

PERDIDAS POR INFILTRACION Y JUSTIFICACION ECONOMICA
DEL REVESTIMIENTO DE CANALES EN INGENIO RIOPAILA

TESIS DE GRADO

GUSTAVO OCAMPO DURAN
ALFONSO LOPERA ALVAREZ

UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE AGRONOMIA

7995

MANIZALES - 1984

26 SET. 1985

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

PERDIDAS POR INFILTRACION Y JUSTIFICACION ECONOMICA
DEL REVESTIMIENTO DE CANALES EN INGENIO RIOFALLA

GUSTAVO OCAMPO DURAN

ALFONSO LOPERA ALVAREZ

Trabajo de grado presentado como
requisito para optar al título de
Ingeniero Agrónomo.

Presidente: ALFONSO VERA ALVAREZ,
Ingeniero Agrónomo.

UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE AGRONOMIA

MANIZALES, 1984

V. B. *[Handwritten signature]*

Aprobada por el Director de Te
Sis, asignado por la Facultad
de Agronomía, en cumplimiento
de los requisitos exigidos pa-
ra otorgar el título de Ingenie
ro Agronomo.

[Handwritten signature]

Presidente del Jurado

Juan Pescador (Jurado)

[Handwritten signature]

Moises Noriega (Jurado)

Hernando Mafla (Jurado)

DEDICO A:

MIS PADRES, HERNAN y BEATRIZ

MIS HERMANOS

ADRIANA

GUSTAVO

DEDICO A:

MIS PADRES

MI HIJO, LUIS ALFONSO

ALFONSO

AGRADECIMIENTOS

Los autores de éste trabajo expresan sus agradecimientos:

A HERNANDO MAFLA, I.A., Jefe División de Producción del Ingenio Riopaila S.A.

A MIGUEL LONDONO, Gerente General, Ingenio Riopaila.

A ALFONSO VERA, I.A., Profesor de riegos y avenamientos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Caldas.

A ROSENDO ALVAREZ, I.A., Colaborador en el inicio del trabajo.

A HELMER CASTAÑO, I.A., Profesor de Administración Agropecuaria de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Caldas.

A todas aquellas personas del Ingenio Riopaila S.A. y de la Universidad de Caldas, que de una u otra forma colaboraron en la realización de éste trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
1. REVISION DE LITERATURA.....	4
2. MATERIALES Y METODOS.....	23
2.1 GENERALIDADES.....	23
2.1.1 Localización.....	23
2.1.2 Clima.....	24
2.1.3 Suelos.....	24
2.1.4 Equipo.....	27
2.2 EVALUACION DE PERDIDAS POR INFILTRACION EN CANALES.....	28
2.2.1 Selección de Aforadores y sitios de A- foro.....	28
2.2.2 Selección del Aforador.....	30
2.2.3 Diseño y Construcción de los Aforadores	31
2.2.3.1 Calibración de los Aforadores.....	34
2.2.4 Descripción General del Ensayo.....	36

	Pág.
2.2.5 Descripción del Ensayo en Canales.....	43
2.2.5.1 Canal El placer.....	43
2.2.5.2 Canal Zambrano Tramo 1.....	45
2.2.5.3 Canal Zambrano Tramo 2.....	49
2.2.5.4 Canal La Luisa.....	53
2.2.6 Análisis Económico.....	55
3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	65
3.1 CANAL EL PLACER.....	67
3.2 CANAL ZAMBRANO.....	68
3.2.1 Tramo 1.....	68
3.2.2 Tramo 2.....	69
3.3 CANAL LA LUISA.....	70
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
4.1 CONCLUSIONES.....	72
4.2 RECOMENDACIONES.....	74
RESUMEN.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS.....	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Análisis de Propiedades Físicas del Suelo.....	26
TABLA 2. Tabla de Conversión de Niveles (cm) a Caudales (m ³ /seg). Medida 1.08 x 0.72 m. hasta 1.000 litros.....	38
TABLA 3. Costos de Mantenimiento 1.982.....	60

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
PLANO. Proyecto estaciones canales de riego aforador Balloffet.....	32
GRAFICA 1. Curva de calibración del Aforador Balloffet.....	37
GRAFICA 2. Nivel Freático del Canal El Placer.	45
GRAFICA 3. Pérdidas por infiltración Vs. tiempo.....	45
GRAFICA 4. Pérdidas Canal Zambrano (tramo 1)..	50
GRAFICA 5. Pérdidas Canal Zambrano (tramo 2)..	52
GRAFICA 6. Pérdidas Canal La Luisa.....	56

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Datos preliminares. Caudal medido Con Micromolinetete. Canal El Placer....	83
ANEXO 2. Datos preliminares. Caudal medido con Micromolinetete. Canal La Luisa.....	84
ANEXO 3. Aforo por suspensión y cálculo de cau dal (prueba 1).....	85
ANEXO 4. Aforo por suspensión y cálculo de Cau dal (Prueba 2).....	86
ANEXO 5. Aforo por suspensión y cálculo de cau dal (prueba 3).....	88
ANEXO 6. Aforo por suspensión y cálculo de cau dal (prueba 4).....	89
ANEXO 7. Aforo por suspensión y cálculo de cau dal (prueba 5).....	90
ANEXO 8. Resultado de Campo. Canal El Placer...	92

	Pág.
ANEXO 9. Resultados de Campo. Canal Zambrano Tramo 1.....	93
ANEXO 10. Resultados de Campo. Canal Zambrano Tramo 2.....	94
ANEXO 11. Resultados de Campo. Canal La Luisa.	95
ANEXO 12. Costos de Revestimiento.....	96
ANEXO 13. Prestaciones sociales del Ingenio Riopaila.....	97
ANEXO 14. Ejemplos para la obrencción del área a revestir, el VP y el TIR para el Canal El Placer.....	98

LISTA DE FOTOS

	Pág.
FOTO 1. Aforador Balloffet, vista de frente..	35
FOTO 2. Aforador Balloffet, vista lateral.....	35
FOTO 3. Construcción Soportes.....	40
FOTO 4. Gruas Utilizadas para el manejo de los aforadores.....	40
FOTO 5. Grúa Poclairn trabajando.....	41
FOTO 6. Trinchos para taponamiento del agua...	41

INTRODUCCION

Siendo el agua uno de los factores más importantes en la agricultura, llega a ser limitante en la producción. Además, hoy día es difícil esperar tener un régimen de lluvias que se aproxime favorablemente a las necesidades del cultivo, debido a los diferentes trastornos ecológicos causados principalmente por el hombre.

También es cierto que el agua disponible para riego es mal manejada por algunos agricultores y demás personas relacionadas con los riegos, aplicando en muchos casos mayores o menores cantidades de las necesarias, y descuidando en otros los diferentes factores que inciden en las pérdidas por conducción; factores éstos que, unidos a otros, han llevado a un agotamiento paulatino de este recurso, y a los costos cada vez mayores del aprovechamiento del mismo.

Según Alfaro¹, existen aproximadamente ocho millones de hectáreas que se encuentran bajo riego en América Latina, y continuamente están surgiendo proyectos para regar nuevas tierras. Para efectuar eficiente y oportunamente la distribución de las aguas de riego, es esencial medir los volúmenes de agua que fuyen en los canales, cuando el agua se conduce por éstos.

Por ésto, en Colombia últimamente entidades del gobierno y particulares se han preocupado por el manejo que se ha estado dando a los recursos hídricos, y por esto están realizando estudios sobre métodos de riego, conducción y aplicación del agua en diferentes cultivos.

El presente trabajo aporta soluciones al problema que plantean las pérdidas por infiltración causadas en la conducción.

En las pérdidas por conducción en canales de riego, la más importante son las filtraciones de agua que pueden originarse en la plantilla o los taludes del canal, hacia las capas profundas del suelo.

¹ ALFARO, F. José. Medidas de agua en canales por medio de Aforadores sin cuello. Santo Domingo R.D. Departamento de tierras y aguas de la Subsecretaría de Recursos. 1980. p.1.

Este estudio realizado en el Ingenio Riopaila*, pretende medirlas, utilizando el aforador Balloffet, seleccionado entre otros métodos de aforo por sus características hidráulicas y facilidad de construcción.

Una vez cuantificadas estas pérdidas por infiltración y su costo, se busca reducirlas a límites razonables o eliminarlas completamente, teniendo en cuenta para ello que sea económicamente aconsejable.

* Este estudio fué patrocinado por el Ingenio Riopaila S.A.

1. REVISION DE LITERATURA

Según Espinosa¹, las pérdidas por conducción en canales de riego, están formadas por pérdidas de evaporación y pérdidas por infiltración; siendo las pérdidas por infiltración las que mayor importancia tienen.

Israelsen², argumenta que es imposible, por regla general, el transporte de agua de riego desde su fuente hasta la zona de regadío, sin que sufra pérdidas por escapes, infiltraciones o evaporaciones.

Horton, citado por Linsley³, define infiltración como el paso del agua desde la superficie hasta el interior del suelo. Anota además, que es un fenómeno diferente a la percolación, la cual es definida como el movimien-

¹ESPINOSA, Vicente Enrique. Los Distritos de Riego. México, Continental, 1975. pp. 157-158.

²ISRAELSEN, Orson. Principios y Prácticas del Riego. España, Reverte, 1963, P.62

³HORTON, Citado por Linsley en Applied Hidrology, New York, 1949. pp. 150-155.

to del agua en el interior del suelo.

Ayers¹ y Pickels², definen a su vez la capacidad de infiltración en función de la velocidad a la cual el suelo puede absorber humedad.

Blair³, dice que el movimiento descendente del agua en el suelo se denomina infiltración, siendo éste un fenómeno que varía con el tipo de suelo, y el contenido de humedad de éste.

La velocidad de infiltración es más rápida en los suelos con menor contenido de humedad.

A medida que la humedad de las capas superiores del suelo aumenta por razón del mismo proceso, el grado de infiltración decrece, debido a la mayor resistencia que

¹ AYERS, L.E. et al. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 2ed, México, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 1963. p.85.

² PICKELS, G.W. Drainage and Flood Control Ingeneering. Mc Graw-Hill. 2ed. New York. 1941. pp. 71-72.

³ BLAIR, Enrique F. Manual de Riegos y Avenamiento. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Lima, Perú. 1959. p. 38

encuentra el agua por razón de la reducción en el diámetro efectivo de los poros del suelo, y por el incremento de la longitud del flujo.

Mustrave¹ y Parker², resumen diciendo que los principales factores que afectan la rata de infiltración son:

a) Las condiciones superficiales del suelo y su estado de protección contra el impacto del agua.

b) Las características internas del suelo, incluyendo el tamaño de los poros, profundidad de capas impermeables, estado de agregación de arcillas y coloides, y contenido de materia orgánica.

c) Humedad del suelo y grado de saturación.

d) Duración de la lluvia o aplicación del agua.

e) Estación del año y temperatura del suelo.

¹MUSGRAVE, C.W. The Infiltration Capacity of Soil in Relation to the Control of Surface Runoff and Erosion. Journal Am. Soc. Agron. 1955. pp. 336-345.

²PARKER, E.R. and JENNY. Water Infiltration and Related Soil Properties as Affected by Cultivation and organic Fertilization Soil. Ser. Go. 1954. pp. 353-375.

Smith¹, estudió la relación suelo-humedad-infiltración, concluyendo que el contenido inicial de humedad en el suelo, afectaba grandemente la rata de infiltración, además, el tipo de estructura del suelo especialmente en el horizonte B es de gran importancia, pues la disposición de los agregados determina el mayor o menor flujo del agua.

Hanks² concuerda con Israelsen en que la rata de infiltración alcanza un máximo al principio, cuando el agua es aplicada al suelo. Luego, a medida que los espacios porosos se van llenando, va decreciendo hasta alcanzar un mínimo.

Según Espinosa³, la filtración se verifica tanto por las paredes del canal, como por los taludes del mismo; las pérdidas por evaporación se llevan a cabo sobre la superficie libre de los canales principalmente, pero además a través de todas las superficies del canal humedecidas por las aguas, arriba del nivel de la superfi-

¹SMITH, W.O. The importance of Soil Geneses and Morphology in Infiltration. Trans A.M. Geophys. Union. 1949. pp. 353-360.

²HANSK, R.J. Estimating Infiltration from Soil Moisture Properties. Jour of Soil and Water Conservation. 1965. p.49

³ESPINOSA, Op. cit., p. 157

cie libre que asciende por capilaridad y tensión superficial a través de los poros del suelo. También sobre las hojas de la vegetación que se desarrolla sobre la superficie libre del agua y aquella que crece en los taludes.

Finalmente, la evaporación estimula la filtración que se verifica a través de los bordos, ya sea sobre zonas humedecidas de los taludes exteriores, o sobre la superficie libre del agua filtrada.

Israelsen¹, complementa diciendo que el rendimiento del transporte del agua se define como la relación entre la cantidad de agua extraída y la entregada, durante el mismo período de tiempo.

Una apreciación de estas pérdidas se puede tener en el caso de los 17 estados del oeste americano, que en 1940 disponían de 201.000 km. de canales. Se calcula que en los 110.000 millones de metros cúbicos de agua destinada al riego, el 38% se perdía entre el punto de extrac-

¹ ISRAELSEN, Orson y Hansen, Vaughn. Principios y Aplicaciones del riego. España, Reverte, 1975. pp. 91-95.

ción y el de entrega, teniendo como resultado un rendimiento del 62%. Este bajo porcentaje de rendimiento se debe en gran parte a las elevadas pérdidas por infiltración en canales no revestidos.

El ingeniero Pablo Bristain, citado por Prato¹, obtuvo para un grupo de 14 distritos del Bureau con 520.000 hectáreas, la siguiente información: en 1946, aprovechamiento del agua para riego: 58.5% pérdidas por conducción canales principales y canales de distribución: 30.7%, otras pérdidas: 10.8%.

Gozle, citado por Prato², obtuvo datos más recientes para el Bureau of Reclamations: Aprovechamiento en riego: 56.7%, pérdidas por conducción en canales principales y de distribución: 33.2%, otras pérdidas: 10.1%.

Finalmente, Erie en 1968, también citado por Prato³, anota como pérdidas por conducción en 22 distritos del Bureau un 37.6%.

¹ PRATO, Luis E. Determinación de las Pérdidas por Conducción en Canales de riego. Tolima. Sección de Hidrología Regional No. 9. Himat. Junio 1983.

² PRATO, Op. cit. p.9

³ Ibid, p.10

Así concluye, como puede verse, que las pérdidas por conducción pueden ser del orden del 80% y aún más, si el manejo es descuidado.

Prato¹, dice que la magnitud de las pérdidas por filtración depende, fundamentalmente de:

a) Características del material del lecho: materiales arenosos tienden a mayores pérdidas.

b) Tiempo de servicio del canal: al iniciar el funcionamiento, los canales están sujetos a mayores pérdidas que cuando llevan algún tiempo de funcionamiento, ya que algunas de las partículas transportadas por el agua se depositan sobre el canal, reduciendo la permeabilidad.

c) Tirante y velocidad del agua en el canal: es directamente proporcional al aumento de las pérdidas con el aumento del tirante, y contrario a la velocidad.

¹PRATO, Op. cit., pp. 1-5

d) Perímetro mojado del canal: a mayor perímetro mojado, mayor infiltración.

e) Niveles freáticos: cuando son altos, reducen el gradiente hidráulico del canal hacia las áreas vecinas, reduciéndose las pérdidas por infiltración, presentándose casos en que hay aportes de agua.

Las unidades más usadas para medir cantidades de agua, están dadas en volumen por unidad de tiempo, o sea, unidades de gasto.

En el sistema métrico las unidades de volumen más usadas son el litro y el metro cúbico; las unidades de gasto correspondientes son el litro por segundo y el metro cúbico por segundo.

Las pérdidas por conducción se expresan en tanto por ciento del volumen captado, al comienzo del canal, y también en volumen por unidad de tiempo por longitud teniendo como unidades de volumen metro cúbico y litro; unidad de tiempo, horas, minutos, segundos y días; unidades de longitud, metros, kilómetros.

Existen métodos directos e indirectos para evaluar pérdidas de infiltración.

Métodos Directos: (orificios, vertederos y aforadores).

Consiste en hacer aforos al comienzo y al final de un determinado canal o tramo del canal, representando las pérdidas, las diferencias entre los caudales.

Israelsen¹, dice que los tipos de orificios que se emplean más comunmente son:

- 1) Orificios de dimensiones fijas.
- 2) Orificios de dimensiones variables.
- 3) Cajas de pulgadas mineras.
- 4) Compuertas calibradas.

Los orificios de dimensiones fijas se emplean donde la altura del agua disponible es insuficiente para la instalación de vertederos.

Blair², refiere que los orificios de dimensiones variables son aquellos en los que el área de descarga puede modificarse a voluntad, con el fin de acomodar el área a los distintos caudales probables, sin que ocurra pérdida excesiva de agua. Las cajas de pulgadas mineras no

¹ISRAELSEN y HANSEN, Op. cit., p.103

²BLAIR, Op. cit., pp. 174-175

dan mucha seguridad en la medida. Además, define el término vertedero como una hendidura hecha en una pared transversal a la corriente. Según su forma, los vertederos se clasifican en rectangulares, triangulares y trapecoidales.

Israelsen¹ y Blair² concuerdan al comentar las ventajas y desventajas de los vertederos, diciendo:

Ventajas:

- a) Exactitud.
- b) Simplicidad y sencillez de construcción.
- c) No se obstruyen con moho y cuerpos flotantes.
- d) Duración.

Desventajas:

- a) Necesidad de grandes saltos de agua con considerable pérdida de altura, que hace su empleo impracticable en terrenos nivelados.
- b) Acumulación de sedimentos cerca de la cresta.

¹ ISRAELSEN y HANSEN, Op. cit., p. 116

² BLAIR, Op. Cit., pp. 177-180

Trueba¹, habla del aforador Parshall, aduciendo los problemas que representan los vertederos con el fin de contar con un dispositivo cuya precisión fuera la de un vertedor, pero donde no se tuviera el problema del sedimento. Dice que esta estructura fué la solución al problema, desarrollada por el ingeniero Ralph L. Parshall de la estación agrícola experimental de Colorado, USA., que desde 1920 continuó las investigaciones de su medidor Venturi, introduciendo unas modificaciones que le condujeron a producir una estructura completamente diferente, y la llamó "Conducto Medidor Ventury Mejorado", que luego fué cambiado a "Aforador Parshall".

Según éste autor, el aforador Parshall ha tenido grandes ventajas, entre las cuales podemos enumerar:

1. Fácil diseño y construcción barata.
2. Trabaja eficientemente aún teniendo variación en el gasto, ya que para gastos pequeños o grandes su determinación se hace con bastante exactitud. Cuando el aforador trabaja ahogado, el error no pasa del 5% y cuando trabaja en descarga libre, el error es menos del 3%.

¹TRUEBA, Coronel Samuel. Hidráulica. México. Continental. 1979. pp. 295-299

3. Es eliminado el problema del sedimento.

4. La velocidad de llegada no tiene influencia práctica mente en la determinación del gasto, y por lo tanto se puede prescindir de las cámaras de reposo.

5. La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las que se origina en otras estructuras.

Withers y Vipond¹, refiriéndose al aforador Parshall, dicen que también es conocido como Aforador Ventury, y que tiene la característica de causar poca pérdida en la cabeza, no hay acumulación de sedimentos, lo que le dá mucha precisión a las medidas, no es muy sensible a las velocidades del agua, pero sólo cuando es usado debidamente, en un canal recto y colocado en dirección a la corriente. La corriente cercana debe estar libre de olas, de cambios bruscos que causen turbulencia paralela a la línea central del aforador.

Alfaro², en su publicación editada por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (I.I.C.A.) Argentina,

¹ WITHERS Bruce y VIPOND Stanley. Irrigation Desing and Practice. Ballow Prece. 1980. pp.180-185.

² ALFARO, Op. cit., pp. 1-3.

dice que existen en la actualidad gran número de artefactos utilizados para aforar. Uno de los más conocidos es el Aforador Parshall, pero debido a su diseño relativamente complicado, su uso es restringido a los canales principales de obras o proyectos mayores de riego.

Lam¹, en su trabajo de tesis realizado en el Perú, tiene en cuenta el aforador Parshall como el de mayor exactitud, dándole un 1% como margen de error positivo o negativo.

Así, en forma general, diferentes autores coinciden en confirmar al aforador Parshall como uno de los más confiables. No obstante esto, los investigadores han concentrado su esfuerzo en la búsqueda de estructuras de más fácil construcción, igual exactitud y que puedan trabajar en todo tipo de canales.

Teniendo en cuenta esto, Alfaro² se refiere al "Aforador sin cuello", que ofrece las ventajas del aforador Parshall, además de una fácil construcción e instalación, y mayor economía.

¹LAM, Pastor Humberto. Pérdida de agua en Canales. Tesis. Ing. Agron. Lima, Perú. Universidad Agraria. 1965. pp.59-60.

²ALFARO, Op. cit. pp. 1-3.

Pino¹ dice lo mismo al referirse en el cuarto seminario de funcionamiento del aforador Balloffet, estructura que reúne características de gran importancia, como son: fondo plano y paredes paralelas, los cuales lo hacen extremadamente simple, a la vez que ofrece resistencia y robustez, además, el hecho de provocar escurrimiento crítico en la garganta, le crea la condición de no favorecer la sedimentación.

En resumen, concluye que el aforador Balloffet reúne condiciones por demás ventajosas, que lo acreditan como una de las estructuras más recomendables para ser instalado en los sistemas de riego.

Prato², Lam³, Instituto Colombiano de la Reforma Agraria⁴, trabajaron con el método de posas, consistente en observar la disminución de la lámina de agua que se

¹ PINO PEREZ, Santiago. Aforador Balloffet (Estructura Medidora de Caudales). Seminario Funcionamiento 40. HIMAT, Tolima. Memeografiado. pp. 2-6.

² PRATO, Op. cit., p.10

³ LAM, Op. cit., pp. 38-40½

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE LA REFORMA AGRARIA. Proyecto Roldanillo-Unión-Toro. Canales Terciarios. Bogotá, 1970. pp. 1-10.

produce, en un tiempo determinado, en un tramo del canal que se ha taponado en sus dos extremos, presentando el inconveniente de que se hace necesaria la interrupción del funcionamiento de los canales.

Otro método directo para la toma de caudales, es el de micromolinete, molinete o corrientómetro.

Trueba¹, dice que es el aparato más comunmente empleado, y que colocándolo en diferentes puntos de la sección de la corriente, permite conocer las diferentes velocidades en el canal.

Aclara que no todas las partículas tienen igual velocidad en la sección transversal de un canal, y ello es debido al efecto del rozamiento con el fondo y las paredes laterales, así como en menor grado, con la atmósfera.

Blair², comenta que el sistema de aforo consiste en dividir el cauce de aguas en varias secciones, para determinar la velocidad del agua en cada sección. La suma de los productos de las áreas parciales por la velocidad co

¹TRUEBA, Op. cit., p. 287

²BLAIR, Op. cit., p. 189.

rrespondiente a cada área, dará el gasto total del cauce.

Métodos Indirectos:

Prato¹ se refiere a los métodos indirectos, diciendo que estos métodos se basan en fórmulas que se han determinado empíricamente.

a) Fórmula de Ingham, Kennedy y Dexas.

Fórmula originada en la India.

$$DP = 0.53 CT^1/10^6 d^{\frac{1}{2}}$$

DP = pérdidas en m³/seg.

C = Coeficiente de valor medio 3.5

T = Ancho superficie libre de agua

l = Longitud del canal en metros

d = Tirante del canal

¹PRATO, Op. cit., pp. 6-8.

b) Fórmula de Davis y Wilson.

$$DP = 0.45 C \frac{P \cdot L \cdot d^{1/3}}{4000.000 + 3650}$$

DP = Pérdidas en m^3/seg .

P = Perímetro mojado

L = Longitud del canal en metros

d = Tirante del canal en metros

C = Coeficiente que depende de la clase de suelo, así:

MATERIALES	C
Revestimiento en concreto	1
Revestimiento de arcilla impermeable en capas de 15 cm de espesor	4
Suelo arcilloso	12
Suelo limo-arcilloso	25
Suelo arenoso	40

c) La fórmula más utilizada, la de Mortiz

$$DP = 0.0375 C Q^{1/2} / V^{1/2}$$

DP = Pérdidas $m^3/\text{seg}/\text{km}$ de canal

Q = Caudal m^3/seg

V = Velocidad m/seg

C = Coeficiente con los siguientes valores, según el
lecho del canal:

Franco arcilloso impermeable.	0.08 - 0.11
Franco arcilloso semipermeable sobre arcilla compacta a profundidad no mayor de un metro bajo la plantilla.	0.15 - 0.23
Franco arcilloso ordinario, limo, franco arcilloso con arena o grava, gravas cementadas, arcilla y arena.	0.23 - 0.30
Franco arenoso	0.30 - 0.40
Arenoso suelto	0.40 - 0.55
Arenoso con grava	0.55 - 0.75
Roca desintegrada con grava	0.75 - 0.90
Suelo con mucha grava.	0.90 - 1.80

Proin¹, en su informe 339-04 para el Instituto Colombiano de Reforma Agraria, refiriéndose a la recomendación para hacer el revestimiento de canales, cita al Bureau of Reclamations of the United States, que recomienda re-

¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE REFORMA AGRARIA. Proin Ltda. Medidas de las Pérdidas por Infiltración en Canales Principales. Informe 339-04. Distrito de Riego de Abrego. Bogotá, Noviembre 1970.

vestir canales, cuando las pérdidas por infiltración son mayores de $0.125 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$.

En toda inversión se debe hacer un análisis económico para conocer los beneficios que se obtienen de la inversión inicial, así que para la justificación económica del presente trabajo, se ha seleccionado como método de evaluación el valor presente neto (VPN) y/o la tasa interna de retorno, las cuales son definidas por Varela¹ de la siguiente manera:

Valor presente Neto (VPN): consiste en desplazar al período cero todos los ingresos y/o todos los egresos de cada alternativa o proyecto usando la tasa mínima de retorno.

Tasa Interna de Retorno: consiste en calcular el rendimiento del proyecto, medido como la tasa de retorno por período que recibimos a lo largo de los N períodos, sobre la inversión no amortizada.

Sólo la tasa de retorno indica exactamente el retorno que se está obteniendo sobre la inversión no amortizada. En cambio el valor presente, valor futuro y valor anual, sólo se indican si el retorno obtenido es menor o mayor que la tasa mínima.

¹VARELA, Rodrigo. Evaluación Económica de Alternativas Operacionales y Proyectos de Inversión. Cali, Universidad del Valle, División de Ingeniería. 1978. pp. 60-61

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. GENERALIDADES.

2.1.1. Localización.

El presente estudio se realizó en el Departamento del Valle del Cauca, en terrenos de propiedad del Ingenio Riopaila, localizado al norte del valle del río Cauca, a 140 kilómetros de la ciudad de Cali y a un kilómetro del poblado La Paila.

En este valle geográfico de 400.000 hectáreas, el cultivo predominante es la caña de azúcar, (Saccharum officinarum), con una extensión aproximada de 130.000 hectáreas.

La ubicación geográfica del Ingenio Riopaila es la siguiente:

Longitud: $76^{\circ} 02' W$

Latitud: $4^{\circ} 24' Norte$

Altura: 923 msnm

2.1.2. Clima.

Temperatura máxima: 31,3°C

Temperatura mínima: 19,3°C

Temperatura promedio: 25,3°C

Precipitación promedio anual: 1.247,5 mm

Humedad relativa promedio: 69.6%

Horas sol año: 2.165,5 horas

Evaporación anual promedio: 1.759,7 mm

Estos datos fueron obtenidos en la sección de meteorología del Ingenio.

2.1.3. Suelos.

Para complementar el estudio, se tomaron muestras de suelo en taludes y plantilla de cada tramo del canal aforado, con el fin de conocer la textura, la cual tiene una relación directa con la pérdida de agua (infiltración).

La toma de éstas muestras se hizo de la siguiente forma:

Plantilla: se tomó a una profundidad entre 0,80 m y 1,00 m, para evitar coger material de sedimentación.

Taludes: para tener una sección promedia, se tomaron

muestras a una profundidad de 1 m. El sitio de toma de las muestras se determinó de acuerdo a los resultados obtenidos al aforar el tramo en estudio con el micromolinete, cada 50 metros, siendo elegida la sección que mostrara alguna diferencia significativa en la disminución del caudal.

El análisis de las muestras se hizo en el laboratorio de suelos de la Universidad de Caldas; el método utilizado fué el de Bouyoucos (ver resultados en la Tabla 1).

Los análisis mostraron que los canales están contruidos en suelos franco limosos, siendo suelos medianos.

Las características de este tipo de textura son las siguientes: (según Buckman y Blady).

Porosidad total: 44.5%

Porosidad capilar: 37.5%

Permeabilidad lenta o moderada según cuadro:

Suelos	Permeabilidad
Arcilloso y franco arcilloso	Muy lenta
Limoso y franco arcilloso-limoso	De lenta a moderada
Franco arenoso	De moderada a rápida.

TABLA 1. Análisis de Propiedades Físicas del Suelo

Lugar	Arena%	Limo%	Arcilla%	Textura
Talud Derecho El Placer	34	51	15	Franco-limoso
Talud izquierdo El Placer	28	51	21	Franco-limoso
Plantilla El Placer	30	51	19	Franco-limoso
Talud derecho Zambrano T.1	20	54	26	Franco-limoso
Talud izquierdo Zambrano T.1	19	47	34	Franco-arcilla limoso
Zambrano plantilla T.1	20	54	26	Franco-limoso
Talud derecho Zambrano T.2	20	54	26	Franco-limoso
Talud izquierdo Zambrano T.2	20	60	20	Franco-limoso
Plantilla Zambrano T. 2	16	62	22	Franco-limoso
Talud derecho La Luisa	20	55	25	Franco-limoso
Talud izquierdo la Luisa	20	55	25	Franco-limoso
Plantilla La Luisa	20	55	25	Franco-limoso

2.1.4. Equipo.

El equipo utilizado en el presente trabajo, fué el siguiente:

Dos aforadores Balloffett

Gruas (Poclain y convencional)

Draga

Barrenos

Cronómetro

Estacas

Guaduas, polines

Tablas

Palas, nivel

Barra, pica

Plástico

Tres motobombas de 8"

Cuatro turbinas 10300 galones/minuto cada una

Micromolinete

Libreta y formularios de campo

Cinta métrica

Reglillas

Evaporímetro y pluviómetro

2.2. EVALUACION DE PERDIDAS POR INFILTRACION EN CANALES.

El objetivo principal del presente trabajo fué evaluar las pérdidas causadas por la conducción en los diferentes canales, y para ello se procedió de la siguiente manera:

- Toma aproximada de caudales con micromolinetete.
- Medida de los canales y selección de sitio de aforo.
- Selección del aforador.
- Diseño y construcción del aforador.
- Obtención de variables para análisis económico.
- Análisis económico.
- Conclusiones con base en los resultados obtenidos.
- Recomendaciones.

2.2.1. Selección de Aforadores y Sitios de Aforo.

Se eligieron los canales teniendo en cuenta su importancia y antecedentes con relación a las pérdidas en la conducción.

Los canales seleccionados fueron: El Placer, 5.656 metros
La Luisa, 3.017 metros, Zambrano, 2.500 metros.

El siguiente paso fué aforar con micromolinetete, midiendo previamente las secciones de los canales y en estos puntos se tomó la velocidad, con el fin de conocer caudales aproximados, dimensiones promedio del canal, sitios de mayores pérdidas y reconocimiento del canal. Con los resultados obtenidos, se determinaron sitios de aforo y se seleccionó el tamaño del aforador.

El procedimiento fué el siguiente:

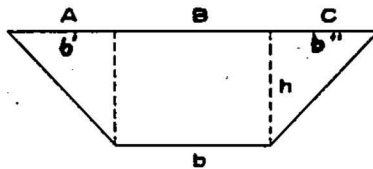


Figura 1

Se dividió el canal en tres secciones: A. B y C.

Se midió el tirante h , la plantilla b , y el ancho A más B. más C.

Se tomaron velocidades para cada una de las secciones A. B y C. (V_A , V_B y V_C), sumergiendo el bastón que sostiene la hélice hasta el 60% del tirante, obteniendo la velocidad promedio en cada una.

Conociendo las velocidades y el área en cada sección, se determinaron los caudales parciales, los que sumados dan el caudal total en el sitio de aforo.

Fórmulas Aplicadas:

Sección A forma un triángulo (ver figura 1)

Caudal = área x velocidad

$$Q_A = \frac{b' \times h}{2} \times V_A$$

Sección B forma rectángulo

Caudal = área x velocidad

$$Q_B = b \times h \times V_B$$

Sección C forma triángulo

Caudal = área x velocidad

$$Q_C = \frac{b'' \times h}{2} \times V_C$$

Caudal Total = $Q_t = Q_A + Q_B + Q_C$.

(Ver resultados Anexos 1 y 2).

2.2.2. Selección del Aforador.

Se eligió el aforador Balloffett por ofrecer ventajas como facilidad de construcción, exactitud, economía, trabajar en todo tipo de canales y además ofrecer garantías similares al aforador Parshall, que es de más fácil construcción.

A las ventajas expuestas, se une su funcionamiento hidráulico preciso, que responde a ecuaciones comprobadas basadas en principios generales de la hidráulica, concluyendo que el aforador Ballofett, reúne condiciones por demás ventajosas que lo acreditan como una de las estructuras medidoras más recomendadas para ser instaladas en sistemas de riego.

2.2.3. Diseño y Construcción de los Aforadores.

El aforador consta de: fondo plano completamente horizontal, una entrada de paredes verticales y paralelas, garganta cuyo inicio tiene una sección de acceso debidamente calculada, y la garganta en sí, formada por dos paredes paralelas y perpendiculares.

Dimensiones: (Ver plano).

Las dimensiones del aforador se expresan en función del ancho B de la sección de acceso.

Longitud total del medidor:	3 B
Longitud de la sección acceso:	2 B
Longitud de la sección contraída:	b
Ancho de la sección acceso:	B
Ancho de la sección contraída(b):	r B

Relación de contracción (r)	b/B
Altura máxima	2 B
Radio de curvatura	$\frac{(1 - r)}{2} \times B$

La escala se localiza a una distancia B antes de la garganta.

Para seleccionar las medidas del aforador se tuvieron en cuenta los caudales y medidas obtenidas en el trabajo preliminar.

Teniendo gastos entre 500 y 1.200 litros/segundo y dimensiones de plantilla entre 1 m y 1,5 m, se eligió el ancho de entraba (B) de 1,08 m, por ser apropiado para las dimensiones de los canales, capacidad para medir los caudales requeridos, y por cumplir la condición de que al aplicar la relación de contracción tanto la garganta como los dos abultamientos que la forman queden con dimensiones expresadas en números redondos, para facilitar la construcción.

Los aforadores fueron contruidos en los talleres del Ingenio Riopaila. El material de construcción fué lámina de $\frac{1}{4}$ de pulgada, con refuerzos en platina de $1\frac{1}{2}$ pulgada por $\frac{3}{8}$ de pulgada. El peso aproximado de cada a-

forador es de 600 kilos. (Ver medidas y especificaciones en plano y las fotos 1 y 2).

2.2.3.1. Calibración de los Aforadores:

Para comprobar que los aforadores medían correctamente el caudal, se hizo la calibración por comparación con aforadores de las mismas dimensiones que fueron construidos por el Instituto Colombiano de Hidrología Meteorológica y adecuación de Tierras (HIMAT) y se encuentran funcionando en el Distrito de Riego de Rio Recio, en la localidad de la Sierra, Departamento del Tolima. El procedimiento fué el siguiente:

Se dividió el ancho de entrada del aforador que es de 1.08 m en secciones de 0.10 m. En cada una se tomó una velocidad puntual, sumergiendo el micromolinetete hasta el 80% y 20% para obtener una velocidad media en la vertical que multiplicada por el área de cada sección dá el caudal parcial de cada sección. La sumatoria nos dió el caudal total. (Ver anexos 3,4,5,6 y 7)

Con los resultados, encontramos un error entre 5% y 6%, porcentaje que está dentro del rango de error permisible, ya que según la literatura, el aforador se considera trabajando correctamente hasta con un 10% de error



FOTO 1. AFORADOR BALLOFFET, VISTA DE FRENTE.



FOTO 2. AFORADOR BALLOFFET, VISTA LATERAL

Curva de calibración (Ver gráfico 1), tabla de caudales calculados por la fórmula $1.23 \times 1.08 h^{3/2}$ (Ver Tabla 2).

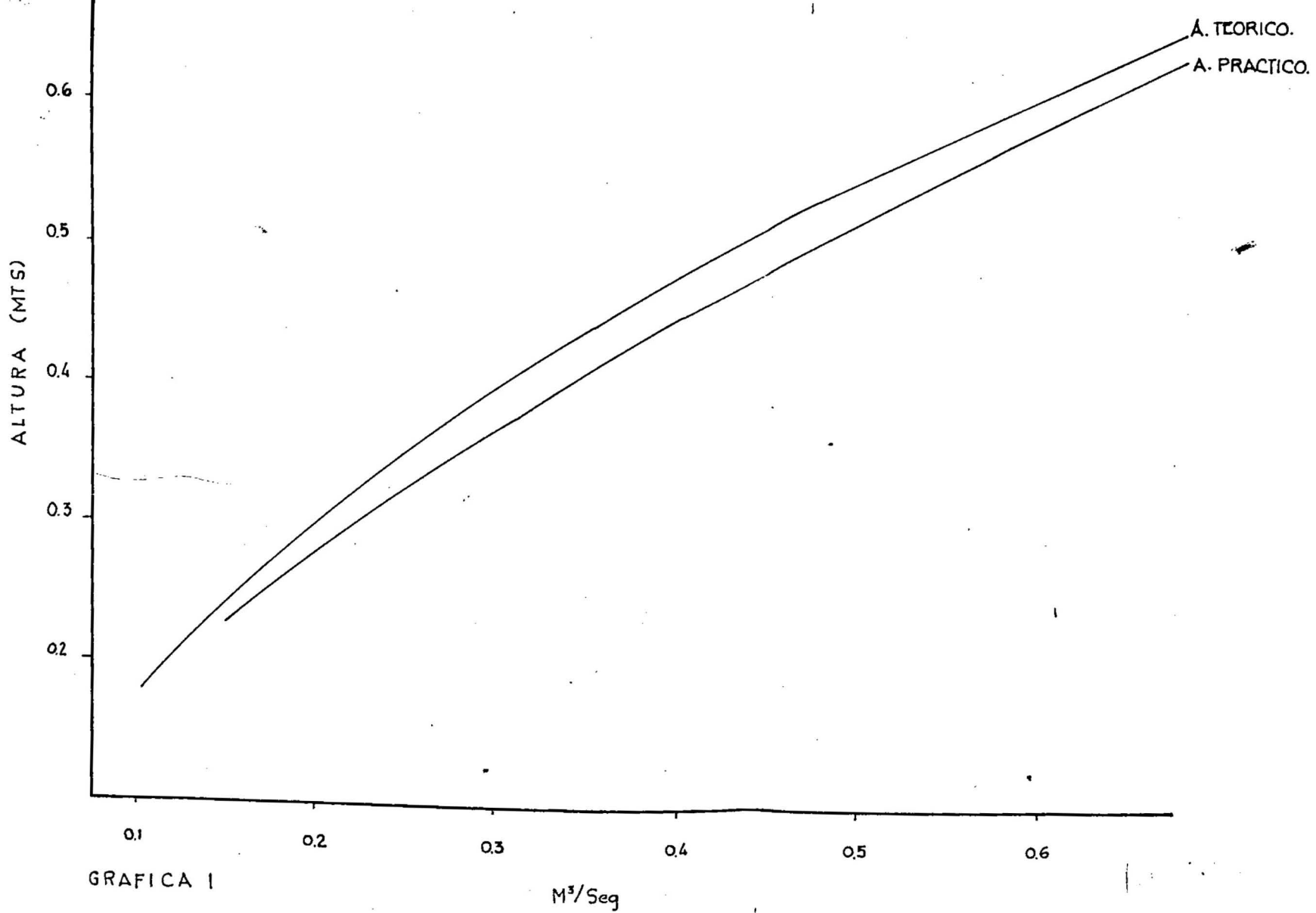
2.2.4. Descripción General del Ensayo:

Los aforadores se instalaron en sitios y distancias previamente establecidos.

Dada la mínima pendiente de construcción que tenían estos canales (entre 0,44 y 1,5 por 1.000), y de acuerdo a la revisión de literatura, se hizo necesaria la construcción de soportes que elevaran los aforadores del piso, para así lograr que trabajaran con flujo libre, condición indispensable para su funcionamiento correcto.

Cada aforador se montó sobre dos soportes, los cuales se construyeron de la siguiente forma:

Se cortaron guaduas de un metro de largas y se enterraron 0,70 m, para así tener una altura de 0,30 m del piso del canal. Las guaduas se unieron con tablas cubiertas con plásticos, llenando los espacios con tierra pisada, para lograr impermeabilidad, evitando fugas que pudieran alterar los resultados.



GRAFICA 1

CURVA DE CALIBRACION DEL AFORADOR "Balloffet"

TABLA 2. Tabla de conversión de Niveles (cm) a Caudales (l/seg). Medida 1.08 x 0.72 m
Hasta 1.000 litros.

Niveles	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0000.0	001.3	003.7	006.9	010.6	014.8	019.5	0.24.6	030.1	035.8
10	042.0	048.4	055.2	062.2	069.6	077.2	085.0	093.1	0101.4	0110.0
20	0118.8	0127.8	0137.1	0146.5	0156.2	0166.1	0176.1	0186.4	0196.8	0207.4
30	0210.3	0229.3	0240.5	0251.8	0263.3	0275.1	0286.9	0298.9	0311.2	0323.5
40	0336.1	0348.7	0361.6	0374.6	0387.7	0401.0	0414.4	0428.0	0441.8	0455.6
50	0469.7	0483.8	0498.1	0512.5	0527.1	0541.8	0556.7	0571.7	0586.8	0602.0
60	0617.4	0632.9	0648.5	0664.2	0680.1	0696.1	0712.2	0728.5	0744.8	0761.4
70	0778.0	0794.7	0811.5	0828.5	0845.6	0862.8	0880.1	0897.5	0915.1	0932.7
80	0950.5	0968.4	0986.4	1004.4	1022.7	1041.0	1059.4	1077.9	1096.6	1115.3

Fórmula $Q = 1.23 \times 1.08 h^{3/2}$.

38

También se tuvo la precaución de que los soportes quedaran completamente nivelados. (Ver foto 3)

Para movilizar e instalar los aforadores, se utilizó una grua convencional, excepto en el canal El Placer, donde se necesitó una grua especial "Palagrúa Poclair". Debido a la elevación del canal, se requería una pluma o brazo de mayor alcance. (Ver fotos 4 y 5).

Una vez colocados los aforadores sobre los soportes, se comprobó que quedaran nivelados tanto longitudinal como transversalmente, lo cual es requisito indispensable para el funcionamiento exacto de éstos. Ya instalados en su sitio, se construyeron trinchos a lado y lado del aparato. Estos se hicieron con tablas que formaban una pared hueca que luego se forró en plástico y se llenó con tierra pisada. Al llegar el agua, se observó que no hubiera fugas, y si las había, se procedió a taparlas para evitar errores. (Ver foto 6).

Los aforadores, al haber sido instalados sobre soportes y ser más angostos que el ancho total del canal, causarían represamiento, aumentando el tirante. Se construyeron trinchos con altura suficiente para evitar el desbordamiento del agua.



FOTO 3. CONSTRUCCION DE SOPORTES.



FOTO 4. GRUAS UTILIZADAS PARA EL MANEJO DE LOS AFORADORES.

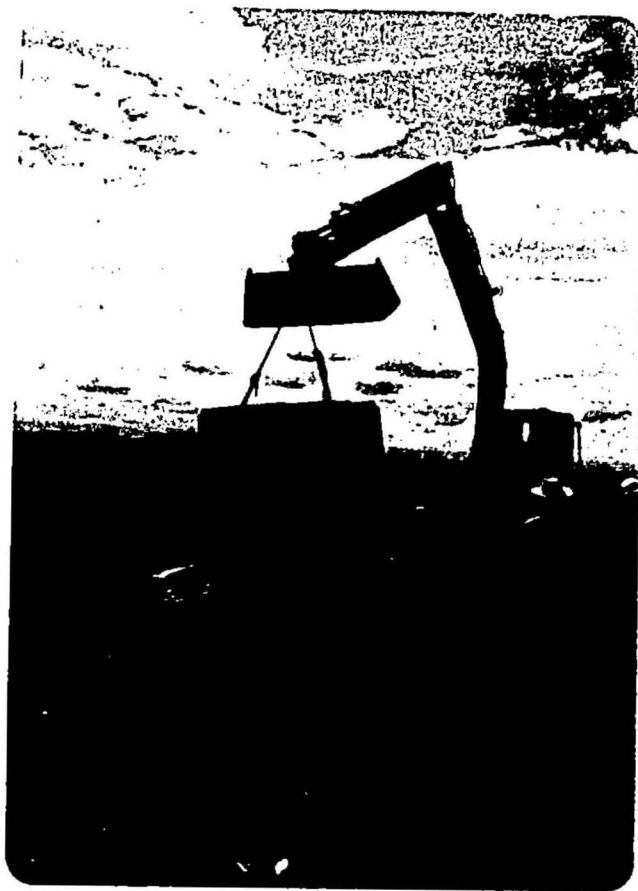


FOTO 5. GRUA POCLAIN TRABAJANDO.



FOTO 6. TRINCHOS PARA TAPONAMIENTO DEL AGUA.

Cuando ya estuvieron completamente instalados los aforadores, se empezaba el bombeo del agua esperando a que alcanzara un nivel estable.

La toma de datos se hizo a las 0, 1, 3, 6, 12, 18, 24, 36 y 48 horas; cada vez que se hizo una lectura, se tomó la velocidad del agua, obteniendo el tiempo que demora en llegar el agua que pasó por el primer aforador al segundo, buscando con esto medir siempre el mismo volúmen de agua. Luego se hizo la lectura de cabeza en el aforador de entrada, se dejó transcurrir el tiempo necesario y se leyó la carga en el aforador de salida.

Para obtener el tiempo se utilizó la fórmula:

$$V = S/T$$

$$T = S/V, \text{ donde:}$$

T = tiempo en segundos

S = espacio en metros

V = velocidad m/seg

Para calcular el caudal, se aplicó la fórmula obtenida por Balloffet:

$Q = C \times B h^{3/2} = 1,23 \times B \times h^{3/2}$, donde:

Q = caudal l/seg.

C = constante cuyo valor es 1,23

B = ancho entrada del aforador

h = altura en cms. de la escala (carga).

Durante el tiempo de aforo se tomaron datos de evaporación, precipitación y nivel freático, para ser tenidos en cuenta en las pérdidas totales y como complemento del trabajo; ayudando, también para, las recomendaciones finales de cada uno de los sectores estudiados.

2.2.5 Descripción del Ensayo por Canales:

2.2.5.1 Canal El Placer:

Longitud: 5.656 metros

Dimensiones: Plantilla 1,1 metros

Tirante 0,5 - 0,6 metros

Ancho 2,1 - 2,3 metros

Construcción del Canal: con material removido.

Fuente de Agua: el agua es bombeada por dos turbinas, con capacidad de extracción de 10.300 galones por minuto cada una, las cuales toman el agua del río Cauca. En este ensayo se trabajó con una turbina.

Estado del canal: el canal presentaba en el momento del ensayo una capa de sedimentos entre 0,20 metros y 0,30 metros. Se observó la presencia de hormigas arrieras en los bordes del canal. En general, la sección del canal está libre de malezas, observándose en las orillas la presencia del pasto puntero (Hyparrhenia rufa), coquito (Cyperus rotundus), lengua de vaca (Rumex sp.), pasto argentina (Cynodon dactylon), cadillo (Desmodium sp.) y pasto india (Panicum maximun). El canal se encontraba húmedo.

Los aforadores fueron instalados así: el primero a 1.270 metros, el segundo a 1.870 metros de la estación de bombeo, respectivamente. Teniendo una distancia de 600 metros entre aforadores. Este tramo se seleccionó teniendo en cuenta datos preliminares donde se observaron pérdidas altas hasta los 2.100 metros, a pesar que en adelante las pérdidas aumentaron, pero en menor porcentaje, la distancia de 600 metros se eligió tratando de obtener un tramo lo más recto posible. (Ver anexo 1).

Se tomaron datos a las 0, 1, 3, 6, 12, 18, 24, 36 y 48 horas, siendo la hora cero el momento en que el flujo del canal se estabilizaba. Los datos se tomaron teniendo la carga hidráulica de entrada y salida, separadas dichas tomas por el tiempo que demora el agua en recorrer la distancia entre los dos aforadores.

Para poder tener un flujo libre en los aforadores, fué necesario abrir las compuertas de derivación que estaban más cerca del segundo aforador, debido a que la poca velocidad del agua en el canal estaba causando sumergencia. Este inconveniente se tuvo en cuenta en adelante, teniendo la precaución de que cada vez que se hizo una lectura se comprobó que los aparatos trabajaran con flujo libre. Además, buscamos la forma de evacuar completamente el agua del canal después de pasar por el segundo aforador, logrando así que el caudal se mantuviera constante. (Ver Anexo 8 y Gráfica 3) Para el nivel freático se hicieron cateos cada 20 metros (Ver Gráfica 2). El cual a esta distancia estaba a 0.50 metros disminuyendo al ir avanzando del canal.

2.2.5.2. Canal Zambrano. Tramo 1.

Longitud total: 2.500 metros

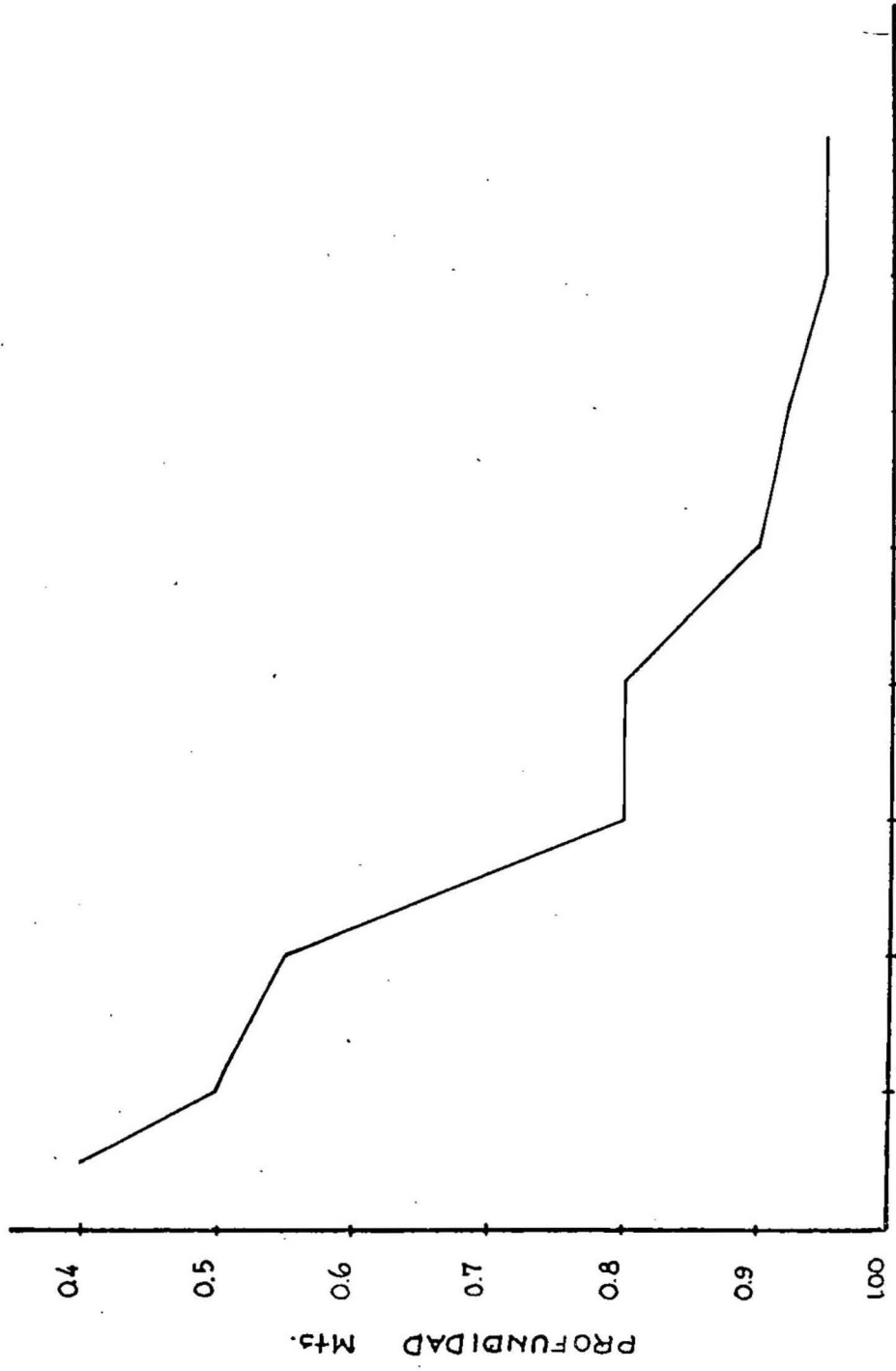
Dimensiones: Plantilla 1,05 metros

Tirante 0,25 - 0,30 metros

Ancho total 1,65 metros

Construcción del canal: material removido

Fuente de agua: dos motobombas de ocho pulgadas extraen el agua del río Cauca.



ANEXO I. NIVEL FREÁTICO DE MERCUR EN EL PUNTO DE MUESTREO N.º 1.

"EL PLACER"

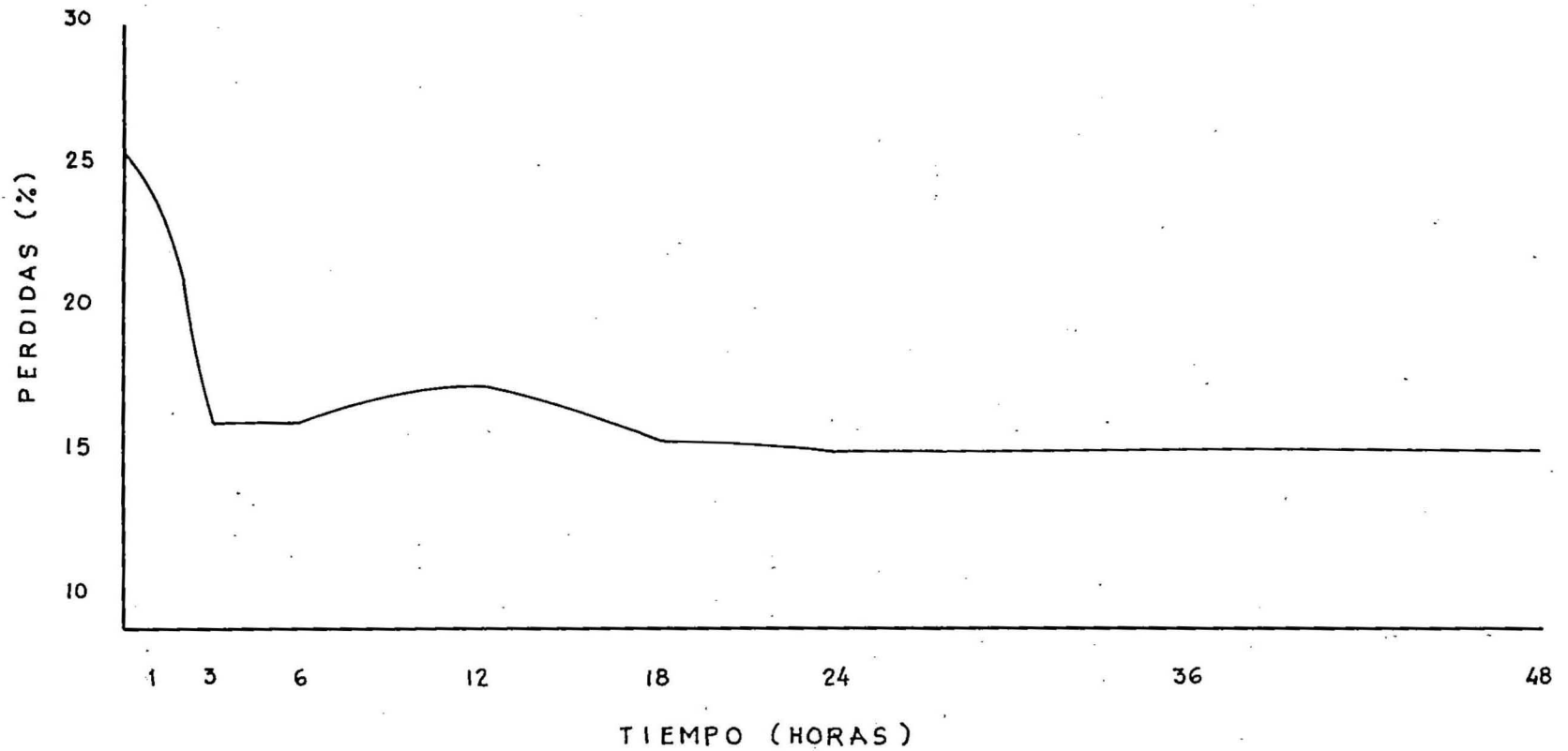


GRAFICO 3

CANAL EL PLACER

PERDIDAS POR INFILTRACION VS. TIEMPO.

NIVEL FREÁTICO "EL PLACER"

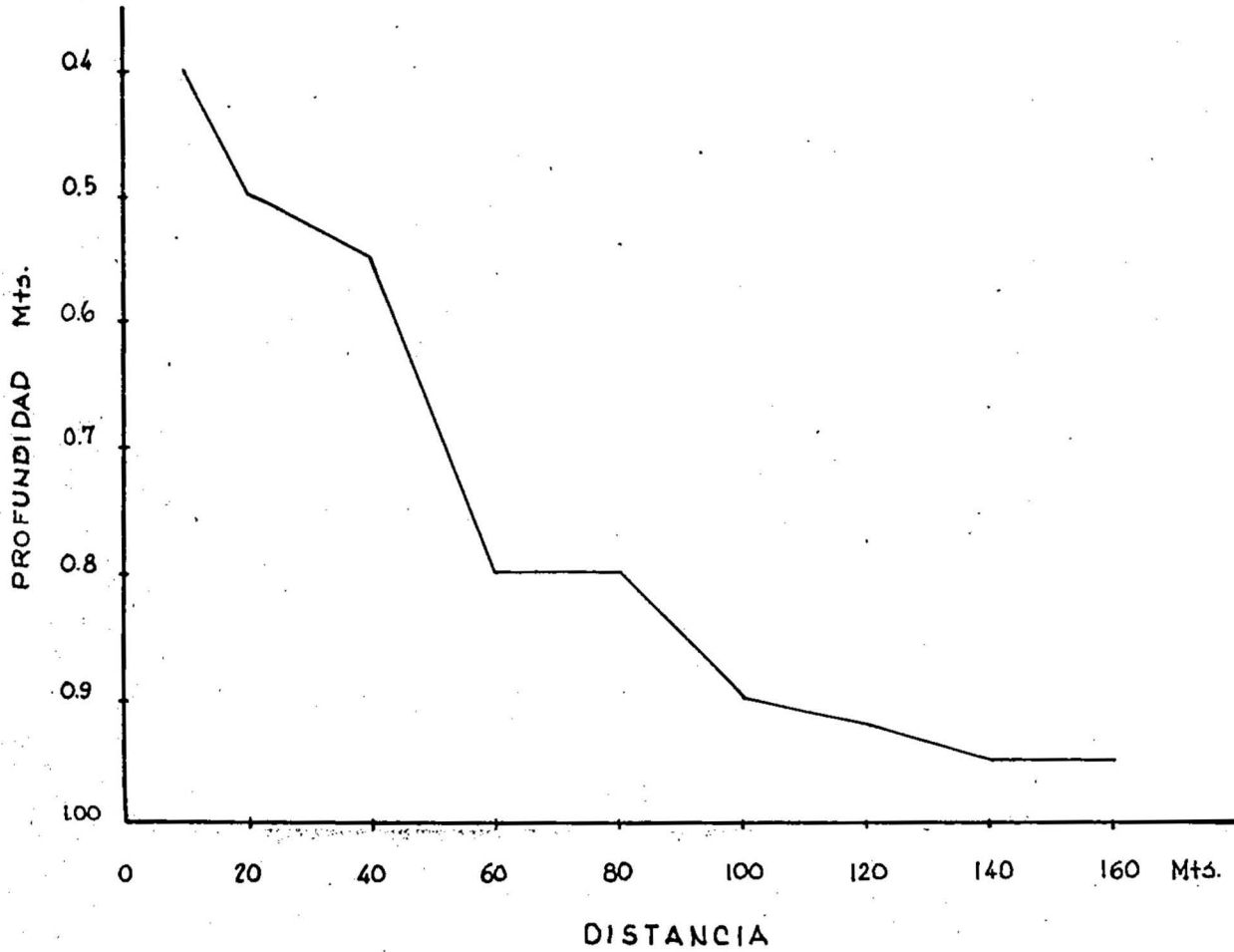


GRAFICO 2

NIVEL FREÁTICO - ZONA ALEDAÑA AL CANAL " EL PLACER "

Estado del canal: se encontraba seco y cuarteado en sus taludes: el agua había sido suspendida dos semanas antes. En los taludes había infestación de malezas, entre ellas: pasto Argentina (Cynodon dactylon) en mayor porcentaje; Coquito (Cyperux sp.), Cadillo (Desmodium) sp. Los aforadores se instalaron así: el primero a los 50 metros, el segundo 750 metros de la salida del agua respectivamente, teniendo una distancia de 700 metros entre aforadores.

Este tramo se escogió debido a que el canal había sido dividido en dos, así que en la primera parte estaba funcionando normalmente en riego, siendo la seleccionada como Tramo 1. Además, las características de esta sección son muy diferentes al resto del canal que se seleccionó como Tramo 2, y que estará fuera de servicio por determinación del personal administrativo del Ingenio, al observar dificultades para su buena utilización.

Se tomaron datos a las 0, 1, 3, 6, 12, 18, 24, 36 y 48 horas, teniendo en cuenta que se presentaran para las tomas las condiciones establecidas anteriormente.

En este canal hubo que derivar agua en el sitio de salida, de acuerdo con lo previsto antes: los aforadores producen un represamiento tal, que el caudal bombeado

por las motobombas se desborda del canal. (Ver Anexo 9 y Gráfica 4).

Para el nivel freático se hicieron cateos cada 20 metros, hasta los 100 metros. Nivel freático mayor a dos metros.

2.2.5.3. Canal Zambrano, Tramo 2.

Longitud total: 2.500 metros

Dimensiones: Plantilla 0,80 metros

Tirante 0,20 - 0,30 metros

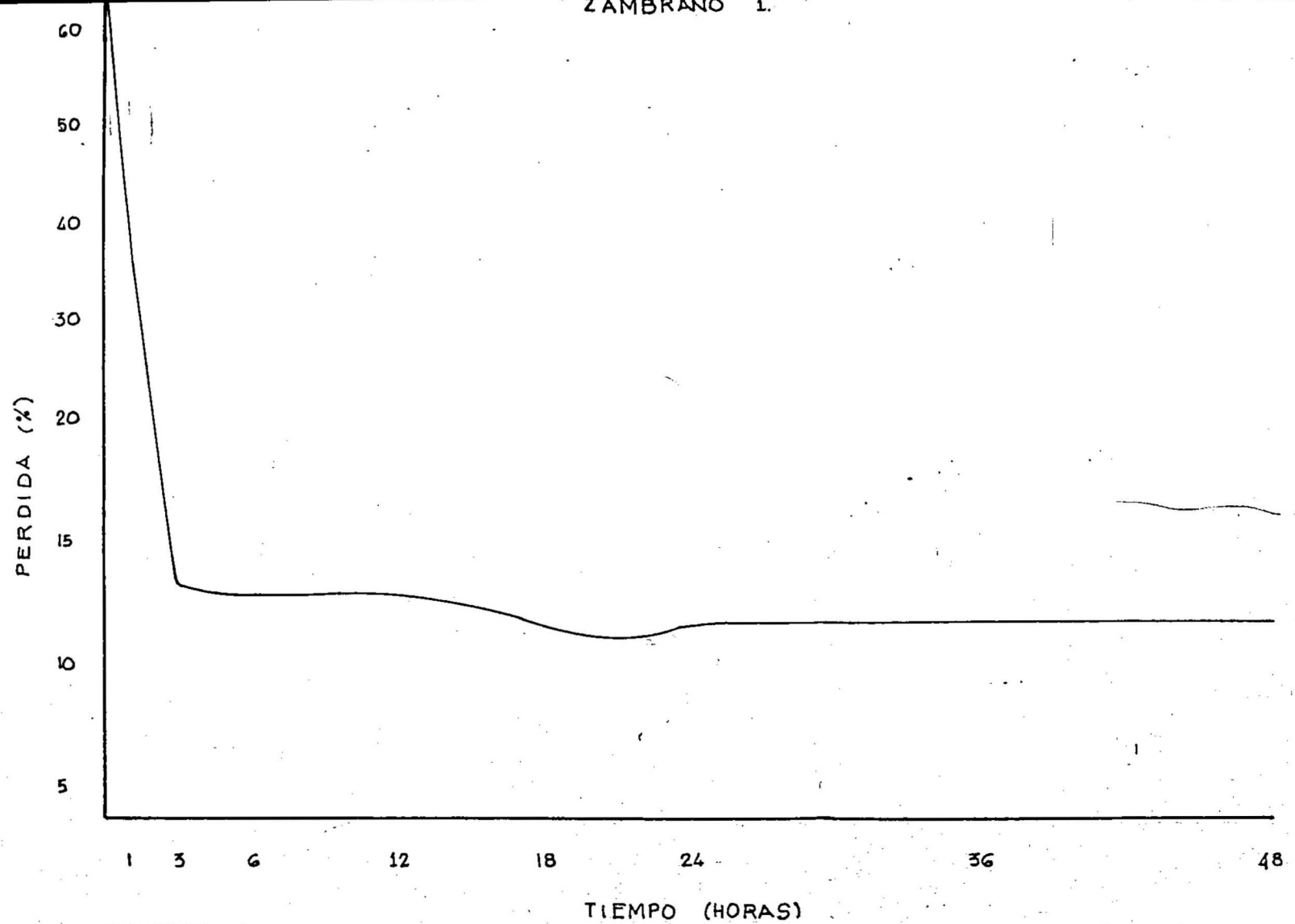
Ancho total 1,3 - 1,4 metros.

Construcción del canal: material removido.

Fuente de agua: dos motobombas de ocho pulgadas, que extraen agua del río Cauca.

Estado del canal: Este canal tenía dos años de no ser utilizado, debido precisamente a las grandes pérdidas producidas. Los taludes y la plantilla tienen gran cantidad de malezas, predominando el pasto Argentina (Cynodon dactylon), además de las descritas para el Tramo 1.

Los aforadores se instalaron el primero a 800 metros y



GRAFICA 4
CANAL ZAMBRANO TRAMO 1.
PERDIDAS DE INFILTRACION VS. TIEMPO.

el segundo a 1.500 metros de la entrada del agua, conservando una distancia entre aforadores de 700 metros; se empezó el bombeo y después de 36 horas, no había llegado agua al segundo aforador.

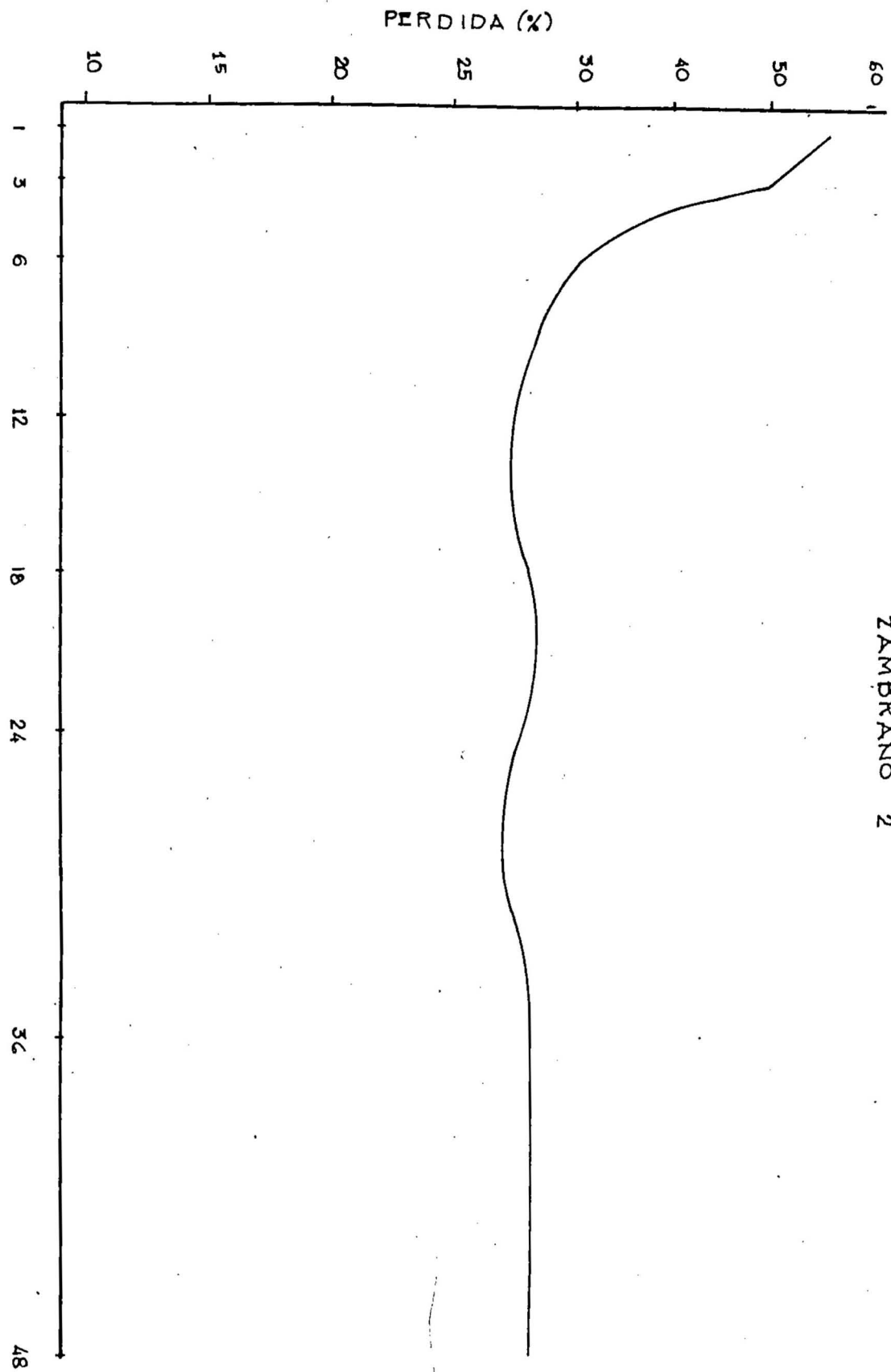
Ante esta situación, se recortó la distancia entre aforadores, corriendo el aforador dos a 1.350 metros, quedando una distancia entre los dos aparatos de 550 metros. Además de esto, se construyó un trincho de 50 metros antes del aforador dos, para producir un embalse y lograr de ésta forma una situación más acelerada.

Cuando el agua empezó a pasar por encima del trincho, se fué quitando éste gradualmente, hasta quedar libre nuevamente el canal y así empezar a hacer las lecturas.

El agua empezó a pasar por encima del trincho a las 22 horas, así que tomamos como las cero horas la hora 24, y los demás datos a las 25, 27, 30, 36, 42, 48, 60 y 72, tiempo que consideramos adecuado por no faltar sino 50 metros de canal para saturar y estabilizarse. (Ver Anexo 10 y Gráfica 5).

El nivel freático se tomó cada 20 metros, encontrándose a 0,60 m y disminuyendo bruscamente, pues a los 50 mts. éste ya estaba a más de 1,50 metros.

ZAMBRANO 2



GRAFICA 5
CANAL ZAMBRANO TRAMO 2
PERDIDAS DE INFLTRACION

TIEMPO (HORAS)

2.2.5.4. Canal La Luisa:

Longitud total: 3.017 metros

Dimensiones: Plantilla 1,40 metros

Tirante 0,5 - 0,6 metros

Ancho 2,4 - 2,6 metros

Construcción del canal: Aproximadamente 2.000 metros con material removido, el resto en tierra firme.

Fuente de agua; dos turbinas de 10.300 galos/minuto cada una, que extraen agua del río Cauca.

Estado del canal: este canal está revestido hasta los 1.600 metros. En adelante, las secciones del canal son irregulares y se encuentran muy enmalezadas de gramalote (Paspalum sp.) principalmente, la cual está causando grave problema. Al disminuir la velocidad del agua en el canal, reduciéndola al mínimo.

Otras malezas que se encontraron en menor porcentaje: Junco (Junco sp.), Cadillo (Desmodium sp.) y Argentina (Cynodon dactylon).

Se observó sedimentación de arenas y arcillas, encontrando capas muy gruesas de hasta 0,50 metros de espesor.

Los aforadores se instalaron, el primero a 1.600 metros el segundo a 2.250 metros de la estación de bombeo, respectivamente, teniendo una distancia entre aforadores de 650 metros.

El tramo donde se efectuó el aforo fué seleccionado por ser la parte que presentaba menos curvas y mayor velocidad, pues al final del canal, ésta es mínima y dificulta el buen trabajo de los aforadores. En éste canal no fué posible construir los soportes en guadua, debido al problema de sedimentos y el de no poder drenar completamente el canal por la poca velocidad, disminución causada por las malezas acuáticas, irregularidad de los taludes, sedimentos, formando un represamiento, ya que no llega la cantidad de agua necesaria para alimentar la turbina del rebombeo; así que los soportes se hicieron con bloques de madera de 0,30 metros por 0,30 metros por 2,30 metros, el resto del montaje se hizo igual que en los canales anteriores.

El bombeo se inició trabajando con turbina y media aproximadamente, de acuerdo a comentarios hechos por los operadores de las estaciones que han comprobado que es necesario trabajar así para que la estación de rebombeo trabaje al menos con una turbina, hecho éste que nos llevó a comprobar el mal funcionamiento del canal, obser

vando que:

-El agua bombeada de más, no se pierde en su totalidad, sino que se acumula, demostrando que la velocidad sí es disminuída por causas ya comentadas.

-El caudal llega tan lento, que si se trabajara con una turbina de bombeo y una de rebombeo, la segunda no se abastecería normalmente, teniendo que parar a intervalos esperando que aumente el nivel.

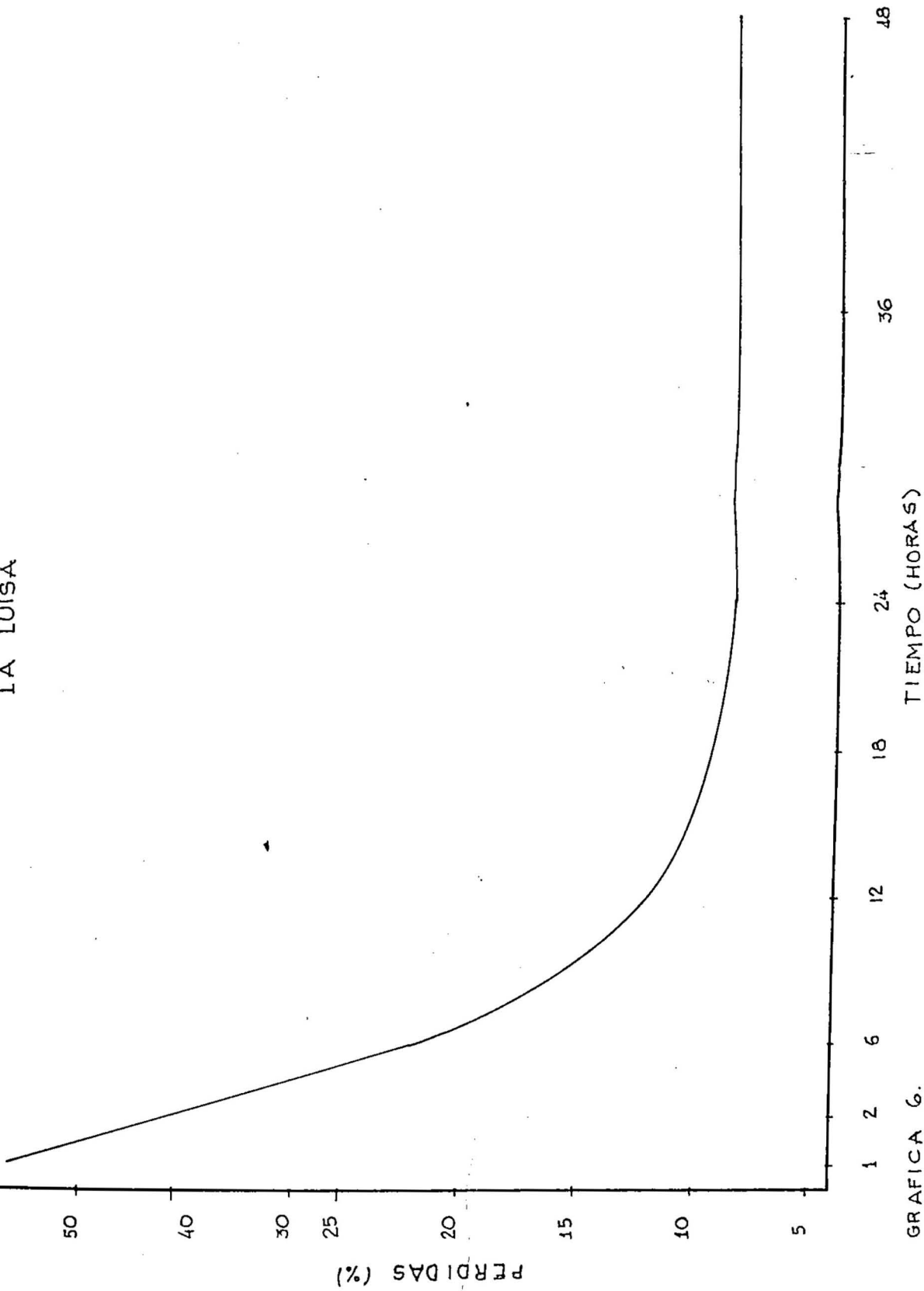
-Para el caso de ensayo, se empezó con turbina y la otra con estrangulamiento, pero al observar el represamiento, fué necesario disminuir el bombeo hastadejar funcionando una turbina y un cuarto de la capacidad de la otra, para evitar que los aforadores quedaran trabajando sumergidos teniendo como consecuencia que la turbina de rebombeo trabajó con un nivel muy crítico y como el canal se estabilizó rápido, se tomaron datos sólo por 36 horas. (Ver Anexo 11 y Gráfica 6).

El nivel freático es mayor de dos metros.

2.2.6. Análisis Económico:

El análisis se hizo basado en el archivo estadístico de

LA LUISA



GRAFICA 6.
CANAL "LA LUISA"
PERDIDAS DE INFILTRACION. VS. TIEMPO.

Contabilidad del Ingenio Riopaila S.A.

Para realizar éste trabajo se tomaron los datos de costos para el año 1982, con el fin de que éstos fueran representativos de un año de trabajo.

Para conseguir estos datos, fué necesario buscar en los archivos todas las cuentas que tuvieron que ver en una u otra forma con las estaciones de bombeo y los canales de riego objeto de éste estudio.

Las cuentas analizadas fueron:

CUENTA NUMERO	NOMBRE
1609101	Mantenimiento de diques
1607104	Suministro de agua por bombeo de estaciones fijas
1609203	Mantenimiento de canales de riego
1609205	Mantenimiento de estaciones fijas
1606202	Control químico de canales.

Cada una de éstas cuentas está formada por las siguientes subcuentas:

- a) Salarios y prestaciones.
- b) Maquinaria.
- c) Materiales.
- d) Otros.

Cada estación tiene su número de sector, así:

Sector 06: La Luisa

Sector 08: El Placer

Sector 18: Zambrano

Para cada cuenta, se tienen los siguientes datos:

- Salarios: Jornales pagados durante el año 1982, más el 95% que representan las prestaciones sociales. (Ver Anexo 13).
- Maquinaria: Costo horas de trabajo de cada equipo utilizado.
- Materiales: Costo del total de los materiales empleados.
- Otros: Se incluyen los costos de agua y luz, ya que en ésta cuenta figuran los valores pagados a la Corporación Autónoma del Valle del Cauca (C.V.C).

Para calcular estos valores, se tomó el costo unitario

durante el año 1982, así:

Agua: \$ 20 = 1/seg/mes

Luz: \$ 3,1 = Promedio año KW hora. (Ver tabla 3)

El valor de lo ahorrado en mantenimiento al revestir los canales resulta de restar de los costos totales, la suma de los costos variables que se mantienen con revestimiento; estos son: suministro de agua de estaciones fijas, mantenimiento de estaciones fijas, valor del agua, valor de la luz y la amortización anual de la inversión inicial. Eliminandose las cuentas de mantenimiento de diques mantenimiento de canales de riego y control químico de canales.

El área total a revestir se calculo teniendo en cuenta las dimensiones del canal (tomando el tirante normal de trabajo), aumentando un 25% al tirante como margen de seguridad para posibles aumentos de cauda; aumentando 0.30 m. para los canales del Placer y La Luisa y 0.20 m. para el canal Zambrano. (Ver anexo 12).

Para hallar el área de cada canal se empleó la siguiente formula:

$$A = P \times L$$

Donde: A = Area (M^2) L = Longitud total (M)

P = Perimetro (M)

Tabla 3. Costos de Mantenimiento 1962

Nombre Cuenta	Salarios y Prestaciones	Maquinaria	Materiales	OTROS	Total
LA ULMA - 06 -					
1607104: Suministro de combustible para estaciones fijas	21402.834.4			312.000	11967.175
1609101: Mantenimiento de diques	11777.952.4	415.336.92	11.245.21		
1609203: Mantenimiento de canales de riego	11602.225.5	388.241.54	234.272.96		
1609305: Mantenimiento de estaciones fijas	576.790.17	234.959.7	11272.75.4		
1605202: Control químico canales	245.223.56	170.959.52	107.502.57		
307-TOTAL	81407.929.64	1271.507.52	11996.050.74	312.000	11967.175
Amortización anual de la inversión					450.323
TOTAL					14'355.476

TABLA 3. (Continuación) Costos de Mantenimiento 1982.

Nombre Cuenta	Salarios y Prestaciones S.	Maquinaria	Materiales	Agua	Luz	Total
EL PLACER - 08 -						
1607104: Suministro agua por bomba estación fija	559.559			312.000.00	1'621.584.00	
1609101: Mantenimiento diques	87.887.35					
1609203: Mantenimiento canales riego	5'212.577.4	192.329.74	19.990.46			
1609205: Mantenimiento estaciones fijas	238.403.6	202.400.84	611.146.05			
1606202: Control químico	44.391.3	30.783.21	154.675.99			
SUB-TOTAL	6'142.813.65	425.513.79	785.812.5	312.000.00	1'621.584.00	9'287.728.94
Amortización Anual de la Inversión						152.865
TOTAL						9'440.593.94

TABLA 3. (Continuación) Costos de Mantenimiento 1982.

Nombre Cuenta	Salarios y Prestaciones S.	Maquinaria	Materiales	Agua	Luz	Total
ZAMBRANO - 18 -						
1607104: Suministro agua bombeo				130.000.00		
1609101: Mantenimiento diques	1'229.742.8	237.236.6	26.969.12			
1609203: Mantenimiento canales riego	983.045.23	9.062.55				
1609305: Mantenimiento estaciones fijas	96.680.6	181.490.64	4.360.60			
1606202: Control químico canales	85.762.3	42.298.82	39.194.43			
SUB-TOTAL	2'397.230.93	470.088.61	70.524.23	130.000.00		3'067.843.77
Amortización Anual de la Inversión						20.500
TOTAL						3'088.343.77

y;

$$P = b + 2 d \sqrt{Z^2 + 1}$$

Donde:

P = Perimetro (M)

b = Plantilla (m)

d = Tirante (m)

z = Relación de taludes(en estos canales es 1)

El valor del revestimiento en concreto por metro cuadrado se hizo con información de contratistas, cotizando la obra teniendo en cuenta la ubicación del Ingenio (Ver anexo 12). El tipo de revestimiento para el estudio es en concreto, pero existen otros tipos menos costosos y de menor calidad.

La comparación del valor de las pérdidas causadas en la conducción, más lo ahorrado en mantenimiento, frente al costo de revestimiento, se hizo por el método de VPN (Valor Presente Neto) y de la TIR (Tasa interna de retorno), llevadas a 10 años.

Ya que cada canal se considera como un proyecto individual, al analizar las dos alternativas (revestimiento vs. canal en tierra) el VPN es el criterio que da a precios actuales las ganancias reales en cada canal a la tasa de inversión normal del Ingenio. Además se utiliza la TIR para que el

Ingenio haga sus comparaciones con la tasa de retorno de cada canal, frente a otras inversiones de la compañía.

Fórmula para el VPN: $VPN = VP \text{ de lo ahorrado} - \text{Costo de revestimiento.}$

$$\text{Siendo VP: } VP = A \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i}$$

VPN = Valor presente neto.

Donde: VP = Valor Presente

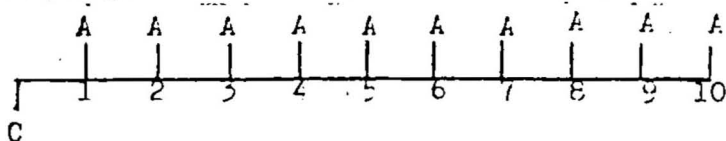
A = Ingreso anual

i = Interés de inflación anual en la empresa:
25%

n = Número de años.

La tasa interna de retorno es el resultado de aplicar la fórmula del VPN de lo ahorrado, frente al costo de revestimiento, para obtener la tasa de interés en los 10 años, sobre la inversión propia no amortizada.

El diagrama del flujo de fondos:



Donde:

C = Costo del revestimiento para 1982

A = Anualidades (Ingresos) para 1982

3. ANALISIS DE RESULTADOS

A cada uno de los canales tenidos en cuenta en el ensayo, se le hizo un estudio detallado, tanto de los resultados obtenidos en el campo, como de los datos económicos del mantenimiento tomados del archivo estadístico.

A continuación se explica detalladamente cómo se sacaron estos datos, para así interpretar los resultados que se presentan por cada canal:

- El cálculo de las pérdidas se presenta en porcentaje y en metros cúbicos por segundo, de acuerdo a caudales tomados en los aforadores.
- Como durante el ensayo los caudales no fueron los que normalmente se utilizan, se llevaron las pérdidas al caudal de trabajo permanente.
- El total de las pérdidas se obtienen multiplicando el porcentaje en metros cúbicos por segundo, por el número de horas que se bombea al año.

- El valor del agua en metros cúbicos por segundo, resulta de dividir los costos de mantenimiento entre el caudal bombeado durante el año.

- El valor del agua perdida es lo infiltrado en metros cúbicos al año, por el costo de metro cúbico.

- Para el análisis económico, al valor del agua perdida, se le sumó lo ahorrado en mantenimiento al revertir.

3.1. CANAL EL PLACER

Caudal bombeado en el ensayo	0.5868 m ³ /seg
Pérdida en porcentaje: 15,12%	0.0887 m ³ /seg
Caudal normal de bombeo	1.0382 m ³ /seg
Pérdidas totales en porcentaje: 15,12%	0.157 m ³ /seg
Horas de bombeo al año	3.504 horas
Volúmen bombeado al año	13'096.270.08 m ³
Pérdidas en volúmen al año	1'980.156.4 m ³

- Valor mantenimiento canal año	\$ 9'440.593.94
Valor del m ³ de agua	\$ 0.721
Valor agua perdida por año	\$ 1'427.692.5
- Valor del ahorro en mantenimiento al revestir	\$ 5'742.635.54
Valor del agua recuperada más lo ahorrado en mantenimiento al revestir (anual)	\$ 7'170.328.0
- Area total a revestir	23.818.55 m ²
Costo revestimiento por m ² (concreto)	995.76
Costo total del revestimiento	\$ 23'717.556.00
- VP del agua recuperada	\$ 5'098.289.92
VP del ahorro en mantenimiento	\$ 20'506.951.37
VP del agua recuperada, más lo ahorrado en mantenimiento	\$ 25'605.241.28
VPN	\$ 1'887.685.28
TIR de la Inversión	29.8%

3.2. CANAL ZAMBRANO.

3.2.1. Tramo 1.

Caudal bombeado en el ensayo	0.2237	m ³ /seg
Pérdida en porcentaje: 12.02%	0.0269	m ³ /seg
Caudal normal de bombeo	0.380	m ³ /seg
Perdidas totales en porcentaje 12.02%	0.0456	m ³ /seg
Horas de bombeo al año:	2.500	horas
Volúmen bombeado al año	3'420.000	m ³
Pérdidas en volúmen año	411.084	m ³

- Valor mantenimiento canal año \$ 3'088.343.77

Valor del m³ de agua \$ 0.903

Valor agua perdida por año \$ 371.208.85

Valor del ahorro en mantenimien
to al revestir \$ 2'653.311.8

Valor del agua recuperada, más
lo ahorrado en mantenimiento al
revestir \$ 3'024.520.6

- Area total a revestir 2.094.58 m²

Costo revestimiento por m²(concreto) 995.76

Costo total del revestimiento 1982\$ 2'085.700.5

VP de agua recuperada \$ 1'325.586.8

VP del ahorro en mantenimiento al revestir	\$ 9'474.976.4
VP del agua recuperada más el ahorro en mantenimiento	\$ 10'800.563.00
VPN	8'714.862.5
TIR de la inversión	148.2%

3.2.2. Tramo 2

Caudal bombeado en el ensayo	0.1711 m ³ /seg
Pérdida en porcentaje: 27,94%	0.0478 m ³ /seg
Caudal normal de bombeo	0.334 m ³ /seg
Pérdidas totales en porcentaje: 27.94%	0.093 m ³ /seg
Horas de bombeo al año:	2.500 horas
Volúmen bombeado al año	3'006.000 m ³
Pérdidas en volúmen al año	839.876,4 m ³

- Valor mantenimiento del canal

año	\$ 3'088.343.77
Valor del m ³ de agua	\$ 0.903
Valor del agua perdida por año	\$ 758.408.02
Valor del ahorro en mantenimien to al revestir	\$ 2'653.311.08
Valor del agua recuperada, más lo ahorrado en mantenimiento al revestir	\$ 3'411.719.8

- Area total a revestir	5.049 m ²
Costo revestimiento por m ² (concreto)	\$ 995.76
Costo total revestimiento	\$ 5'027.592.2
VP del agua recuperada	\$ 2'804.692.00
VP del ahorro en mantenimiento al revestir	\$ 9'474.976.40
VP de agua recuperada más lo ahorrado en mantenimiento	\$ 12'183.251.00
VPN	\$ 7'155.658.8
TIR de la inversión	70.5%

3.3. CANAL LA LUISA

Caudal bombeado en el ensayo	0.6399 m ³ /seg
Pérdidas en porcentaje: 8,48%	0.0537 m ³ /seg
Caudal normal de bombeo	1.0382 m ³ /seg
Horas de bombeo al año:	4.875 horas
Volúmen bombeado al año	18'220.800 m ³
Pérdidas en volúmen al año	1'545.123.8 m ³

- Valor mantenimiento del canal, año	\$ 14'355.490.75
Valor del m ³ de agua	\$ 0.788
Valor agua perdida año	\$ 1'217.557.59
Valor agua recuperada, más lo ahorrado en mantenimiento	\$ 8'555.487.64

Valor de lo ahorrado en mantenimiento al revestir	\$	7'337.930.05
Area total a revestir (1.417 metros)		6.390.67 m ²
Costo revestimiento m ² (concreto)	\$	995.76
Costo total revestimiento	\$	6'363.573.5
VP del agua recuperada	\$	4'347.890.00
VP del ahorro en mantenimiento al revestir	\$	26'203.748.2
VP del agua recuperada, más lo ahorrado en mantenimiento	\$	30'551.646.36
VPN	\$	23'213.716.31
TIR de la inversión		142%

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

4.1.1 El valor del agua perdida por sí sólo, no justifica el revestimiento en ninguno de los canales.

4.1.2 El revestimiento se justifica para todos los canales, teniendo en cuenta lo que disminuye en costos de mantenimiento, y el valor del agua recuperada.

4.1.3 En los tramos finales de los canales El Placer, Zambrano dos y la Luisa, el agua pierde velocidad, especialmente en éste último en donde el agua llega tan lenta que no abastece las turbinas de rebombado, teniendo que trabajar estas, sólo con el 50% de su capacidad.

4.1.4 En el canal Zambrano tramo 2, son tales las pérdidas, que el agua se ve salir por los taludes del canal. En estas pérdidas influye también la mínima pendiente que se le dejó durante la construcción.

4.1.5 La sedimentación que se presenta, causada en su mayor parte por la poca velocidad del agua en los canales no revestidos, se disminuiría al revestirlos. Además se evitarían daños costosos en los taludes y normal utilización de los terrenos adyacentes a los canales, al disminuir el nivel freático, pues se evitarían las pérdidas por infiltración.

4.1.6 El agua recuperada aumentará el caudal disponible para el riego en el Ingenio. Esto evita buscar nuevas fuentes de agua, como pozos profundos, o mayor número de estaciones de bombeo.

4.1.7 Las pérdidas por evaporación son despreciables en este tipo de canales, por ser poca la superficie libre.

4.1.8 Cuando los canales dejan de funcionar varios días y se inicia nuevamente el bombeo, se presentan pérdidas en todos los canales, mayores de 28%, las cuales, con las horas de funcionamiento llegan a estabilizarse así:

Canal El Placer	15.12%
Canal Zambrano Tramo 1	12.02%
Canal Zambrano Tramo 2	27.94%
Canal La Luisa	8.48%

4.1.9 Cuando los aforadores están instalados en el canal, hay variación en los tirantes de trabajo, pudiéndose incurrir en errores al aplicar fórmulas hidráulicas. (El aforador Balloffet permite un error máximo del 10%).

4.1.10 Las medidas de los canales son muy irregulares, debido a que en el largo tiempo de funcionamiento el agua ha erosionado taludes y plantilla, lo que dificulta tener medidas exactas del canal, y por consiguiente, obtener un caudal real con el micromolinetete.

4.1.11 El aforador Balloffet cumple con el objetivo de este tipo de trabajo.

4.1.12 Para el buen funcionamiento del aforador, hay que tener en cuenta las condiciones de instalación especificadas por su diseñador.

4.2 RECOMENDACIONES

4.2.1 Hacer un estudio del tipo de revestimiento más económico para la situación del Ingenio.

En este estudio se trabajó con el mejor (en concreto), el cual es el más costoso; pero como se puede observar en los resultados el valor presente del dinero ahorrado en los 10

años de vida del revestimiento, es mayor que el costo del revestimiento en todos los canales. También se nota esto viendo los altos valores del valor presente neto. Además la menor tasa de retorno de los cuatro canales es 29.9% la cual está por encima de las utilizadas en el mercado (que pueden ser de un 12%).

4.2.2 Hacer un estudio en el canal Zambrano, Tramo 2, del área que beneficia, para saber si es necesario este tramo de canal. Si el resultado es positivo, comprobar si el diseño inicial se cumple en el canal; principalmente revisar la pendiente.

4.2.3 Construir pozos sedimentadores en los canales la Luisa y El Placer, pues la cantidad de arena y arcilla sacada del río Cauca es muy grande, acumulándose en los canales, con los desarenadores se reducirá la entrada de éstos materiales al canal.

4.2.4 Comparar el valor del agua recuperada al revestir, frente al del agua obtenido por un pozo profundo con igual caudal, llevada a 10 años, para comprobar cual de las dos inversiones es más rentable para el Ingenio.

4.2.5 Tomar medidas de los canales donde se vayan a instalar, cuando éstos esten secos, y los tirantes me-

dirlos con caudales normales de funcionamiento antes
de colocar los aforadores.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Ingenio Riopaila S.A., con el fin de revisar las pérdidas de agua en los canales principales de riego, y analizar la justificación económica del revestimiento de los mismos.

Los canales estudiados fueron Canal El Placer, Canal Zambrano y Canal La Luisa.

Para la medida de las pérdidas se utilizó el aforador Balloffet.

La metodología utilizada consistió en aforar los caudales de entrada y de salida de un tramo escogido como representativo del total del canal, teniendo en cuenta el tiempo que demora en recorrer el agua, desde el primer aforador hasta el segundo.

Para la selección de éste tramo se hizo un estudio previo, aforando con micromolinete cada 300 m.

La selección del tamaño del aforador se hizo teniendo en cuenta los volúmenes de trabajo de los canales, los cuales están entre 500 y 1500 L/seg., y las dimensiones de cada canal, que están entre 0.80 m. y 1.40 m. de plantilla. Los aforadores fueron construidos en los talleres del Ingenio, los cuales quedaron con un peso promedio de 600 kilos.

La calibración de los aforadores se hizo comparándolos con otros aforadores de iguales dimensiones, instalados en el distrito de riego de Río Recio, en la localidad de la Sierra, Departamento del Tolima. Dando errores del 5 y 6% lo que permite su confiable utilización.

Según el análisis de suelos de los tres canales, podemos ver que todos se encuentran en condiciones muy similares, predominando los suelos Franco-Limoso.

El estudio económico se hizo teniendo en cuenta todos los costos relacionados con cada canal, para el año de 1982, cogiendo así un año completo, del cual se tenía la suficiente información en los archivos del Ingenio. Para la recomendación final del trabajo se tuvo en cuenta las siguientes variables: valor presente (VP) del costo del agua recuperada al revestir, valor presente del agua recuperada más lo ahorra al revestir, el VPN del proyecto y la tasa

interna de retorno (T.I.R.) de la inversión total.

En los canales de El Placer y La Luisa, se recomienda la instalación de desarenadores, debido a que los volúmenes de agua que transporta extraídos del río Cauca contienen grandes cantidades de arenas y arcillas, las cuales se van a acumular en el fondo de los canales, afectando las condiciones normales de funcionamiento.

El Canal Zambrano, tramo 2, una vez se compruebe su necesidad en el área que beneficia, se debe revisar su estado actual, ya que existen sitios con pendiente contraria.

El costo del agua recuperado durante los 10 años de vida del revestimiento, por si solo, no justifica el revestimiento en ninguno de los canales.

Los tres canales estudiados se recomienda revestirlos, teniendo en cuenta los beneficios por agua recuperada, más los costos ahorrados al revestir los canales ya que son mucho mayores que los costos del revestimiento. Dándose tasas de retorno de la inversión aun no amortizada por encima del 29% las cuales son muy favorables.

Con el revestimiento habrá además mejor aprovechamiento de la pendiente (mayor velocidad), se evitan problemas

de daños o derrumbes en el canal; con el agua recuperada hay posibilidad de sembrar más área y evitar otras fuentes de obtención del agua, como pozos profundos u otras estaciones de bombeo.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
COLOMBIA

BIBLIOGRAFIA

- ALFARO, F. José. Medidas de Agua en Canales por medio de Aforadores Sin Cuello. Santo Domingo, R.D. Subsecretaría de Recursos. Departamento de Tierras y Aguas. Noviembre 1980. 50p.
- AYERS, E.E. et al. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 2ed. México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 1963. 172p.
- BLAIR, Enrique F. Manual de Riegos y Avenamientos. Lima, Perú. Instituto Interamerica de Ciencias Agrícolas. 1959. 364p.
- BUCKMAN Y BLADY. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Barcelona. Montaner y Simón. 1977. 580p.
- ESPINOSA, Vicente Enrique. Los Distritos de Riego. México. Continental, 1976. 623p.
- HANKS, R.J. Estimating Infiltration From Soil Moisture Properties. Jour of Soil and Water Conservations. 1965. 180p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE LA REFORMA AGRARIA. Roldanillo-Unión-Toro. Canales Terciarios. Bogotá. Informe 074-02. 1970. 30p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE LA REFORMA AGRARIA. PROIN LTDA. Medidas de las Pérdidas por Infiltración Canales Principales. Distrito de Riego de Abrego. Bogotá. Informe 339-04. Noviembre, 1970. 26p.
- ISRAELSEN, Orson W. Principios y Practicas del Riego. España. Reverte. 1963. 344p.
- ISRAELSEN, Orson y HANSEN, Vaugh. Principios y Aplicaciones del Riego. España. Reverte. 1975. 396p.
- LAM, Pastor Humberto. Pérdida del agua en Canales. Te-

- sis Ing. Agric. Lima, Perú. Universidad Agraria. 1965. 82p.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. and PAULHAS, J. Applied Hidrology. New Jork. Mcgraw Hill Book Co. Inc. 1949. 309p.
- MUSGRAVE, C.W. The Infiltration Capacity of Soil in Relation to the Control of Surface Runoff and Erosión. Jour. Amer. Soc. Agron. 1955. 420p.
- PARKER, E.R. and JENNY. Water Infiltration and Related Soil Properties as Affected by Cultivation and Organif Fertilization Soil. Ser. Go. 1954. 450p.
- PICKELS, G.W. Drainage and Flood Control Ingeniering. New York. McGraw Hill. 2ed. 1941. 240p.
- PINO PEREZ, Santiago. Aforador Balloffet. Estructura Medidora de Caudales. Seminario Funcionamiento IV. Tolima. Mimeografiado. HIMAT.
- PRATO, Luis E. Determinación de las Pérdidas por Condución en Canales de Riego. Sección Hidrología Regional.
- SMITH, W.O. The Importante of Soil Geneses and Morphology in Infiltration. Trans. A.M. Geophys. Unión. 1949. 400p.
- TRUEBA, Coronel Samuel. Hidráulica. México. Continen tal. 1979. 455p.
- VARELA, Rodrigo. Evaluación Económica de Alternativas Operacionales y Proyectos de Inversión. Cali. Uni versidad del Valle, División de Ingeniería. Junio, 1978. 370p.
- WITHERS, Bruce an VIPOND, Stanley. Irrigation Design and Practice. Ballow Prece. 1980. 250p.

A N E X O S

ANEXO 1. DATOS PRELIMINARES. CAUDAL MEDIDO CON MICROMOLINETE. CANAL EL PLACER.

Punto de Aforo (m)	Ancho (m)	Plantilla (m)	Tirante (m)	V_1 m/seg	V_2 m/seg	V_3 m/seg	Caudal m/seg.
400	2.70	1.16	0.75	0.63	0.65	0.63	0.942
800	2.60	1.20	0.75	0.60	0.65	0.60	0.899
1300	3.00	1.20	0.75	0.50	0.53	0.50	0.813
1800	2.38	0.97	0.73	0.57	0.62	0.57	0.751
2300	2.98	1.00	0.81	0.45	0.45	0.45	0.725
2800	3.00	1.00	0.81	0.40	0.45	0.40	0.688
3300	3.00	1.10	0.84	0.35	0.40	0.35	0.647
3800	3.20	1.10	0.85	0.27	0.30	0.27	0.583
4300	3.25	1.15	1.07	0.12	0.15	0.12	0.543

83

ANEXO 2. DATOS DE VARIACIONES DE CARGA MEDIDAS CON MICROCHUBBETS. CAÑAL LA LUISA

Punto de Aforo (m)	Ancho (m)	Plantillo (m)	Tirante (m)	V ₁ m/seg	V ₂ m/seg	V ₃ m/seg	Caudal m/seg
200 Reventado	2.14	1.10	0.66	1.05	1.01	1.05	1.159
300 Reventado	2.20	1.10	0.64	0.9	1.0	0.9	1.020
2000 sin Revertir	3.80	1.00	1.20	0.3	0.30	0.30	0.878
2.000 sin Revertir	3.20	1.20	1.20	0.25	0.30	0.25	0.822

ANEXO 3. AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL. (m³/seg)

PA (m)	N	T (s)	NT	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.046	117	50	2.34	0.6148	0.6069	0.23	0.23	0.4046	0.25	0.0575	0.0232
0.184	114	50	2.28	0.5990							
0.046	121	50	2.42	0.6358	0.6279	0.23	0.23	0.6174	0.25	0.0575	0.0355
0.184	118	50	2.36	0.6200							
0.046	123	50	2.46	0.6463	0.6358	0.23	0.23	0.6318	0.25	0.0575	0.0363
0.184	119	50	2.38	0.6253			0.23	0.6266	0.25	0.0575	0.0360
0.046	120	50	2.40	0.6305	0.6174	0.23					
0.184	115	50	2.30	0.6043			0.23	0.4116	0.08	0.0184	0.0075
TOTAL:											0.1385

PA = Profundidad de Aforo
 N/T = Revoluciones por segundo
 PT = Profundidad total
 AP = Ancho parcial

N = Número de Revoluciones
 VP = Velocidad Puntual
 PM = Profundidad Media
 SP = Sección Parcial

T = Tiempo
 VMV = Vel. Med. en la Vert.
 VM = Velocidad Media
 CP = Caudal Parcial

Q Aforador = 0.1465
 Fecha: 17.10.83
 Caudal: 0.1385

A Molinete = 0.1385
 Velocidad Media: 0.5384

Error = 5.46%
 Ancho: 1.08

ANEXO 4. AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s)

Distancia desde P orilla	PA (m)	N	T (s)	N/T	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.10	0.11	190	50	3.80	0.9916	0.8246	0.53	0.53	0.4123	0.10	0.053	0.0219
	0.42	126	50	2.52	0.6575							
0.20	0.11	191	50	3.82	0.9968	0.8976	0.53	0.53	0.8611	0.10	0.053	0.0456
	0.42	153	50	3.06	0.7984							
0.30	0.11	191	50	3.82	0.9968	0.9942	0.53	0.53	0.9459	0.10	0.053	0.0505
	0.42	190	50	3.80	0.9916							
0.40	0.11	193	50	3.86	1.0072	0.9967	0.53	0.53	0.9954	0.10	0.0530	0.0528
	0.42	189	50	3.78	0.9863							
0.50	0.11	193	50	3.86	1.0072	1.0281	0.53	0.53	1.0124	0.10	0.053	0.0537
	0.42	201	50	4.02	1.0490							
0.60	0.11	201	50	4.02	1.0490	1.0203	0.53	0.53	1.0242	0.10	0.053	0.0543
	0.42	140	50	3.80	0.9916							
0.70	0.11	190	50	3.80	0.9916	0.9890	0.53	0.53	1.0047	0.10	0.053	0.0532
	0.42	189	50	3.78	0.98633							
0.80	0.11	152	50	3.04	0.7932	0.9106	0.53	0.53	0.9498	0.10	0.053	0.0503
	0.42	197	50	3.94	1.0281		0.53					
								0.53	0.8519	0.10	0.053	0.0452

93

ANEXO 4. (Continuación). AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s).

Distancia desde P orilla	PA (m)	N	T (m)	N/T	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.90	0.11	116	50	2.32	0.6053	0.7932	0.53	0.53	0.7149	0.10	0.053	0.0379
	0.42	188	50	3.76	0.9811							
1.00	0.11	85	50	1.70	0.4435	0.6366	0.53	0.53	0.3183	0.10	0.053	0.0169
	0.42	159	50	3.18	0.8298							

TOTAL SP: 0.583

TOTAL CP: 0.4819

PA = Profundidad de Aforo
 N/T = Rev. por segundo
 PT = Profundidad Total
 AP = Ancho Parcial

N = No. de Revoluciones
 VP = Velocidad Puntual
 PM = Profundidad Media
 SP = Sección Parcial

T = Tiempo
 VMV = Vel. Med. en la Vert.
 VM = Velocidad media
 CP = Caudal Parcial

Q Aforador = 0.5125
 Fecha: 17.1083
 Caudal: 0.482

Q Molinete = 0.4819
 Velocidad Media: 0,827
 Nivel Inicial: 0,53

Error = 5,97%
 Ancho: 1,08

ANEXO 5. AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s)

Distancia desde PR	PA (m)	N	T (s)	N/T	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.25	0.12	197	50	3.94	1.0351	0.9456	0.67	0.60	0.6304	0.25	0.150	0.0945
	0.48	163	50	3.26	0.8561		0.67					
0.50	0.12	200	50"	4.00	1.0509	1.0351	0.67	0.60	0.9904	0.25	0.150	0.1485
	0.48	194	50"	3.88	1.0194			0.60	1.0548	0.25	0.150	0.1582
0.75	0.12	201	50	4.02	1.0561	1.0745	0.67	0.60	0.9957	0.25	0.150	0.1493
	0.48	208	50	4.16	1.0929			0.60	0.6112	0.08	0.048	0.029
1.00	0.12	153	50	3.06	0.8040	0.9169	0.67					
	0.48	196	50	3.92	1.0298							
1.10							0.67					
TOTAL												0.5795

PA = Profundidad de Aforo
 N/T = Rev. por segundo
 PT = Profundidad Total
 AP = Ancho Parcial

N = No. de Revoluciones
 VP = Velocidad Puntual
 PM = Profundidad Media
 SP = Sección Parcial

T = Tiempo
 VMV = Vel. Med. en la Vert.
 VM = Velocidad Media
 CP = Caudal Parcial

Q Aforador = 0.6174
 Fecha: 17. 10. 83
 Caudal: 0.617

Q Molinete = 0.5795
 Velocidad Media: 0.8565
 Nivel Inicial: 0.60

Error = 6.14%
 Ancho: 1.08

ANEXO 6. AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s)

Distancia desde PR	PA (m)	N	T (s)	N/T	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.25	0.13	203	50	4.06	1.0666	1.0430	0.65	0.65	0.6953	0.25	0.162	0.1126
	0.52	194	50	3.88	1.0193							
0.50	0.13	213	50	4.26	1.1191	0.9851	0.65	0.65	1.0140	0.25	0.162	0.1642
	0.52	162	50	3.24	0.8511							
0.75	0.13	216	50	4.32	1.1349	1.167	0.65	0.65	1.0760	0.25	0.162	0.1743
	0.52	213	50	4.26	1.1991							
1.00	0.13	199	50	3.98	1.0455	0.9772	0.65	0.65	1.0721	0.25	0.162	0.1736
	0.52	173	50	3.46	0.9089							
1.09							0.65	0.65	0.6514	0.08	0.052	0.0338
TOTAL												0.659

PA = Profundidad de Aforo
 N/T = Rev. por Segundo
 PT = Profundidad Total
 AP = Ancho Parcial

N = No. de Revoluciones
 VP = Velocidad Puntual
 PM = Profundidad Media.
 SP = Sección Parcial

T = Tiempo
 VMV = Vel. Med. en la Vert.
 VM = Velocidad Media
 CP = Caudal Parcial

Q Aforador = 0.669
 Fecha 17.10.83
 Nivel Inicial: 0.65

Q Molinete = 0.659
 Velocidad Media: 0.9017

Error = 5.39%
 Ancho: 1.08

ANEXO 7. AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s)

Distancia desde PR	PA (m)	N	T (m)	N/T	V _P (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.10	14	406	50	8.12	1.115	1.104	0.72	0.72	0.736	0.10	0.072	0.530
	58	398	50	7.96	1.093							
0.20	14	405	50	8.10	1.112	1.080	0.72	0.72	1.092	0.10	0.073	0.786
	58	381	50	7.62	1.048							
0.30	14	396	50	7.92	1.088	1.046	0.72	0.72	1.063	0.10	0.072	0.765
	58	365	50	7.30	1.005							
0.40	14	396	50	7.92	1.088	1.022	0.72	0.72	1.034	0.10	0.072	0.744
	58	347	50	6.94	0.956							
0.50	14	407	50	8.14	1.117	1.046	0.72	0.72	1.034	0.10	0.072	0.0744
	58	354	50	7.08	0.975							
0.60	14	406	50	8.12	1.115	1.064	0.72	0.72	1.055	0.10	0.072	0.0760
	58	368	50	7.36	1.013							
0.70	14	406	50	8.12	1.115	1.074	0.72	0.72	1.069	0.10	0.072	0.0770
	58	375	50	7.50	1.032							
0.80	14	422	50	8.22	1.128	1.084	0.72	0.72	1.079	0.10	0.072	0.0777
	58	328	50	7.56	1.040							
								0.72	1.048	0.10	0.072	0.0755

06

ANEXO 7. (Continuación). AFORO POR SUSPENSION Y CALCULO DE CAUDAL (m³/s).

Distancia desde PR	PA (m)	N	T (m)	N/T	VP (m/s)	VMV (m/s)	PT (m)	PM (m)	VM (m/s)	AP (m)	SP (m ²)	CP (m ³ /s)
0.90	14 58	432 303	50 50	8.64 6.06	1.184 0.838	1.011	0.72					
1.00	14 58	396 316	50 50	7.92 6.32	1.088 0.873	0.980	0.72	0.72	0.946	0.10	0.072	0.0717
								0.72	0.653	0.07	0.050	0.0327
TOTAL											0.770	0.7665

PA = Profundidad de Aforo
 N/T = Rev. por segundo
 PT = Profundidad total
 AP = Ancho Parcial

N = No. de Revoluciones
 VP = Velocidad Puntual
 PM = Profundidad Media
 SP = Sección Parcial

T = Tiempo
 VMV = Vel. Med. en la Vert.
 VM = Velocidad Media
 CP = Caudal Parcial

Q Aforador = 0.8115

Q Molinete = 0.7665

Error = 5.42%

Fecha: 17.10.83

Ancho: 1.08 m

Caudal: 0.7665 m³/s

Nivel inicial: 0.72

91

ANEXO 8. RESULTADO DE CAMPO. CANAL EL PLAGER

Hora	Velocidad m/seg	Tiempo de T recorrido do min.	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Pérdidas	
			Altura cms	Altura cms	Caudal lts	Caudal lts	lts	%
0	0.60	16.6	50.5	51.5	476.7	355.1	121.6	25.50
1	0.70	14.3	56.5	47.0	564.2	428.0	136.2	24.14
3	0.70	14.3	58.0	51.5	586.8	490.9	95.9	16.34
6	0.56	17.9	58.5	52.0	594.4	498.1	96.3	16.20
12	0.70	14.3	50.0	44.0	469.7	387.7	82.0	14.46
18	0.60	16.6	56.5	50.5	564.2	476.7	87.5	15.51
24	0.70	14.3	58.0	52.0	586.8	498.1	88.7	15.12
36	0.60	16.6	58.0	52.0	586.8	498.1	88.7	15.12
48	0.60	16.6	58.0	52.0	586.8	498.1	88.7	15.12

Fecha: 21.09.85

Longitud Total: 5.656 m

Aforador 1: 1.270 m

Aforador 2: 1.070 m

Distancia entre Aforadores: 600 m

Dimensiones del canal: Plantilla: 1.1 m - Tirante: 0.5-0.6.6 m. Ancho: 2.1-2.3 m.

ANEXO 9. RESULTADOS DE CAMPO. CANAL ZAMBRAÑO. TRAMO 1.

Hora	Velocidad m/seg	Tiempo de T recorri- do min.	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Pérdidas	
			Altura cm	Altura cm	Caudal lts	Caudal lts	lts	%
0	0.50	23.3	26.0	13.0	176.1	62.2	113.9	64.67
1	0.50	23.3	26.0	13.5	176.1	105.7	70.4	39.97
3	0.40	29.2	27.0	24.5	186.4	161.1	25.3	13.57
6	0.50	23.3	26.0	25.5	196.8	171.1	25.7	13.95
12	0.50	23.3	26.0	25.5	196.8	171.1	25.7	13.05
18	0.50	23.3	31.0	28.5	229.3	202.1	27.2	11.86
24	0.56	20.8	31.0	26.5	229.3	202.1	27.2	11.86
36	0.56	20.8	30.5	28.0	223.7	196.8	26.9	12.02
42	0.56	20.8	30.5	28.0	223.7	196.8	26.9	12.02

Fecha: 23.09.87

Longitud Total: 2.500 m

Aforador 1: 50 m

Aforador 2: 750 m

Distancia entre Aforadores: 700 m

Dimensiones: Plantilla 1,05 m. Tirante: 0,25-0,30 m. Ancho: 1,65 m.

ANEXO 10. RESULTADOS DE CAMPO. CANAL ZAMBRANO. TRAMO 2.

Hora	Velocidad m/seg	Tiempo de T recorrido min.	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Pérdida	
			Altura cms	Altura cms	Caudal lts	Caudal lts	lts	%
0	0.60	16'	24.0	2.0	156.2	3.7	152.5	93.63
1	0.60	16'	24.5	14.0	161.1	69.6	91.5	56.79
5	0.50	16'	24.5	15.5	161.1	81.6	80	49.66
6	0.60	16'	25.0	19.5	166.1	114.4	51.7	31.12
12	0.50	16'	26.0	21.0	176.1	127.8	48.3	27.43
18	0.50	16'	25.5	20.5	171.1	123.3	47.8	27.94
24	0.60	18'	26.0	21.0	176.1	127.8	48.3	27.43
36	0.50	16'	25.5	20.5	171.1	123.3	47.8	27.94
48	0.50	16'	25.5	20.5	171.1	123.3	47.8	27.94

Fecha: 24.09.83

Longitud Total: 2.500 m

Aforador 1: 200 m

Aforador 2: 1.350 m

Distancia entre Aforadores: 550 m.

Dimensiones del Canal: Plantilla 0,30 m Tirante 0,20-0,30 m Ancho 1,3-1,4 m

ANEXO 11. RESULTADOS DE CAMPO. CANAL LA LUISA.

Hora	Velocidad m/seg	Tiempo de T recorri- do min.	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Pérdidas	
			Altura cms	Altura cms	Caudal lts	Caudal lts	lts	%
0	0.60	10	25.0	12.0	166.1	55.2	105.9	63.76
4	0.56	19.5	32.0	18.0	240.5	101.4	139.1	57.83
8	0.50	21.0	37.5	25.5	305.1	171.4	134.0	43.92
6	0.60	18	43.0	36.5	374.6	292.9	81.6	21.80
12	0.60	18	35.0	50.5	541.8	476.7	65.1	12.01
18	0.60	18	55.5	52.0	549.2	498.1	51.1	9.30
24	0.58	18.6	61.5	58.0	640.7	586.8	53.9	8.42
36	0.61	17.7	61.0	57.5	632.9	579.2	53.7	8.48

Fecha: 05.09.83

Puntos de Aforo:

Distancia Aforadores: 650 m

Dimensiones del Canal:

Longitud Total: 3.017 m

Aforador 1: 1.600 m

Aforador 2: 2.250 m

Plantilla: 1,4 m

Tirante: 0,50 - 0,60 m

Ancho: 2,4 - 2,6 m

ANEXO 12. COSTOS DE REVESTIMIENTO

CONCRETO 2.500 lb:

Cemento 325 kilos a \$ 5.65	\$	1.836.28
Arena 0.51 m ³ /ml \$ 720.00		367.20
Gravilla 0.88 m ³ /ml \$ 800.00		704.00
Agua		<u>20.00</u>
Total Materiales		2.927.45
Desperdicios 3%		<u>87.82</u>
Total		3.015.27
Equipo		<u>170.00</u>
Costo Directo m ³	\$	3.185.27

Mano de obra, valor metro lineal de canal		891.00
Alambre Galvanizado		143.00
Madera		40
Asfalto para Juntas		171.60
Obra de Mano metro lineal		<u>3.500.00</u>
		4.746.47
A I U 20%		<u>949.26</u>
Total	\$	5.696.26
Metro lineal con perimetro igual		5.72
Costo por metro cuadrado		995.76

ANEXO 13. PRESTACIONES SOCIALES DEL INGENIO RIOPAILA.

CESANTIAS CAUSADAS	25.42%
VACACIONES	6.40%
PRIMA LEGAL	8.80%
SUBSIDIO FAMILIAR	4.70%
SENA	2.35%
SEGURO SOCIAL POR ENFERMEDAD	4.70%
SEGURO SOCIAL POR INVALIDEZ	3.00%
SEGURO SOCIAL POR PENSIONES	1.45%
SEGURO DE VIDA PAGADO POR LA EMPRESA	0.01%
PENSIONES	4.40%
PRIMA DE NAVIDAD	8.90%
PRIMA VACACIONAL	6.40%
SERVICIO DE TRANSPORTE ESCOLAR	0.85%
SERVICIO DE TRANSPORTE A TRABAJADORES	8.00%
SOSTENIMIENTO DE ESCUELAS	1.50%
SERVICIO DE SALUD	3.00%
AUXILIOS DE VIUDEZ O MATERNIDAD	2.00%
OTROS	3.12%
 TOTAL PRESTACIONES	 95.00%

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

ANEXO 14. EJEMPLOS PARA LA OBTENCION DEL AREA A REVES
TIR, EL VP Y EL TIR PARA EL CANAL EL PLACER

DIMENSIONES:

Tirante $d = 1.10$ M (con 0.30 M de borde li
bre)

Plantilla $b = 1.10$ M

Relación de taludes = 1

PERIMETRO: $P = b + 2 d$

$$P = 1.1 + 2 (1.1) \sqrt{Z^2 + 1}$$

$$P = 4.2112 \text{ M}$$

AREA TOTAL A REVESTIR $A = P \times L$

Donde $P =$ Perimetro

$L =$ Longitud

$$A = 4.2112 \times 5.656$$

$$A = 23818.55 \text{ M}^2$$

$$VP = A \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n i}$$

$$VP = 7170.328 \frac{(1 + 0.25)^{10} - 1}{(1 + 0.25)^{10} 0.25}$$

ANEXO 14. (Continuación) EJEMPLOS PARA LA OBTENCION
 DEL AREA A REVESTIR, EL VP Y EL TIR PARA
 EL CANAL EL PLACER.

$$VP = 7170.328 \times 3.571$$

$$VP = 25'605.241.28$$

VP del ahorro = Valor del revestimiento a una tasa de
 interes que es la TIR

Por tanteo

$$i = 0.20 \quad 7'170.328 \frac{(1 + 0.20)^{10} - 1}{(1 + 0.20)^{10} \cdot 0.20} = 30'072.355.6$$

$$i = 0.40 \quad 7'170.328 \frac{(1 + 0.40)^{10} - 1}{(1 + 0.40)^{10} \cdot 0.40} = 17'309.171.79$$

Usando Interpolación lineal

$$Y = Y_1 + \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} (X - X_1)$$

$$Y = 0.20 + \frac{0.40 - 0.20}{30'072.355 - 17'309.171.79} (23'717.556 - 30'072.355.6)$$

$$Y = 0.20 + 0.0995$$

$$Y = 0.299$$

$$Y = 29.9\% \text{ (TIR)}$$