	5 2.2	3 2.8	3 3.4	3 3.7	40
Paucarani	4541	17,32 S 69,46 W	67 2.8	78 2.5	72 2.7	4 2.7	1 2.3	1 2	0 2	0 2.4	2 2.8	3 3.4	25 3.4	58 3	311
Puno G. Salcedo	3852	15,20 S 70,01 W	120 3.2	135 3.2	134 3	37 3.1	14 2.6	1 2.4	3 2.5	4 2.9	30 3.3	36 3.8	53 3.8	121 3.5	688
Sibayo	3847	15,29 S 71,27 W	129 3.7	137 3.3	114 3.6	33 3.5	23 3.4	1 3.4	2 3.4	4 3.5	15 3.8	20 4.1	37 4.4	93 4.1	608
Tacna	452	18,04 S 70,18 W	1 4.4	1 4.6	0 4.1	1 3.6	2 2.8	3 2.3	7 2.2	8 2.6	12 3	4 3.7	1 4.2	1 4.5	41

<sup>1</sup> datos pluviométricos promedio mm/mes.

<sup>2</sup> datos de evapotranspiración de referencia en mm/día.

Fuente: FAO, CLIMWAT, irrigation and drainage paper nro. 49, 1994

**Anexo 2**  
**COEFICIENTES DE CULTIVO Kc**

Cultivo	Etapas de desarrollo del cultivo				
	Inicial	Desarrollo	Media	Final	A la cosecha
Arveja verde	0.40-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	1.00-1.15	0.95-1.10
Col	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-0.12	0.90-0.10	0.80-0.95
Cebolla Seca	0.40-0.60	0.70-0.80	0.95-1.10	0.85-0.90	0.75-0.85
Cebolla Verde	0.40-0.60	0.60-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05
Frijol Seca	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.75	0.25-0.30
Frijol Verde	0.30-0.40	0.65-0.75	0.95-1.05	0.90-0.95	0.85-0.95
Girasol	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.70-0.80	0.35-0.45
Maíz dulce	0.30-0.50	0.70-0.90	1.05-1.20	1.00-1.15	0.95-1.10
Maíz grano	0.30-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	0.80-0.95	0.55-0.60
Maní	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-1.10	0.75-0.85	0.55-0.60
Papa	0.40-0.50	0.70-0.80	1.05-1.20	0.85-0.95	0.70-0.75
Pimiento verde	0.30-0.40	0.60-0.75	0.95-1.10	0.85-1.00	0.80-0.90
Remolacha	0.40-0.50	0.75-0.85	1.05-1.20	0.90-1.00	0.60-0.70
Sandía	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-1.05	0.80-0.90	0.65-0.75
Soja	0.30-0.40	0.70-0.80	1.00-1.15	0.70-0.80	0.40-0.50
Sorgo	0.30-0.40	0.70-0.75	1.00-1.15	0.75-0.80	0.50-0.55
Tomate	0.40-0.50	0.70-0.80	1.05-1.25	0.80-0.95	0.60-0.65
Trigo	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.75	0.20-0.25

Primera cifra: Con humedad elevada (Rhmin >79%) y poco viento (v <5m/sec)

Segunda cifra: Con humedad reducida (Rhmin <20% y viento fuerte (v >5m/sec)

Fuente FAO. *Yield response to water*. Irrigation and drainage paper nro.33

**Anexo 3**

**CAUDAL DE DESCARGA DEL SISTEMA DE DESFOGUE**

El caudal de descarga del sistema de desfogue de los atajados se determina mediante la fórmula de Bernoulli y Continuidad.

**Bernoulli:**

$$\frac{P_1}{G} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{G} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_r = k \sqrt{2g * h} \quad v = \sqrt{2g * h} \quad h_1 = \frac{v_2^2}{2g}$$

En donde: v = Velocidad de salida (m/s)  
 h<sub>1</sub> = Altura de descarga (m)  
 P<sub>1</sub> = P<sub>2</sub> Presiones (atm.)  
 h<sub>2</sub> = 0 Altura de referencia (m)  
 v<sub>1</sub> = 0 Velocidad de descenso (l/s)  
 k = Coeficiente de descarga (véase cuadro adjuntado)  
 v<sub>r</sub> = v<sub>2</sub> Velocidad instantánea de descarga real (l/s)

**Continuidad:**

$$Q = v_r * A \quad A = \pi \frac{D^2}{4}$$

En donde: v<sub>r</sub> = Velocidad requerida (m/s)  
 Q = Caudal de salida instantáneo (l/s)  
 A = Area del orificio de la tubería (m<sup>2</sup>)  
 D = Diámetro del orificio de salida (m)

Coeficiente de descarga (k)

Accesorio	D=2"	D=2.5"	D=3"	Diámetro de tubería					
	0.35	0.3	0.2	D=2" (5.08 cm)		D=2.5" (6.35 cm)		D=3" (7.62 cm)	
				FG	PVC	FG	PVC	FG	PVC
Codos	0.8	0.6	0.5						
Longitud de tubería (m)	8			0.786	0.806	0.791	0.807	0.794	0.807
	12			0.776	0.805	0.783	0.806	0.787	0.806
	16			0.767	0.804	0.775	0.805	0.781	0.806
	20			0.758	0.803	0.768	0.804	0.775	0.805
	24			0.750	0.802	0.761	0.803	0.769	0.804

Ejemplo: El factor k de una tubería de 2" de PVC de 16 m con un codo y una válvula es: 0.804

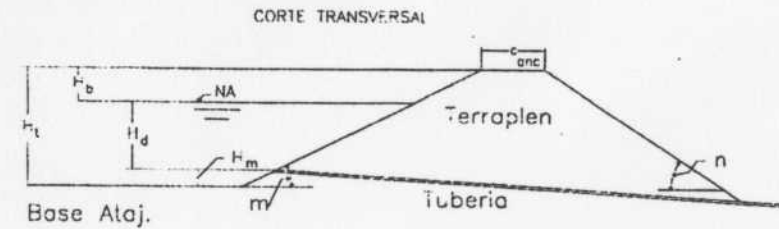
## Anexo 4

## METODOLOGÍA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y CÁLCULO DE MOVIMIENTO DE TIERRA PARA ATAJADOS

El programa de diseño geométrico y cálculo de movimiento de tierra para atajados se basa en la metodología presentada en este anexo.

1. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS
2. VOLUMEN DE CORTE
  - 2.1 Coordenadas para los puntos (A, B, C, D)
  - 2.2 Areas del volumen de corte
  - 2.3 Volumen de corte
3. VOLUMEN DEL TERRAPLEN
  - 3.1 Coordenadas para los puntos (E, F, G, H, I)
  - 3.2 Areas del volumen del terraplén
  - 3.3 Longitudes para el cálculo de los volúmenes de terraplén
  - 3.4 Volumen del terraplén
4. BALANCE DEL VOLUMEN DE CORTE Y VOLUMEN DEL TERRAPLÉN

## 1. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS



Altura del diseño:

$$H_d = \text{Altura de diseño asumida}$$

Altura muerta:

$$H_m = 0.15H_d$$

Altura bordo libre:

$$H_b = \frac{H_d}{2}$$

Altura total:

$$H_t = H_m + H_d + H_b$$

Ancho de coronamiento:

$$C = \frac{H_d}{2}$$

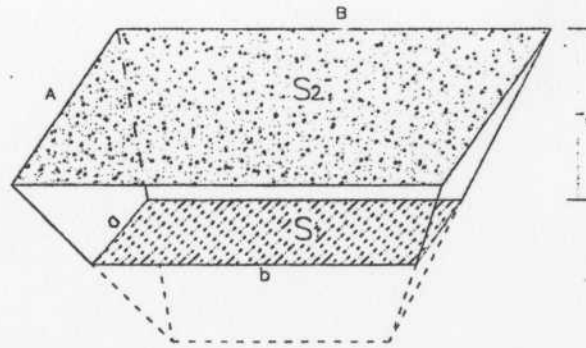
Taludes de la base del terraplén:

$m$  = talud interior:

$$m = \frac{V_{int}}{H_{int}}$$

$n$  = talud exterior:

$$n = \frac{V_{ext}}{H_{ext}}$$



Con relación al tronco de pirámide se tiene la formula:

$$V_p = \frac{H_d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 * S_2})$$

En donde:

$$S_1 = (a * b) \quad S_2 = (A * B) = \left(a + \frac{2H_d}{m}\right) \left(b + \frac{2H_d}{m}\right)$$

Despejando el largo de la base (b) siendo el ancho (a) dato asumido, la formula es:

$$Jb^2 - Kb + L = 0 \quad b = \frac{K - \sqrt{K^2 - 4JL}}{2J}$$

Donde: a = ancho de la base (dato asumido)

$$C = \frac{2H_d}{m}$$

$$D = \frac{3V}{H_d}$$

$$E = D - aC - C^2$$

$$F = 2a + C$$

$$G = a^2 + aC$$

$$I = a^2C + aC^2$$

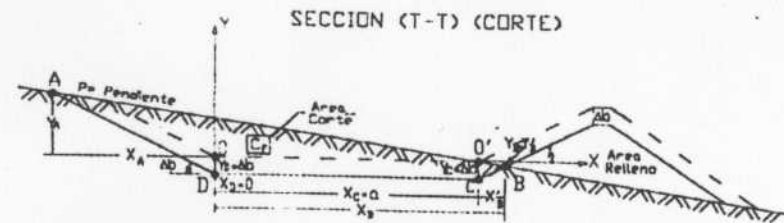
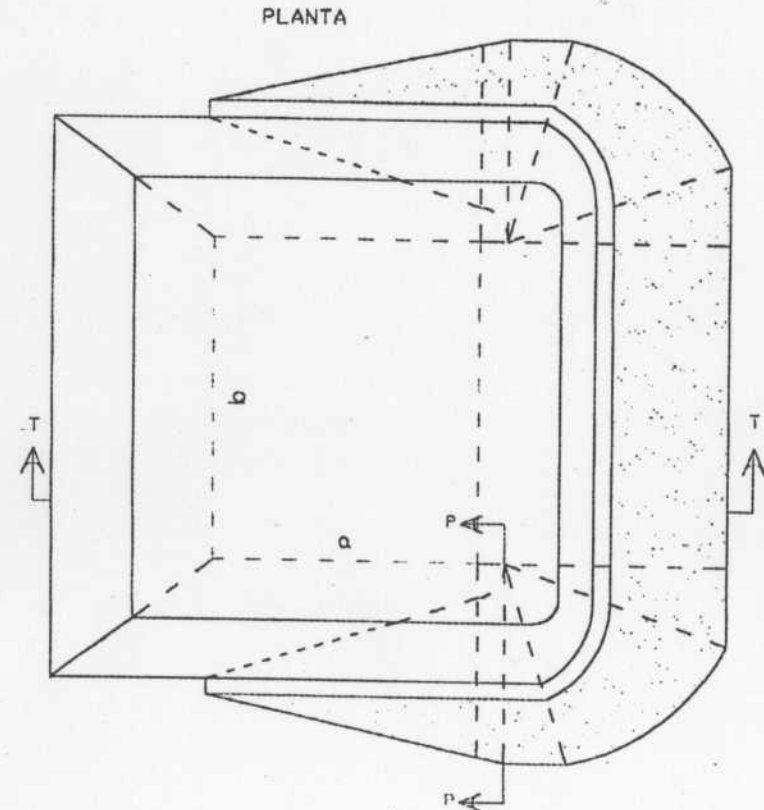
$$J = F^2 - G$$

$$K = 2EF + I$$

$$L = E^2$$

## 2. VOLUMEN DE CORTE

### 2.1 Coordenadas para los puntos (A, B, C, D)





Ecuaciones analíticas de las rectas (ver sección (T-T))

Coordenada punto A:

$$X_A = -\frac{(w + \Delta b)}{(m - p)} \quad Y_A = m \frac{(w + \Delta b)}{(m - p)} - \Delta b$$

Coordenada punto B: (origen en 0)

$$X_B = \frac{\Delta b}{(m + p)} + a \quad Y_B = -\frac{p * \Delta b}{(m + p)}$$

Coordenada punto C: Deducción directa sección (T-T)

$$X_C = a \quad Y_C = -\Delta b$$

Coordenada punto D: Deducción directa sección (T-T)

$$X_D = 0 \quad Y_D = -\Delta b$$

## 2.2 Areas del volumen de corte

Area frontal  $C_f$ : Calculado con el método Simpson

$$C_f = \frac{(x_B * y_A) + (x_C * y_B) + (x_A * y_D) - (x_A * y_B) - (x_B * y_C) - (x_C * y_D)}{2}$$

Area lateral ( $S_1; S_2$ )

$$S_1 = \frac{(w + \Delta b)^2}{2m} \quad S_2 = \frac{\Delta b^2}{2m}$$

Areas de las esquinas: Areas pequeñas

$$C_{cl} = \frac{(w + \Delta b)^2}{2m} \quad C_{cd} = \frac{(w + \Delta b)^2}{2(m - p)}$$

## 2.3 Volumen de corte

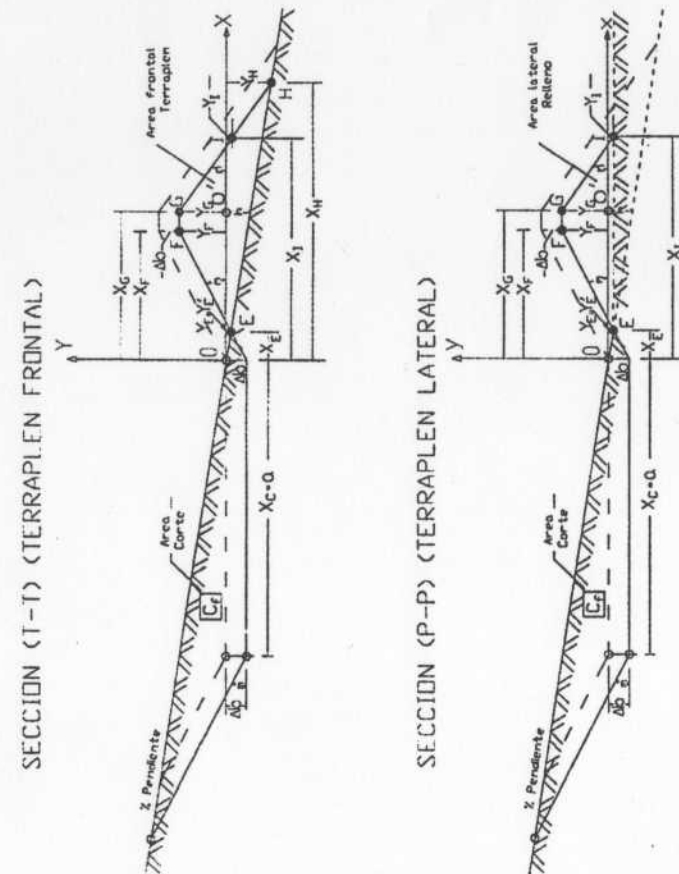
$$V_c = (C_f + b) + \frac{a}{3m} \left[ (w + \Delta b)^2 + \Delta b^2 + \Delta b(w + \Delta b) \right] + \frac{2(w + \Delta b)^3}{3m(m - p)}$$

## 2.4 Volumen de corte esponjado

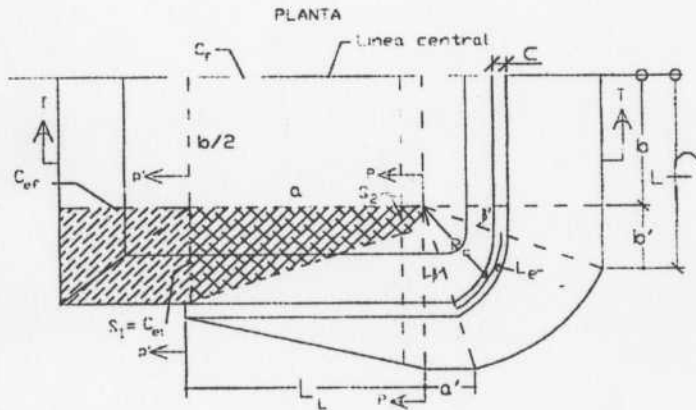
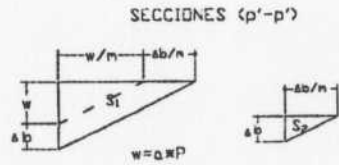
$$V_{ce} = \varphi(V_c)$$

## 3. VOLUMEN DEL TERRAPLEN

### 3.1 Coordenadas para los puntos (E, F, G, H, I)



AREAS DE CORTE (S1, S2, Cef, Cel, CF)  
 LONGITUDES (Ll, Lf, a', b', Le, Rc)



Ecuaciones analíticas de las rectas. Ver sección (T-T),(P-P)

Coordenada punto E:

$$X_E = \frac{\Delta b}{(m + p)} \quad Y_E = -\frac{p * \Delta b}{(m + p)}$$

Coordenada punto F:

$$X_F = \frac{H_t}{m} \quad Y_F = (H_t - \Delta b)$$

Coordenada punto G: Ver esquema directo

$$X_G = \frac{H_t}{m} + C \quad Y_G = (H_t - \Delta b)$$

Coordenada punto H: Ver esquema sección (T-T)

$$X_H = \frac{H_t}{m} + C + \frac{(H_t - \Delta b) + h}{(n - p)}$$

$$Y_H = -P \frac{(H_t - \Delta b) + b}{(n - p)} - b$$

$$h = p \left( \frac{H_t}{m} + C \right)$$

Coordenadas punto I: Ver esquina sección (p-p)

$$X_I = \frac{H_t}{m} + C + \frac{(H_t - \Delta b)}{n} + \frac{P * \Delta b}{n(m + p)}$$

$$Y_I = -\frac{P * \Delta b}{m + p}$$

### 3.2 Areas del volumen del terraplén

Area frontal A<sub>f</sub>: Método Simpson

$$A_f = \frac{(x_F * y_F) + (x_G * y_G) + (x_H * y_H) + (x_E * y_E) - (x_E * y_F) - (x_F * y_G) - (x_G * y_H) - (x_H * y_E)}{2}$$

Area lateral A<sub>l</sub>: Método Simpson

$$A_l = \frac{(x_I * y_I) + (x_G * y_G) + (x_I * y_G) + (x_I * y_I) - (x_E * y_I) - (x_I * y_G) - (x_G * y_I) - (x_I * y_E)}{2}$$

Area de la esquina:

$$A_e \approx \frac{A_f + A_l}{2}$$

Longitudes para el calculo del volumen del terraplén

Longitud área frontal:

$$L_f = b + tg\beta(X_H - X_I)$$

Longitudes para el área lateral:

$$L_L = \frac{H_i - \Delta b - Y_E}{P} \quad a' = \operatorname{tg} \beta(x_i)$$

Longitud para la esquina:

$$L_E = \frac{\pi(90 - 2\beta)R_c}{180} \quad R_c = \frac{H_i - \Delta b - Y_E}{m} + \frac{C}{2}$$

### 3.4 Volumen del terraplén

$$V_s = V_{s1} + (V_{s2} + V_{s3}) + V_{s4}$$

$$V_r = (A_f * L_f) + (2A_L * \frac{L_L}{3} + A_L * a') + (2A_E * L_E)$$

## 4. BALANCE DEL VOLUMEN DE CORTE Y VOLUMEN DEL TERRAPLÉN

$$\phi V_c \approx V_r$$

$\phi$  = Coeficiente de esponjamiento

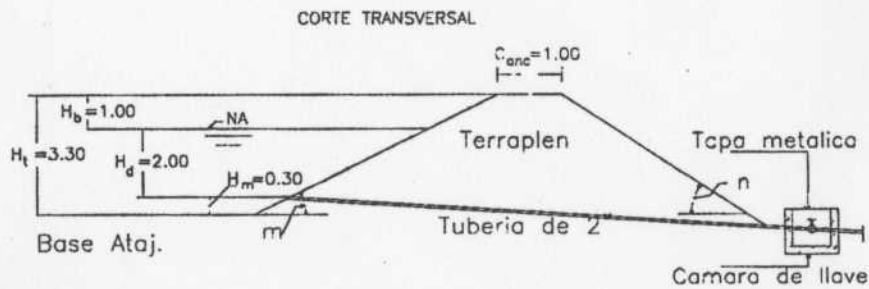
### Anexo 5

## DISEÑO GEOMÉTRICO Y CÁLCULO DE MOVIMIENTO DE TIERRA PARA ATAJADOS DEL PROYECTO DE UN CASO

El diseño geométrico y el cálculo de movimiento de tierra para atajados del capítulo 7 se basa en los siguientes cálculos.

- 1 DIMENSIONES GEOMÉTRICAS
- 2 VOLUMEN DE CORTE
  - 2.1 Coordenadas para los puntos (A, B, C, D)
  - 2.2 Áreas del volumen de corte
  - 2.3 Volumen de corte
3. VOLUMEN DEL TERRAPLEN
  - 3.1 Coordenadas para los puntos (E, F, G, H, I)
  - 3.2 Áreas del volumen del terraplén
  - 3.3 Longitudes para el cálculo de los volúmenes de terraplén
  - 3.4 Volumen del terraplén
4. BALANCE DEL VOLUMEN DE CORTE Y VOLUMEN DEL TERRAPLÉN

## 1. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS



Altura del diseño:

$$H_d = 2.00 \text{ m} \quad (\text{asumida})$$

Altura muerta:

$$H_m = 0.15H_d = 0.15 * 2.00 = 0.30 \text{ m}$$

Altura bordo libre:

$$H_b = \frac{H_d}{2} = \frac{2.00}{2} = 1.00 \text{ m}$$

Altura total:

$$H_t = H_m + H_d + H_b = 2.00 + 0.30 + 1.00 = 3.30 \text{ m}$$

Ancho de coronamiento:

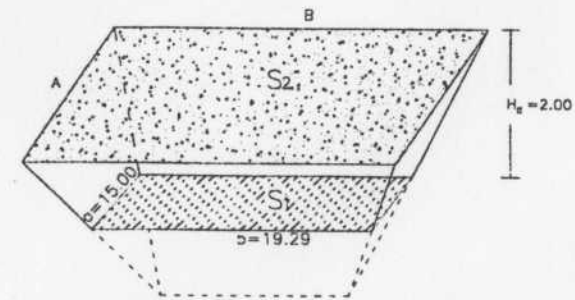
$$C = \frac{H_d}{2} = \frac{2.00}{2} = 1.00 \text{ m}$$

Taludes de la base del terraplén:

$$m = \frac{V}{H} = \frac{1}{2} = 0.5 \quad n = \frac{V}{H} = \frac{1}{1.5} = 0.667$$

$$m = \frac{1}{2} = 0.5 \quad m'' = 26.57^\circ$$

Con relación al tronco de pirámide se tiene la formula:



$$V_p = \frac{H_t}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 * S_2})$$

En donde:

$$S_1 = a * b \quad S_2 = (A * B) = \left(a + \frac{2H_t}{m}\right) \left(b + \frac{2H_t}{m}\right)$$

Despejando el ancho de la base (b) siendo el largo (a) dato de insumo, la formula es:

$$Jb^2 - Kb + L = 0 \quad b = \frac{K - \sqrt{K^2 - 4JL}}{2J}$$

En donde:  $a = 15.00$  m (ancho de la base - dato asumido)

$$a' = a + \frac{2H_m}{m} = 15 + \frac{2 * 0.3}{0.5} = 16.20 \text{ m}$$

$$C = \frac{2H_d}{m} = \frac{2 * 2}{0.5} = 8$$

$$D = \frac{3V}{H_d} = \frac{3 * 1000}{2} = 1500$$

$$E = D - a' * C - C^2 = 1500 - 16.2 * 8 - 8^2 = 1306.4$$

$$F = 2a' + C = 2 * 16.2 + 8 = 40.4$$

$$G = a'^2 + a' C = 16.2^2 + 16.2 * 8 = 392.04$$

$$I = a'^2 C + a' C^2 = 16.2^2 * 8 + 16.2 * 8^2 = 3136.32$$

$$J = F^2 - G = 40.4^2 - 392.04 = 1240.12$$

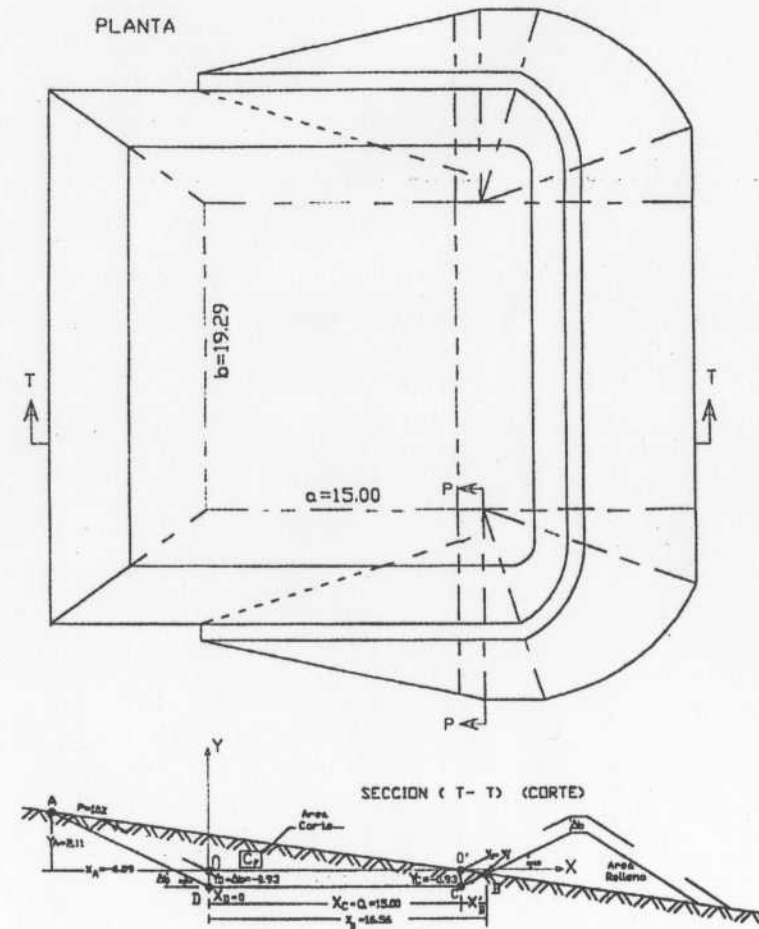
$$K = 2EF + I = 2 * 1306.4 * 40.4 + 3136.32 = 108693.44$$

$$L = E^2 = 1306.4^2 = 1706680.96$$

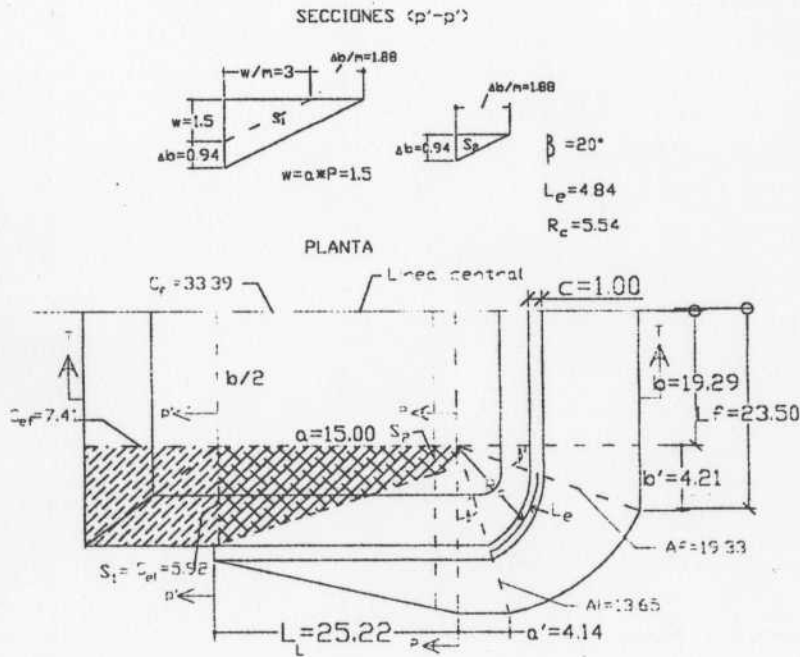
$$b? = 20.49 \quad b = (b? - \frac{2Hm}{0.5}) = 20.49 - \frac{2 * 0.3}{0.5} = 19.29 \text{ m}$$

$b = 19.29 \text{ m}$  (largo de la base)

## 2. VOLUMEN DE CORTE



AREAS DE CORTE (S1, S2, Cef, Cel, Cf)  
 LONGITUDES (L1, Lf, a', b', Le, Rc)



2.1 Coordenadas para los puntos (A, B, C, D)

Coordenada punto A:

$$X_A = -\frac{(w + \Delta b)}{(m - P)} = -\frac{(1.5 + 0.934)}{(0.5 - 0.1)} = -6.09 \text{ m}$$

$$Y_A = \frac{m(w + \Delta b)}{(m - P)} - \Delta b = \frac{0.5(1.5 + 0.934)}{(0.5 - 0.1)} - 0.934 = 2.11 \text{ m}$$

Coordenada punto B:

$$X_B = \frac{\Delta b}{(m + P)} + a = \frac{0.934}{(0.5 + 0.1)} + 15.0 = 16.56 \text{ m}$$

$$Y_B = -\frac{P \cdot \Delta b}{(m + P)} = -\frac{0.1 \cdot 0.934}{(0.5 + 0.1)} = -0.16 \text{ m}$$

Coordenada punto C:

$$X_C = a = 15.0 \text{ m} \quad Y_C = -\Delta b = -0.934 \text{ m}$$

Coordenada punto D:

$$X_D = 0.0 \text{ m} \quad Y_D = -\Delta b = -0.934 \text{ m}$$

2.2 Áreas para el volumen de corte

Area frontal:

$$C_f = \frac{[(X_B \cdot Y_A) + (X_C \cdot Y_B) + (X_A \cdot Y_D) - (X_A \cdot Y_B) - (X_B \cdot Y_C) - (X_C \cdot Y_D)]}{2}$$

$$C_f = \frac{[(16.56 \cdot 2.11) + (15 \cdot -0.16) + (-6.09 \cdot -0.934) - (-6.09 \cdot -0.16) - ]}{2}$$

$$\left[ \frac{(16.56 \cdot -0.934) - (15 \cdot -0.934)}{2} \right] = 33.39 \text{ m}^2$$

Areas laterales:

$$S_1 = \frac{(w + \Delta b)^2}{2m} = \frac{(1.5 + 0.934)^2}{2 \cdot 0.5} = 5.92 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{\Delta b^2}{2m} = \frac{0.934^2}{2 \cdot 0.5} = 0.87 \text{ m}^2$$

Áreas de las esquinas:

$$C_{ef} = \frac{(w + \Delta b)^2}{2(m - P)} = \frac{(1.5 + 0.934)^2}{2(0.5 - 0.1)} = 7.41 \text{ m}^2$$

$$C_{cl} = \frac{(w + \Delta b)^2}{2m} = \frac{(1.5 + 0.934)^2}{2 * 0.5} = 5.92 \text{ m}^2$$

2.3 Volumen de corte

Este volumen de corte es afectado por el coeficiente de esponjamiento (j) para el ejemplo es:

$$V_c = (C_f * b) + \frac{a}{3m} [(w + \Delta b)^2 + \Delta b^2 + \Delta b(w + \Delta b)] + \frac{2(w + \Delta b)^3}{3m(m - p)}$$

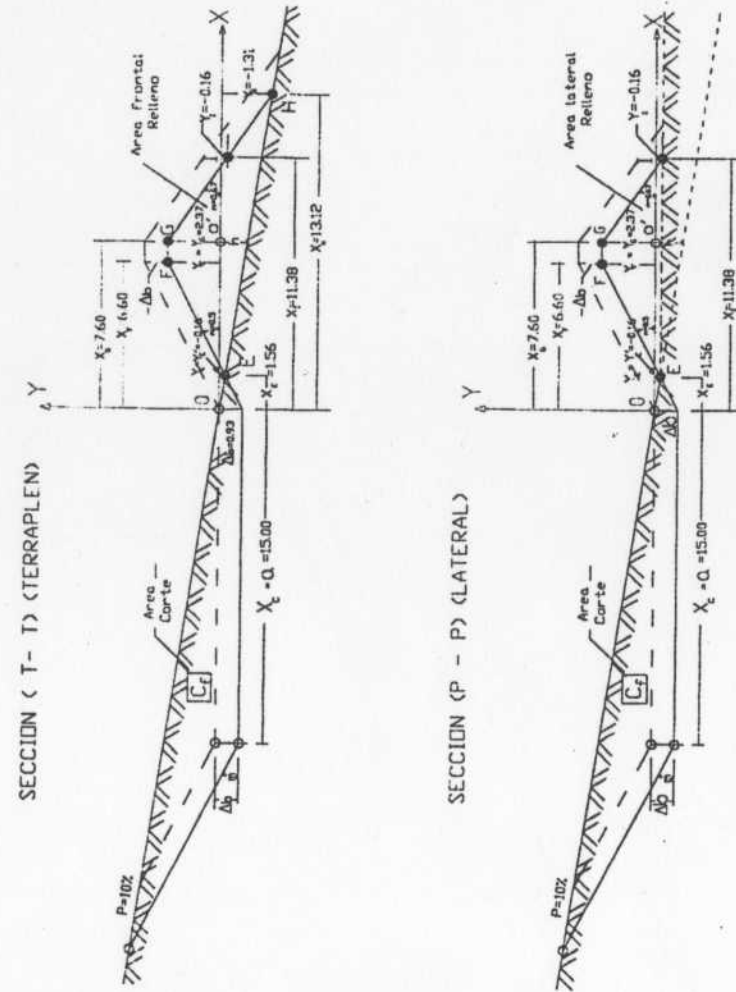
$$V_c = (33.39 * 19.29) + \frac{15}{3 * 0.5} [(1.5 + 0.934)^2 + 0.934^2 + 0.934(1.5 + 0.934)] + \frac{2(1.5 + 0.934)^3}{3 * 0.5(0.5 - 0.1)}$$

$$V_c = 783.02 \text{ m}^3$$

$$V_{ce} = \varphi V_c = 1.15 * 783.02 = 900.48 \text{ m}^3$$

3. VOLUMEN DEL TERRAPLEN

3.1 Coordenadas de los puntos (E, F, G, H, I)



Coordenadas punto E:

$$X_E = \frac{\Delta b}{m+P} = \frac{0.934}{0.5+0.1} = 1.56 \text{ m}$$

$$Y_E = -\frac{P \cdot \Delta b}{m+P} = -\frac{0.1 \cdot 0.934}{0.5+0.1} = -0.16 \text{ m}$$

Coordenadas punto F:

$$X_F = \frac{H_i}{m} = \frac{3.3}{0.5} = 6.6 \text{ m} \quad Y_F = H_i - \Delta b = 3.3 - 0.934 = 2.37 \text{ m}$$

Coordenadas punto G:

$$X_G = \frac{H_i}{m} + C = \frac{3.3}{0.5} + 1 = 7.6 \text{ m}$$

$$Y_G = H_i - \Delta b = 3.3 - 0.934 = 2.37 \text{ m}$$

Coordenadas punto H:

$$X_H = \frac{H_i}{m} + C + \frac{(H_i - \Delta b) + h}{n-P} = \frac{3.3}{0.5} + 1 + \frac{(3.3 - 0.934) + 0.76}{0.667 - 0.1} = 13.12 \text{ m}$$

$$Y_H = -\frac{P[(H_i - \Delta b) + h]}{n-P} - h = -\frac{0.1[(3.3 - 0.934) + 0.76]}{0.667 - 0.1} - 0.76 = -1.31 \text{ m}$$

Coordenadas punto I:

$$X_I = \frac{H_i}{m} + C + \frac{(H_i - \Delta b)}{n} + \frac{P \cdot \Delta b}{n(m+P)} = \frac{3.3}{0.5} + 1 + \frac{3.3 - 0.934}{0.667} + \frac{0.1 \cdot 0.934}{0.667(0.5+0.1)} = 11.38 \text{ m}$$

$$Y_I = -\frac{P \cdot \Delta b}{m+P} = -\frac{0.1 \cdot 0.934}{0.5+0.1} = -0.16 \text{ m}$$

### 3.2 Areas del volumen del terraplén

Area frontal:

$$A_f = \frac{[(X_F \cdot Y_E) + (X_G \cdot Y_F) + (X_H \cdot Y_G) + (X_E \cdot Y_H) - (X_E \cdot Y_F) - (X_F \cdot Y_G) - (X_G \cdot Y_H) - (X_H \cdot Y_E)]}{2}$$

$$A_f = \frac{[(6.6 \cdot -0.16) + (7.6 \cdot 2.37) + (13.12 \cdot 2.37) + (1.56 \cdot -1.31) - (1.56 \cdot 2.37) - (6.6 \cdot 2.37) - (7.6 \cdot -1.31) - (13.12 \cdot -0.16)]}{2} = 19.33 \text{ m}^2$$

Area lateral:

$$A_l = \frac{(X_F \cdot Y_E) + (X_G \cdot Y_F) + (X_I \cdot Y_G) + (X_E \cdot Y_I) - (X_E \cdot Y_F) - (X_F \cdot Y_G) - (X_G \cdot Y_I) - (X_I \cdot Y_E)}{2}$$

$$A_l = \frac{(6.6 \cdot -0.16) + (7.6 \cdot 2.37) + (11.38 \cdot 2.37) + (1.56 \cdot -0.16) - (1.56 \cdot 2.37) - (6.6 \cdot 2.37) - (7.6 \cdot -0.16) - (11.38 \cdot -0.16)}{2} = 13.65 \text{ m}^2$$

Areas de las esquinas:

$$A_E \cong \frac{A_f + A_l}{2} = \frac{19.33 + 13.65}{2} = 16.49 \text{ m}^2$$



### 3.3 Longitudes para los volúmenes del terraplén

Longitud para el área frontal:

$$L_f = b + (X_H - X_E) \operatorname{tg}(\beta) = 19.29 + (13.12 - 1.56) \operatorname{tg}(20^\circ) = 23.50 \text{ m}$$

Longitudes para el área lateral:

$$L_l = \frac{H_l - \Delta b - Y_E}{P} = \frac{3.3 - 0.934 - (-0.16)}{0.1} = 25.22 \text{ m}$$

$$a' \cong X_l * \operatorname{tg}(\beta) = 11.38 * (\operatorname{tg}20^\circ) = 4.14 \text{ m}$$

Longitud para la esquina:

$$L_e = \frac{\pi(90 - 2\beta)(R_e)}{180}$$

$$\text{para: } R_e = \frac{(H_l - \Delta b) - Y_E}{m} + \frac{C}{2}$$

$$L_e = \frac{3.14(90 - (2 * 20)) * 5.54}{180}$$

$$R_e = \frac{(3.3 - 0.934) - (-0.16)}{0.5} + \frac{1}{2}$$

$$L_e = 4.84 \text{ m}$$

$$R_e = 5.54 \text{ m}$$

### 3.4 Volumen del terraplén

$$V_r = (A_f * L_f) + \left[ 2(A_l * \frac{L_l}{3}) + (A_l * a') \right] + 2(A_e * L_e)$$

$$V_r = (19.33 * 23.5) + \left[ 2(13.65 * \frac{25.22}{3}) + (13.65 * 4.14) \right] + 2(16.49 * 4.84)$$

$$V_r = 899.79 \text{ m}^3$$

## 4. BALANCE DEL VOLUMEN DE CORTE Y VOLUMEN DEL TERRAPLÉN

$$V_{cc} \approx V_r$$

$$900.48 \text{ m}^3 \approx 899.79 \text{ m}^3$$