

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS - IICA

**SEGUNDO CURSO NACIONAL SOBRE CONSERVACION
Y MANEJO DE TIERRAS Y AGUAS**

**DESARROLLO FISICO DE LAS TIERRAS PARA SU RIEGO
Y EVACUACION DE EXCEDENTES**

IICA

**Zona Norte
Oficina de Coordinación Plan de Acción en Costa Rica**

San José, Costa Rica. Oct. - Nov. 1978

QAM



4 MAR 1980

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

IICA - OEA

Material Educativo

Desarrollo Físico de las Tierras para

su Riego y Evacuación de Excedentes

Oswaldo Chávez C.

Tegucigalpa - Honduras

1978

00007502

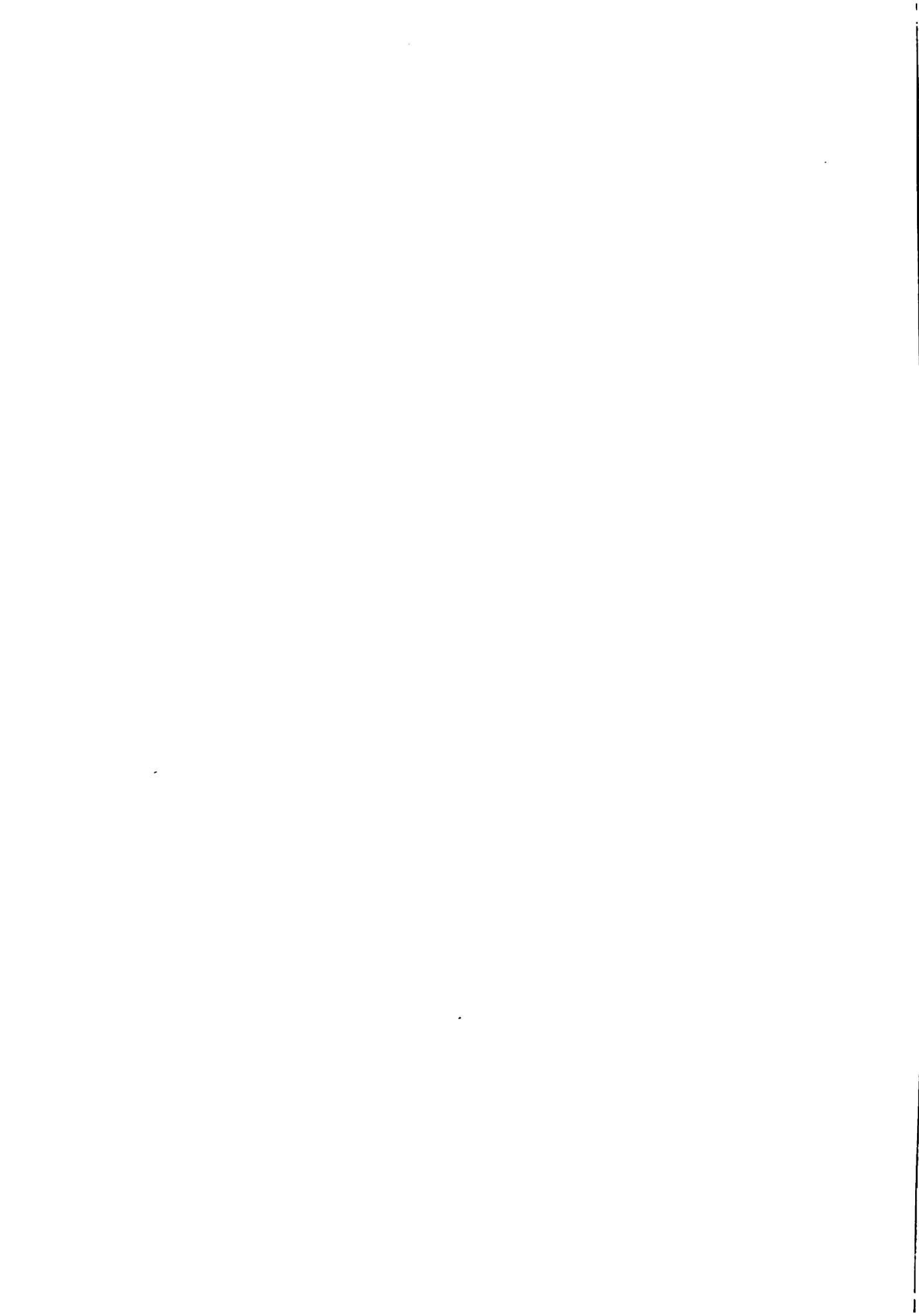
P R E S E N T A C I O N

El conjunto de conocimientos que se exponen en este texto solo tienen un caracter educativo y de servir de guía para el estudio del desarrollo físico de las tierras. Por tanto para quienes tengan interés en profundizar sus diferentes temas, se recomienda la bibliografía que en capítulo particular se cita y que sirvió para su preparación.

He de agradecer a los colegas y amigos, las sugerencias del caso que con lleven a brindarle a profesionales y estudiantes, un conocimiento aplicado de la Sistematización de Tierras enmarcado en un campo de sencillez y entendimiento.

Oswaldo Chávez C. - ECMTA

IICA - OEA



INDICE

	Página
Introducción	1
A. <u>Nivelación de tierras</u>	4
1. Conceptos básicos	4
B. <u>Métodos para nivelación de tierras</u>	8
1. Método de las cuadrículas	8
2. Método de los perfiles medios	8
2.1 Levantamiento altimétrico del terreno	8
2.2 Análisis de planos de nivelación	9
2.3 Estudio agrológico y análisis del perfil del suelo.	9
2.4 Cultivos a programarse	9
2.5 Condiciones climáticas	9
2.6 Procedimiento a seguir para nivelar tierras por el metodo de los perfiles medios.	9
a. Levantamiento altimétrico por cuadrículas	9
b. Cálculo del centroide	10
c. Cálculo de la pendiente Oeste-Este	10
d. Cálculo de la pendiente Norte-Sur	12
e. Cálculo de las nuevas cotas	14
f. Cálculo de cortes y rellenos	15
g. Cálculo del movimiento de tierra	15
h. Plano de distribución de la tierra	17
3. Método de los mínimos cuadrados	17
3.1 Cálculo de la pendiente Oeste-Este (b)	18
3.2 Cálculo de la pendiente Norte-Sur (c)	19
3.3 Cálculo de las nuevas cotas	21
3.4 Cálculo del movimiento de la tierra	23
4. Nivelación del suelo por terrazas	25
5. Problemas especiales o limitantes de nivelación	29
6. Replanteo de cotas en el terreno	30

C. <u>Soluciones experimentales en el desarrollo físico de las tierras.</u>	Página 31
1. Longitud y ancho de las fajas para alfalfa en función de la textura del suelo y de la pendiente	32
2. Longitud y ancho de las fajas para praderas en función de la textura y pendiente	33
3. Relación entre la pendiente, el caudal, el ancho y longitud de las fajas	34
4. Dimensiones de las fajas en función de la pendiente, caudal y naturaleza del suelo.	35
5. Longitud de los surcos en función de la textura del suelo.	36
6. Dimensión de los pretilos o eras en función de la pendiente del terreno.	36
D. <u>Maquinaria de Nivelación</u>	37
1. Equipo de nivelación	37
a. Bulldozer o empujador	37
b. Motoniveladora	38
c. Trailla agrícola	39
2. Equipo para refinar	40
a. Niveladora agrícola	40
b. Land plane	41
3. Equipos complementarios	41
a. Caballador de discos	41
b. Zanjadores	41
4. Ejecución de los trabajos de nivelación	42
E. <u>Infraestructura para riego y para evacuación de excedentes</u>	43
1. Estructura de toma predial	43
2. Canales para riego y para evacuación de excedentes	47
2.1 Algunos valores a utilizarse en el cálculo de canales para riego y para evacuar excedentes	51
a. Valor de n para ser aplicado en la fórmula de Manning.	51

	Página
b. Velocidades admisibles en canales excavados en tierra	52
c. Pendientes aceptables en canales excavados en tierra	52
d. Talud en canales	52
2 2 Trazado de la red para riego y evacuación de excedentes.	53
a. Levantamiento altimétrico	53
b. Estudio y análisis del plano	53
c. Construcción de los canales para riego y eva- cuación de excedentes.	54
3. Estructuras para aforo	61
a. Aforador triangular	61
b. Aforador trapezoidal o Cepolletti	61
c. Aforador Parshall	61
d. Vertedero de Francis	61
e. Orificios variables	61
4. Partidores de caudal	61
5. Caídas o saltos hidráulicos	62
6. Viaductos y canoas	63
7. Alcantarillas y sifones	63
8. Estructuras para distribución de agua	65
9. Estructuras finales para canales de riego y de drenaje	65
F. <u>Costo estimado de las obras para riego</u>	66
1. Costo de canales para riego	66
2. Costo de obras complementarias	66
a. Alcantarillas de concreto reforzado	66
b. Alcantarillas de tubo de cemento	66
c. Alcantarillas de tubo de cemento revestidos con mampostería.	67
d. Obras de distribución-Estructura simple	67
e. Obras de distribución-Estructura compuesta	67
f. Obra de toma predial	68
g. Caídas hidráulicas con transición de entrada y	

	Página
salida.	68
h. Partidor de caudal o punta de diamante	68
3. Costo de sistematización de tierras	69
4. Costo de obras viales	69
G. <u>Asistencia técnica</u>	70
H. <u>Bibliografía</u>	72

I N T R O D U C C I O N

Dada la importancia creciente que para todo proyecto de Riego tiene el desarrollo físico de las tierras, se estudia en el presente texto, el tema relacionado con los distintos aspectos que dentro de esta práctica son relevantes para el riego de las tierras y la evacuación de excedentes.

El desarrollo de cualquier proyecto de riego para un uso óptimo de recursos exige no sólo la concepción, planificación, financiación y ejecución de obras para el riego y evacuación de excedente, sino también es de vital importancia, la planificación del mismo pero a nivel predial y dentro del cual se plantee la utilización racional del riego, la evacuación de excedentes y el continuo mejoramiento de sus respectivas prácticas.

Las instituciones de distintos países encargados de estos programas casi siempre deben responder a situaciones muy especiales relacionadas con la ejecución de proyectos de desarrollo físico de tierras, ellas son:

- a. Proyectos de riego que ya se encuentran operando y que a pesar del tiempo transcurrido desde la construcción de las obras básicas, muestran a la fecha, la existencia de serias deficiencias en el desarrollo físico de las tierras, las cuales como es lógico han determinado inadecuadas prácticas de riego y de evacuación de excedentes incidiendo negativamente en la conservación del agua, del suelo y en la productividad de los cultivos.
- b. Proyectos de riego con operación parcial o próxima a iniciarse y
- c. Proyectos de riego en etapa de estudio

Sea una u otra la situación del proyecto, el desarrollo físico de sus tierras será diferente por la implicación que el propio estado del proyecto trae consigo.

El desarrollo físico de tierras orientada hacia una explotación racional de cultivos bajo riego debe contemplarse en etapas sucesivas de ejecución que calificaremos como:

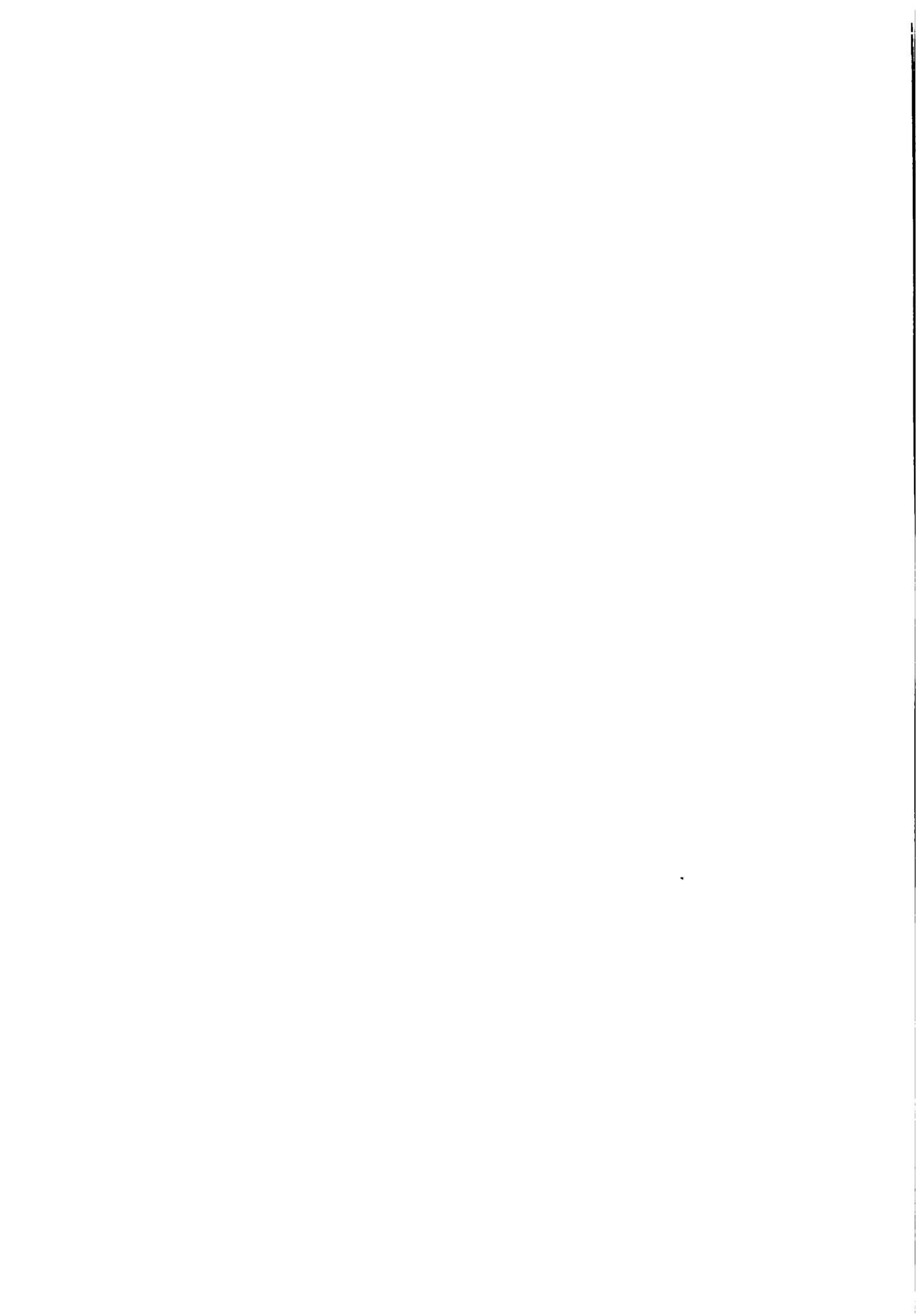
- Primera aproximación de desarrollo, consiste en ejecutar solo la construcción de canales para riego y para evacuación de excedentes de acción transitoria y trabajos de emparejamiento de tierras que permitan colocar al terreno en condiciones de regarse y programar la siembra de determinados cultivos.
- Desarrollo físico definitivo, consiste en llevar al terreno a óptimas condiciones de aprovechamiento mediante la construcción de una eficiente red de canales para riego, evacuación de excedentes y a una nivelación definitiva de tierras tomando en cuenta la textura de los suelos, pendiente y clase de cultivo a sembrarse.

La elección de una u otra etapa de desarrollo depende de la necesidad de uso de los recursos de producción y de la disponibilidad económica del Estado o del Usuario si es uno u otro quien financie la ejecución del proyecto. Pero en cualquier caso el manejo racional de estos recursos y la obligatoriedad de elevar el nivel de productividad exige atención al problema sea que su solución se contemple a corto, mediano o largo plazo.

Dentro del capítulo de desarrollo físico de las tierras, una de las actividades más importantes para lograr un mejor aprovechamiento del agua y conservación del suelo es la nivelación de las tierras y su finalidad es proporcionarle a los terrenos de cultivo una superficie en la cual el agua pueda distribuirse de modo uniforme.

Al utilizar el término uniforme, se esta pensando no solo en la cantidad de agua aplicada como riego, sino tambien en el tiempo que ella permanece en el suelo, de tal suerte que cada una de las plantas reciba en un mismo período de tiempo, la misma cantidad de agua.

Si la nivelación permite que el agua se distribuya de modo uniforme, el agricultor será capaz de proporcionarle a las plantas, la cantidad de agua necesaria para que cumpla mejor su desarrollo vegetativo y evitará pérdidas inútiles de agua ayudando con ello a objetivizar cualquier programa de aprovechamiento óptimo de este recurso.



DESARROLLO FISICO DE LAS TIERRAS PARA SU RIEGO

Y EVACUACION DE EXCEDENTES

A. NIVELACION DE TIERRAS

1. Conceptos Básicos.

Definamos previamente que es el riego. Es la aplicación de agua al suelo para proporcionarle a las plantas la humedad necesaria y obtener su aprovechamiento agrícola racional. El uso del término aprovechamiento agrícola racional implica un concepto económico que debe seguirse.

Cuando se estudia un proyecto de riego por aspersión, los trabajos de nivelación no tienen mayor problema o son nulos o se orientan solo a ligeros alisamientos que no tienen ningún valor económico significativo. En cambio cuando el proyecto esta referido al riego por infiltración o por inundación, sí es necesario valorar su estudio y ejecución porque estos métodos de riego solo son efectivos cuando a parte de la técnica propia de la nivelación, se conjugan factores comprendidos dentro de la Agronomía, Hidráulica, Agrología etc.

Cuando hablamos de la agronomía nos estamos refiriendo a la clase de cultivo y a sus exigencias de riego (surcos, melgas etc).

La hidráulica trata de las normas o de las teorías bajo las cuales se diseñan canales de riego o de evacuación de excedentes, estructuras necesarias etc.

En cambio él estudio de la agrología nos indicará el grado de pendiente que puede aceptar un suelo sin erosionarse cuando se hace circular por él, un determinado volumen de agua.

Cuando el suelo tiene una pendiente natural uniforme es fácil de programar para cualquier proyecto de riego y su sistematización a un grado óptimo no será costosa; pero como no siempre se da esta condición es necesario programar su nivelación, la cual debe ser función de la textura del suelo, pendiente natural, clase de cultivo, método de riego etc.

En todo proyecto de riego prácticamente existen cultivos que se orientan a dos sistemas clásicos de riego; el riego por infiltración y el riego por inundación. Veremos de modo especial el tipo de nivelación que se requiere para cada uno de estos grupos; ya que los cultivos que se reúnan en cada uno de ellos por razón de su hábito de vida, desarrollo vegetativo y necesidad de agua, establecen diferencia en el desarrollo físico de las tierras.

Dentro del grupo de cultivos que se riegan por infiltración podemos citar la remolacha, el sorgo, maíz, girasol, papa, caña de azúcar, algodón, frijoles, soya, plantas hortícolas etc. Estos exigen para su desarrollo óptimo, suelos francos dentro de los cuales se mantenga en equilibrio sus constituyentes de arcilla, limo y arena.

Todo riego por infiltración tiene que ajustarse a determinadas pendientes, la variabilidad entre ellas esta determinada por la textura de los suelos. Para suelos francos se acepta que la pendiente varíe entre 1.5 a 3.0 ‰, siendo óptima aquella de 2.0 ‰ dentro de estos parámetros que debe programarse la nivelación.

En el caso de suelos arcillosos y que también van a regarse por infiltración, la pendiente puede llegar hasta el 5.0 ‰ a veces sucede que se presentan suelos que tiene pendiente natural que excede estos límites, pero ello no es problema porque si se orienta la siembra según la dirección de las curvas de nivel, puede reducirse enormemente los costos de nivelación.

Dentro del grupo de cultivos que se riegan por inundación podemos considerar al arroz, trigo, cebada, centeno, alfalfa, protenses en general etc.

El cultivo de arroz exige para su mejor desarrollo suelos de textura pesada o arcillosa; los otros cultivos del grupo pueden desarrollarse también en esta clase de suelo así como en las combinaciones arcillo-limoso, francos e inclusive en suelos franco - arenosos, pero esta clase es limitante por su baja capacidad de retención hídrica.

El arroz es una planta acuática que vive casi el mayor período de su ciclo vegetativo en el agua, por tanto se hace necesaria una preparación adecuada del terreno y dentro de la cual prima con mayor exigencia la nivelación; esta se ha fijado como máxima cuando $S = 1.5 \text{ ‰}$. Sobrepasar este límite obliga a aproximar las curvas de nivel y hacer más oneroso el costo de nivelación.

En el caso de los pastos, si bien el terreno se riega de un modo similar al arroz, no es necesario que el agua permanezca en los pretilos formados por los caballones de las curvas de nivel por un tiempo prolongado; solo es suficiente ir pasando el agua de un pretil a otro y se habrá conseguido un riego racional. La pendiente que se acepta puede llegar hasta el 5 ‰ y sin crear problema de erosión, cualquiera que sea la clase de suelo; no importa que la separación entre curvas de nivel se acorte, ya que no es necesario embalsar agua, además también es aprovechable el pasto que crece en los caballones.

Ya se dijo que cuando se desea programar un proyecto de riego es necesario que el terreno tenga una pendiente determinada para que pueda regarse y que ella es función de la textura del suelo. Pero si la pendiente natural puede ajustarse a la pendiente requerida es preferible utilizar esta antes de cualquier otra porque todo proyecto de nivelación por mínimo que sea el volumen de tierra a mover, siempre es costoso y difícil de ejecutar, a veces por falta de personal especializado, topografos no eficientes,

maquinaria no adecuada, financiación o porque las condiciones ambientales no lo permiten.

Pero, si no es satisfactoria esta pendiente no queda otra alternativa que programar la nivelación del terreno. Existen para tal fin diferentes métodos, el análisis de cada uno de ellos se verá mas adelante.

Es lógico que al programar la nivelación de las tierras debe pensarse también en los canales que facilitarán su riego y la evacuación de excedentes; pero cuando se trata del nivel predial debemos tener presente que la rasante de ellos puede variar entre pendientes que van del 0.5 al 6.0^o/oo; en cambio a nivel de proyecto de riego (gran estructura) las rasantes no sobrepasan pendientes del 0.5^o/oo. En el nivel predial la pendiente es función de la textura del suelo y del volumen de agua que se desee conducir.

Cuando la pendiente en canales de riego prediales varia entre 1.5 a 6.0^o/oo, se puede conducir con gran facilidad volúmenes de agua que permiten el riego de grandes superficies, pero si este valor es inferior al 1.0^o/oo, conducción se vuelve difícil y apenas permite el riego de pequeñas áreas.

Si se sobrepasan los valores comprendidos entre 1.5 a 6.0^o/oo dados en función de la textura del suelo, se provoca erosión y cualquier canal que se construya puede destruirse.

Es obvio que lo mismo que se dice para la rasante de canales vale para la rasante de nivelación que se da al terreno por tanto si los conceptos que se han indicado no se toman en cuenta, cualquier proyecto de nivelación de tierras puede fracazar.

En el siguiente cuadro práctico vease la relación que existe entre longitud de surco, clase de suelo y pendientes.

CIASE DE SUELO	LONGITUD EN MTS	PENDIENTE
Ligero o franco	100 - 150	0.0015 - 0.0025
Pesado o Arcilloso	200 - 350	0.003 - 0.0045

B. METODOS PARA NIVELACION DE TIERRAS

Sin ser limitativo citaré los siguientes métodos de nivelación como los mas utilizados:

1. Método de las cuadrículas compensadas

Es un método utilizado en la nivelación de pequeñas áreas, consiste en compensar el corte que se haga en una cuadrícula con el relleno de otra, no es un método práctico.

2. Método de los perfiles medios

Se basa en cortar el mínimo volumen de tierra para obtener una pendiente de riego pre-establecida partiendo de una cota promedio denominada centroide. Es un método bastante utilizado por ser práctico y porque su cálculo de movimiento de tierra no es tan laborioso.

En todo proyecto de riego dentro del cual se considera a la nivelación del terreno como una práctica indispensable es necesario efectuar previamente los siguientes pasos:

2.1 Levantamiento altimétrico del terreno

Se hará con curvas de nivel a una equidistancia de 0.25 mts. Escala 1 en 2000 o 1 en 4000; se tomará como BM de referencia, el que corresponda al área de trabajo para que la nivelación pueda integrarse a un proyecto único. Ver plano No.1.

2.2 Análisis de Planos de Nivelación

Está referida a la parcelación del terreno en función de la topografía y al paralelismo de curvas de nivel, de esta manera se reduce el movimiento de tierra por hectarea y se facilita la localización del conjunto de canales de riego, de evacuación de excedentes y de las obras complementarias. Ver plano No. 2.

2.3 Estudio Agrológico y Análisis del Perfil del Suelo

Es básico para analizar la posibilidad de corte sin que se altere su estructura física y química (fertilidad).

2.4 Cultivos a Programarse.

Es fundamental para poder orientar la nivelación a una pendiente calculada que será función, como ya se dijo anteriormente, del hábito de vida del cultivo, método de riego etc.

2.5 Condiciones Climáticas.

Su estudio es importante porque si la precipitación es intensa en determinado momento, su valor debe sumarse para que sea correcto el cálculo de la sección hidráulica de los canales de evacuación de excedentes.

2.6 Procedimiento a Seguir para Nivelar Tierras por el Metodo de Perfiles Medios:

El procedimiento a seguir para nivelar un terreno por el método de los perfiles medios es el siguiente:

a. Levantamiento Altimétrico.

Se hará por cuadrículas de 20 ó 30 mts de lado para cada plano de nivelación. Ver cuadro No. 1

Después de cuadricular el terreno y niveladas las intercepciones se acepta que esta cota sera el centroide de cada cuadrícula ubicandose este en el cruce de las diagonales estableciendose asimismo que la cota de cada cuadrícula del terreno es la altura del centro de la misma.

Esta altura así determinada puede tener un ligero error debido a que la cota del centro de la cuadrícula no puede ser la altura media de dicha cuadrícula; pero este error es pequeño debido a que las áreas de cada cuadrícula son mínimas en relación con el área total y además como estos en unos casos son positivos y en otros negativos se establece una compensación.

b. Cálculo del Centroide del Plano de Nivelación

Ver cuadro No. 2. Para el cálculo del centroide se seguirá el siguiente procedimiento:

- Sumar de modo independiente las cotas de las columnas correspondientes a las letras A, B, C, D, y E.
- Sumar de igual manera las cotas de las filas correspondientes a los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.
- Totalizar la suma de las columnas correspondientes a las letras y a los números. Las sumas verticales $\sum H$ y horizontales $\sum H$ deben ser idénticas.
- Calcular las medias H_m de las sumatorias $\sum H$ tanto para las columnas verticales como filas horizontales.
- Dividir el total horizontal H_m entre el número de elementos que intervienen (5), se obtiene una cota promedio.
- Dividir el total vertical H_m entre el número de elementos que intervienen (9), se obtiene una cota promedio.

La cifra que resulta de dividir los totales H_m entre los elementos que intervienen se llama centroide y es la cota definitiva del centro del terreno. Su valor debe ser siempre el mismo tanto en el sentido vertical como horizontal; cualquier plano de nivelación que se proyecta debe pasar por esta cota.

c. Cálculo de la Pendiente Oeste - Este

Ver gráfico No.1. Representemos un eje de coordenadas los valores correspondientes a las cotas H_m según la pendiente Oeste - Este. En el eje de las ordenadas se anotan cotas comprendidas entre 8.70 a 9.20 variandolas de 0.10 en 0.10.

CUADRO No. 1

PLANO DE NIVELACION CON CUADRI-
CUIAS ACOTADAS.

BM : 10.00 Sobre el nivel del
mar.

N O R T E

A

B

C

D

E

O E S T E

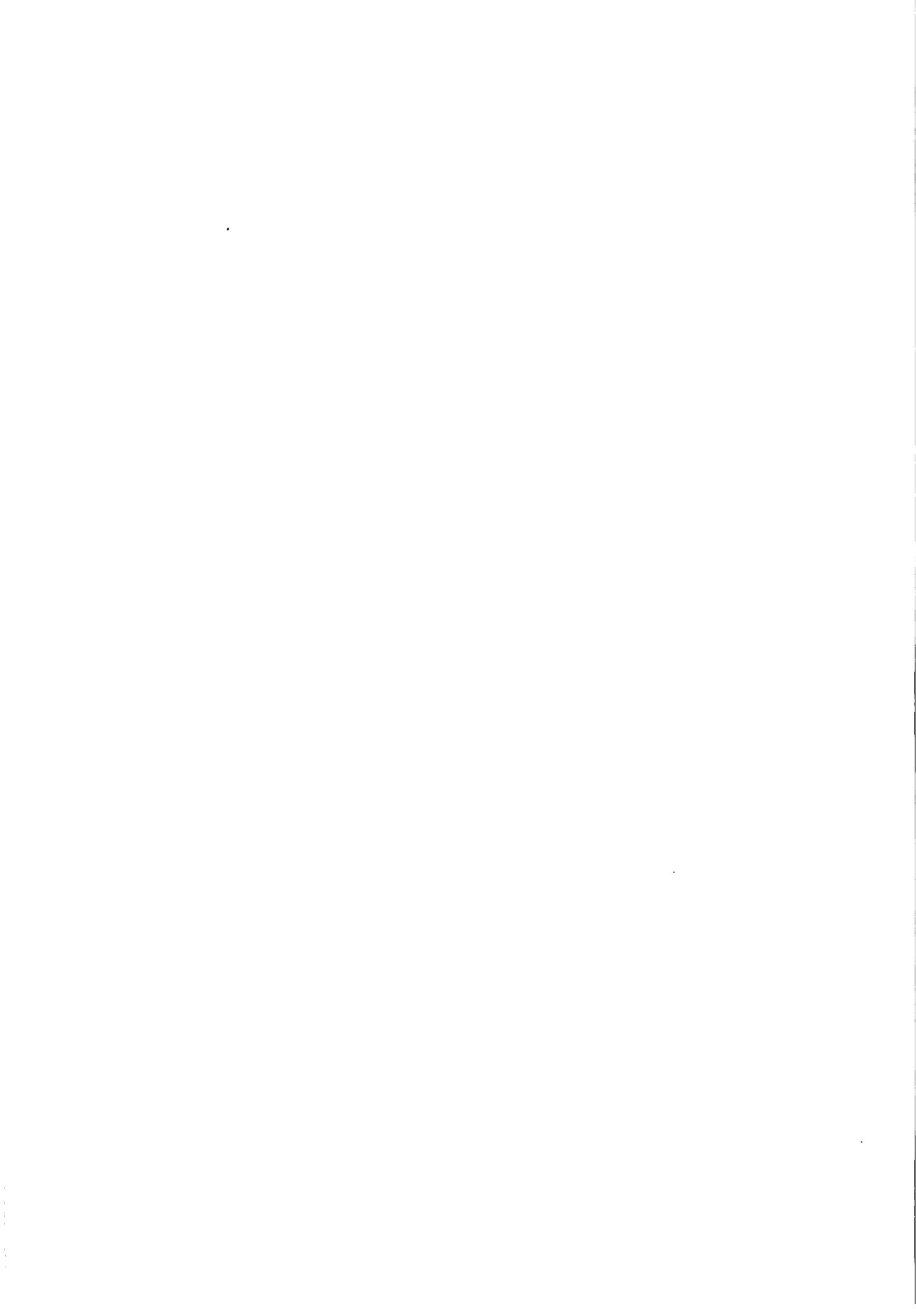
1	9.35	9.35	9.29	9.25	9.27
2	9.42	9.25	9.10	9.13	9.08
3	9.24	9.13	9.03	8.89	8.88
4	9.07	8.99	8.97	8.80	8.82
5	8.95	8.89	8.97	8.77	8.75
6	8.83	8.75	8.79	8.71	8.63
7	8.85	8.74	8.75	8.65	8.62
8	8.96	8.88	8.78	8.61	8.57
9	8.80	8.68	8.68	8.60	8.65

S U R

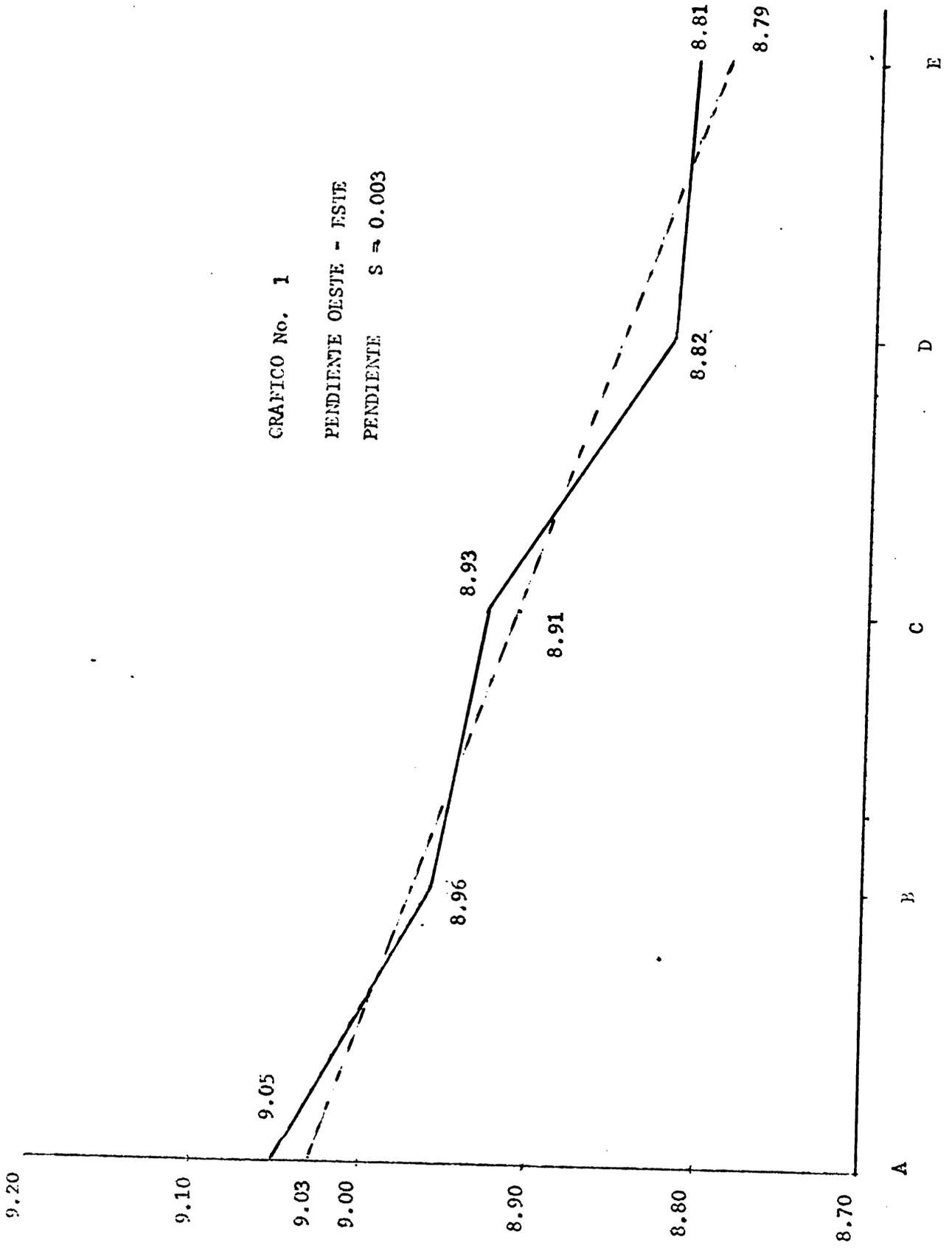
← 20 mts →

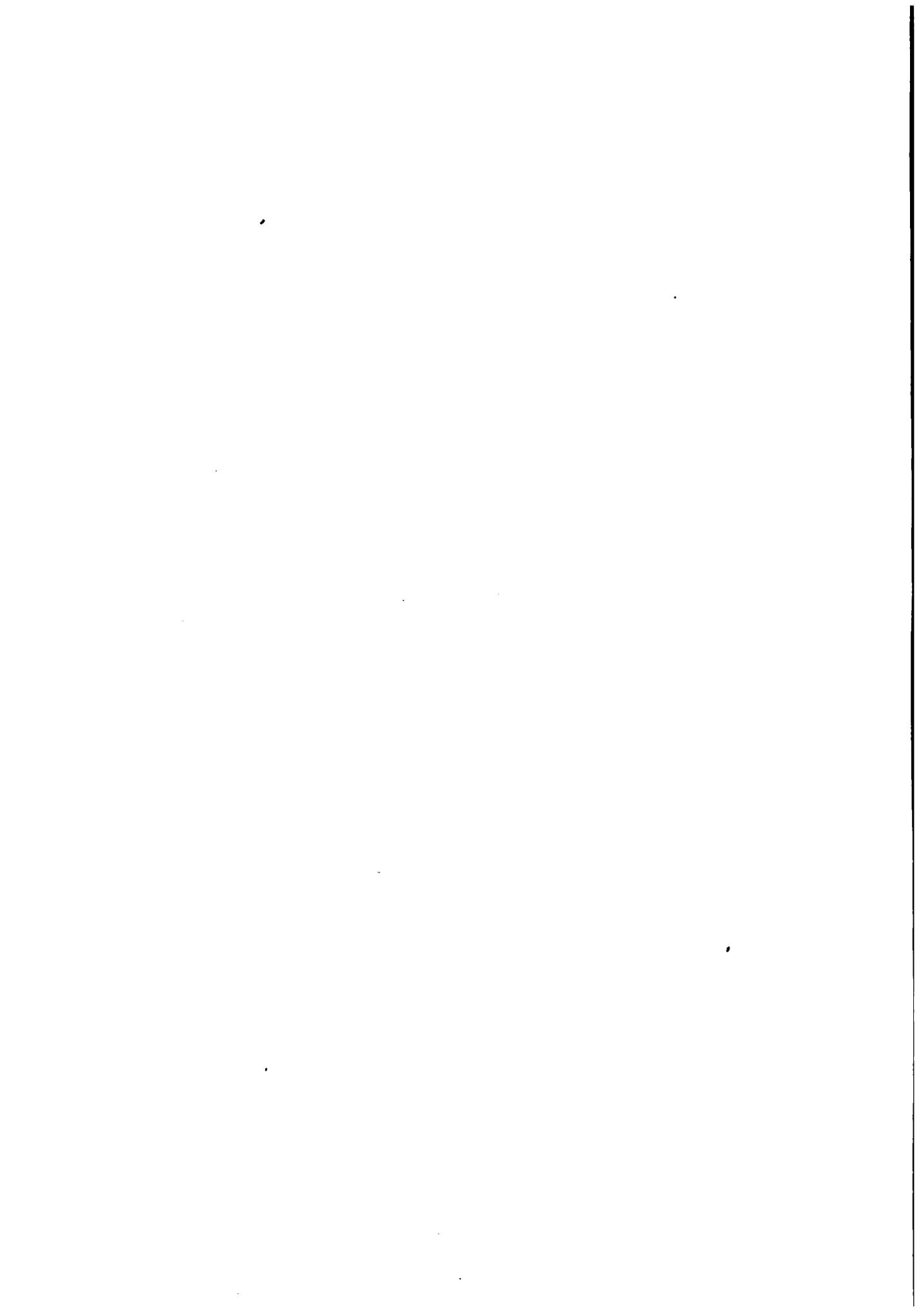
N O R T E

A	B	C	D	E	Σ	H m
9.35	9.35	9.29	9.25	9.27	46.51	9.30
9.42	9.25	9.10	9.13	9.08	45.98	9.20
9.24	9.13	9.03	8.89	8.88	45.17	9.03
9.07	8.99	8.97	8.80	8.82	44.65	8.93
8.95	8.89	8.97	8.77	8.75	44.33	8.87
8.83	8.75	8.79	8.71	8.63	43.71	8.74
8.85	8.74	8.75	8.65	8.62	43.61	8.72
8.96	8.88	8.78	8.61	8.57	43.80	8.76
8.80	8.68	8.68	8.60	8.65	43.41	8.68
81.47	80.66	80.36	79.41	79.27	401.17	
9.05	8.96	8.93	8.82	8.81		8.91



ORDENADAS





En el eje de las abscisas se ubican las distancias que se hayan considerado para las cuadrículas.

Se unen los puntos de las cotas Hm y se obtiene el perfil de las cotas promedio.

Ubiquemos en el eje de coordenadas la posición del centroide; como ya se expuso, por esta cota debe pasar obligatoriamente cualquier pendiente de rasante que se desee programar.

Esta pendiente se calcula por tanteo haciendo girar una reglilla alrededor del centroide sea hacia arriba o hacia abajo tratando objetivamente de encontrar las mínimas áreas que supongan el mínimo volúmen de tierra a mover.

Por este cálculo las cotas extremas serán:

Cota H m A	9.03
Cota H m E	<u>8.79</u>
Diferencia:	0.24

La pendiente será:

$$S = \frac{0.24 \times 1000}{80} = 0.003$$

Observemos en el grafico No. 1 la ubicación de las cotas Hm A y Hm E, entre ambas existe una distancia de 80 mts.

Por tanto para el plano de nivelación Oeste-Este, corresponde una pendiente de 0.003 y para cada abscisa a partir del centroide habrá una variación de cota de 0.06 mts tanto a derecha (restar) como a la izquierda (sumar), Ver cuadro No. 3

CUADRO NO. 3

CALCULO DE LA PENDIENTE OESTE -
ESTE: S = 0.003

CALCULO DE LA PENDIENTE NORTE -
SUR : S = 0.00375

N O R T E

A . B C D E

1			9.21		
2			9.135		
3			9.06		
4			8.985		
5	9.03	8.97	8.91	8.85	8.79
6			8.835		
7			8.76		
8			8.685		
9			8.61		

S U R

O E S T E

N I S E

En todo trabajo de nivelación tanto los cortes (-) como los rellenos (+) deben compensarse; el cuadro No. 4 prueba que los cálculos realizados son correctos a pesar de que existió en los cortes una diferencia de 0.02, ello se debe a las aproximaciones realizadas en el cálculo de las cotas Hm.

Además en la práctica se acepta errores hasta de 0.05 tanto en cortes como en relleno.

CUADRO No. 4

COMPENSACION DE CORTES Y RELLENOS
PENDIENTE OESTE - ESTE.

CENTROIDE: 8.91

LETRA DE LA COTA	H m	NUOVA COTA SEGUN PENDIENTE	CORTE	RELLENO
A	9.05	9.03	- 0.02	
B	8.96	8.97		+ 0.01
C	8.93	8.91	- 0.02	
D	8.82	8.85		+ 0.03
E	8.81	8.79	-0.02	
			-0.06	0.04

d. Calculo de la Pendiente Norte - Sur. Grafico No. 2

Al igual que en el caso anterior representemos en un eje de coordenadas las cotas Hm segun la pendiente Norte - Sur. En el eje de ordenadas anotemos cotas comprendidas entre 8.60 a 9.40 variandolas de 0.10 en 0.10

En el eje de las abscisas se ubicarán las distancias que se hayan considerado para las cuadrículas.

Unamos los puntos de ubicación de las cotas H m y se obtiene el perfil de las cotas promedio.

Ubiquemos la cota centroide y a partir de esta, de modo similar al caso anterior, busquemos por tanteo la línea de pendiente que subtienda el mínimo volumen de tierra por mover.

Las cotas extremas localizadas son:

Cota H m	1	9.21
Cota H m	9	<u>8.61</u>
Diferencia		0.60

La Pendiente será:

$$S = \frac{0.60 \times 1000}{160} = 0.00375$$

Observemos en el gráfico No. 2 la posición de las cotas H m 1 y H m 9 y veremos que entre ellas hay una separación de 160 mts.

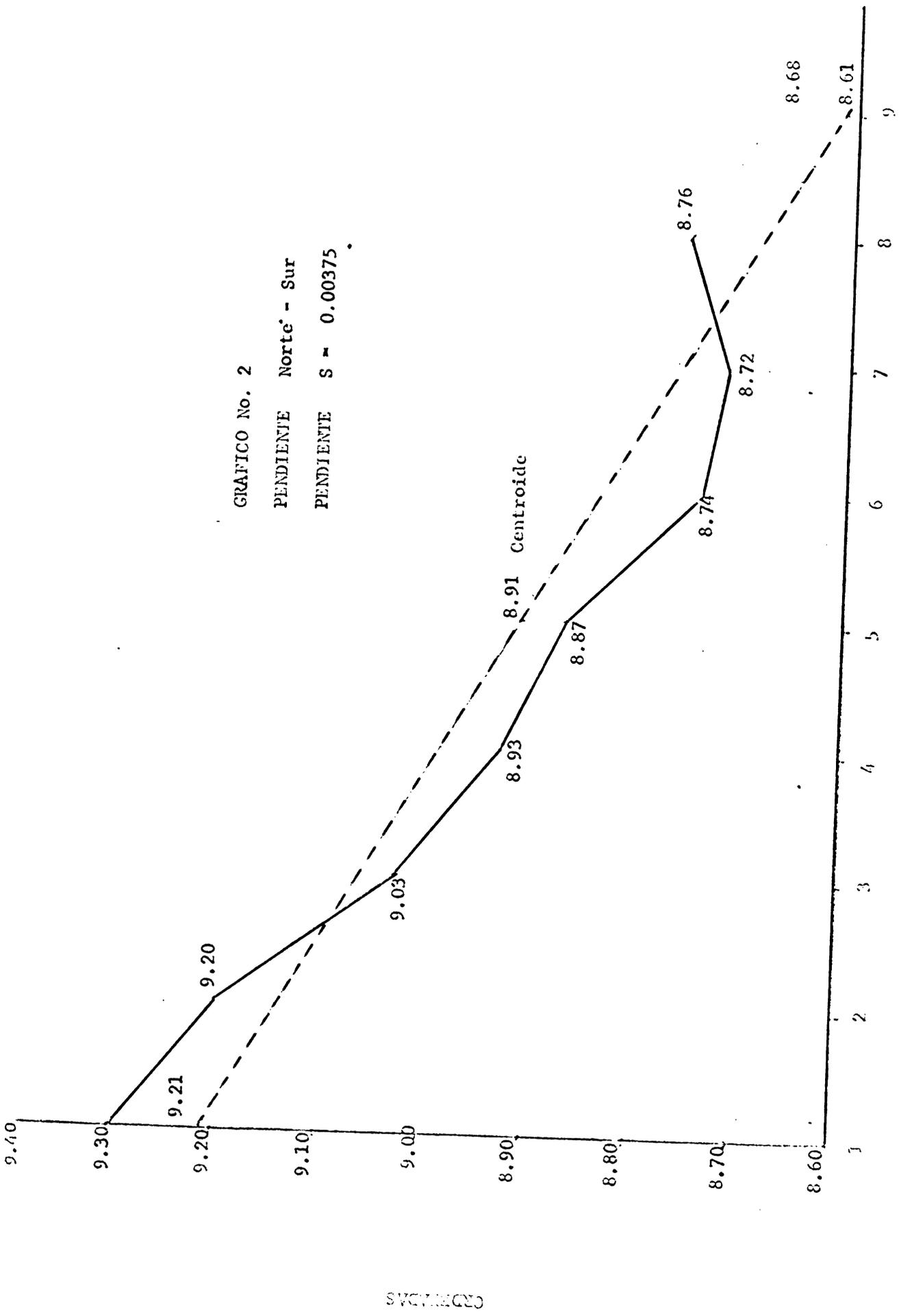
La pendiente 0.00375 corresponde al plano de nivelación Norte-Sur, por tanto para cada abscisa a partir del centroide habrá una variación de cota de 0.075 tanto a la derecha (restar), como a la izquierda (sumar); Ver cuadro No. 3.

En el cuadro No. 5 se indica la compensación entre cortes y rellenos para la pendiente Norte.

GRAFICO No. 2

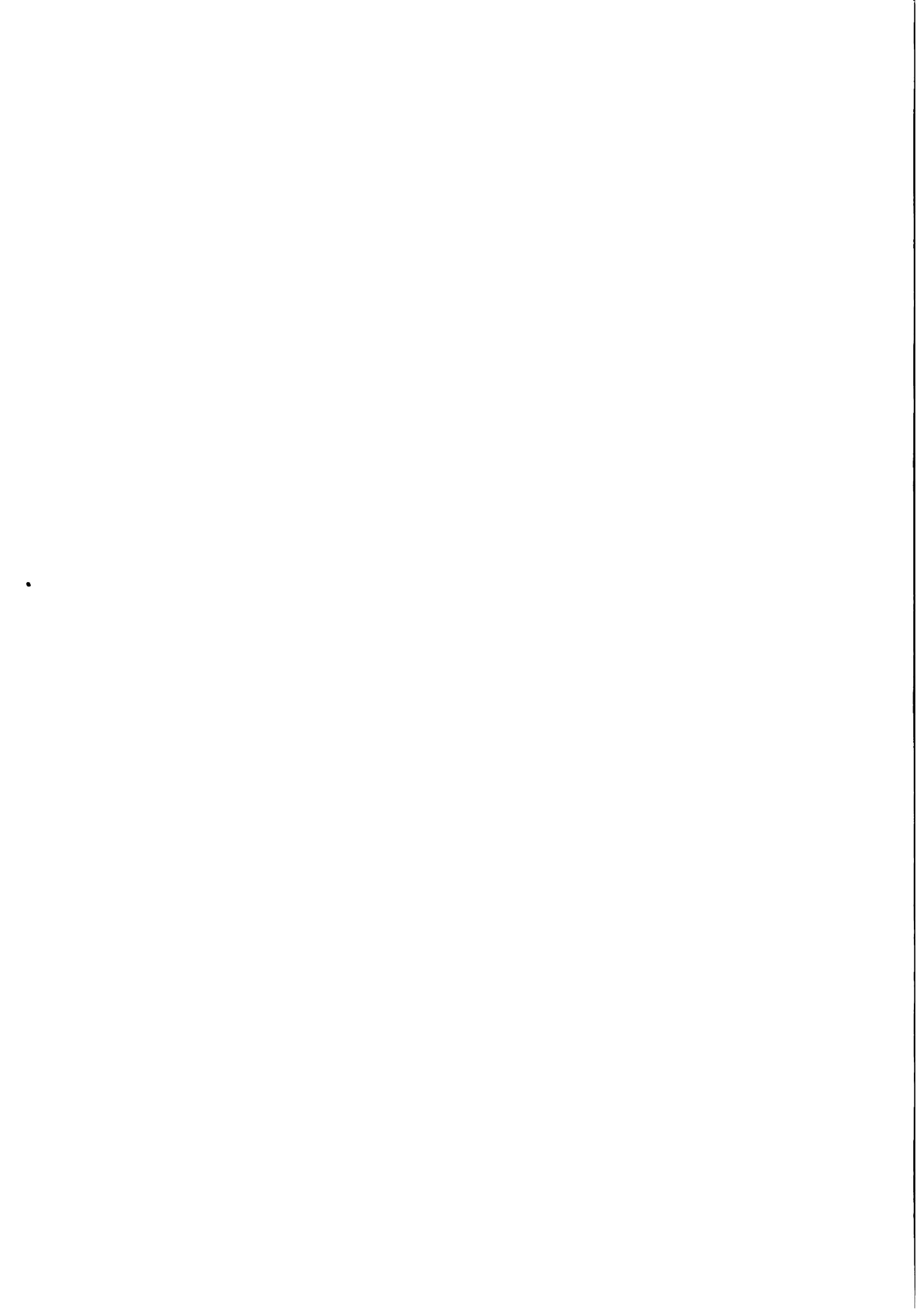
PENDIENTE Norte - Sur

PENDIENTE S = 0.00375



ORDENADAS

Ejes



CUADRO No. 5

COMPENSACION DE CORTES Y RELLENOS,
PENDIENTE NORTE - SUR.

CENTROIDE: 8.91

No. de la cota	H m	Nueva Cota Segun Pendiente	Corte	Relleno
1	9.30	9.21	- 0.09	
2	9.20	9.135	- 0.065	
3	9.03	9.06		+ 0.003
4	8.93	8.985		+ 0.055
5	8.87	8.91		+ 0.04
6	8.74	8.835		+ 0.095
7	8.72	8.76		+ 0.04
8	8.76	8.685	- 0.075	
9.	8.68	8.61	- 0.07	
			0.30	0.26

Observese que existe una diferencia de 0.04, ella es aceptable si pensamos que al calcular las cotas Hm se ha despreciado fracciones.

e. Cálculo de las nuevas Cotas

En el cuadro No. 3 puede observarse que las líneas de pendiente O-E y N-S ya están calculadas, son ellas ahora; las que van a fijar el plano de nivelación que corresponde al proyecto y en el cual podrán

desarrollarse los cultivos programados y aplicar el método de riego elegido. m

El resto de cotas es fácil calcularlas, para ello a partir de la línea de pendiente norte-sur y hacia la izquierda primero, se irá aumentando 0.06 mts., después hacia la derecha, se irá restando la misma cantidad partiendo en ambos casos de las cotas ubicadas en las cuadrículas de la columna C (pendiente Norte-Sur).

También hubiésemos obtenido el mismo resultado si por método análogo se hubiere partido de la línea de pendiente Oeste-Este sumando hacia arriba para cada cota 0.075 y restando hacia abajo igual valor.

El cuadro No. 6 indica cuales son las nuevas cotas del plano de nivelación para las pendientes Oeste-Este y Norte-Sur.

f. Cálculo de cortes y rellenos

En cada cuadrícula debe ubicarse la cota primitiva, la nueva cota y la diferencia positiva o negativa que corresponda. Cuadro No.7 Las diferencias negativas indican corte y las positivas relleno. Las nuevas cotas se replantearán en los puntos de nivelación tomados en la intercepción de las normales.

g. Cálculo del movimiento de tierra

Se reduce a una operación simple; para el caso que se desee calcular cual es el movimiento de tierra en cada cuadrícula, debe multiplicarse el área de la cuadrícula por la diferencia negativa existente entre la cota positiva y la cota del centroide. Pero si se va a calcular cual es el movimiento total de tierra, entonces será necesario ajustarse al siguiente procedimiento.

Matemáticamente los cortes deben compensar a los rellenos pero en

CUADRO No. 6

NUEVAS COTAS SEGUN PENDIENTE
OESTE - ESTE Y NORTE - SUR.

	N O R T E				
	A	B	C	D	E
1	9.33	9.27	9.21	9.15	9.09
2	9.255	9.195	9.135	9.075	9.015
3	9.18	9.12	9.06	9.00	8.94
4	9.105	9.045	8.985	8.925	8.865
5	9.03	8.97	8.91	8.85	8.79
6	8.955	8.895	8.835	8.775	8.715
7	8.88	8.82	8.76	8.70	8.64
8	8.805	8.745	8.685	8.625	8.565
9	8.73	8.67	8.61	8.55	8.49

E S T E

S U R

la practica esto no sucede porque siempre se requiere cortar más tierra para tal compensación. Se estima de acuerdo a la textura de los suelos que este exceso varía entre un 20 a un 40%. Para suelos francos su valor es 25% y aumenta a medida que se eleva el contenido de materia organica.

Si sumamos en el cuadro No. 7 los cortes y los rellenos vamos a encontrar que sus totales son casi identicos:

$$(\Sigma -) = 1.64$$

$$(\Sigma +) = 1.52$$

La diferencia de 0.12 es producto de los ajustes que se hicieron al redondear las nuevas cotas.

El volúmen teórico de tierra a mover sería:

$$1.64 \times 400 = 656 \text{ m}^3,$$

pero como el corte debe ser mayor que el relleno, el volúmen real sera 656 m^3 mas un 25% de este volúmen en el supuesto que el suelo tenga una textura franca con buen parentaje de materia orgánica.

Es obvio en este caso que para poder cortar tal volúmen sera necesario ajustar el valor del centroide; este ajuste se calcula por tanteo variandolo de 0.01 hasta que la relación entre cortes y rellenos acuse un exceso aproximado de 25%.

La siguiente ecuación permite establecer tal relación:

$$\text{Relación de } (\Sigma -) \text{ sobre relleno } (\Sigma +) = \frac{C - R}{R} \times 100$$

A modo de ejemplo nosotros vamos a variar el centroide de 8.91 a

CUADRO No. 7

COTAS PRIMITIVAS, NUEVAS Y DIFERENCIAS + 0 -

N O R T E

	A	B	C	D	E
1	9.33	9.27	9.21	9.15	9.09
	9.35	9.35	9.29	9.25	9.27
	-0.02	-0.08	-0.08	-0.10	-0.18
2	9.26	9.20	9.14	9.08	9.02
	9.42	9.25	9.10	9.13	9.08
	-0.16	-0.05	+0.04	-0.05	-0.06
3	9.18	9.12	9.06	9.00	8.94
	9.24	9.13	9.03	8.89	8.88
	-0.06	-0.01	+0.03	+0.11	+0.06
4	9.11	9.05	8.99	8.93	8.87
	9.07	8.99	8.97	8.80	8.82
	+0.04	+0.06	+0.02	+0.13	+0.05
5	9.03	8.97	8.91	8.85	8.79
	8.95	8.89	8.97	8.77	8.75
	+0.08	+0.08	-0.06	+0.08	+0.04
6	8.96	8.90	8.84	8.78	8.72
	8.83	8.75	8.79	8.71	8.63
	+0.13	+0.15	+0.05	+0.07	+0.09
7	8.88	8.82	8.76	8.70	8.64
	8.85	8.74	8.75	8.65	8.62
	+0.03	+0.08	+0.01	+0.05	+0.02
8	8.81	8.75	8.69	8.63	8.57
	8.96	8.88	8.78	8.61	8.57
	-0.15	-0.13	-0.09	+0.02	0.00
9	8.73	8.67	8.61	8.55	8.49
	8.80	8.68	8.68	8.60	8.65
	-0.07	-0.01	-0.07	-0.05	-0.16

E S T E

S U R

* Ajustadas a cifras mas manejables.

CALCULO DE CORTES Y RELLENOS

CORTES AJUSTADOS SEGUN $\frac{C - R}{R} \times 100$

	A	B	C	D	E
1	9.32 9.35 -0.03	9.26 9.35 -0.09	9.20 9.29 -0.09	9.14 9.25 -0.11	9.08 9.27 -0.19
2	9.25 9.42 -0.17	9.19 9.25 -0.06	9.31 9.10 0.21	9.07 9.13 -0.06	9.01 9.08 -0.07
3	9.17 9.24 -0.07	9.11 9.13 -0.02	9.05 9.03 0.02	8.99 8.89 0.10	8.93 8.88 0.05
4	9.10 9.07 0.03	9.04 8.99 0.05	8.98 8.97 0.01	8.92 8.80 0.12	8.86 8.82 0.04
5	9.02 8.95 0.07	8.96 8.89 0.07	8.90 8.97 -0.07	8.84 8.77 0.07	8.78 8.75 0.03
6	8.95 8.83 0.12	8.89 8.75 0.14	8.83 8.79 0.04	8.77 8.71 0.06	8.71 8.63 0.08
7	8.87 8.85 0.02	8.81 8.74 0.07	8.75 8.75	8.69 8.65 0.04	8.63 8.62 0.01
8	8.80 8.96 -0.16	8.74 8.88 -0.14	8.68 8.78 -0.10	8.62 8.61 0.01	8.56 8.57 -0.01
9	8.72 8.80 -0.08	8.66 8.68 -0.02	8.60 8.68 -0.08	8.54 8.60 -0.06	8.48 8.65 -0.17

$\sum -$	0.51	0.33	0.34	0.23	0.44	1.85
$\sum +$	0.24	0.33	0.28	0.40	0.21	1.46

Ajuste ($\sum -$) sobre ($\sum +$) = $\frac{C - R}{R} \times 100$

Idem = $\frac{1.85-1.46}{1.46} \times 100 = 27\%$

a 8.90 y a partir de 8.90 se calculará cuales son las nuevas cotas y cuales los cortes y rellenos. El cuadro No. 8 expresa objetivamente este cálculo.

Con el ajuste establecido el volúmen final de tierra a moverse es:

$$\text{Vol. tierra Total} = 1.85 \times 400 = 740 \text{ m}^3$$

Si el terreno tiene una superficie de $100 \times 180 = 18000 \text{ m}^2$,

por hectarea, el volúmen de tierra a mover será de 411 m^3 .

h. Plano de distribución de la Tierra

En la figura No. 1 se presenta de modo práctico cuales son las cuadrículas de corte y cuales las de relleno, esta representación facilita además, preparar el plan de distribución de la tierra. Aparentemente da la imagen de distancias de desplazamiento excesivos, pero si pensamos en los espesores de corte y que la maquinaria por utilizarse es una motoniveladora, no existirá problema para la realización del trabajo porque esta maquinaria es eficiente hasta distancias de 180 mts.

3. Método de los mínimos cuadrados

Es uno de los métodos de nivelación de tierras mas utilizados porque lleva hacia el mínimo movimiento de tierra. Su cálculo es mas o menos sencillo y para la determinación de las pendientes naturales se parte de la siguiente formula:

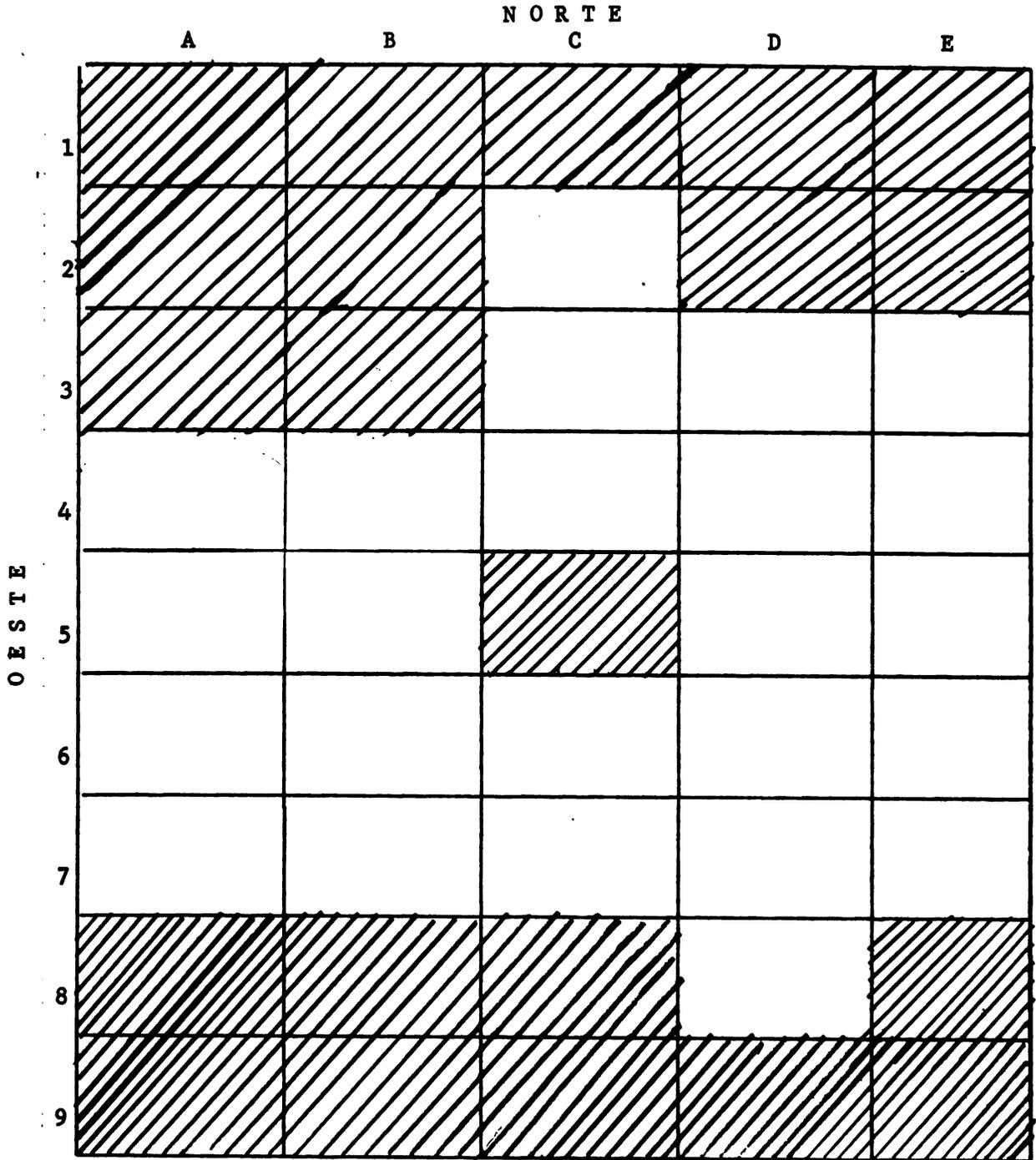
$$b \text{ o } c = \frac{\sum(X Y) - \frac{\sum X \times \sum Y}{n}}{\sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (1)$$

Donde:

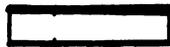
b = Pendiente natural Oeste - Este

FIGURA No. 1

REPRESENTACION GRAFICA DE CORTES Y RELLENOS.



 CORTES

 RELLENO

SUR

- c = Pendiente Natural Norte - Sur
- Σ = Sumatoria
- X = Orden de las cotas contadas a partir del Oeste y del Norte
- Y = Cota Hm de las columnas de las letras y de los números.
- n = Número de filas

3.1 Cálculo de la pendiente Oeste - Este (b)

Para su cálculo se aplicará la fórmula expresada anteriormente pero primero habrá que seguir los pasos que a continuación se indican:

a. Cálculo de $\Sigma (XY)$

$$1 \times 9.05 = 9.05$$

$$2 \times 8.96 = 17.92$$

$$3 \times 8.93 = 26.79$$

$$4 \times 8.82 = 35.28$$

$$5 \times 8.81 = \underline{44.05}$$

$$\Sigma(X Y) = 133.09$$

b. Cálculo de ΣX

$$\Sigma X = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$$

c. Cálculo de ΣY

$$9.05$$

$$8.96$$

$$8.93$$

$$8.82$$

$$8.81$$

$$\Sigma Y = \underline{44.57}$$

d. Cálculo de n

$$n = 5$$

e. Cálculo de $\sum (X)^2$

$$\begin{aligned} 1^2 &= 1 \\ 2^2 &= 4 \\ 3^2 &= 9 \\ 4^2 &= 16 \\ 5^2 &= 25 \\ \hline \sum (X)^2 &= 55 \end{aligned}$$

f. Cálculo de $(\sum X)^2$

$$\begin{aligned} \sum X &= 15 \\ (\sum X)^2 &= 15^2 = 225 \end{aligned}$$

Reemplazaremos valores en la fórmula (1)

$$b = \frac{138.09 - 15 \times 44.57}{55 - \frac{225}{5}} = 0.06$$

3.2 Cálculo de la pendiente Norte - Sur (c)

a. Cálculo de $\sum X$, $\sum Y$ y $\sum (XY)$

1	X	9.30	=	9.30
2	X	9.20	=	18.40
3	X	9.03	=	27.09
4	X	8.93	=	35.72
5	X	8.87	=	44.35
6	X	8.74	=	52.44
7	X	8.72	=	61.04
8	X	8.76	=	70.08
9	X	8.68	=	78.12

$$\sum X=45 \quad \sum Y=80.23 \quad \sum (XY)=396.54$$

b. Cálculo de n

$$n = 9$$

c. Cálculo de $(\sum X)^2$

$$\sum X = 45$$

$$(\sum X)^2 = 2025$$

d. Cálculo de $\sum(X)^2$

$$1^2 = 1$$

$$2^2 = 4$$

$$3^2 = 9$$

$$4^2 = 16$$

$$5^2 = 25$$

$$6^2 = 36$$

$$7^2 = 49$$

$$8^2 = 64$$

$$9^2 = 81$$

$$\sum (X)^2 = \frac{2}{285}$$

Reemplazemos valores en la fórmula (1)

$$c = \frac{396.54 - \frac{45 \times 80.23}{9}}{285 - \frac{2025}{9}} = - 0.08$$

Los valores calculados para b y c expresan la diferencia de nivel entre 2 cotas consecutivas; por ejemplo:

Para b, entre A1 y B1

Para c, entre A1 y A2

Cual sería la diferencia de cotas referidas a tanto por mil?

$$b = \frac{0.06 \times 1.000}{20} = 3.0 \text{ o/oo } \delta \text{ s} = 0.003$$

$$c = \frac{0.08 \times 1.000}{20} = 4.0 \text{ o/oo } \delta \text{ s} = 0.004$$

El Cálculo de la pendiente b y c se simplifica si se utilizan los valores resueltos indicados en el Cuadro No. 9.

3.3 Cálculo de las nuevas cotas

Hasta este momento hemos calculado por el método de mínimos cuadrados, los siguientes valores:

Cota Centroide ubicada en el Centro del Terreno

Pendiente Oeste - Este (b)

Pendiente Norte - Sur (c)

Si las pendientes calculadas satisfacen las exigencias del Proyecto de Riego, puede calcularse las cotas del terreno que corresponden a una nivelación óptima y en la cual se reduce el movimiento de tierra a su mínima expresión. Pero si así no fuese, nos encontraríamos ante un problema cuya solución la veremos más adelante.

El cálculo de las nuevas cotas se hará a partir de la siguiente ecuación:

$$a = Hc + b X_m + c Y_m \quad (2)$$

Donde:

a = Cota definitiva que se busca

Hc = Cota del Centroide (8.91)

b = Pendiente Oeste - Este (- 0.06)

X_m = Coordenada de la Cota buscada con respecto al centroide, según pendiente Oeste - Este y expresada por el número de cuadrículas

c = Pendiente Norte - Sur (- 0.08)

CUADRO No. 9

Valores resueltos para cálculo de b y c

n	$\sum \frac{X}{n}$	$\sum (X)^2 - \frac{\sum (X)^2}{n}$
2	1.5	0.5
3	2.0	2.0
4	2.5	5.0
5	3.0	10.0
6	3.5	17.5
7	4.0	28.0
8	4.5	42.0
9	5.0	60.0
10	5.5	82.5
11	6.0	110.0
12	6.5	143.0
13	7.0	182.0
14	7.5	227.5
15	8.0	280.0
16	8.5	340.0
17	9.0	408.0
18	9.5	484.5
19	10.0	570.0
20	10.5	665.0
21	11.0	770.0
22	11.5	885.5
23	12.0	1012.0
24	12.5	1150.0
25	13.0	1300.0
26	13.5	1462.5

Y_m = Coordenada de la Cota que se busca con respecto al centroide según pendiente norte - sur y expresada por el número de cuadrículas.

Regla de Signos para uso en la Ecuación

(2)

	N				
	-	-	+	-	
O	-	+	+	+	E
	S				

Reemplacemos valores en la fórmula y calculemos las nuevas cotas.

$$\begin{aligned} A1 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) - (-0.08 \times 4) = 9.35 \\ A2 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) - (-0.08 \times 3) = 9.27 \\ A3 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) - (-0.08 \times 2) = 9.19 \\ A4 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) - (-0.08 \times 1) = 9.11 \\ A5 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) - (-0.08 \times 0) = 9.03 \\ A6 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) + (-0.08 \times 1) = 8.95 \\ A7 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) + (-0.08 \times 2) = 8.87 \\ A8 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) + (-0.08 \times 3) = 8.79 \\ A9 &= 8.91 - (-0.06 \times 2) + (-0.08 \times 4) = 8.71 \end{aligned}$$

El cálculo de las cotas correspondientes a las otras cuadrículas ya no tiene ningún problema, solo basta seguir un procedimiento similar al indicado pero teniendo especial cuidado en la regla de signos que se da para cada cuadrante.

Otro modo bastante sencillo para calcular las cotas de las cuadrículas es variando a partir del centroide la constante 0.06 tanto a derecha (restar), como a la izquierda (sumar) y hacia arriba (sumar) y hacia abajo (restar), la constante 0.08.

3.4 Cálculo del Movimiento de Tierra.

Se procede de modo similar al método que se indico para los perfiles medios. El cuadro No. 10 indica el procedimiento seguido. Observese que el centroide ha sido corregido para compensar cortes y rellenos y que las nuevas cotas en algunos casos se han redondeado para facilidad de cálculo.

La figura No. 2 representa gráficamente los cortes y rellenos, de igual manera facilita objetivamente elaborar el plan de distribución de tierra.

Con la determinación de las pendientes por el método de los mínimos cuadrados, se obtiene un plano de nivelación en el cual el volumen de tierra a mover es de 756 m^3 incluyendo el volumen para compensar el relleno (54.9%), este volumen de ajuste es excesivo obligaría talves a rebajar el centroide solo a 8.905, pero a modo de ejercicio vamos a aceptarlo. La diferencia de volumen que existe con respecto al método práctico de perfiles medios no es significativa, pero queda a criterio del técnico que proyecte un plan de regadío elegir uno u otro método.

La experiencia ha demostrado que todo proyecto de nivelación de tierras para su riego y evacuación de excedentes debe ajustarse a las siguientes especificaciones:

Nivelación Económica	de 200	a	450	m^3	/ Ha
Nivelación Media	de 450	a	750	"	
Nivelación pesada	mas de		750	"	

Es lógico que antes de ejecutar el proyecto de nivelación debe analizarse su costo y ver si la rentabilidad de los cultivos que se planifiquen puede o no retornar la inversión en el caso del ejemplo, el movimiento de tierra por hectarea es de 420 m^3 por tanto estamos dentro de las especificaciones aceptables.

CUADRO No. 10

Nuevas Cotas, Cortes y Rellenos

N O R T E

	A	B	C	D	E
O E S T E	9.34 9.35 -0.01	9.28 9.35 -0.07	9.22 9.29 -0.07	9.16 9.25 -0.09	9.10 9.27 -0.17
	9.26 9.42 -0.16	9.20 9.25 -0.05	9.14 9.10 +0.04	9.08 9.13 -0.05	9.02 9.08 -0.06
	9.18 9.24 -0.06	9.12 9.13 -0.01	9.06 9.03 +0.03	9.00 8.89 +0.11	8.94 8.88 +0.06
	9.10 9.07 +0.03	9.04 8.99 +0.05	8.98 8.97 +0.01	8.92 8.80 +0.12	8.86 8.82 +0.04
	9.02 8.95 +0.07	8.96 8.89 +0.07	8.90 8.97 -0.07	8.84 8.77 +0.07	8.78 8.75 +0.03
	8.94 8.83 +0.11	8.88 8.75 +0.13	8.82 8.79 +0.03	8.76 8.71 +0.05	8.70 8.63 +0.07
	8.86 8.85 +0.01	8.80 8.74 +0.06	8.74 8.75 -0.01	8.68 8.65 +0.03	8.62 8.62 +0.00
	8.78 8.96 -0.18	8.72 8.88 -0.16	8.66 8.78 -0.12	8.60 8.61 -0.01	8.54 8.57 -0.03
	8.70 8.80 -0.10	8.64 8.68 -0.04	8.58 8.68 -0.10	8.52 8.60 -0.08	8.46 8.65 -0.19

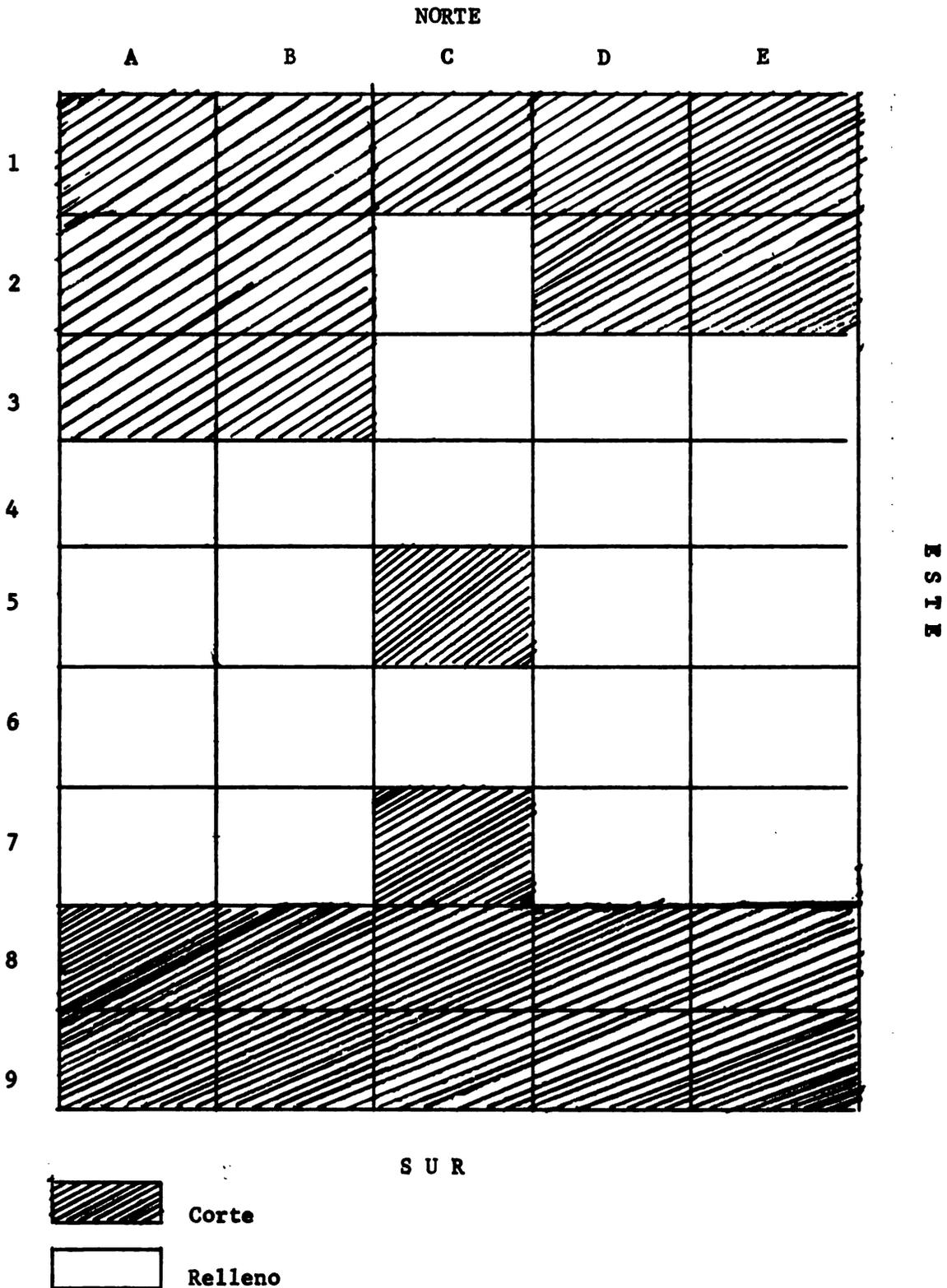
E
S
T
E

(Σ -)	0.51	0.33	0.37	0.23	0.45	(Σ -) T = 1.89
(Σ +)	0.22	0.31	0.11	0.38	0.20	(Σ +) T = 1.22

Ajuste = $\frac{1.89 - 1.22}{1.22} \times 100 = 54.9$

FIGURA No.2

Representación de Cortes y Rellenos



Con los valores obtenidos para las pendientes O - E y N - S se puede programar la siembra de cualquier cultivo cuyo riego se haga por el método de infiltración. Si el suelo es arcilloso no existe problema de erosión, pero si es franco, franco limoso o ligero, tampoco existiría problema si la dirección de siembra se dirige en función de la pendiente determinada por la textura de estos suelos; en cualquiera de estos casos habría que orientarla hacia el paralelismo de las curvas de nivel.

Si el suelo fuese arcilloso o con un perfil como el que se indica a continuación y si se deseara sembrar arroz habría que pensar en la construcción de terrazas.

<u>Profundidad del Suelo en mts</u>	<u>Clase de Suelo</u>
De 0.05 a 0.20	Suelo franco arenoso con buen porcentaje de materia orgánica
De 0.21 a 0.30	Suelo franco arenoso con un clay pand cercano a los 0.30at
De 0.31 a 0.40	Areniscas consolidadas
De 0.41 a 0.50	Arenas mas o menos gruesas y consolidadas
De 0.51 a 0.60	Idem
De 0.61 a 0.70	Arena gruesa consolidada
De 0.71 a 0.80	Idem.

Del análisis del perfil se deduce que a pesar de la textura física del suelo es factible planificar cualquier proyecto de arroz e inclusive programar su sistematización por terrazas. La presencia del Clay Pand y de las areniscas consolidadas crean un estrato impermeable que impide la percolación de las aguas.

Nivelación del Suelo por Terrazas

Al calcular la pendiente natural de un terreno según la dirección Oeste-Este se ha encontrado que ella es $S = 0.0043$ siendo excesiva para la siembra de arroz; por tanto debe sistematizarse para que sirva para tal fin.

La pendiente Norte - Sur es $S = 0.0001$, lo cual indica que el terreno en este sentido se encuentra a nivel.

Bajo estas condiciones el terreno ofrece excelente perspectiva para sistematizarse en terrazas porque además de facilitar la siembra de arroz, resulta económico el movimiento de tierra.

En el gráfico No. 3 se presenta el perfil de las cotas Hm del terreno según la dirección O - E y la proyección de terrazas a construirse.

El cálculo de movimiento de tierra se ajusta a un proceso bastante sencillo.

Terraza AC

De acuerdo al perfil y abscisas de las cotas Hm, las terrazas tendrán un ancho de 40 mts. En el extremo de cada terraza es necesario construir un borde de contención de 0.30 mts de alto y taludes de 1.5 en 1; el volumen de tierra para este borde tiene que considerarse dentro del movimiento de tierra.

Se ha dicho que la relación corte a relleno tiene que ajustarse a un porcentaje de exceso generalmente variable entre 25 a 40% en nuestro caso elegiremos el que más se acerque al 40%

Volumen del bordo:

$$A = \frac{0.40 + (.2 \times 0.45 + 40)}{2} \times 0.30 = 0.255 \text{ m}^2$$

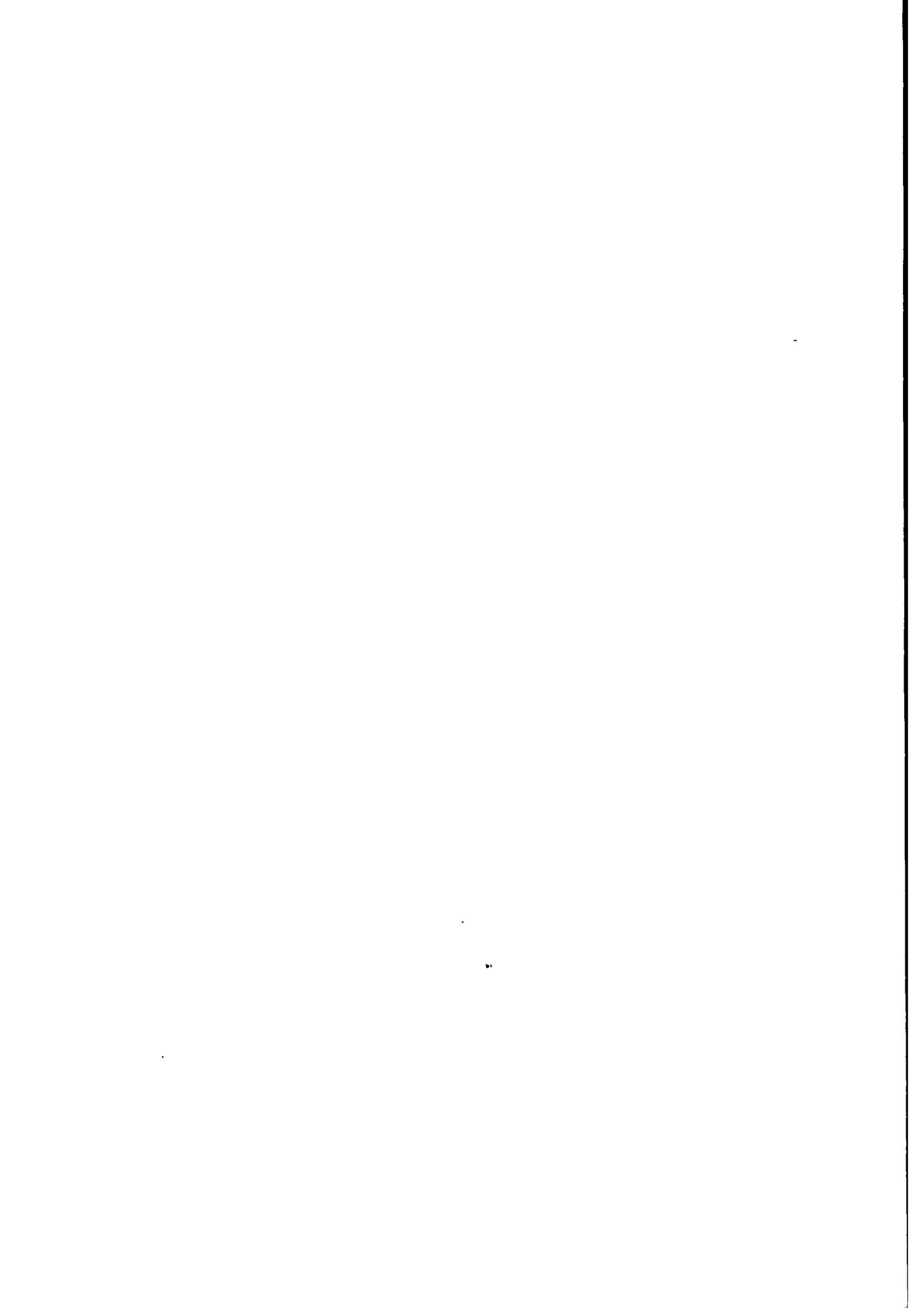
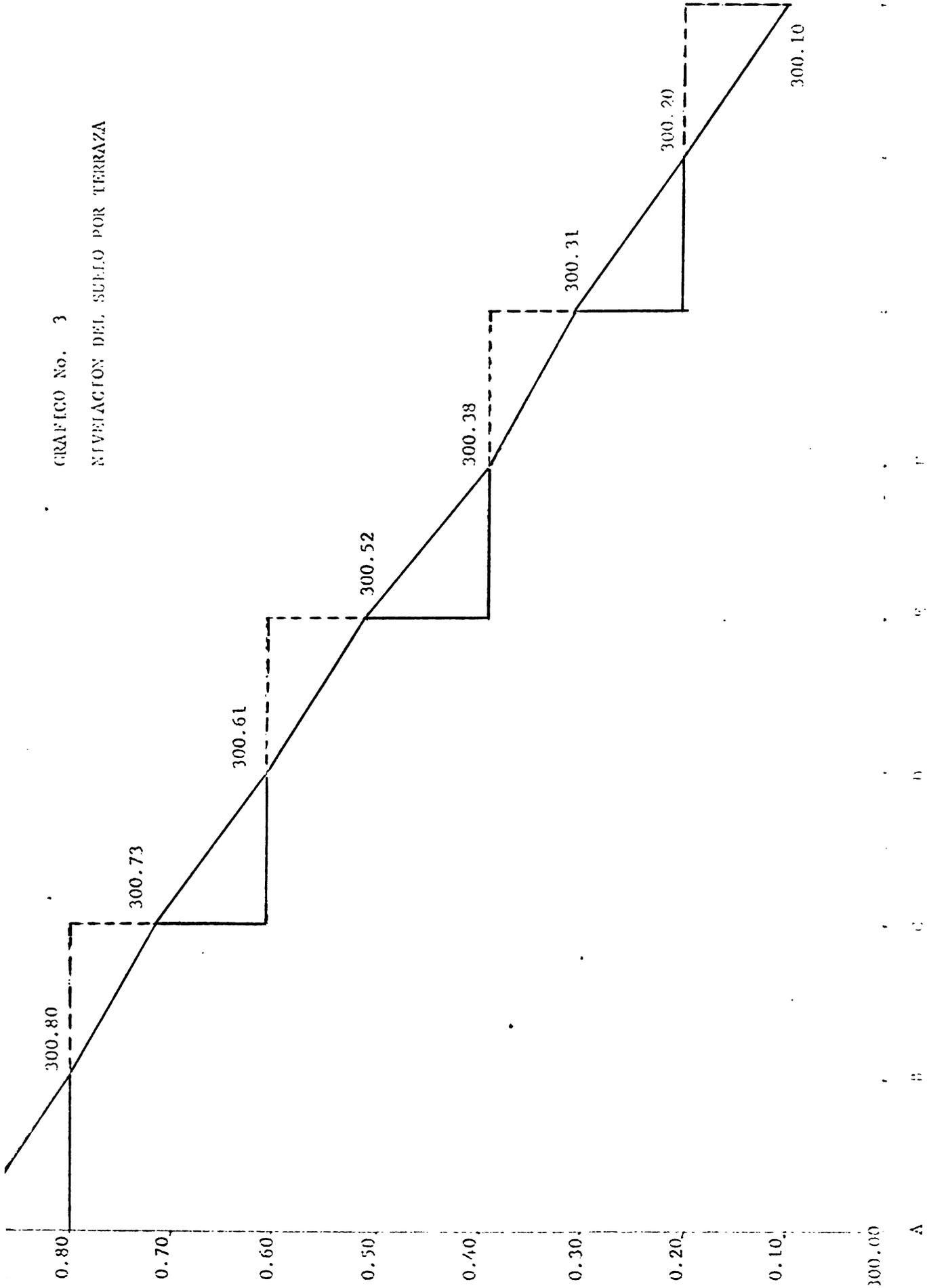
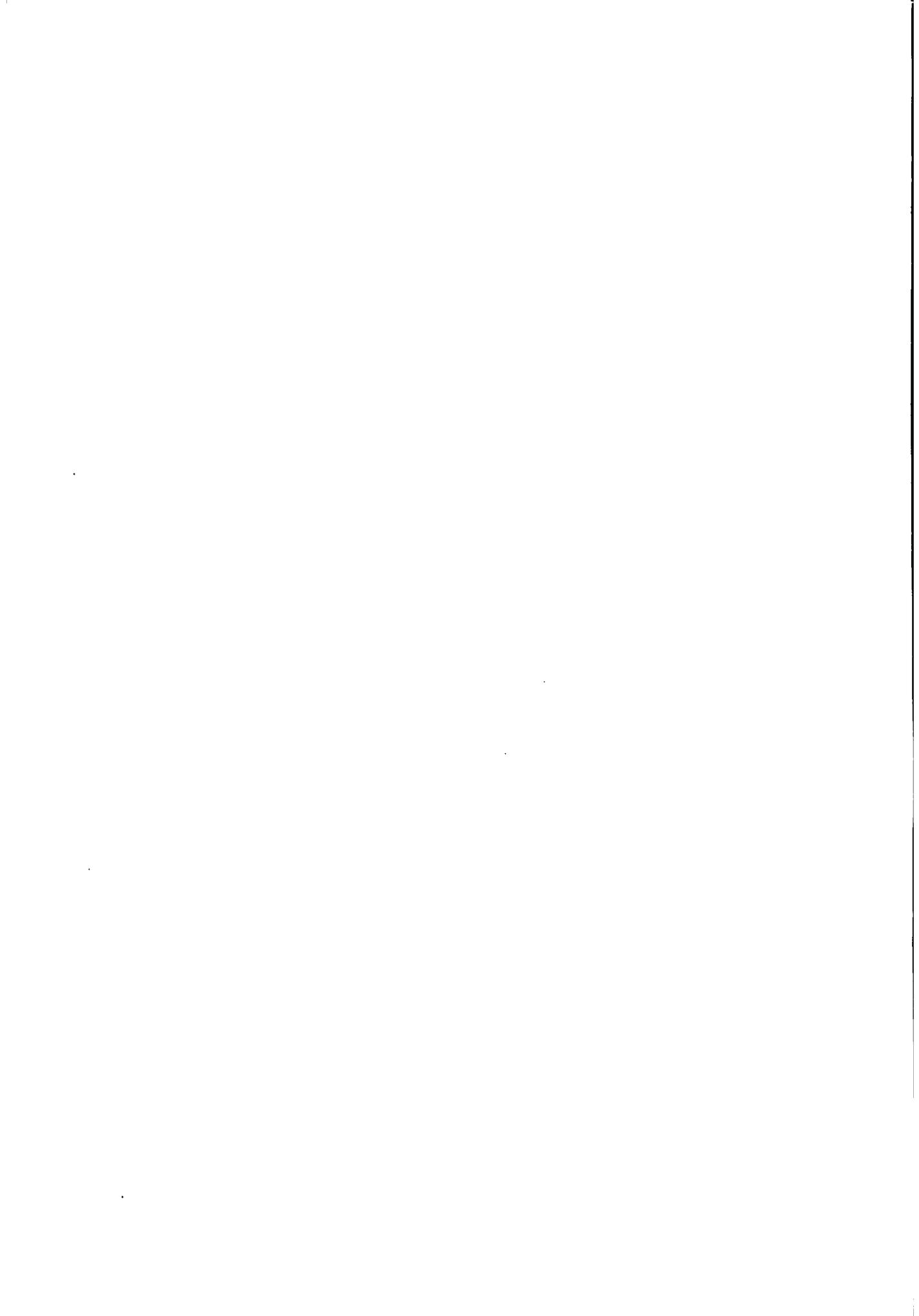


GRAFICO No. 3

NIVELACION DEL SUELO POR TERRAZA





$$\text{Volúmen} = 0.255 \times 200 \text{ (longitud de la terraza)} = 51 \text{ m}^3$$

Observemos que la cota base de la primera terraza es 300.80; así mismo que la tierra para rellenar el triángulo de líneas punteadas tiene que provenir de la que se corte del triángulo de contorno continuo, de igual modo de este triángulo debe salir el volúmen de tierra para construir el bordo y el volúmen de exceso para compensar el relleno.

- Cálculo del volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.91 - 300.80) \times 20}{2} \times 200 = 220 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen de relleno:

$$V_r = \frac{(300.80 - 300.73) \times 20}{2} \times 200 = 140 \text{ m}^3$$

Volumen de tierra a mover	220 m ³
Volumen de tierra para bordo	<u>51 m³</u>
Saldo	169 m ³

$$\text{Ajuste: } \frac{169 - 140}{140} \times 100 = 21\% \text{ aceptable}$$

Terraza CE

Volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.73 - 300.61) \times 20}{2} \times 200 = 240 \text{ m}^3$$

Volumen de relleno:

$$V_r = \frac{(300.61 - 300.52) \times 20}{2} \times 200 = 180 \text{ m}^3$$

La diferencia entre el volumen de corte y de relleno es insuficiente para construir el bordo de contención y compensar el volumen de exceso, por tanto será necesario bajar el corte hasta la cota 300.59 de esta manera se

contará con un volumen adicional para las distintas compensaciones.

Nuevo volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.73 - 300.59) \times 20}{2} \times 200 = 280 \text{ m}^3$$

Volumen de tierra a mover	280 m ³
Volumen de tierra para bordo	51 m ³
Saldo	<hr/> 229 m ³

$$\text{Ajuste: } \frac{229 - 180}{180} \times 100 = 27\% \text{ acceptable}$$

Terraza EG

Volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.52 - 300.38) \times 20}{2} \times 200 = 280 \text{ m}^3$$

Volumen de relleno:

$$V_r = \frac{(300.38 - 300.31) \times 20}{2} \times 200 = 140 \text{ m}^3$$

La diferencia entre el volumen de corte y el de relleno es excesiva para construir el bordo de contención y para compensar al relleno, por tal circunstancia habría que calcular por tanteo el número de centímetros a que debe corregirse la cota 300.38 para nuestro ejemplo se requiere pasar esta cota a 300.40.

Volumen de corte (nuevo) :

$$V_c = \frac{(300.52 - 300.40) \times 20}{2} \times 200 = 240 \text{ m}^3$$

Volumen de tierra a mover	240 m ³
Volumen de tierra para bordo	51 m ³
Saldo	<hr/> 189 m ³

$$\text{Ajuste : } \frac{189 - 140}{140} \times 100 = 35\% \text{ aceptable}$$

Terraza GI

Volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.31 - 300.20) \times 20}{2} \times 200 = 220 \text{ m}^3$$

Volumen de relleno:

$$V_r = \frac{(300.20 - 300.10) \times 20}{2} \times 200 = 200 \text{ m}^3$$

El volumen de corte es insuficiente para compensar al volumen de tierra necesario para construir el borde y para compensar el relleno, en consecuencia debe bajarse la cota 300.20 a 300.16

Nuevo volumen de corte:

$$V_c = \frac{(300.31 - 300.16) \times 20}{2} \times 200 = 300 \text{ m}^3$$

Volumen de tierra a mover	300 m ³
Volumen de tierra para bordo	51 m ³
Saldo	<u>249 m³</u>

$$\text{Ajuste: } \frac{249 - 200}{200} \times 100 = 24.5\% \text{ aceptable}$$

En resumen el volumen de tierra a cortar será:

Terraza AC	-	220 m ³
Terraza CE	-	280 m ³
Terraza EG	-	240 m ³
Terraza GI	-	300 m ³
Total		<u>1040 m³</u>

Para el programa de nivelación por terrazas se ha movido un volumen total de 1040 m³ en una extensión de 3.2 Has. (160 X 200); por hectarea, el

movimiento sería 325 m^3 , volumen ampliamente económico y justifica la ejecución del proyecto.

5. Problemas especiales o limitantes de nivelación

No siempre es posible ejecutar un proyecto de regadío en el cual la nivelación de las tierras sea factor fundamental para la programación de cultivos y para el riego de los mismos.

La textura del suelo establece grados de cohesión que si se sobrepasan originan problemas de erosión con arrastre de plantaciones, de nutrientes en fin se pone en grave peligro toda inversión que se realice.

Si analizamos el perfil del suelo que a continuación se indica, llegaremos a la conclusión que es imposible programar cualquier proyecto de nivelación de tierras, porque la capa agrícola es tan insignificante en espesor que todo movimiento de tierra por mínimo que sea estaría quebrando la estructura física y química del suelo.

Espesor de Suelo

Clase de Suelo

De 0.0 a 0.10 mts

Arena de grano mediano con materia orgánica en alto porcentaje.

De 0.10 a 0.20 "

Arena de grano entre mediano a grueso con pérdidas de materia orgánica a medida que se progresa en profundidad.

De 0.20 a 0.30 "

Arena gruesa con vestigios de arcilla. Es probable que la arcilla encontrada en este nivel y mezclada en porcentaje variable con arena sea producto de la lixiviación ocasionada por la lluvia a través de infinidad de años. Está demostrado que es este el nivel que alcanza el coloide arcilla cuando

precipita y que determina con el transcurso del tiempo, capas impermeables denominadas "Clay Pand" Este perfil se encuentra en etapa de formación.

De 0.30 a 0.40 mts

Arena gruesa con gravilla.

De 0.40 a 0.50 "

Arena gruesa con gravilla.

Replanteo de Cotas en el Terreno

Este trabajo consiste en trasladar al terreno las nuevas cotas que han sido calculadas que como ya se expresó anteriormente son las que fijaran las pendientes de los planos de nivelación Oeste-Este y Norte-Sur.

Para el replanteo puede seguirse cualquiera de los métodos siguientes: Que la cabeza de la estaca de nivelación (punto de nivelación), corresponda a la cota que se desee alcanzar.

Colocando estacas, unas pintadas de blanco con la altura de corte y otras pintadas de rojo con la altura de relleno. Este método es objetivo y puede completarse indicando con cifras los valores de corte y relleno.

Con cualquiera que sea el método que se siga, no debe moverse las estacas porque es necesario chequear el trabajo de nivelación.

Existe otro método que es fruto de la experiencia y facilita enormemente el trabajo del operador de la maquinaria es el siguiente:

Indicar los cortes con estacas de 0.50 mts de longitud y pintadas de rojo; cada una de ellas equivale a cortes de 0.05 mts. Si hubiese cortes de 0.10 o 0.15 mts, se colocarán más o menos juntas 2 o 3 estacas.

Los rellenos se indican con estacas de 1.00 mts de longitud y pintadas de blanco; cada una equivale a 0.05 de relleno. Si hubiese rellenos de 0.10 o 0.15 se colocaran más o menos juntas 2 o 3 estacas. Para el respectivo control del trabajo de nivelación debe mantenerse en el terreno los puntos de nivelación.

C. Soluciones experimentales en el desarrollo físico de la Terrazas.

Estas soluciones experimentales se indican en los cuadros (del 12 al 17)

Naturaleza del Suelo	Pendiente Tanto por Mil	Dimensiones de Fajas mts.		Observaciones
		Longitud	Ancho	
Arena	2 - 4	60- 90	12-30	Riego muy rápido Faja corta
	2 - 6	60- 90	9-12	
	6 - 10	60- 90	6- 9	
Areno-Limosa	2 - 4	90-180	12-30	Riego bastante rápido fajas cortas
	4 - 6	90-180	6-12	
	6 - 10	90	6	
Limo-Arcillosa	2 - 4	180-300	12-30	Riego bastante lento, fajas largas
	4 - 6	90-180	6-12	
	6 - 10	90	6	
Arcilla poco Permeable	2 - 3	300-360	12-30	Riego lento y fajas largas
Arcilla muy poco permeable	2 - 3	300-360	12-30	Riego lento y fajas largas

Fuente: The Border Method of Irrigation by James C. Marr

Cuadro No. 13. Longitud y Ancho de las Fajas para Praderas, en Función de la Textura y Pendientes

Naturaleza del Suelo	Pendiente Tanto por Mil	Dimensiones de Fajas mts.		Observaciones
		Longitud	Ancho	
Lino-arcillosa Perfil 0.60 mts.	1.5- 6.0	90-180	4.60-18.0	Riego rápido Fajas cortas
	6.0-15.0	90-180	4.60- 6.0	
	15.0-40.0	90-180	4.60- 6.0	
Arcillosa Perfil 0.60 mts.	1.5- 6.0	180-300	4.60-18.0	Riego lento Fajas largas
	6.0-15.0	180-300	4.60- 6.0	
	15.0-40.0	180-300	4.60- 6.0	
Límbosa Perfil 0.15-0.60 mts.	10.0-40.0	90-300	4.60- 6.0	Pendiente fuerte, fajas estrechas, riego controlado

Fuente: The Border Method of Irrigation by James C. Marr.

Cuadro No.14. Relación entre la Pendiente, el Caudal, el Ancho y Longitud de las Fajas

Pendiente	Actuar Sobre		
	Caudal	Ancho	Longitud
Si aumenta	Reducir	Reducir	Aumentar
Si disminuye	Aumentar	Aumentar	Reducir

Ancho de las Fajas en Función de su Pendiente Longitudinal

Pendiente °/00	Ancho máximo en mts.
1.5 - 3.0	30
4.0 - 5.0	6- 9
Más de 5.0	4.5- 6

Cuadro No.15 Dimensiones de las Fajas en Función de la Pendiente, Caudal y Naturaleza del Suelo

Caudal Utilizado por la Faja		NATURALEZA DEL SUELO					
		Ligero Permeabilidad 30 cms. hora		Franco Permeabilidad 10 cms. hora		Arcilloso Permeabilidad 3...cms. hora	
Lts/se.	m ³ /hora	Dimensiones		Dimensiones		Dimensiones	
		Ancho mts.	Longitud mts.	Ancho mts.	Longitud mts.	Ancho mts.	Longitud mts.
		Superficie mts.2	Superficie mts.2	Superficie mts.2	Superficie mts.2	Superficie mts.2	Superficie mts.2
14	50.4						
28	100.8			9	106	9	176
42	151.2	8	56	11	129	12	265
56	201.6	9	66	13	146	15	318
70	252.0	10	75	14	170		
83	298.8	11	82	15	190		
		448				954	
		594				1419	
		750				1898	
		902				2380	
						2850	

Fuente: L'Irrigation - DeLoye, Rebour.

Cuadro No.16. Longitud de los Surcos en Función de la Textura del Suelo

Textura	Longitud en mts.
Arcillosa a arcillo-arenosa	150-250
Arcillo-arenosa a limosa	135-210
Limosa a limo-arenosa	100-180
Arena fina-limosa a arenosa	60-120

Cuadro No.17. Dimensión de los Pretiles o Eras en Función de la Pendiente del Terreno

Pendiente ‰	Dimensión
0.8	75 mts.
1.0	60 "
1.5	40 "
2.0	30 "

D. Maquinaria de Nivelación

Existe infinidad de equipos que más o menos cumplen el trabajo de nivelación, pero la maquinaria que se requiere para esta actividad debe ser específica y dentro de su conjunto existen los siguientes grupos:

- Equipos de nivelación
- Equipos para refinar
- Equipos complementarios: caballonador, surcador, zanjador, etc.

1. Equipos de Nivelación

Consideramos dentro de su importancia los siguientes:

a. El Buldozer o Empujador

Es una máquina ampliamente conocida, los hay de diferente marca con diferente longitud de "hoja de corte", variables en su potencia y montados sobre orugas o neumáticos. Su uso es obligado en cualquier proyecto de nivelación.

El volumen de tierra que mueven por hora está en función de la "hoja de corte", HP del tractor, pendiente de corte, distancia para remover y textura del suelo.

El siguiente cuadro relaciona estas variables y nos da en m^3 /hora, el volumen que puede mover un tractor de 85 HP a la barra del tiro, y con una eficiencia de 75%.

Cuadro No.18. Volúmen de tierra/Hora que Mueve un Bulldozer

Distancia de transporte en mts.	Pend. Ascendente		0% m ³	Pendiente Descendente	
	10%	5%		5%	10%
	m ³	m ³		m ³	m ³
15	40	53	68	93	120
30	24	32	34	55	71
45	18	24	32	42	54
60	14	18	23	32	41
75	11	15	19	26	34
90	9	12	15	22	28

Fuente: BUREAU de Constructores de Carreteras de U.S.A.

Para tractores de 30, 60 y 120 HP a la barra estos volúmenes deben multiplicarse por 0.30, 0.80 y 1.95 respectivamente.

b. Motoniveladora

Es otra máquina de nivelación de gran eficiencia y movilidad; su "hoja de corte" debido a su desplazamiento a diferente ángulo le permite hacer no sólo trabajos de nivelación, alisamiento, etc. sino también la construcción de zanjas o la conservación de ellas.

El ancho de su hoja de corte es variable, depende de la marca de fábrica, potencia de la máquina, etc. pero generalmente varía entre 1.50 a 3.50 mts.

Su rendimiento en m³/hora es mayor cuando su labor se asocia a la del buldozer; su eficiencia de trabajo se alcanza entre 100 a 140 metros de desplazamiento, pudiendo mover un promedio de 60 m³ de tierra por hora. Es también

otra máquina de uso obligado en cualquier proyecto de nivelación.

Trailla Agrícola

Es otra máquina de nivelación que sirve para cortar, cargar, vaciar y esparcir la tierra. Debido a que su equipo va montado sobre ruedas y su tiro se hace con tractor de neumáticos, puede utilizarse en el desplazamiento de tierra a grandes distancias. Su rendimiento es mayor cuando su trabajo se asocia al conjunto Bulldozer-Motoniveladora. En este caso, el bulldozer corta la tierra, la motoniveladora la desplaza y la trailla traslada la tierra que a modo de caballón va dejando la motoniveladora. Este conjunto (Bulldozer-Motoniveladora-Trailla Agrícola) representa la unidad de trabajo de nivelación de mayor eficiencia y que reduce enormemente el costo de todo proyecto de nivelación para regadillo de tierras.

En la construcción de carreteras se utilizan traillas que son arrastradas por bulldozer de oruga o por tractores de ruedas integrados a la trailla, su uso en la nivelación agrícola todavía no está difundido debido a los bajos volúmenes/Ha. que se aceptan como económicos o racionales; pero en volúmenes del orden de 700 M³/Ha. o más, bien podría pensarse en su utilización siempre y cuando exista a mano, técnicos que conozcan su aplicación en proyectos de esta naturaleza. Recuérdese que su costo de operación/hora es muy alto y si no se hizo un acertado estudio económico, el proyecto de adecuación de tierras puede resultar demasiado oneroso y con una inversión de difícil retorno.

El siguiente cuadro da valores estimados para el trabajo con traillas agrícolas.

	Ancho de corte en mts.				
	1.80	2.10	2.40	3.00	3.60
Capacidad en m ³	0.675	0.950	1.600	2.000	2.400
H.P. a la barra	25	30	40	50	60

Fuente: L'Irrigation Deloye - Rebour

2. Equipos Para Refinar

Dentro de su importancia y uso puede mencionarse las siguientes:

a. Niveladora Agrícola

Su trabajo es de alisamiento o para completar la labor de nivelación que se hizo con el anterior equipo. Las hay de diferentes marcas, longitud, ancho, montadas sobre neumáticos o de arrastre, con cuchilla de alisamiento con control automático, operables o rígida y de tiro para tractor de oruga o de neumático.

La que más se utiliza es aquella para tiro de tractor con neumáticos y que tiene cuchilla de alisamiento de control automático, con todo su conjunto montado sobre ruedas neumáticas. Se operan con tractores de 50 H.O. a la barra de tiro.

Su uso debe programarse de la siguiente manera:

- a. Un pasaje en sentido de la pendiente de riego con la cuchilla de alisamiento fija en determinada posición de trabajo. Operar en "melga".

- b. Un pasaje en sentido perpendicular al primer pasaje y con la cuchilla en la misma posición de trabajo.
- c. Un último pasaje en el mismo sentido que el primero y con la cuchilla con uno o dos puntos progresivos.

b. Land plane

No solamente es una máquina de alisamiento sino también puede utilizarse para nivelar pero a desplazamientos cortos. Es semejante a la anterior solo que su ancho y largo son mayores, su cuchilla de corte tiene mayor longitud y necesita para su operación tractores de 60-80 HP a la barra de tiro. Su operación es similar a la niveladora agrícola.

3. Equipos Complementarios

a. Caballonador de Discos

Se utiliza para construir caballones; su conjunto va montado en un enganche de 3 puntos de tractor de ruedas neumáticas y su unidad de trabajo consta de 2, 4 o 6 discos opuestos por parejas. El diámetro de los discos es variable pero el que más se utiliza es el de 20". Su aplicación es propia en los proyectos de regadío de arroz, pastos, etc.

b. Zanjadores

Son aparatos utilizados para abrir zanjas que posteriormente serán canales de regadío. Constan de un cuerpo central que lleva a uno y otro lado vertederas de arado orientadas en sentido opuesto. El aparato se monta sobre un tractor con

enganche en 3 puntos, el control de profundidad se hace por sistema hidráulico y el ancho se regula previamente.

También existen otros modelos de zanjadores, los llamados de tiro, montados sobre un bastidor con ruedas neumáticas y también con control hidráulico operable desde el tractor. Uno u otro modelo sirve para el fin que se persiga.

4. Ejecución de los Trabajos de Nivelación con Maquinaria

Todo trabajo de nivelación debe ajustarse dentro de lo posible a la siguiente metodología:

- a. Desplazamiento de los cortes más importantes y largos utilizando la unidad operativa de nivelación: bulldozer, motoniveladora y trailla agrícola.
- b. Si el suelo se pone duro, esparificarlo con el equipo especial de la motoniveladora o bien utilizar un polidiscos tipo pesado y de tiro por tractor.
- c. Cortes y rellenos de acuerdo al programa de desplazamiento de tierra acercándose todo lo posible a la cota de nivelación.
- d. Alisamiento utilizando niveladora agrícola.
- e. Verificación de las cotas del plano de nivelación.

E.. Infraestructura para Riego y Evacuación de Excedentes - Nivel Predial

La infraestructura correspondiente a este nivel debe considerarse dentro de dos grupos:

- Obras permanentes

- Obras de caracter transitorio que desaparecen despues de cada campaña agrícola.

Veremos el caso de las Obras Permanentes que en realidad son las que nos interesan.

Toda obra para el nivel predial debe diseñarse y trazarse con un criterio topográfico para que su ubicación permita el riego de la totalidad del predio y cumpla además, con las especificaciones usuales de velocidades de flujo permisibles, secciones hidradlicas convenientes y pendientes acordes con el grado de cohesión del suelo.

Dentro del conjunto de obras permanentes que corrientemente se construyen en la red para riego y para evacuación de excedentes, podemos considerar las siguientes:

1. Estructura de Toma

Es de fundamental importancia no solo desde el punto de vista económico sino también técnico que las obras de toma nunca se diseñen para caudales menores de $0.050 \text{ m}^3/\text{Seg.}$; su capacidad de captación o de distribución debe ser función de la máxima necesidad del conjunto de cultivos programados. Si existe en el predio planes de cultivo y de riego, el cálculo de la obra se simplifica, pero si así no fuese y si no existiese práctica de riego alguna, debe para el cálculo estimado multiplicarse la capacidad útil del suelo por el promedio de profundidad de las raíces y por la unidad de superficie, se llegará así a un valor bastante aproximado del caudal que debe derivarse en la toma.

Consideremos un suelo franco en el cual las constantes hídricas y demás elementos de cálculo tienen los siguientes valores:

Maxima capacidad retentiva en porcentaje (CR)	18
Coefficiente de marchitez en porcentaje (CM)	8
Agua útil en porcentaje (AU)	10
Profundidad de raíces (PR)	0.70 mt
Eficiencia de riego a nivel predial (ER)	60%
Extensión del predio	30 Has
Tiempo de riego (De 6.00 a.m. a 600 p.m.)	12 Horas
Número de Has a regar por día	3

Solución:

$$Q = 0.10 \times 0.70 \times 10000 = 700 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$\text{Si ER} = 60\%$$

$$Q = \frac{700 \times 100}{60} = 1166 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$Q = 1200 \text{ m}^3/\text{Ha} \text{ (volumen manejable).}$$

Si la capacidad de riego del predio es de 3 Has por día se tiene:

$$Q = 3 \times 1200 \text{ m}^3 = 3600 \text{ m}^3/\text{día}$$

Quiere decir que el predio de acuerdo a su capacidad de riego solo puede regar 3 Has. por día y para tal fin necesita una dotación de 3600 m^3 que deben entregarse entre las 6:00 a.m. a las 6:00 p.m. horas. Por hora el volumen sería:

$$Q/\text{hora} = \frac{3600}{12} = 300 \text{ m}^3$$

$$Q/\text{seg.} = \frac{300}{3600} = 0.083 \text{ m}^3$$

Practicamente:

$$Q = 0.090 \text{ m}^3/\text{Seg.}$$

De acuerdo a esta descarga, las especificaciones técnicas de diseño de la toma tienen que ser función de este volumen.

Generalmente las tomas prediales se diseñan de mampostería con sección hidráulica rectangular y con compuerta de madera accionada por manubrio para la regulación del caudal. Calculemos cuales serían las especificaciones técnicas de la toma para que derive $0.090 \text{ m}^3/\text{Seg.}$

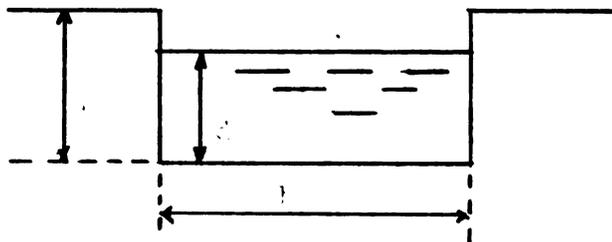
Características de diseño

$$Q = 0.090 \text{ m}^3/\text{Seg.}$$

$$n = 0.015$$

$$s = 0.0015$$

Talud = 90° pared vertical, sección rectangular revestida de mampostería.



Solución:

El cálculo de canales es un problema un tanto complicado por eso su solución siempre se busca por tanteo. Apoyandonos en este procedimiento se tratará de diseñar la sección hidráulica más económica que permite la descarga de $0.090 \text{ m}^3/\text{Seg.}$

a. Tanteo de áreas : $A = b \times d$

$$A = 0.60 \times 0.30 = 0.1800 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 0.55 \times 0.24 = 0.1300 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.50 \times 0.25 = 0.1250 \text{ m}^2$$

b. Cálculo de R para cada sección

$$R = \frac{A}{P}$$

En canales rectangulares, el perímetro mojado es igual a $p = b + 2 d$.

$$p = 0.60 + 2 \times 0.30 = 1.20 \text{ mts.}$$

$$p = 0.55 + 2 \times 0.24 = 1.03 \text{ ''}$$

$$p = 0.50 + 2 \times 0.25 = 1.00 \text{ ''}$$

$$R = \frac{0.18}{1.20} = 0.15 \text{ mts}$$

$$R_1 = \frac{0.13}{1.03} = 0.13 \text{ ''}$$

$$R_2 = \frac{0.1250}{1.00} = 0.13 \text{ ''}$$

c. Cálculo del Coeficiente C que afecta a la velocidad

$$C = \frac{1}{n} \sqrt[6]{R}$$

$$C = 66.67 \sqrt[6]{0.15} = 48.60$$

$$C_1 = 66.67 \sqrt[6]{0.13} = 47.45$$

$$C_2 = 66.67 \sqrt[6]{0.13} = 47.45$$

d. Cálculo de las velocidades en cada sección, según fórmula de Chezy

$$V = C \sqrt{RS}$$

$$\begin{aligned}v &= 48.60 \sqrt{0.15 \times 0.0015} = 0.73 \text{ m/seg.} \\v_1 &= 47.45 \sqrt{0.13 \times 0.0015} = 0.66 \text{ " " } \\v_2 &= 47.45 \sqrt{0.13 \times 0.0015} = 0.66 \text{ " " }\end{aligned}$$

e. Cálculo de Q aplicando la formula de continuidad $Q = A \times V$

$$0.130 = 0.18 \times 0.73 \quad (1)$$

$$0.090 = 0.13 \times 0.66 \quad (2)$$

$$0.080 = 0.13 \times 0.66 \quad (3)$$

Observemos que la ecuación (2) es la que se identifica con el caudal requerido, en consecuencia, las otras especificaciones de diseño serán:

$$V = 0.66$$

$$A = 0.13$$

$$B = 0.55$$

$$d = 0.24$$

$$H = 0.50$$

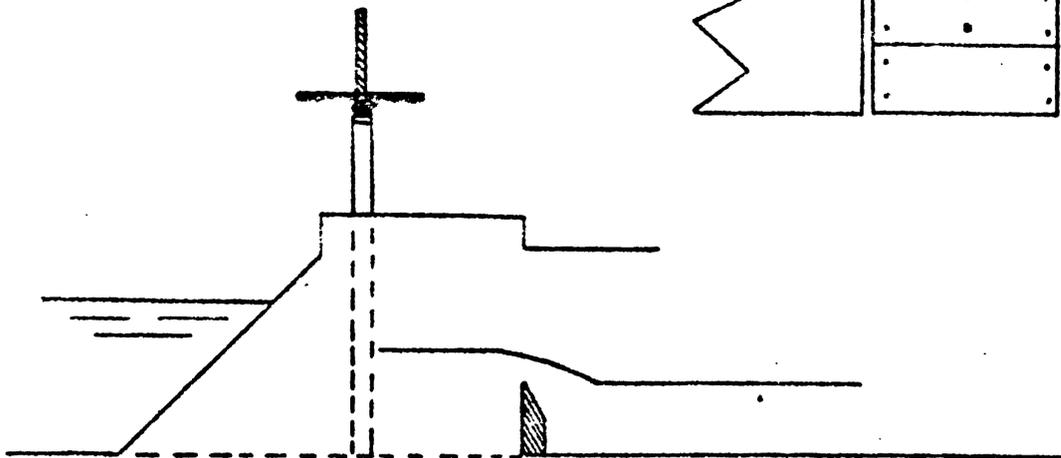
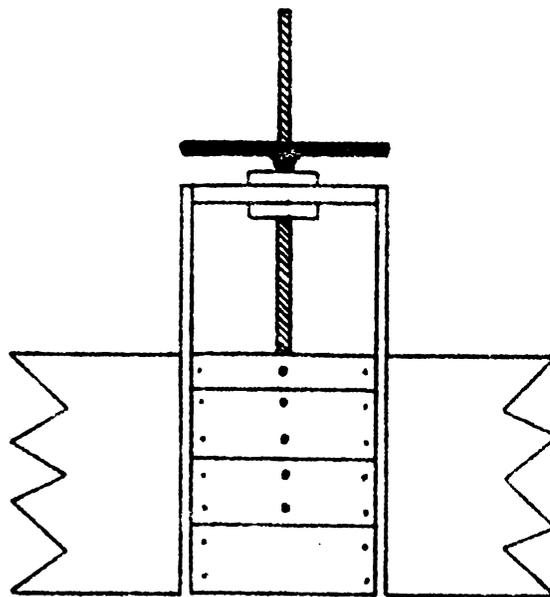
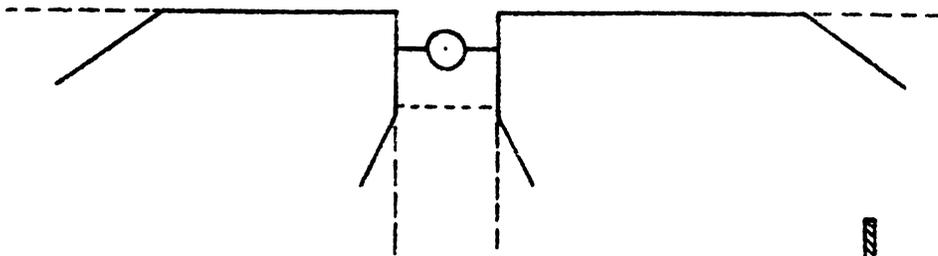
Existe infinidad de diseños de obras de toma prediales, las indicadas en la figuras 3 y 4 son las más utilizadas y sus especificaciones técnicas serán función del volumen que se desee derivar.

2. Canales para Riego y para Evacuación de Excedentes

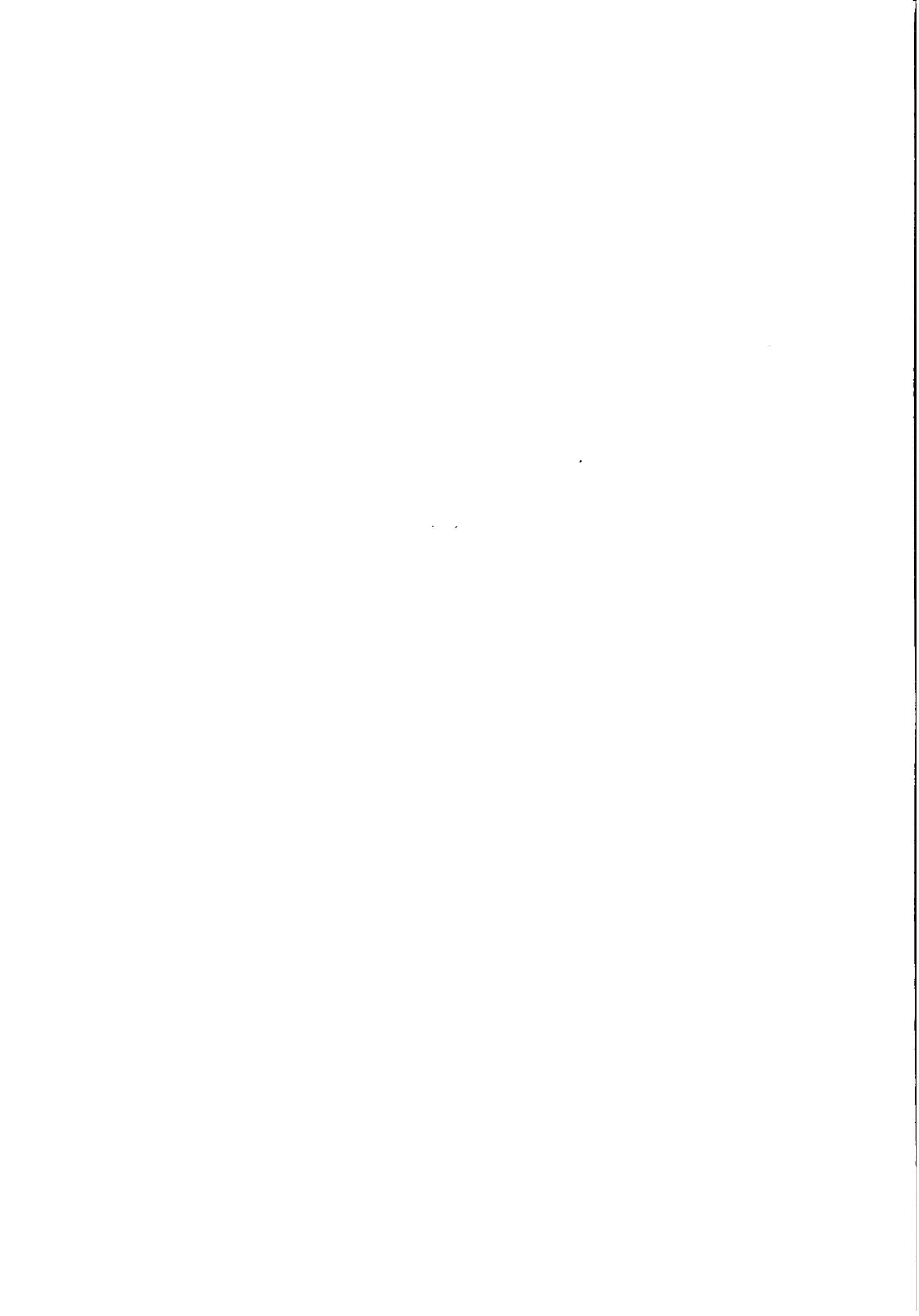
En el nivel predial la sección hidráulica más utilizada en canales para riego es la trapezoidal, con taludes variables de acuerdo al grado de cohesión de los suelos. Los canales de sección rectangular se usan como viaductos, puentes - canal, canoas etc, siempre se construyen de ladrillo o con mampostería.

Veamos como se diseña y calcula un canal trapezoidal a traves de la solución de un problema.

DISEÑO DE OBRA DE TOMA — FIGURA N°







Problemas:

Cálculo de un canal trapezoidal para regar 80 hectáreas. Se conoce $S = 0.002$;
 $n = 0.025$; suelo arcilloso módulo de diseño = 2 lts/seg/Ha. Condición
 $d = 1/2 \sqrt{A}$.

Datos:

$Q = 0.160 \text{ m}^3/\text{seg} \quad (0.002 \times 80 = 0.160)$

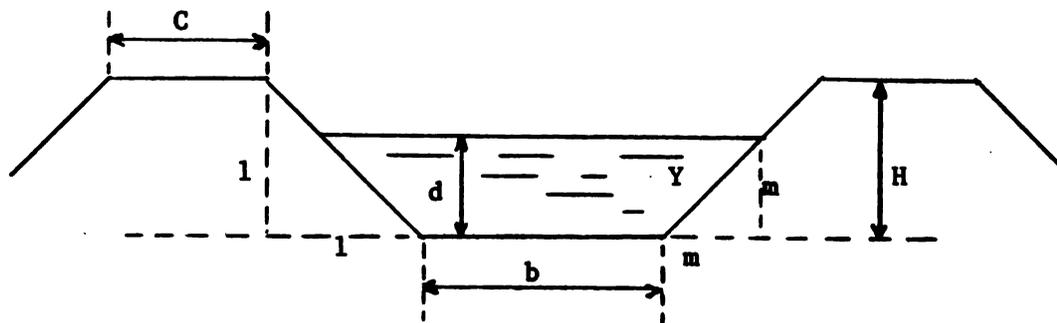
$n = 0.025$ (grado de rugosidad)

$S = 0.002$

$V = 0.65 \text{ m}^3/\text{seg}$ calculada por tanteo

Talud = 1 en 1 (suelo arcilloso)

Solución:



- Cálculo del área hidráulica A

$Q = A \times V$

$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.160}{0.65} = 0.25$

- Cálculo de d y b

$$d = 1/2 \sqrt{A}$$
$$d = 1/2 \sqrt{0.25} = 0.25 \text{ mts}$$

La determinación de b se hará partiendo de la formula que calcula el área hidráulica de canales trapezoidales.

$$A = bd + m d^2$$

m = Proyección del talud sobre el horizonte, para nuestro problema su valor es 1.

Deducción:

$$A = \frac{b + (b + 2 md)}{2} \times d$$

$$A = \frac{2b + 2 md}{2} \times d$$

$$A = 2 \frac{(b + md)}{2} \times d$$

$$A = bd + md^2$$

Entonces el valor de b será:

$$b = \frac{A - m d^2}{d} = \frac{0.25 - 0.0625}{0.25} = 0.75 \text{ mts}$$

Luego el canal debe construirse con una plantilla de 0.75 mts y un valor para H de 0.50 mts, contado desde el fondo del canal hasta la corona. Para la corona puede aceptarse también 0.50 mts.

Comprobación:

Todo problema que calcule canales de sección trapezoidal debe comprobarse tomando como término de referencia, la pendiente elegida.

Veamos el procedimiento que debe seguirse:

A partir de la fórmula de Chezy despejaremos el valor de la pendiente y calcularemos los elementos desconocidos.

$$S = \frac{V^2}{C^2 X R} \quad (1)$$

- Cálculo del radio hidráulico R

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

A = Area hidráulica

p = Perímetro mojado (superficie que el agua moja)

$$p = 2Y + b$$

En canales trapezoidales con taludes de 1 en 1, el valor de Y se deduce a partir del teorema de Pitágoras.

$$y^2 = d^2 + d^2 = 2 d^2$$

$$y = d \sqrt{2}$$

$$y = 0.25 \times 1.4142 = 0.35 \text{ mts}$$

$$p = 2 \times 0.35 + 0.75 = 1.45$$

$$R = \frac{0.25}{1.45} = 0.17$$

- Cálculo del coeficiente de rugosidad C

Se calcula mediante aplicación de la fórmula de Manning.

$$C = \frac{1}{n} \sqrt{R}$$

$$C = \frac{1}{0.025} \sqrt{0.17} = 29.77 \text{ prácticamente } 30$$

Reemplazando valores en (1):

$$S = \frac{0.65^2}{30^2 \times 0.17} = 0.0021$$

$$S = 0.002$$

La pendiente calculada corresponde a la condición del problema, luego las especificaciones técnicas calculadas para d y b son correctas.

Es este uno de los métodos para calcular un canal de sección trapezoidal; pero existen otros más fáciles y sencillos y es recurriendo a los abacos, en ellos se plantea las condiciones del problema y se obtiene respuesta de los datos que se buscan.

De manera similar puede calcularse el diseño de canales para evacuar excedentes.

En la práctica cuando se trata de calcular canales para riego con sección trapezoidal, se establece la condición que $b = 3d$, si comparamos en el problema resuelto cual es el valor de d y cual el de b veremos que guardan una relación 1 a 3, por tanto la condición práctica que se recomienda simplifica el proceso matemático.

2.1 Algunos valores a utilizarse en el cálculo de canales para riego y para evacuar excedentes.

a. Valor de n para ser aplicado en la fórmula de Manning.

n = 0.009 para madera cepillada

n = 0.010 cemento liso

n = 0.011 cemento de fórmula 1 X 3

n = 0.012 madera en bruto

n = 0.013 para ladrillos sin rebestimiento de mortero

n = 0.015 albañilería de piedra

- n = 0.020 canales de gravilla fina
- n = 0.025 canales de tierra debidamente terminados
- n = 0.030 canales con hierbas, piedras, con perímetro mojado rugoso.
- n = 0.035 lecho de ríos, canales en condiciones pésimas de mantenimiento.

b. Velocidades admisibles en canales excavados en tierra.

Con los siguientes valores, los canales no se erosionan ni sedimentan.

<u>Clase de canal</u>	<u>V m/seg</u>
Canales en suelo franco	0.60
Idem en suelo arcilloso	0.80
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	1.00
Canales con mampostería de piedra y concreto	2.00
Canales con mampostería simple	3.00
Canales en roca:	
Pizarras	1.25
Areniscas consolidadas	1.50
Rocas duras, granitos etc	3 - 5

c. Pendientes aceptables en canales excavados en tierra

<u>Clase de suelo</u>	<u>Pendiente al 0/00</u>
Sueltos	0.0005 - 0.001
Francos	0.0015 - 0.0025
Arcillosos	0.003 - 0.0045

d. Talud en canales

- 35° Para las arenas
- 45° Para suelos arcillosos
- 60° Para suelos cascajosos ligeramente consolidados
- 75° Para suelos cascajosos fuertemente consolidados
- 90° Para las rocas

En general si se proyecta un canal apartandose de estos valores se corre el riesgo que la velocidad del agua los erosione o sedimente.

2.2 Trazado de la red para riego y evacuación de excedentes

Conocemos como se calcula la sección del canal para conducir determinado volúmen de agua. Ahora veamos cómo se traza una red para riego y para evacuar excedentes; el camino a seguir es el siguiente: (Ver plano No. 2).

a. Levantamiento altimétrico del predio.

Debe estar ligado a un B M conocido, ubicado en el canal del distrito de riego que este diseñado y calculado para regar no sólo ese predio sino otros más. Este plano puede levantarse con plancheta o con tránsito y en él se trazarán las curvas de nivel con una equidistancia entre una y otra de 0.25 mts. y a escala de 1 en 2.000, 1 en 2.500 o 1 en 4.000.

Otro método sería levantar la poligonal del predio, trazar 2 ejes de coordenadas, zizarlos cada 20 mts. y a partir de estos puntos cuadricular el terreno con cuadrículas que tengan 20 mts. por lado. La intercepción de las normales se nivela y después se interpolan las curvas de nivel.

b. Estudio y análisis del plano.

Se contemplará:

puntos (cotas) de nivel más alto

puntos (cotas) de nivel más bajo

programa de nivelación del suelo

trazado de los canales para riego por las cotas más altas

trazado de los canales para evacuar excedentes, por las cotas más bajas.

posibilidad de dividir el predio en lotes o parcelas que faciliten no sólo su riego, su drenaje, sino también su nivelación.

replanteo del proyecto en el terreno
construcción de los canales para riego y evacuación de excedentes,
según la sección calculada
cálculo, diseño y ubicación de las estructuras para riego
costo probable

c. Construcción de los canales para riego y evacuación de excedentes

Debe programarse teniendo en cuenta un costo mínimo, eliminando obras superfluas o inútiles y con la sección económica que le corresponda. Asimismo con una velocidad de caudal que no erosione ni sedimente para reducir al mínimo su costo de conservación.

La pendiente jugará entre los valores 3.0 - 2.0 - 1.5 - 1.0 por mil. Tal vez esta pendiente se parezca excesiva, pero ya se dijo que no es lo mismo diseñar y construir canales para riego a nivel distrital que predial. En los primeros se juega con pendientes al tanto por diez mil, por el volumen de agua que conducen, en cambio a nivel predial la figura es diferente, apenas se transportan pequeños volúmenes del orden de 20 a 250 lts/seg., por tanto pueden trazarse con las pendientes indicadas, dependiendo su elección de la textura del suelo y de su grado de cohesión.

Los canales para riego se construyen con sección mixta es decir, una parte en excavación y otra en terraplén. No se construyen completamente en terraplén por la poca cohesión del suelo y para facilidad de riego de las respectivas unidades (el agua ingresa a estas por reboce, con poca velocidad y ya no erosiona). En los cultivos de arroz, la solera del canal para riego debe corresponderse con el terreno que se riega y los bordes del canal deben construirse en terraplén y debidamente compactados.

Los taludes varían entre 1 en 1, 1.5 en 1 a 1 en 2 depende de la textura del suelo.

Los canales para evacuación del excedente se construyen siempre en excavación, su solera debe tener una cota más baja que la más baja de la parcela que drena, su pendiente y velocidad debe ser mayor en comparación a los canales para riego, para que la evacuación o avenamiento se realice en el menor tiempo posible.

Para la construcción en sí de los canales para riego y evacuación de excedentes se seguirán los siguientes pasos:

- Alíneamiento del futuro canal con jalones que se visarán a simple ojo o con el tránsito.
- Zizado cada 20 mts. con cinta y plomada siguiendo el jaloneamiento. En cada abscisa de 20 mts. se colocará un punto de nivel a ras del suelo y una estaca (testigo), donde se indica la abscisa que corresponde. El primer punto siempre será $K0 + 000$, el segundo $K0 + 0.20$ y así sucesivamente.
- Medido el jalonamiento se procede a nivelar los puntos de nivel comenzando del $K0 + 000$ hasta el último, que digamos podría ser $K1 + 120$. Se calcula la libreta (cartera) de nivelación y se procede a dibujar en papel milimetrado las cotas de la libreta que vienen a ser los niveles de cada "punto de nivel".

Los puntos de nivel ubicados en el papel milimetrado (escala vertical 1 en 100 y escala horizontal 1 en 1.000), ver gráfico No. 4, se unen entre sí y se obtiene una línea continua que señala el perfil del suelo y que se conoce en diseño de canales como "cota negra".

Se calcula la diferencia de nivel que hay entre el $K0 + 000$ y el $K1 + 120$ y se refiere al tanto por mil.

Cota de K0 + 000	320.85
Cota de K1 + 120	<u>322.53</u>
# de nivel	1.68
S = $\frac{1.68 \times 1.000}{1120}$	= 0.00150
S = 1.5	0/00

Si el análisis físico del suelo indica una textura franca es decir, un equilibrio entre los elementos arena, arcilla y limo y si la pendiente $S = 1.5$ 0/00 es la que sirve al proyecto, se puede trazar la rasante del canal.

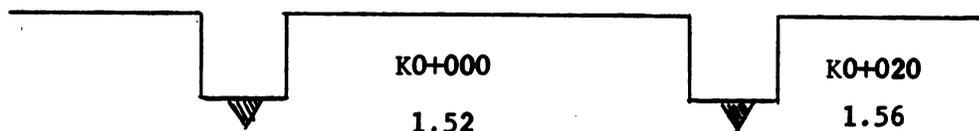
- El canal está zizado cada 20 mts. vamos a replantear el estudio de nivelación hecho para $S = 1.5$ 0/00. Anteriormente se dijo que los canales de riego deben construirse con una parte de su sección en excavación y otra en terraplen, asignemos a la excavación una profundidad de 0.20 mts.; comencemos entonces por profundizar el punto de nivel de K0 + 000, 0.20 mts. chequando las lecturas con el nivel. La nueva lectura obtenida será desde este momento el punto de nivel de partida para el de K0 + 000.

A partir de este punto por cada abscisa de 20 mts. iremos bajando 0.03 mts., que es la diferencia de nivel que corresponde a la distancia de 20 mts. para una pendiente de 1.5 0/00.

Digamos que en K0 + 000 leemos en la mira 1.52 mts., la lectura en K0 + 020 debe ser 1.55, la de K0 + 040 será de 1.58, la de K0 + 060 sería 1.61 mts., etc., etc.

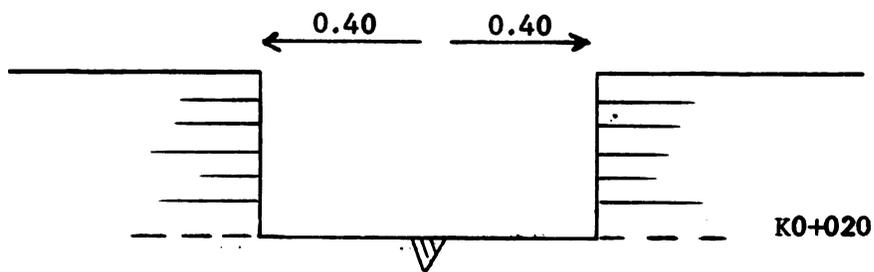
En cada abscisa se hace una excavación del ancho de una pala y con una profundidad variable que depende de la lectura que haya obtenido el topógrafo; por ejemplo en K0 + 20 leyó 1.38 pero como él debe

leer 1.55 habrá que hacer una excavación de 0.17 mts., en el fondo se colocará un taco de madera, sobre él se ubica la mira y se va profundizando el taco hasta que en la mira se lea 1.55. Así se hará sucesivamente con los otros puntos de nivel.



Si unimos todos estos puntos, que se trazan también en el perfil de las cotas negras (o de terreno), que citamos anteriormente, obtendremos una línea continua que es el fondo o rasante del canal con una pendiente de 1.5 0/00.

Fijada la rasante del canal, se ordena su excavación de acuerdo a la sección que se haya calculado. Supongamos que se requiere un canal con una solera o plantilla de 0.80 mts. con talud de 1 en 1 por ser el suelo arcilloso, a partir de cada punto de nivel se mide a uno y otro lado 0.40 mts. y se clava una estaca. Estas se unen en un cordel y queda definida la zona que primero debe excavarse.



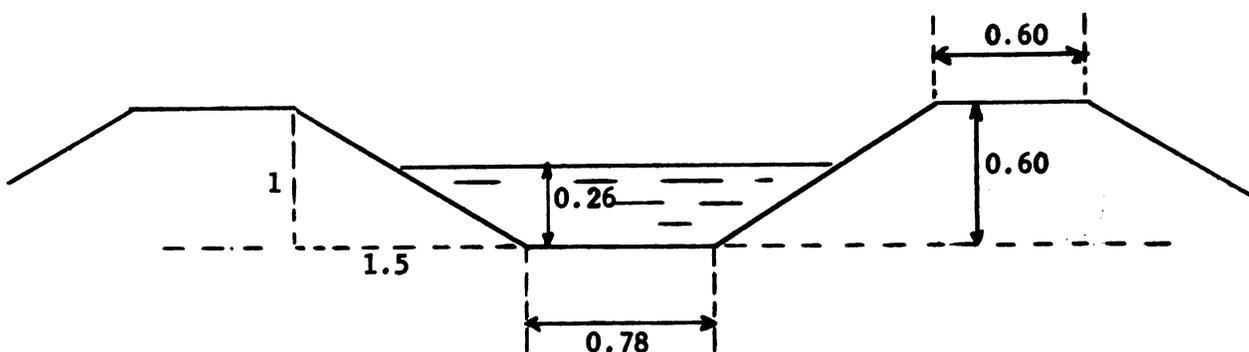
Después que se concluya la excavación, a partir de las estacas que se colocaron a 0.40 mts. se mide una distancia igual a la que se haya considerado como fondo del canal; digamos que sea de 0.50 mts. y se clavan nuevas estacas que se unen con cordeles y queda fijado el extremo del talud del canal. Esta línea que puede indicarse con el filo de la pala o con un trazo de tiza, se corta en plano inclinado hasta unirla con el extremo del fondo del canal; queda formado así el talud del canal.

Toda la tierra de excavación debe repartirse a uno y otro lado y acomodarse en una corona que permita la conservación del canal y la vigilancia de las aguas.

GRANJA AGRICOLA NATAIMA

TOLIMA COLOMBIA

CANAL PARA RIEGO No.1 GRAFICO NO.4

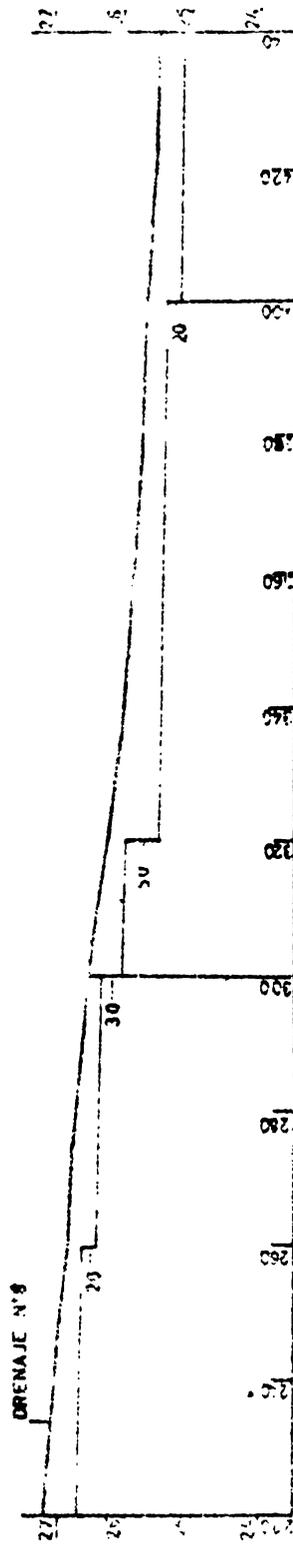
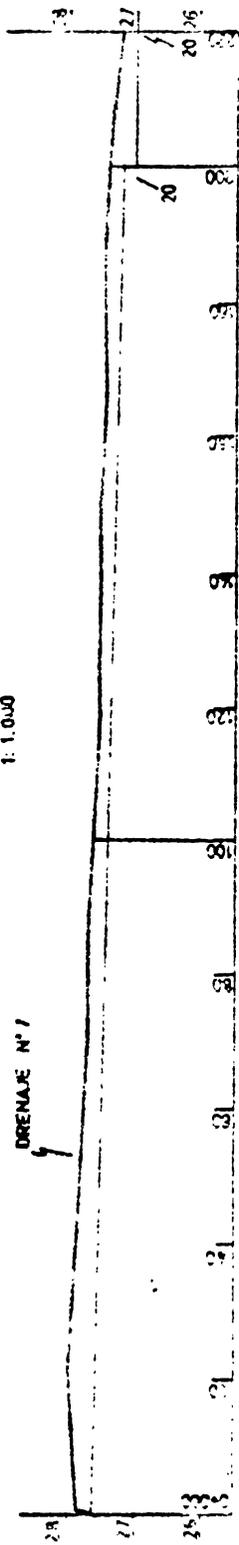


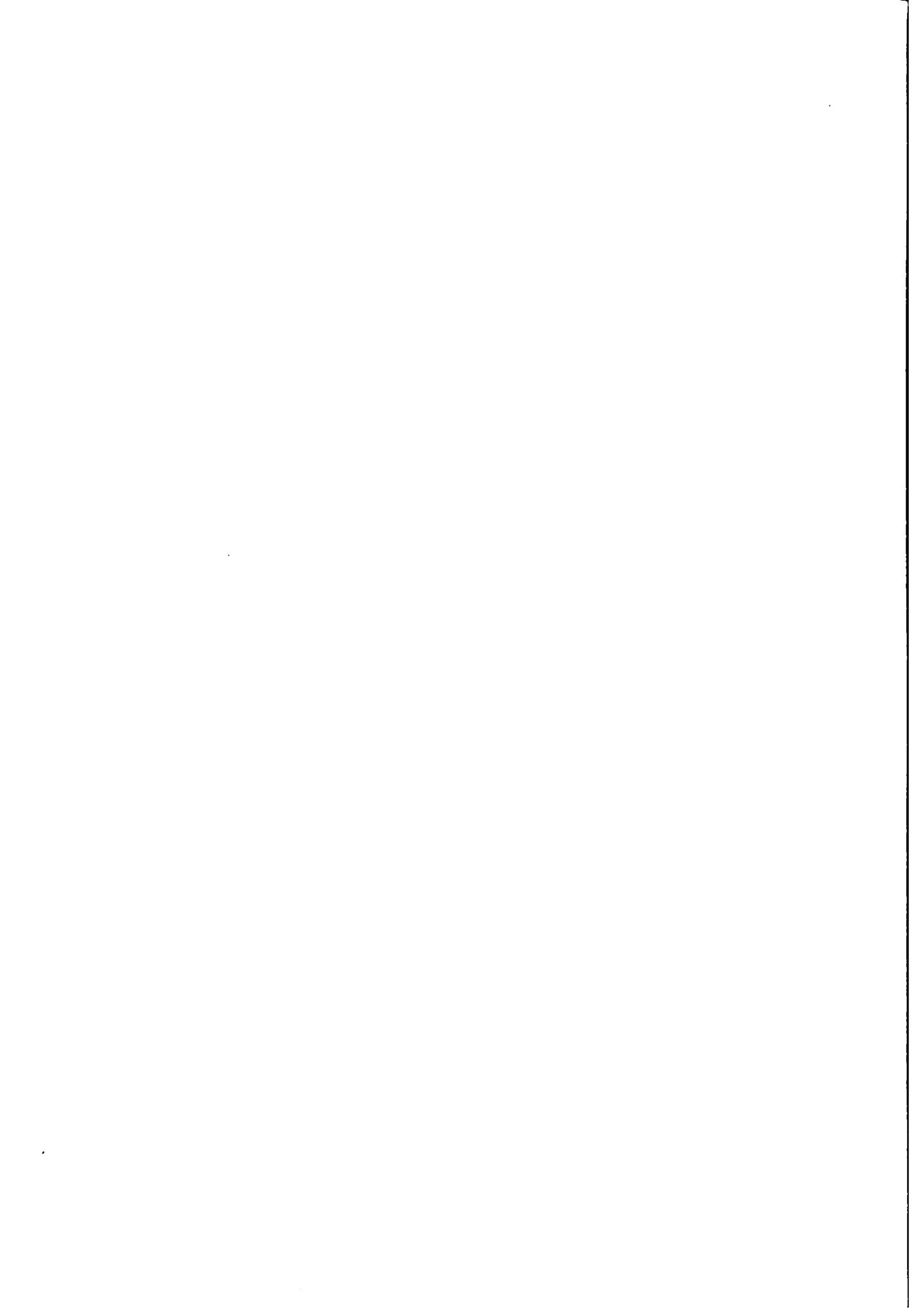
ESTACIÓN	COTA NEGRA	COTA ROJA	ESTACION	COTA NEGRA	COTA ROJA
KO + 000	27.63	27.63	300	26.53	26.43
					26.13
020	27.96	27.59	320	26.24	26.09
040	27.85	27.55			25.59
060	27.76	27.51	340	26.00	25.55
080	27.65	27.47	360	25.86	25.51
100	27.57	27.43	380	25.75	25.47
120	27.48	27.39	400	25.66	25.43
140	27.47	27.35			25.23
160	27.46	27.31	420	25.55	25.19
180	27.44	27.27	440	25.51	25.15
200	27.39	27.33	460	25.34	25.11
		27.03			24.71
220	27.20	26.99	480	25.04	24.67
		26.79	500	24.88	24.63

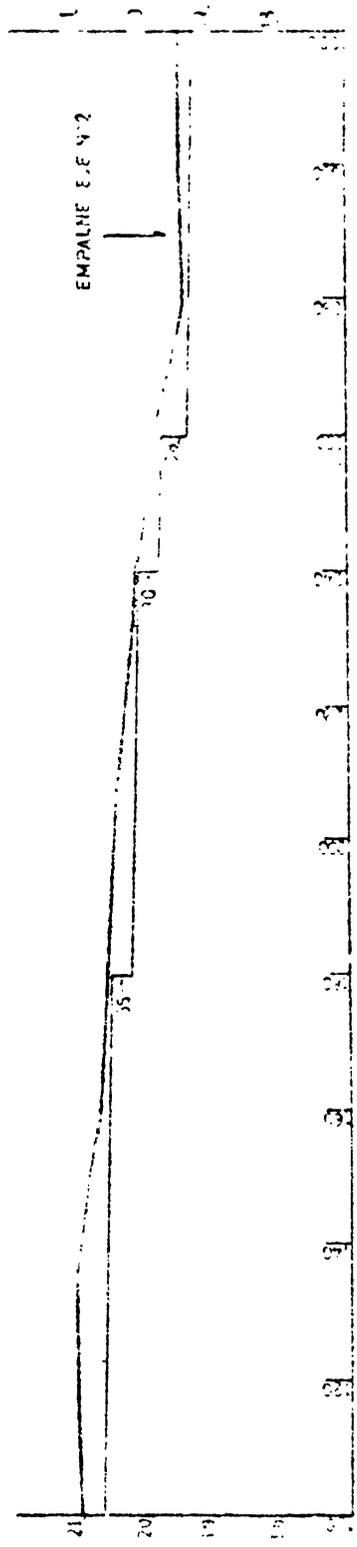
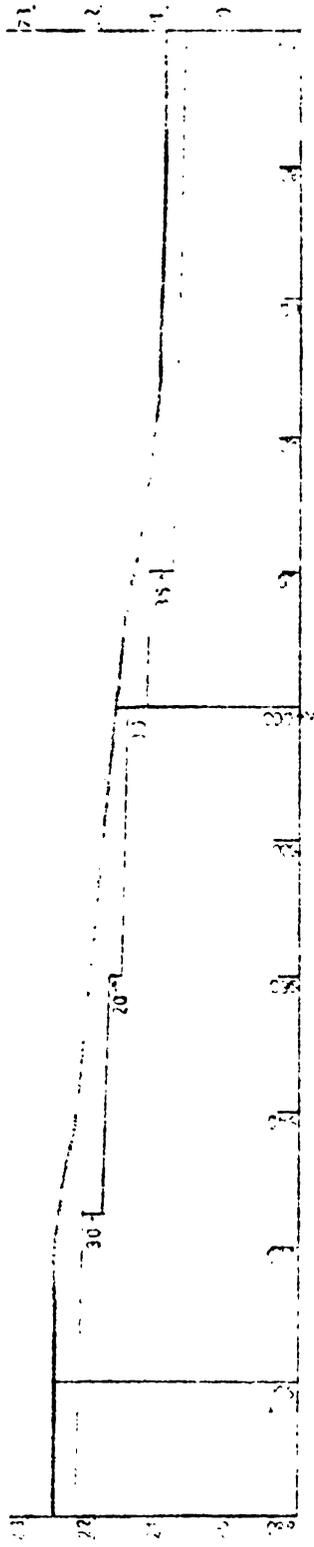
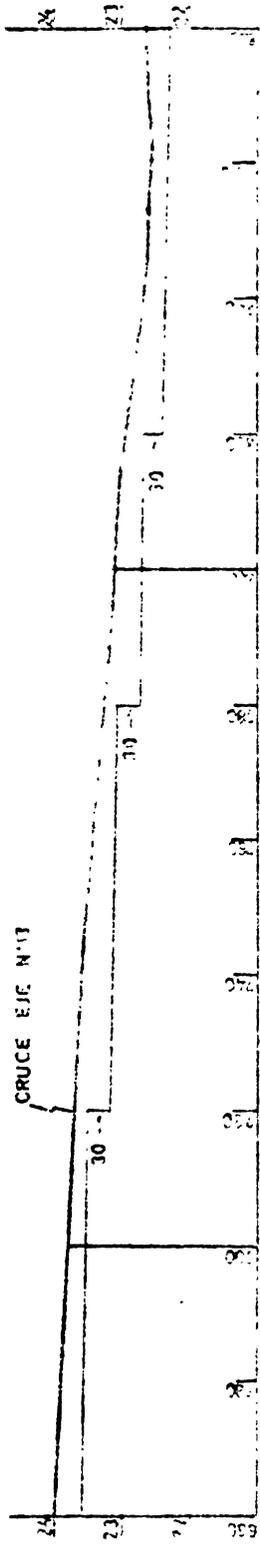
ESTACION	COTA NEGRA	COTA ROJA	ESTACION	COTA NEGRA	COTA ROJA
580	24.70	24.17	034	21.21	20.84
600	24.60	24.13	040	21.11	20.83
620	24.44	24.09	060	21.00	20.79
			080	20.99	20.75
640	24.25	24.05	100	20.99	20.71
		23.68			
660	24.01	23.64	120	21.05	20.67
680	23.91	23.60	140	20.92	20.63
700	23.80	23.56	160	20.65	20.59
720	23.72	23.52	180	20.62	20.55
		22.22			
740	23.57 m	23.18	K-1+ 200	20.55	20.21
			220	20.29	20.17
760	23.44	23.14	240	20.11	20.13
780	23.33	23.10			19.83
		22.80			
800	23.10	22.76	260	19.80	19.79
					19.41
820	22.89	22.79			
		22.42			
			280	19.26	19.37
840	22.66	22.38	300	19.50	19.33
860	22.62	22.30			
			400	19.35	19.13
900	22.62	22.26	420	19.37	19.09
		22.21			
925	22.63	21.91	440	19.52	19.05
940	22.25	21.88	460	19.40	19.01
960	22.11	21.84	480	19.18	19.97
		21.64	489	19.04	18.96
980	21.87	21.60	496	18.24	Salto al fondo
+ 000	21.69	21.56	497	17.60	
		21.26			
020	21.49	21.22			
		20.87			

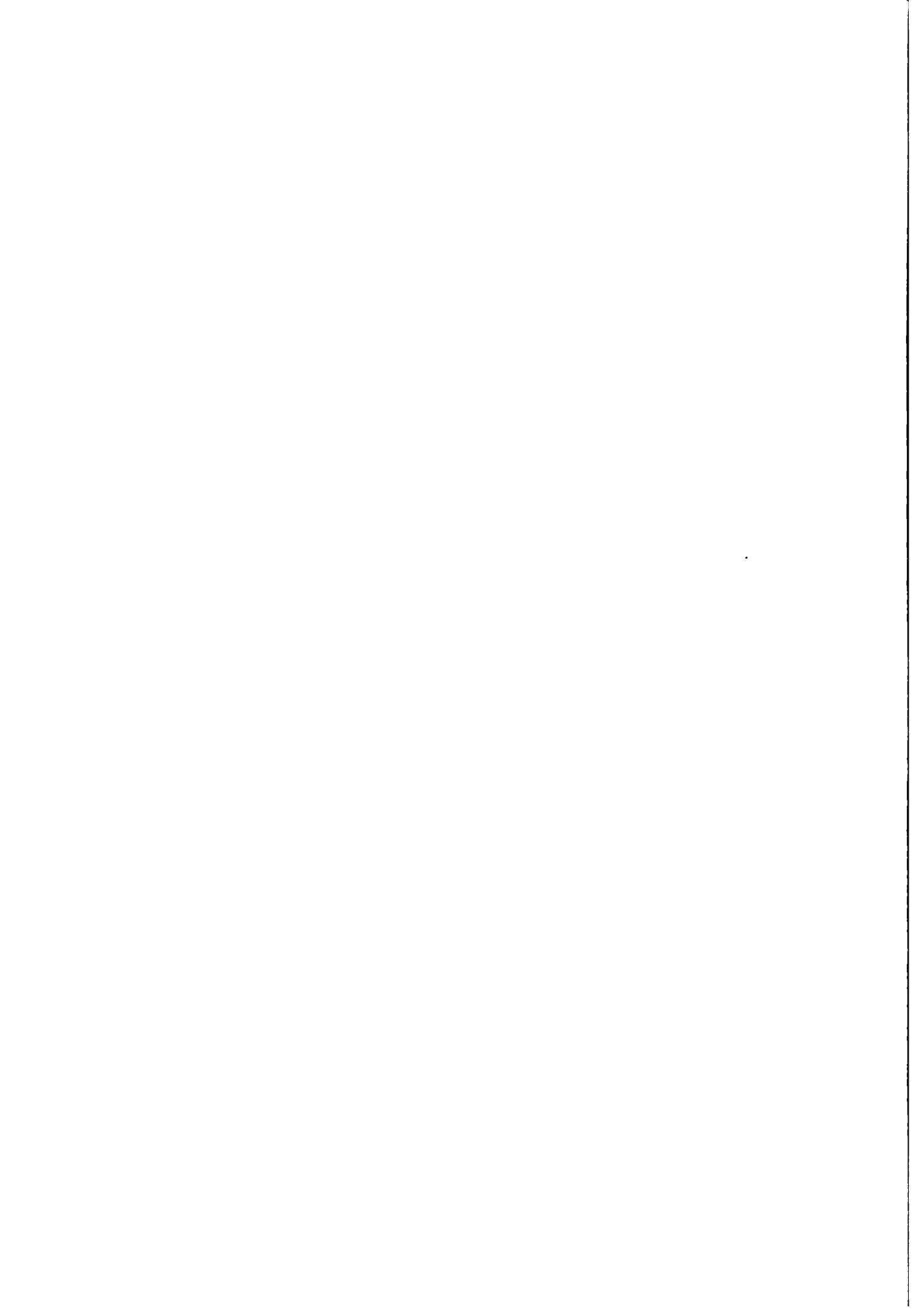
PERFIL CANAL DE RIEGO N°1 - GRAFICO N°4

ESC. V. 1:100
H. 1:1.000











3. Estructura para aforos

La estructura clásica para el aforo de caudales a nivel predial, la constituye las llamadas compuertas que pueden ser de sección circular o rectangulares y calibradas para la descarga de determinados volúmenes, ver figuras No.3 y 9

Es común observar en los canales que continúan a las compuertas, medidoras adicionales que permiten lecturas rápidas y bastante exactas de los volúmenes que se derivan; entre ellos podemos citar:

- a. Aforador triangular, figura No.5 se usa para descargas que varían entre 0.005 a 0.115 m³/seg.
- b. Aforador trapezoidal o Cipolletti, figura No.6 está diseñado para descargas comprendidas entre 0.002 a 0.219 m³/seg.
- c. Aforadores Parshall figura No.7 con unidad de medida W variable (cresta de vertedero). El más usado a nivel predial es aquel que tiene W = 1' puede registrar volúmenes que varían entre 0.010 a 0.456 m³/seg.
- d. Vertederos de Francis, figura No.8 y,
- e. Orificios variables, figura No.9

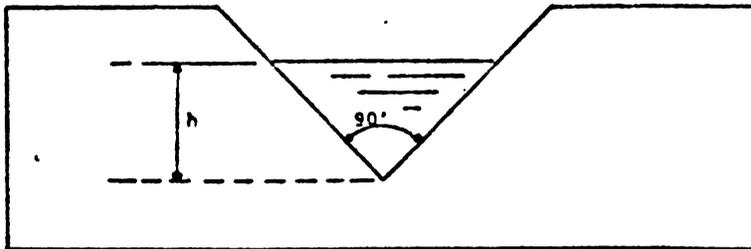
El diseño de este tipo de estructura puede verse en las figuras indicadas y su examen obvia hacer la descripción detallada.

4. Partidores de caudales

El caudal que circula por un canal puede dividirse en volúmenes conocidos para derivarse por canales de distribución, mediante obras de albañilería conocidas con el nombre de partidores, entre ellos el más común es el llamado partidor de punta de diamante, ver figura No.10 con este tipo de distribuidor, un caudal Q sólo puede dividirse en dos volúmenes iguales; pero se puede hacer una serie de juegos para derivar los volúmenes que se requieran. Esto puede observarse en las figuras No.11, 12 y 13



AFORADOR TRIANGULAR — FIGURA N°



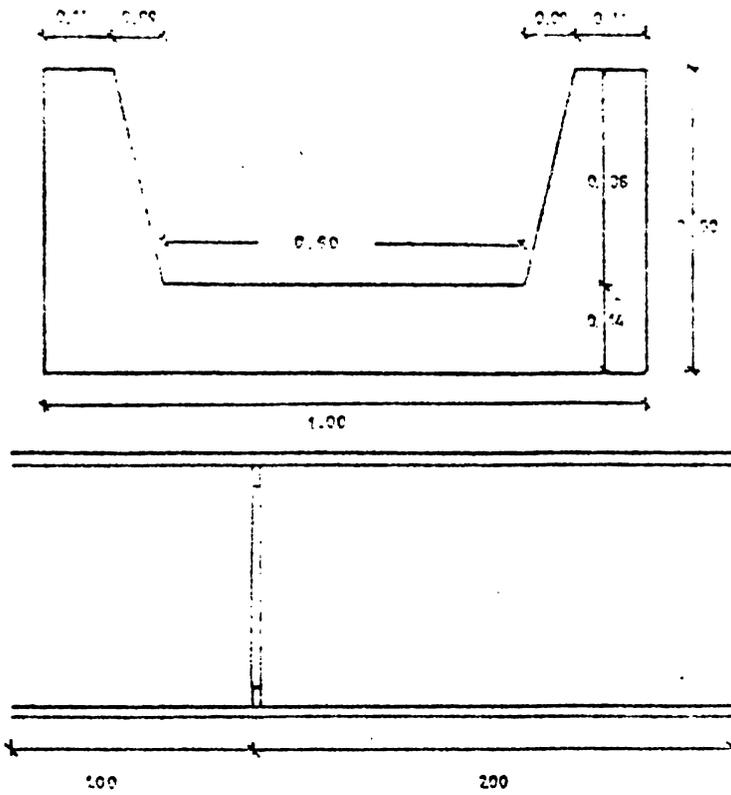
ABACO :

h	lts / seg	h	lts / seg	h	lts / seg
0.05	0.8	0.17	16.8	0.29	62.0
0.06	1.2	0.18	19.5	0.30	67.5
0.07	1.8	0.19	22.2	0.31	75.0
0.08	2.6	0.20	24.7	0.32	80.0
0.09	3.5	0.21	28.2	0.33	86.5
0.10	4.5	0.22	32.0	0.34	92.5
0.11	5.7	0.23	36.0	0.35	99.0
0.12	7.0	0.24	39.5	0.36	108.0
0.13	8.6	0.25	44.0	0.37	115.0
0.14	10.5	0.26	48.0	0.38	123.0
0.15	12.5	0.27	52.5	0.39	131.0
0.16	14.5	0.28	57.5	0.40	140.0



AFORADOR CERPOLETTI

FIGURA Nº

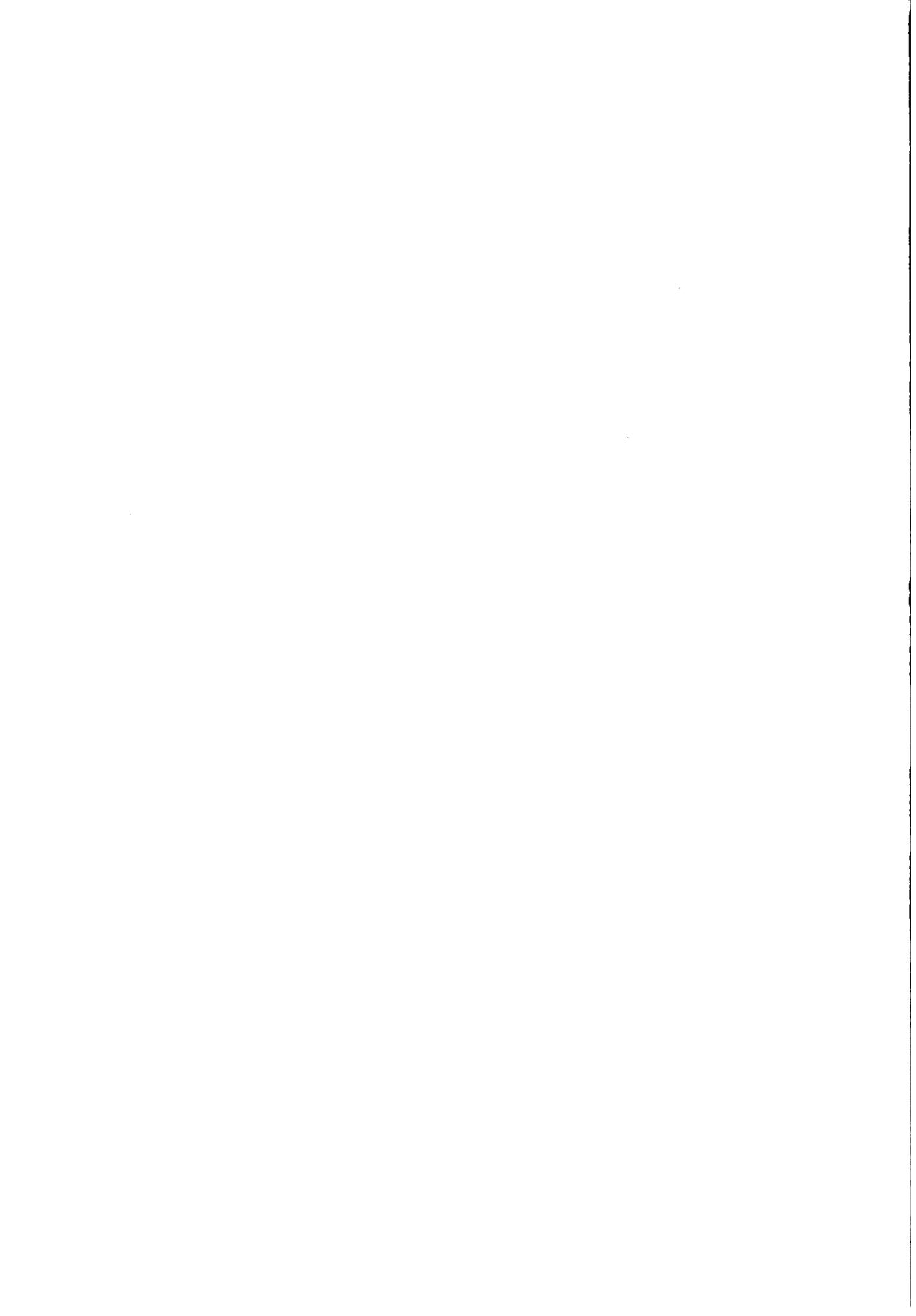


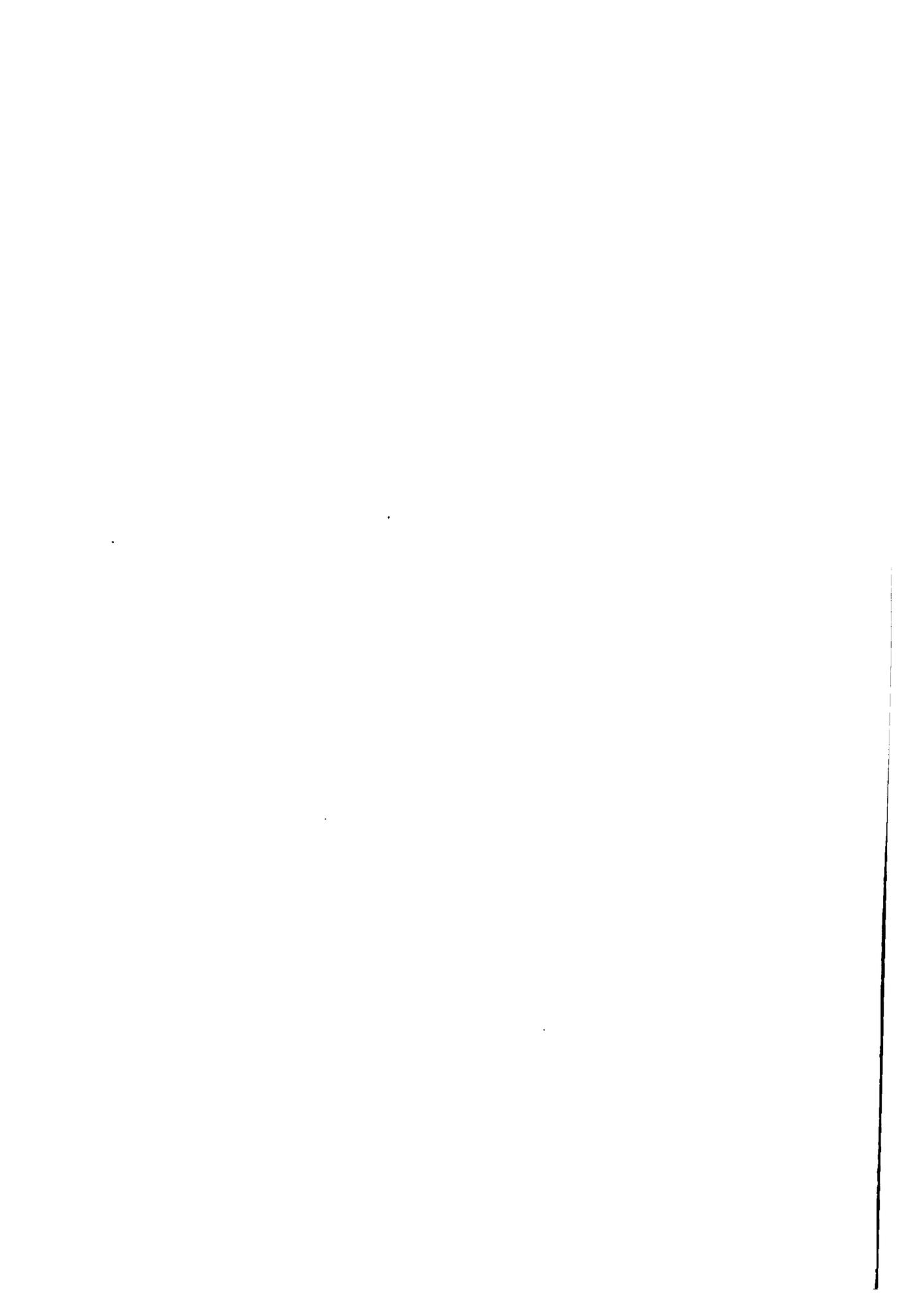
ESC. 1:10

ESC. 1:25

ABACO : Q = lts/seg

h	Q	h	Q	h	Q	h	Q
0.03	7	0.13	54	0.23	128	0.33	219
0.04	10	0.14	60	0.24	136	0.34	228
0.05	13	0.15	67	0.25	145	0.35	238
0.06	17	0.16	74	0.26	154	0.36	248
0.07	21	0.17	81	0.27	164	0.37	258
0.08	26	0.18	89	0.28	172	0.38	268
0.09	31	0.19	96	0.29	181	0.39	278
0.10	36	0.20	104	0.30	191	0.40	288
0.11	41	0.21	112	0.31	200	0.41	298
0.12	48	0.22	120	0.32	210	0.42	310





AFORADOR PARSHALL

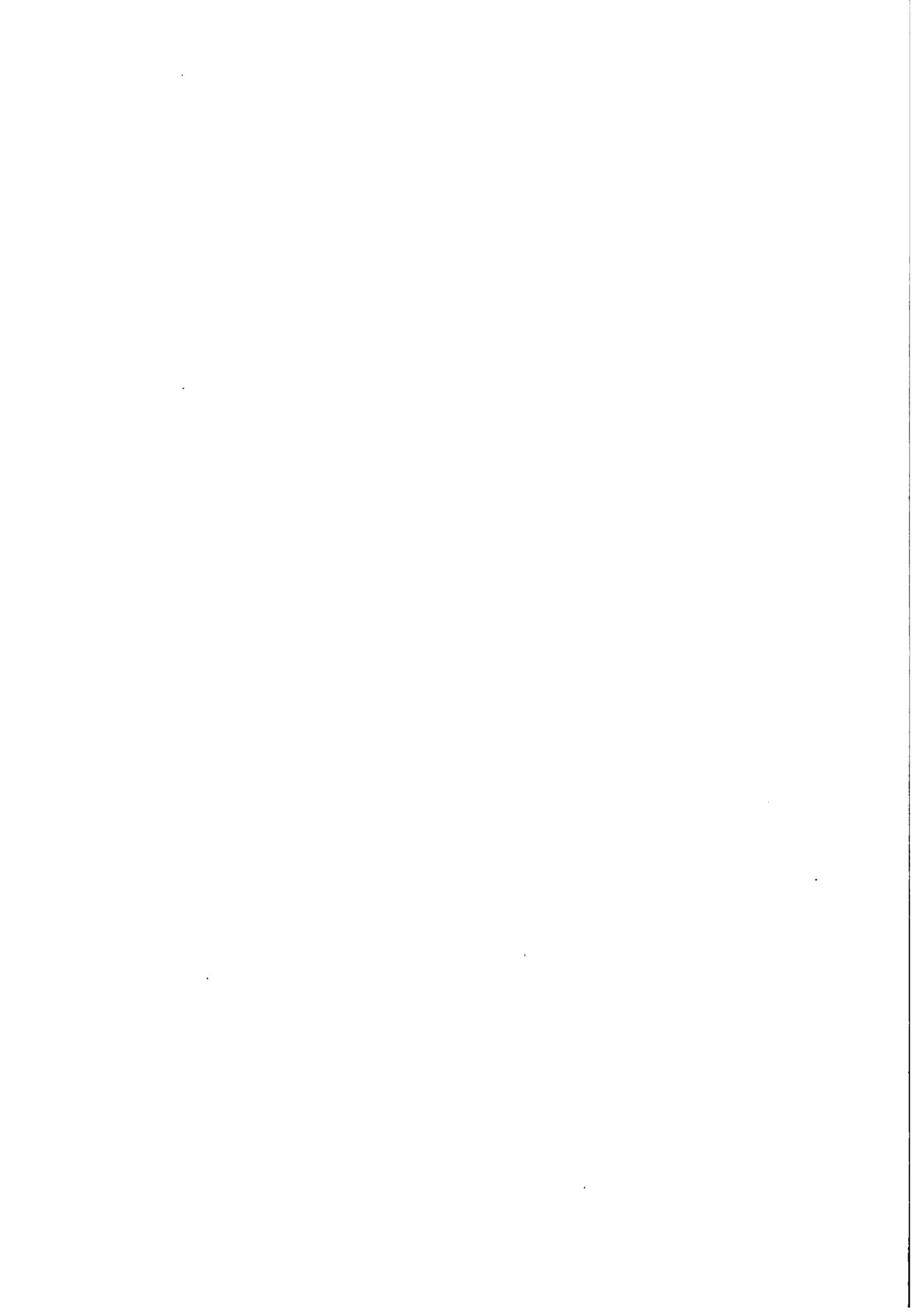
CUADRO DE DESCARGAS

LONGITUD $W = 1' = 0.305$ mts.

Ha = EN CENTIMETROS

Q = LITROS POR SEGUNDO

Ha	Q	Ha	Q	Ha	Q	Ha	Q	Ha	Q	Ha	Q
5	7	21	64	37	151	53	263	69	392	85	539
6	10	22	69	38	158	54	270	70	401	86	549
7	12	23	73	39	165	55	279	71	410	87	558
8	15	24	78	40	171	56	286	72	419	88	568
9	18	25	84	41	178	57	293	73	428	89	578
10	21	26	89	42	185	58	301	74	437	90	588
11	24	27	94	43	191	59	309	75	445	91	598
12	27	28	100	44	198	60	317	76	455	92	608
13	31	29	105	45	205	61	325	77	464	93	618
14	35	30	111	46	212	62	334	78	473	94	628
15	39	31	116	47	219	63	342	79	482	95	638
16	42	32	122	48	226	64	350	80	491	96	648
17	47	33	128	49	233	65	358	81	500	97	658
18	51	34	134	50	240	66	367	82	510	98	669
19	55	35	140	51	248	67	375	83	520	99	679
20	60	36	146	52	255	68	384	84	529	100	690

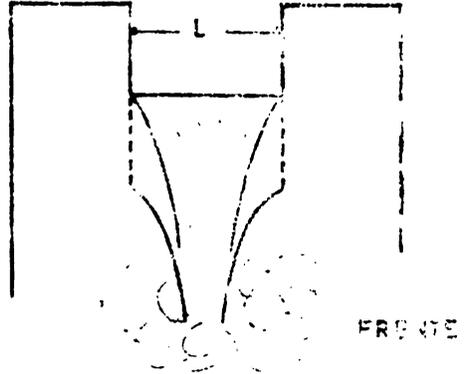
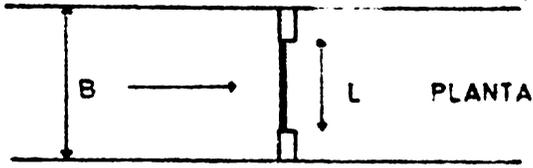


VERTEDEROS DE FRANCIS — FIGURA N°

VERTEDEROS CONTRAIDOS DE PARED DELGADA

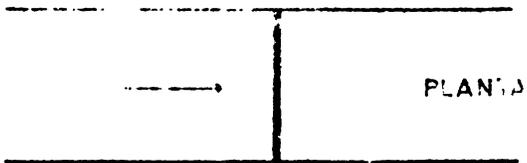
$$Q = 1.84 (L - 0.1 n + h)^{3/2}$$

$$n = 0-1-2$$



VERTEDEROS SIN CONTRACCION LATERAL PARED DELGADA

$$Q = 1.84 \cdot L \cdot h^{3/2}$$

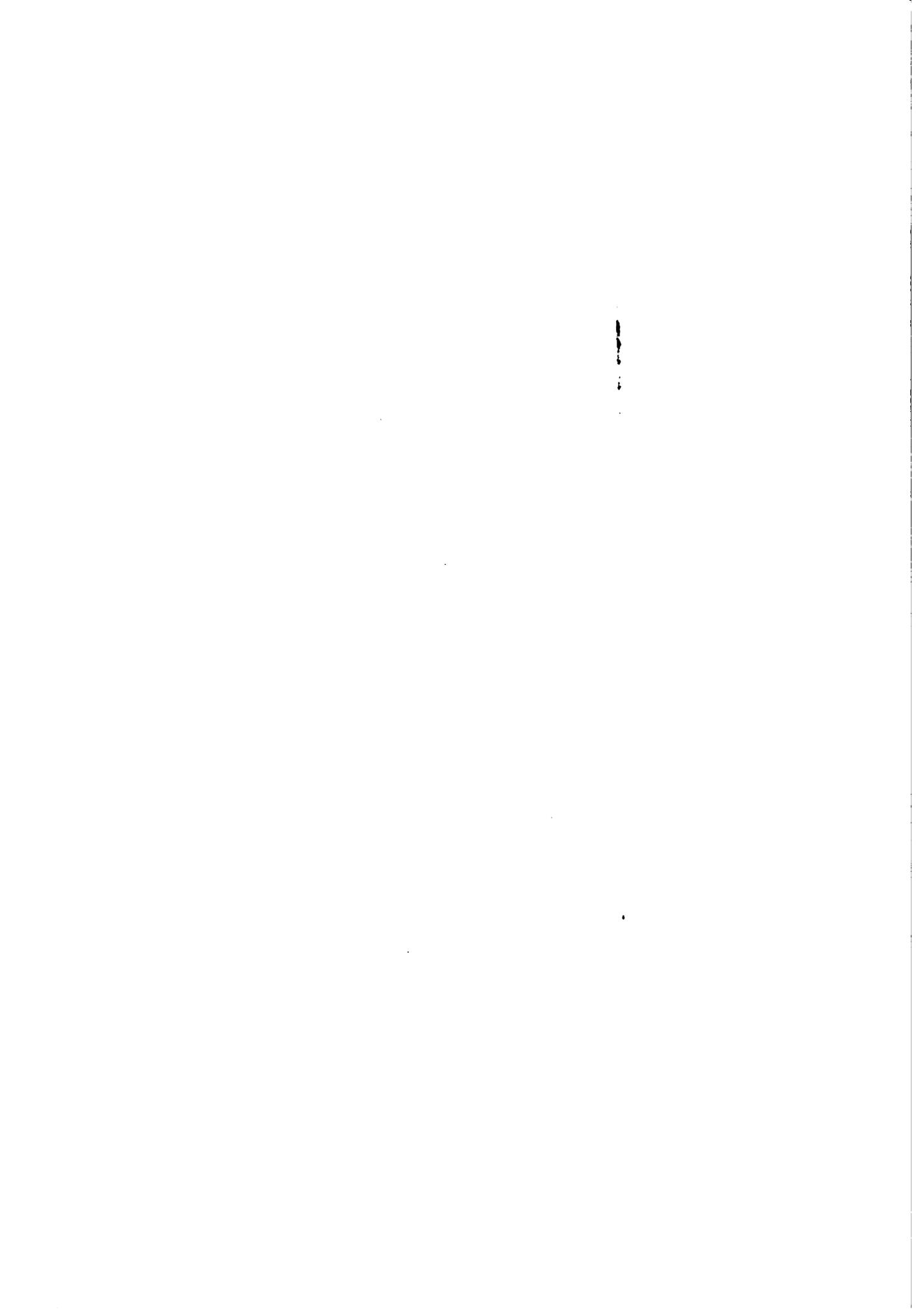


VERTEDERO AHOJADO

$$Q = 1.84 \cdot L \cdot n \cdot h_1^{3/2}$$

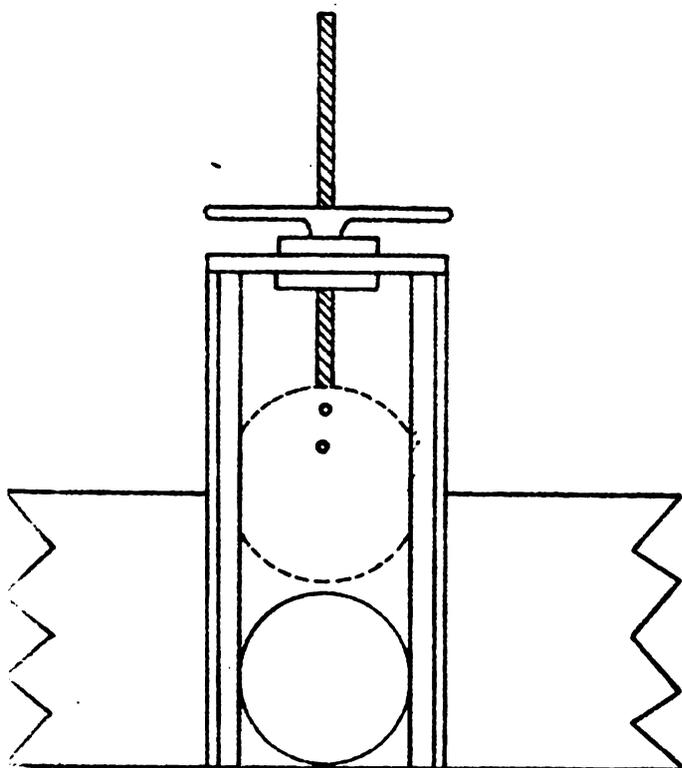
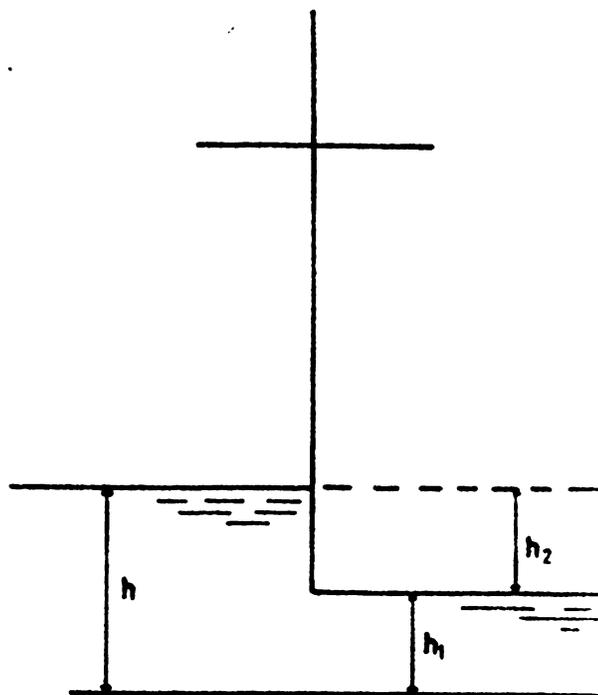
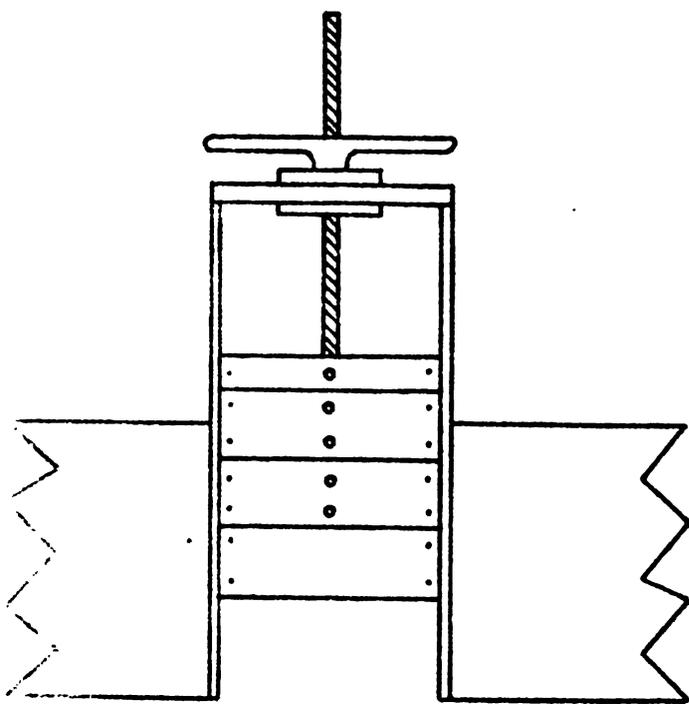
n = RELACION ENTRE LA DIFERENCIA DE CARGAS .





ORIFICIOS VARIABLES

— FIGURA N°

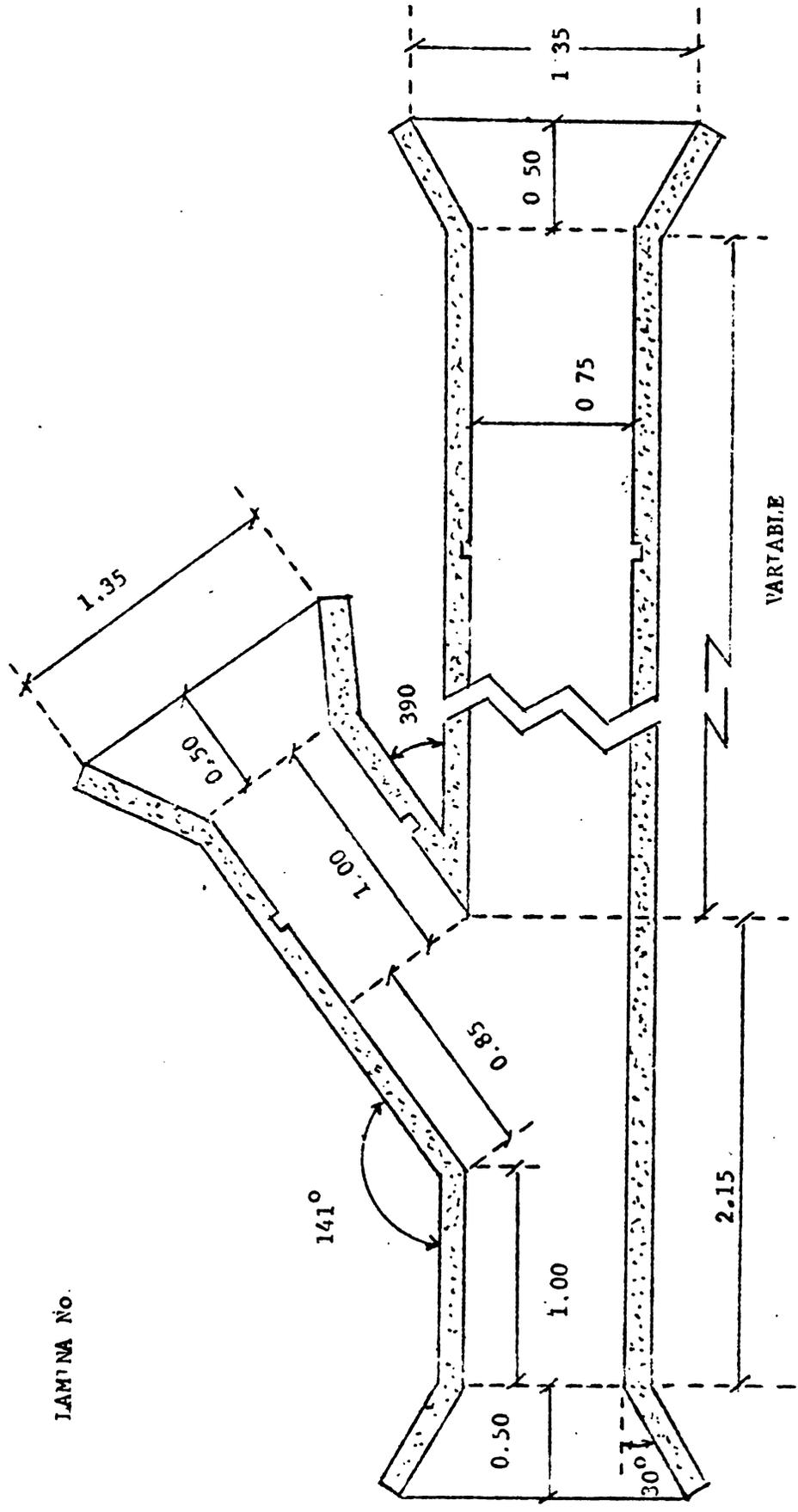


$$Q = cq \cdot A \sqrt{2gh_2}$$

$$Q = cq \cdot 0.7854 d^2 \sqrt{2gh_2}$$

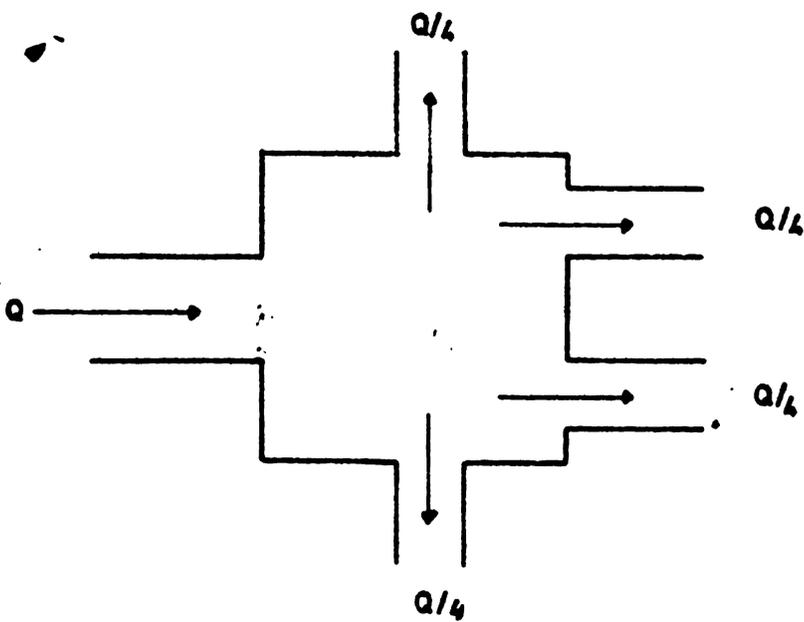
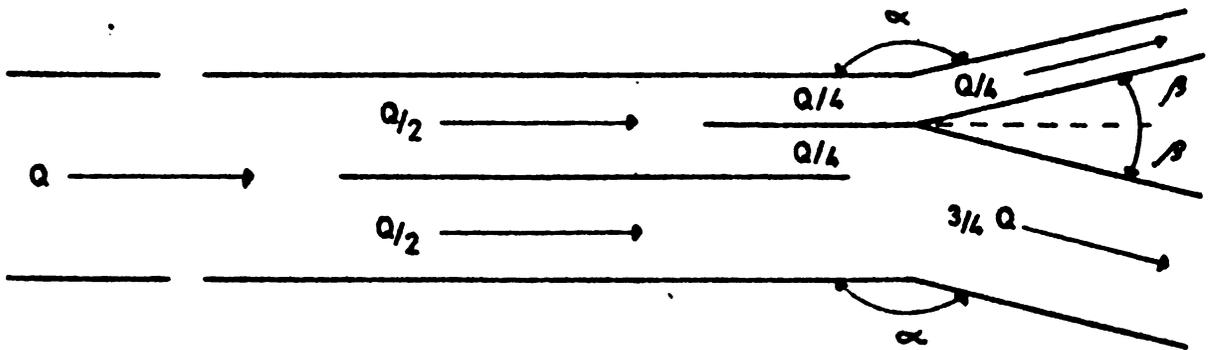
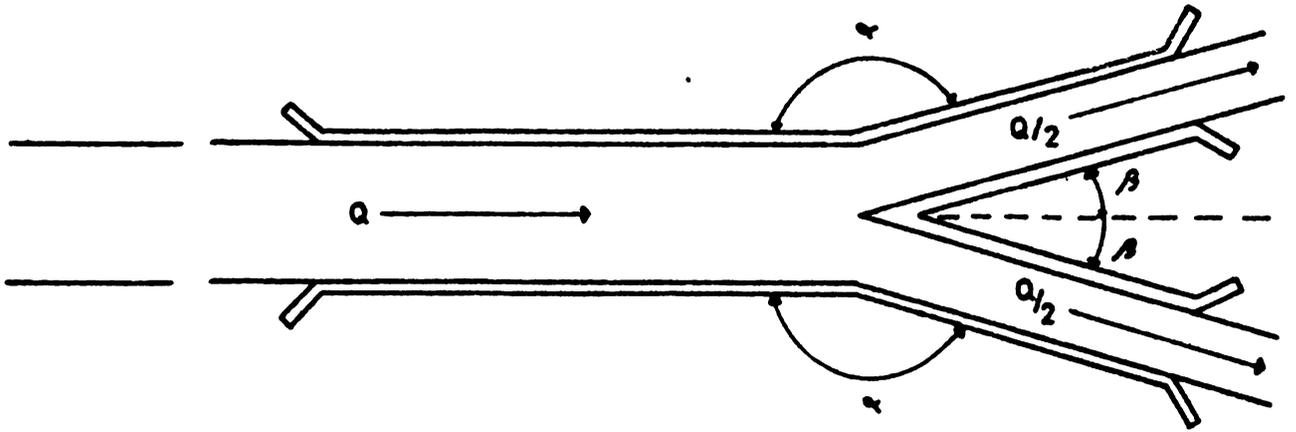
$$cq = 0.80$$

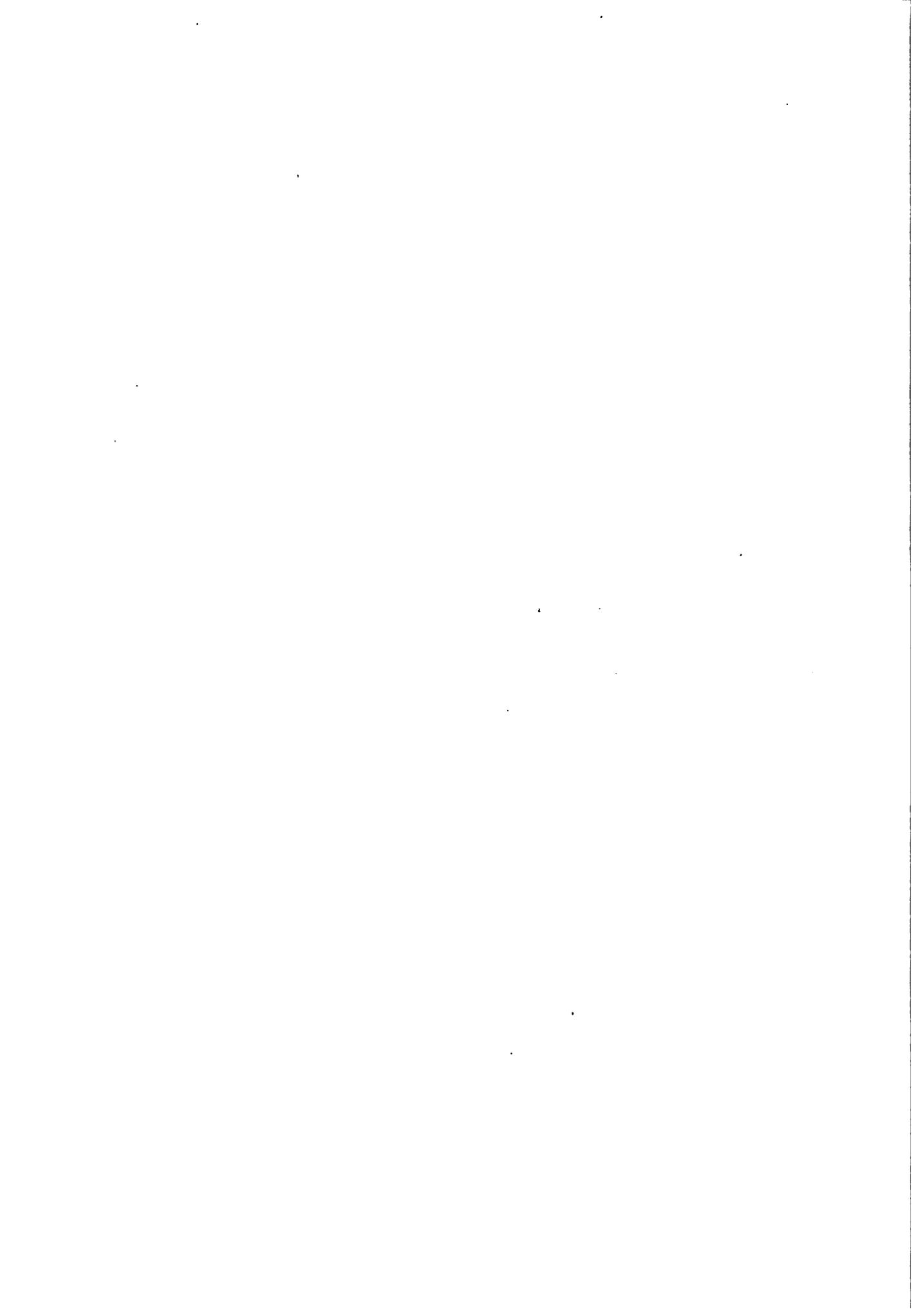
LAMINA N°.



PUNTA DE DIAMANTE

PARTIDORES PUNTA DE DIAMANTE — FIGURAS N°





5. Caidas o Saltos hidráulicos

Son estructuras hidráulicas diseñadas para intercalarse en la rasante de un canal cuando la pendiente es acentuada y el grado de cohesión del suelo solo permite que esta quede comprendida dentro de determinados valores.

Su número y ubicación siempre es función de la rasante que se trae pues su finalidad es mantener a parte de los otros conceptos, una pendiente de diseño; además la ubicación del salto debe ser funcional y permitir que a partir de ellos pueda posteriormente derivarse tomas de riego, ver Figura No.14 y 15 Gráfico No.4

Supongamos un terreno cuya cota negra es de 8 0/00 y que el grado de cohesión del suelo sólo permita que pueda trazarse canales con pendiente de 3 0/00, digamos que:

K0 + 000	320.00
K1 + 000	<u>328.00</u>
≠ Cotas	8.00

La diferencia de cotas aceptada para el trazo del canal con pendiente $S = 3\ 0/00$ es 3.00 mts.

La altura máxima de caída que se acepta para un salto hidráulico a nivel predial es 0.60 mts.; el número de saltos que se necesita intercalar en el diseño para que se mantenga la rasante calculada, sería: $8.00/0.60$. Pero como 0.60 mts. nos obliga a extremar la excavación (en el caso supuesto y presente) vamos a aceptar que la altura de caída sea 0.50; luego habría que construir 16 saltos con las especificaciones que se indican en la Figura No. 14 Debe recordarse que en el diseño de una caída vertical la parte más delicada la constituye el pozo disipador de energía; siempre debe ser profundo para que el colchón de agua neutralice la fuerza erosiva del agua. La profundidad del colchón puede calcularse por la fórmula de Varonese:

$$d = 1.32H^{0.325} X Q^{0.54}$$

- d = Profundidad del pozo disipador.
H = Desnivel entre la lámina de agua del canal (aguas arriba y abajo) en la abscisa de ubicación del salto.
Q = Descarga del canal en $m^3/seg.$ por metro de anchura de cresta de salto.
0.325 = Exponente experimental.
0.54 = Exponente experimental.

Prácticamente puede determinarse sin mayor error y considerando que en los canales de nivel predial el valor de Q es mínimo (de 0.010 a 0.250 m^3/seg), que la profundidad del colchón es la tercera parte de la altura de caída y que su longitud sin incluir el talud de salida, es igual a la altura de caída más la profundidad del colchón. Ver figura No.14 Talud de salida 1:4

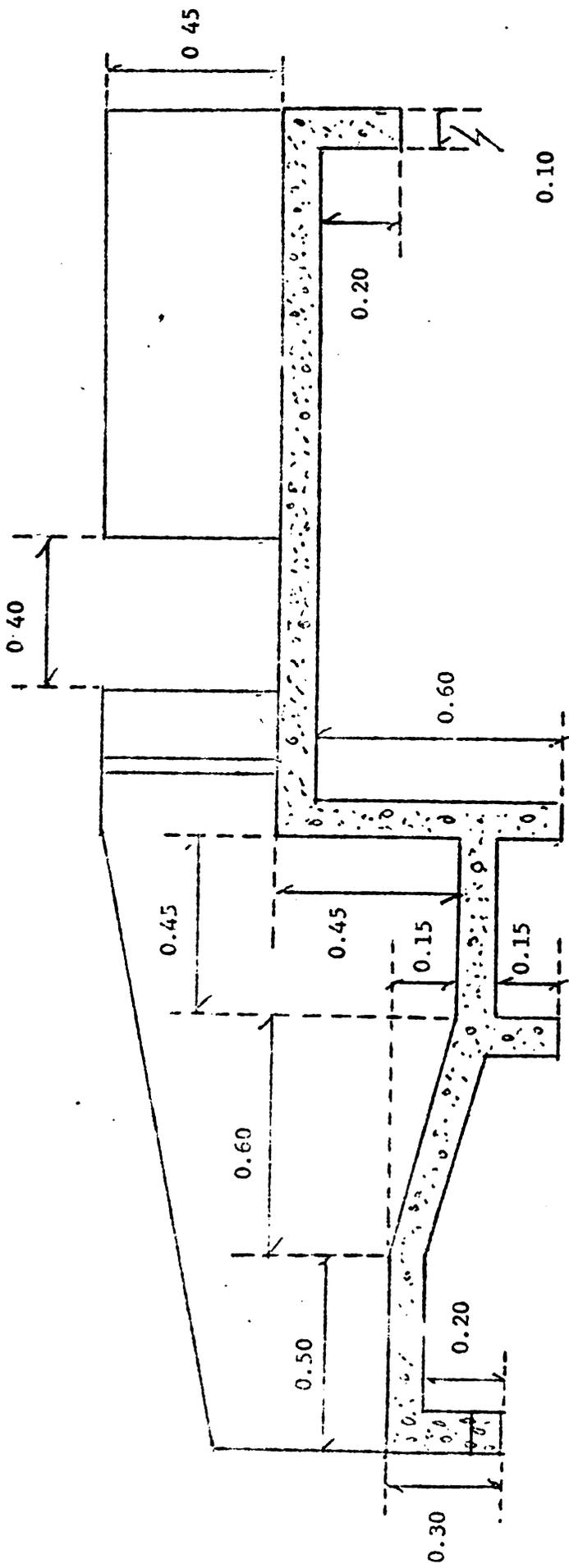
6. Viaductos y cános

Son estructuras hidráulicas que se construyen en el nivel predial para el paso de pequeñas quebradas. Obedecen en el caso general a una sección hidráulica rectangular, pero también pueden construirse con canales de sección circular llena o medio llena. La construcción de su estructura de base, se ajusta a las especificaciones técnicas que se dan para la construcción de puentes de carretera. Al tratar de las alcantarillas se analizará este aspecto técnico.

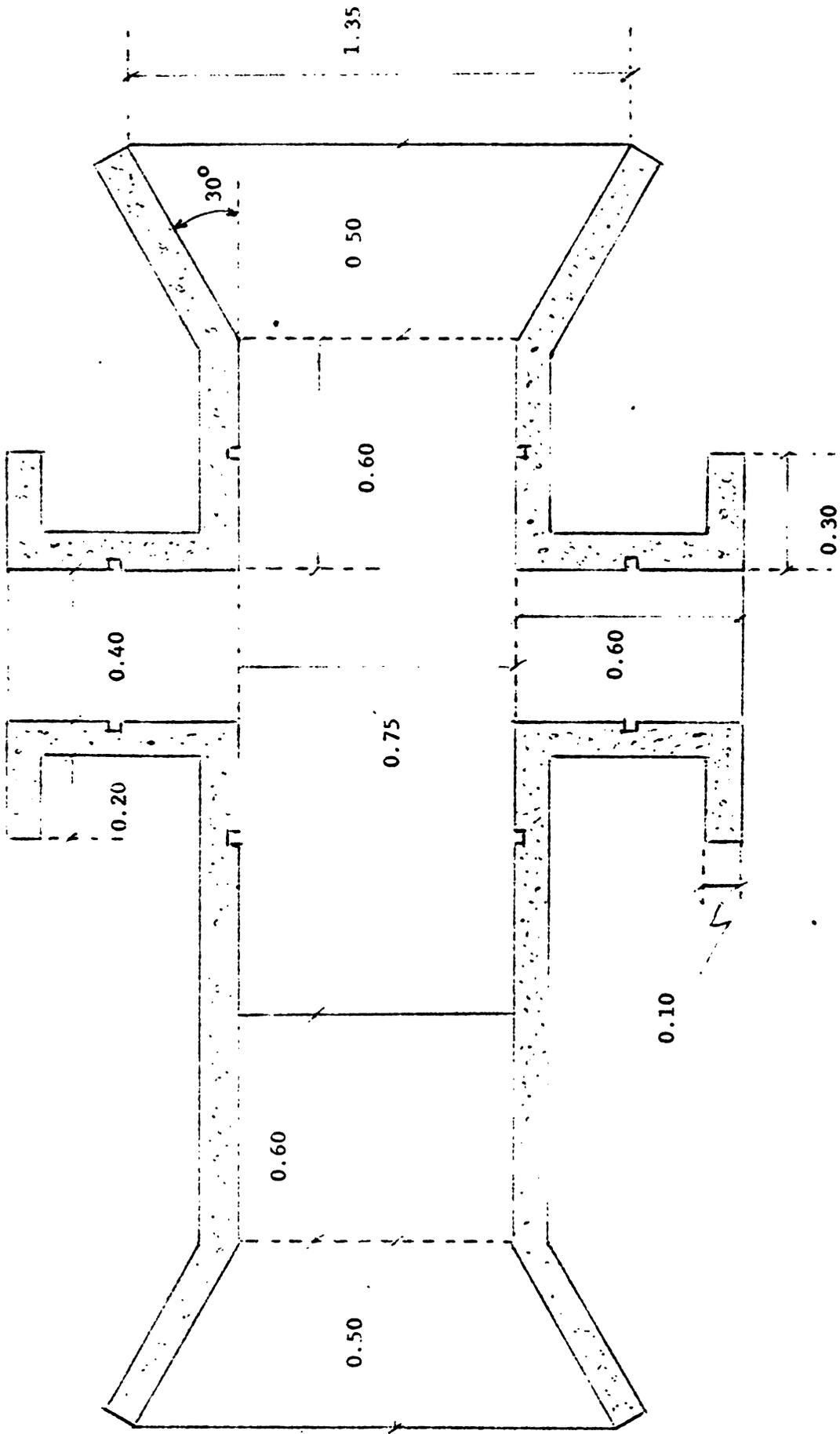
7. Alcantarillas y sifones

Este conjunto de estructuras se diseña para darle solución de continuidad a los caminos. Veamos el caso de las alcantarillas.

a. Las alcantarillas pueden diseñarse con tubos de cemento revestidos con



CAIDA HIDRAULICA
 LAMINA NO.



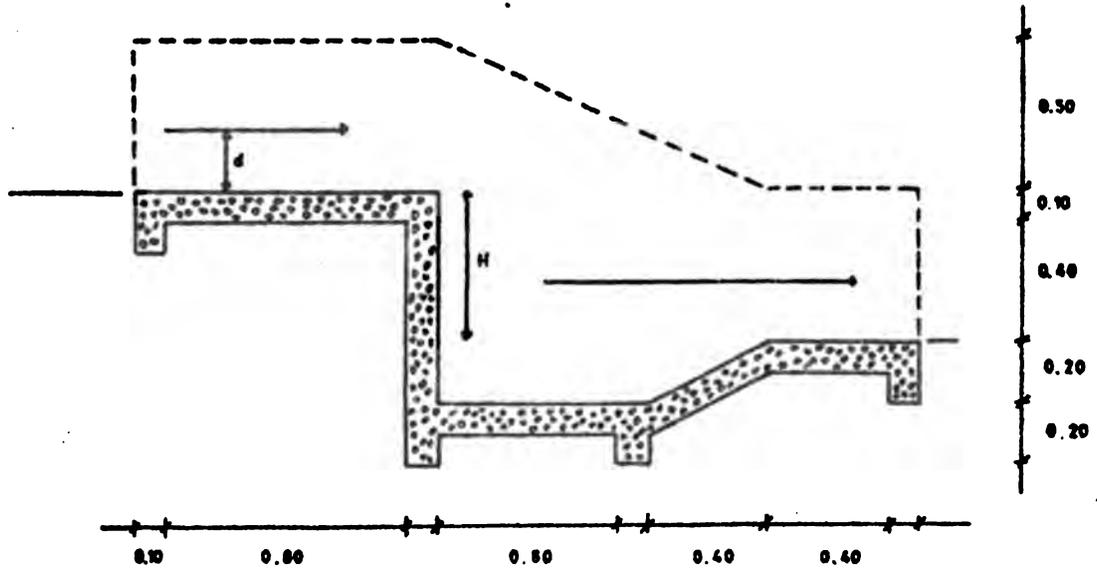
$Q = 0.100 \text{ a } 0.120 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Planta de Caída Hidráulica

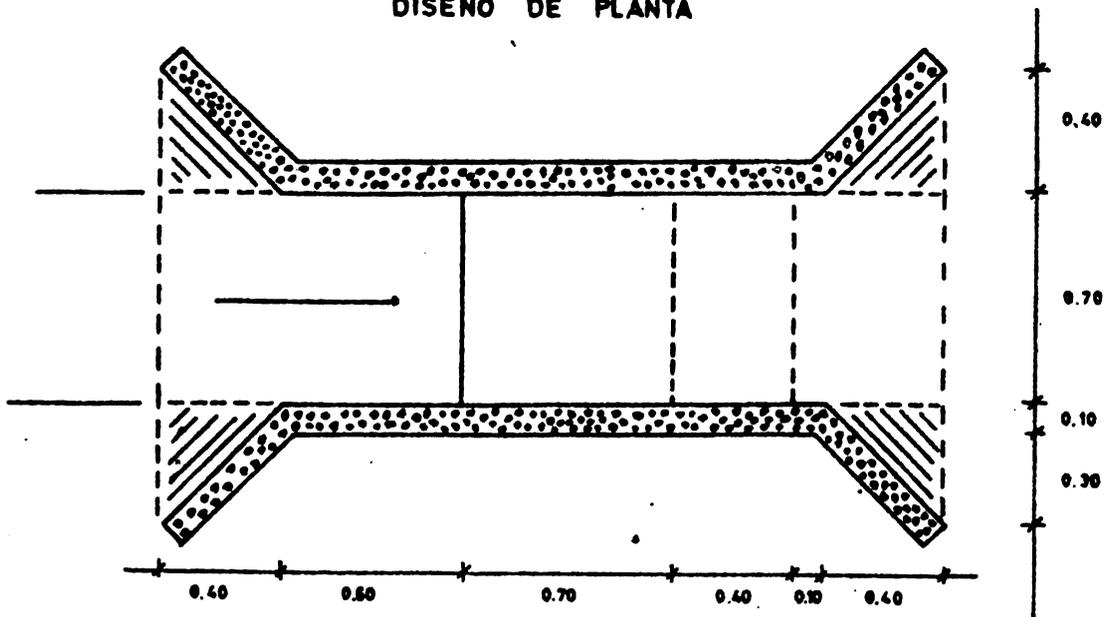
ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SALTO HIDRAULICO

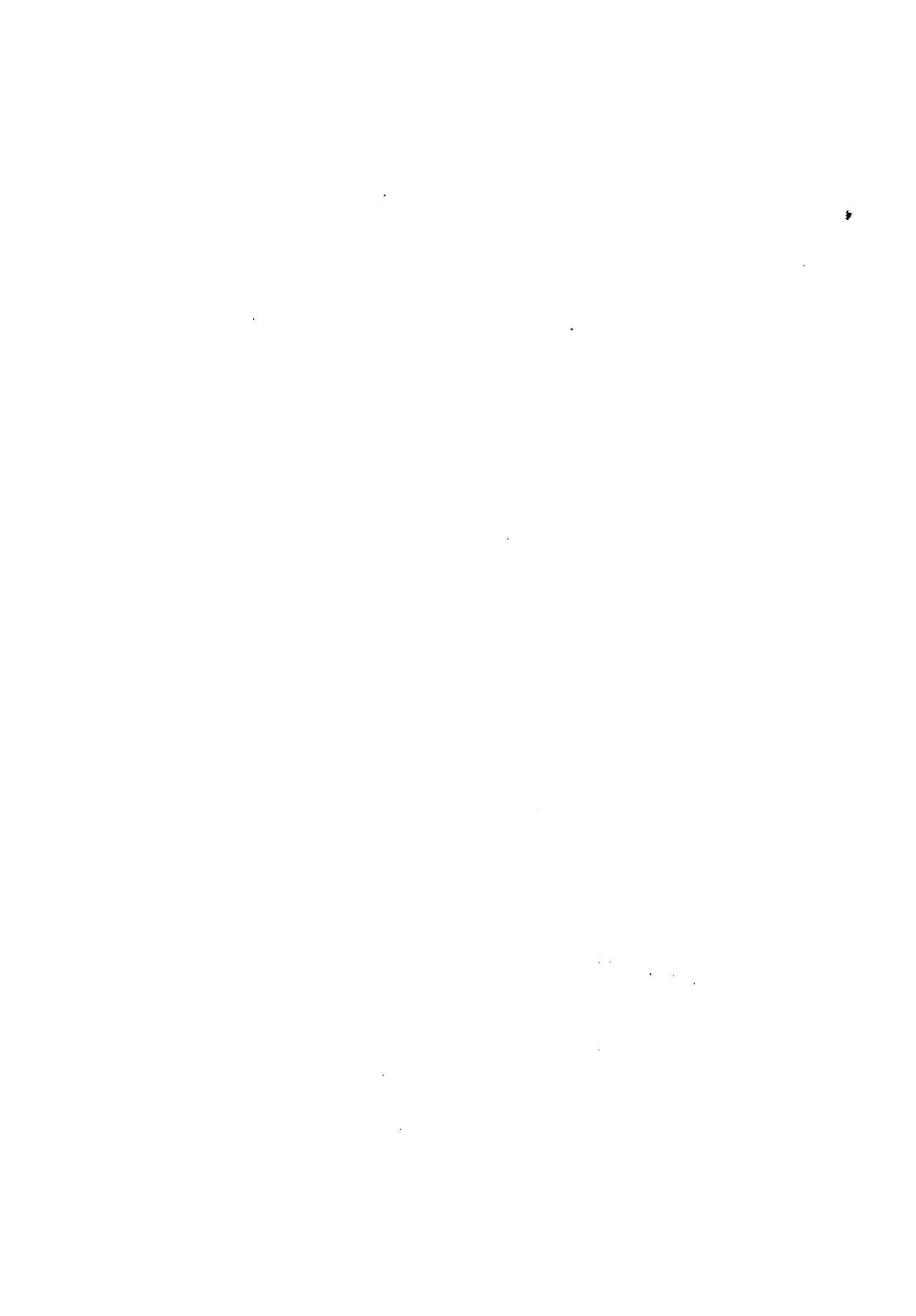
DISEÑO DE PERFIL

FIGURA N°



DISEÑO DE PLANTA





Concreto simple o bien pueden construirse de concreto armado; el uso de una u otra depende de la sección del canal y de su costo; pero debe buscarse en cualquiera elección que sea, estructuras simples y que conduzcan sin problema el volumen de agua que se calcule para riego o para drenaje. En la figura No.16 puede apreciarse las características de este tipo de alcantarillas. Se establece la condición que si el borde superior del tubo queda a una profundidad mayor de 0.50 mts., no es necesario revestir la tubería con concreto simple; sino agregarle tierra debidamente compactada y acabarla con una capa de ripio (arena con piedra de 1 a 1.5").

Las alcantarillas de concreto armado también son de uso frecuente en el nivel predial; la figura No.17 sirve para una luz libre de 0.60 a 1.20 mts., y permite una carga uniforme repartida de 30 toneladas. Sus especificaciones de construcción son:

- Cimientos: serán de concreto simple con piedras de un diámetro entre 0.10 a 0.20 mts., su profundidad debe llegar hasta la localización de suelo compacto y su ancho será de 0.30 a 0.40 mts.
- Sobrecimientos: apoyados con solución de continuidad en los cimientos, deben construirse con ripio y piedra con un diámetro de 0.10 mts. La compactación de elementos exige sumo cuidado; no requieren estructura adicional de hierro. Su espesor y altura se aprecian en la figura No.
- Losa de solera de canal: construída con ripio debidamente compactado y de un espesor variable entre 0.10 a 0.12 mts.
- Plancha de concreto armado: para alcantarillas de esta luz libre, las varillas de fierro serán de 3/8" de diámetro, separadas unas de otras 0.25 mts., amarradas con alambre negro; doble parrilla longitudinal y transversal; los extremos deben doblarse al interior 0.10 mts.
- Proporción de mezcla:

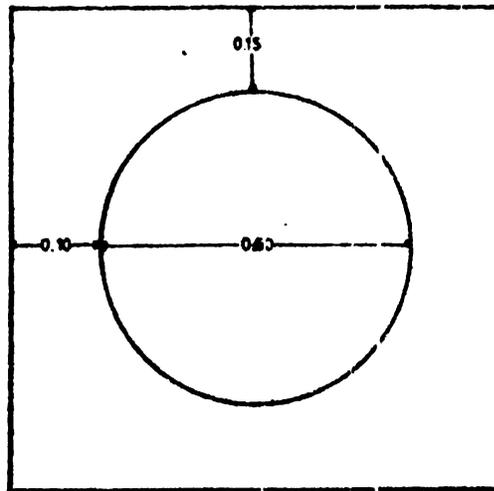
2 carretillas de arena lavada

→ 3 carretillas de piedra partida de 1" de Ø

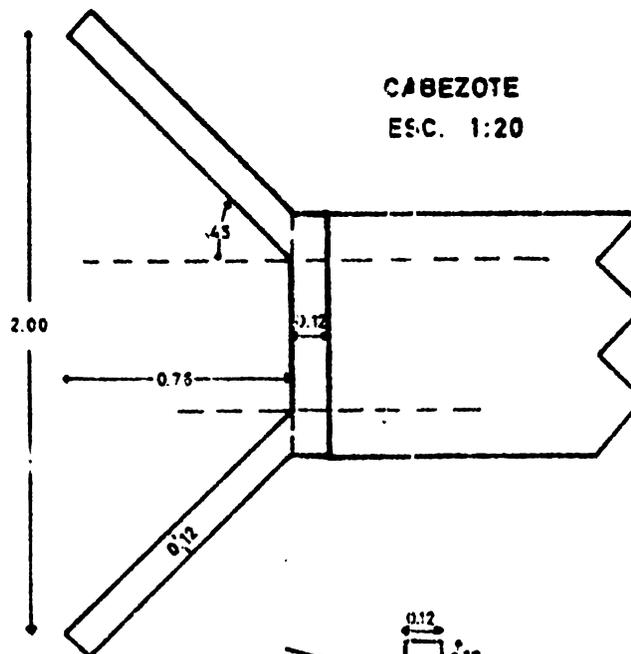


ALCANTARILLA DE TUBO DE CEMENTO DE 18 Y CONCRETO SIMPLE

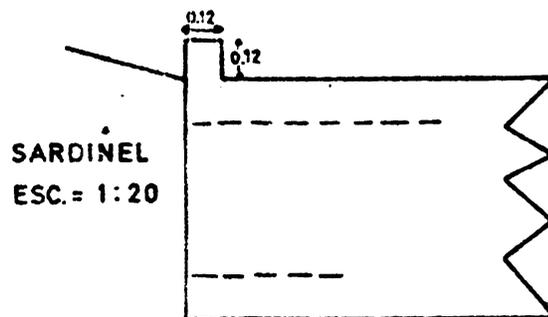
FIGURA N°



ESC. 1:10



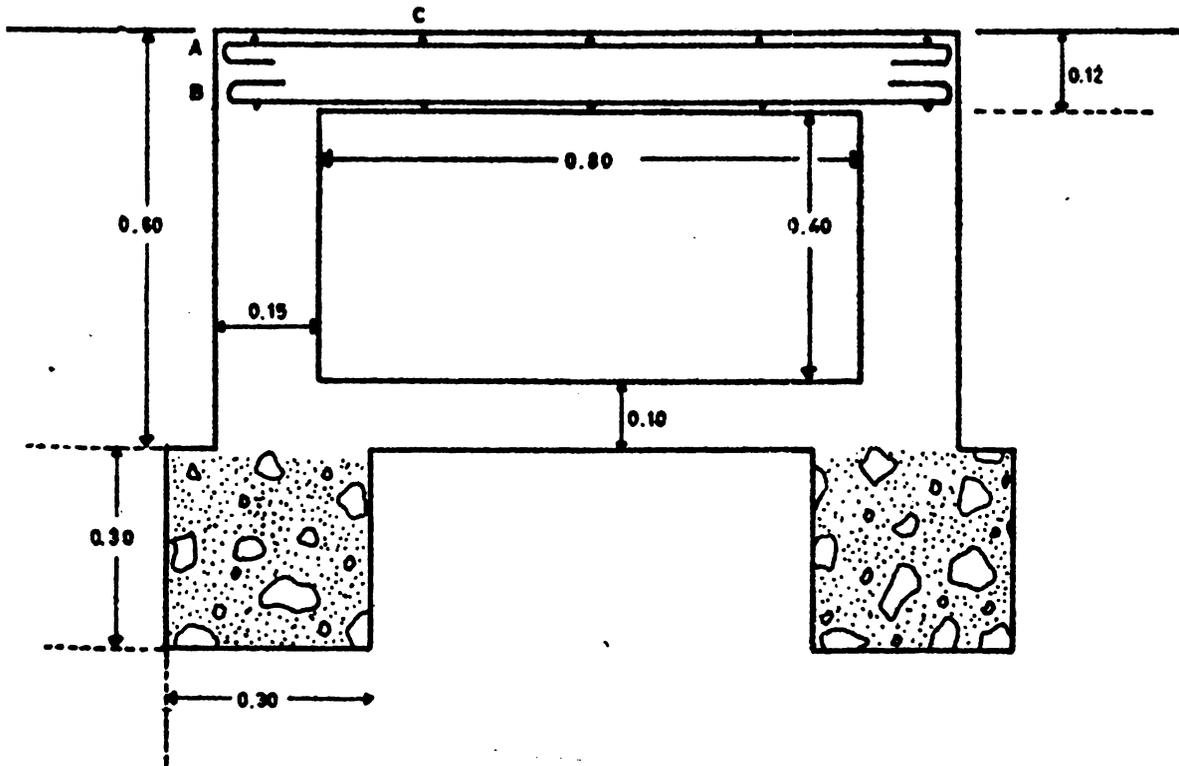
CABEZOTE
ESC. 1:20



SARDINEL
ESC. = 1:20

CALCULOS DE ALCANTARILLADO Y OBRAS DE ARTE — FIGURA N°

A. — ALCANTARILLADO DE CONCRETO ARMADO DE 6.00 MTS. DE LARGO SIN ESTRIBOS



RELACION DEL HIERRO			
Tipo	φ	N° de Piezas	Longitud
A	3/8"	19	1.00
B	3/8"	19	1.00
C	3/8"	10	6.20

ESC.: 1:10

1 bolsa de cemento fresco

- Entrega al servicio: después de 20 días debiendo mantenerse húmeda la plancha durante todo este tiempo, luego se cubre con ripio o tierra arcillosa.

b. Los sifones, son estructuras que también se usan para el cruce de caminos, su diseño es variable, pueden construirse con tubos de cemento y concreto simple o bien de concreto armado; pero en cualquier caso debe tenerse presente la diferencia de cargas para que sean estructuras eficientes y, evitar que sedimenten las partículas en suspensión; en la figura No. 18 podrá observarse sus características específicas.

8. Estructura de distribución de agua

Son obras de riego que pueden o no adicionarse con saltos hidráulicos, se ubican en cotas altas de los canales de riego para derivar con más facilidad el caudal y para tal fin, se construyen en sus paredes unas ranuras para colocarles tablas o compuertas de control.

A veces es necesario construir a continuación de los puentes de los caminos, obras de distribución para el riego de parcelas. En este caso, los canales de riego deben diseñarse de tal modo que permitan la construcción del puente y la función de la estructura de riego. Siempre son consideraciones técnicas antagónicas que pueden solucionarse mediante la construcción de sifones invertidos; pero por el cambio de velocidad, se corre el riesgo que se obstruyan por sedimentación; por tal razón es que se diseñan las estructuras de referencia. La figura No. 19 explica por sí sola las características de estas obras.

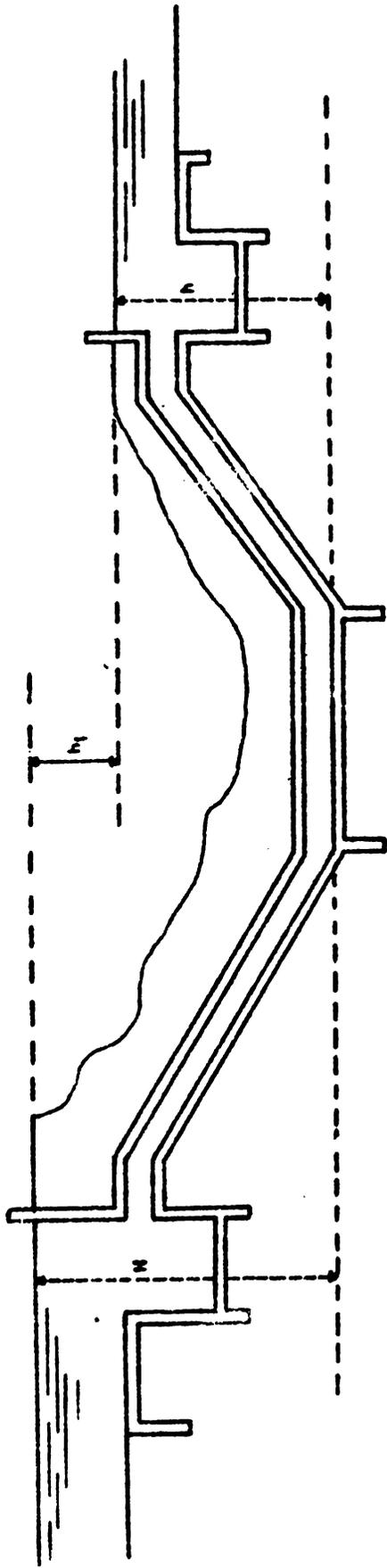
En el caso de la figura No. 20 esta se ha diseñado con un salto hidráulico cuya cresta o umbral da cota de riego para las parcelas.

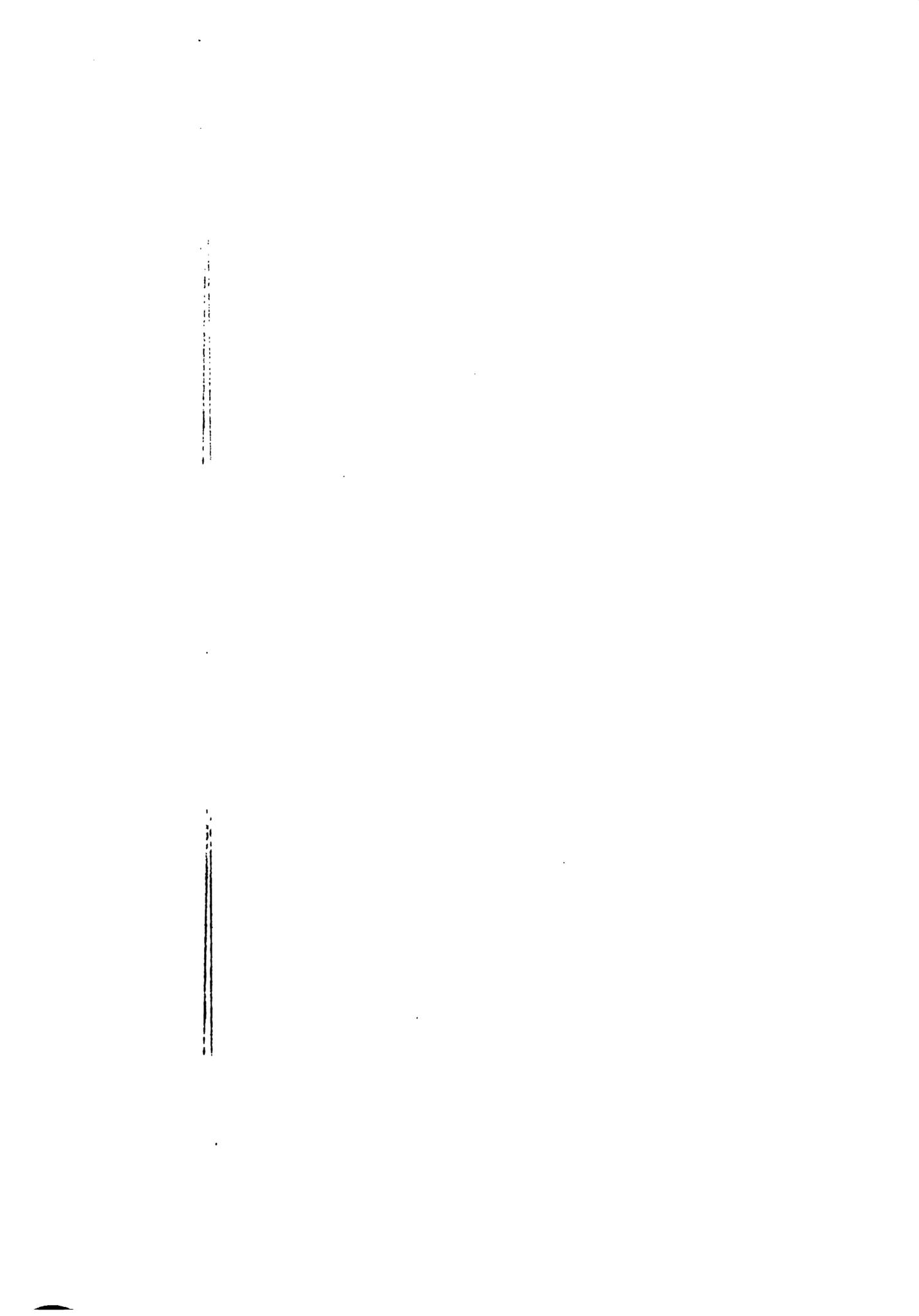
9. Estructuras finales para canal de riego y de drenaje

La construcción de estas estructuras es obvia, se evita cualquier problema de erosión, pérdida de sección del canal, etc. Su diseño es variable y casi siempre es específico a las características de llegada.

FIGURA N°

SIFON INVERTIDO

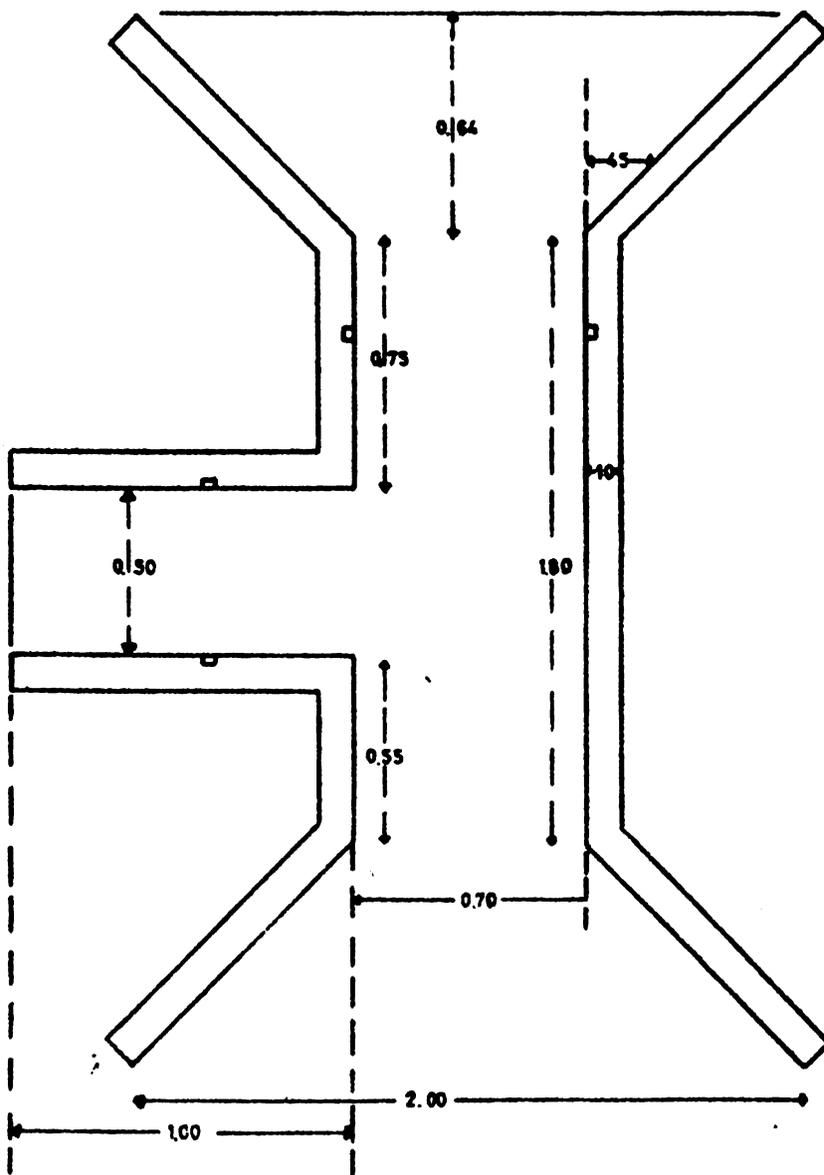




ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCION SIMPLES

ESCALA = 1:20

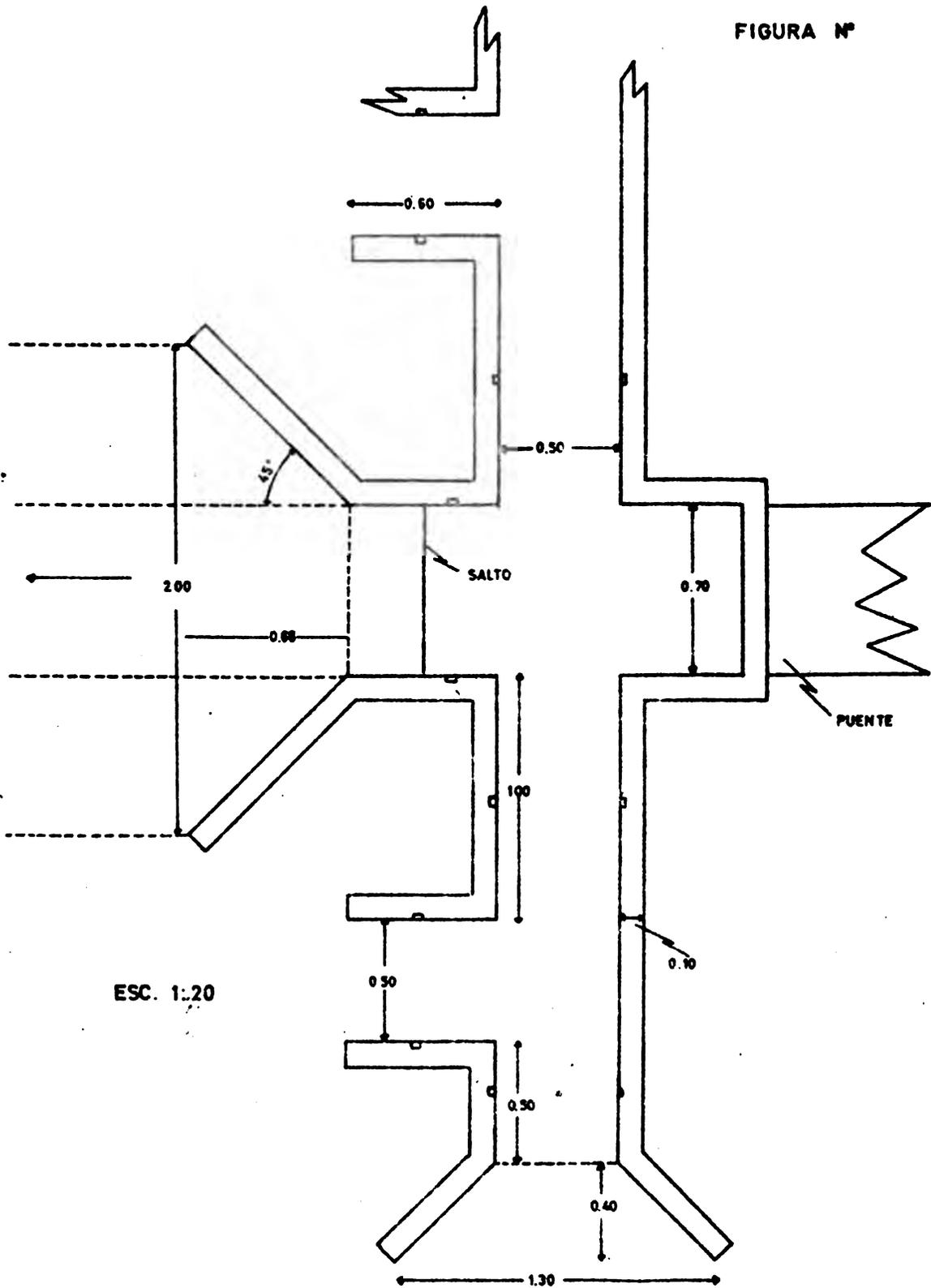
FIGURA N°



ESPEJOR DE LOSA	-.010
ALTURA DE LAS PAREDES	-.050
CIMENTOS	-.030
ESPEJOR PAREDES	-.010

DISTRIBUCION O REPARTIDORAS DE AGUA A DER. E IZQ. DE UN CANAL

FIGURA N°



ESC. 1:20

F. Costo estimado de las obras para riego

Los valores que se dan para el costo de las obras de riego estan referidos en dólares y para la República de Costa Rica. Para costos locales habrá que recurrir a factores conversión.

1. Costo de canales para riego

a. Especificaciones técnicas del canal

Q = 0.160 m³/seg.

N = 0.025

S = 0.001

b = 0.90 m

d = 0.30 m

H = 0.60 m

C = 0.60 m

Talud = 1 en 1

Excavado en tierra y sin revestimiento de mampostería.

b. Escavación y reconfirmación de taludes, sección trapezoidal, talud 1 en 1. Costo unitario (por m³ de movimiento de tierra) \$ 3.29

2. Costo de obras complementarias

a. Alcantarillas de concreto reforzado

Ver especificaciones técnicas en lámina No. 17

- Concreto ciclopeo relación 1-2-3 con 50% de piedra bruta, 1.08 m ³ a \$ 23.76 m ³	\$ 25.67
- Mampostería relación 1-2-3; 2.172 m ³ a \$ 48.94 m ³	" 106.30
- Fierro de 3/8" de Ø, 58.07 kilos a \$ 0.41 kilo	" 23.91
- Madera para formaleta y clavos	" 1.75
- Mano de obra	" 47.06

Total \$ 204.69

b. Alcantarillas de tubo de cemento

Ver especificaciones técnicas en lámina No. 16

- 4 tubos de 15" de \emptyset y 1.10 mts. de largo a \$ 12.00 c/u.	\$ 48.00
- 0.23 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 para los cabezotes a \$ 48.94 m ³ .	" 11.26
- Madera para formaleta y clavos	" 1.75
- Mano de obra	<u>" 18.35</u>

Total \$ 79.36

c. Alcantarillas de tubo de cemento revestidos con mampostería

Ver especificaciones técnicas en lámina No.16

- 4 tubos de 15" de \emptyset y 1.10 m de largo a \$ 12.00 c/u	\$ 48.00
- 1.24 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 para revestimiento de tubos y cabezotes a \$ 48.94 m ³	" 60.69
- Madera para formaleta y clavos	" 1.75
- Mano de obra	<u>" 30.00</u>

Total \$ 140.44

d. Obra de distribución - Estructura simple

Ver especificaciones técnicas en lámina No. 19

- 0.800 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 para paredes y losas a \$ 48.94 m ³	\$ 39.15
- 5.700 m ³ de mortero para afinamiento de las paredes de las obras de distribución a \$0.59 m ²	" 3.36
- Madera para formaleta y clavos	" 1.75
- Mano de obra	<u>" 23.53</u>

Total \$ 57.79

e. Obra de distribución - Estructura compuesta

Ver especificaciones técnicas en lámina No. 20

- 2.00 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 para paredes y losas a \$ 48.94 m ³	\$ 97.88
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

- 10.00 m ² de mortero para afinamiento de las paredes de la obra a \$0.59 m ²	\$ 5.90
- Madera para formaleta y clavos	" 5.25
- Mano de obra	<u>" 47.00</u>
Total	\$ 156.03

f. Obra de toma predial

ver especificaciones técnicas en lámina No. 19
Su costo se asimila al indicado para d.

g. Caidas hidráulicas con transición de entrada y salida

Ver especificaciones técnicas en lámina No. 14 y 15
generalmente las caidas hidráulicas se diseñan con 1 ó 2 tomas laterales, para el caso presente el costo esta dado para una caída hidráulica con una salida lateral.

- 2.00 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 para paredes y losas a \$ 48.94 m ³	\$ 97.88
- 1.00 m ² de mortero para afinamiento de paredes a \$0.59 m ²	" 5.90
- Madera para formaleta y clavos	" 7.00
- Mano de obra, incluye costo de excavación	<u>" 30.00</u>
Total	\$ 140.78

h. Partidor de caudal o punta de diamante

Ver especificación técnica en lámina No. 10 El costo que se indica es variable, depende de la longitud que se de a cada lado de la Y.

- 2.400 m ³ de mampostería de relación 1-2-3 a \$ 48.94 m ³ , para paredes y losas.	\$ 117.45
- 22m ² de mortero a \$0.59 m ² para afinamiento de paredes.	" 12.98
- Madera para formaleta y clavos	" 7.00
- Mano de obra	<u>" 45.00</u>
Total	\$ 182.43

3. Costo de Sistematización de tierras

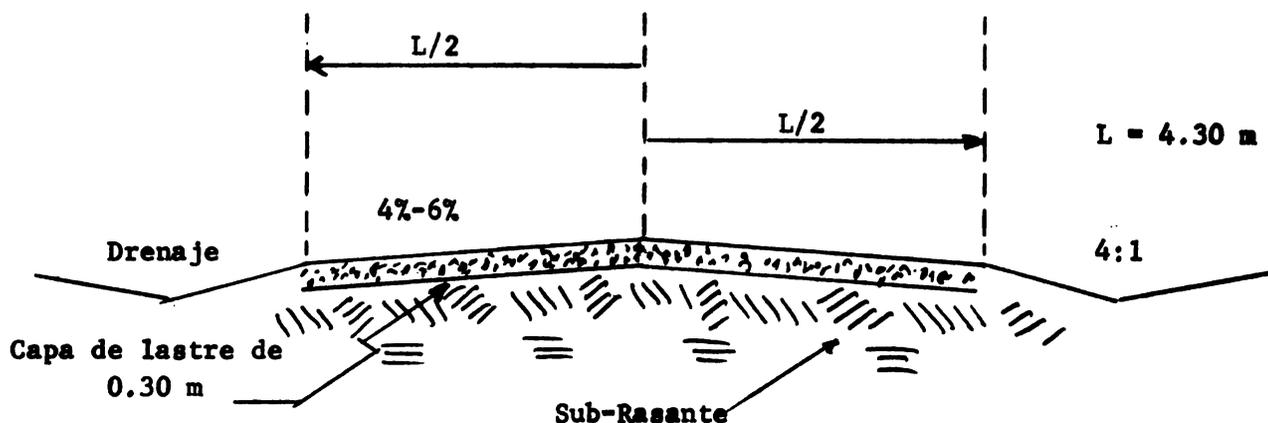
En promedio se estima un movimiento promedio de tierra de 450 m³/Ha.

- Cuando el movimiento de tierra se realiza conjuntamente con bulldozer, motoniveladora, y trailla agrícola, el costo del m ³ de tierra movida se promedia en \$0.51 450 x 0.51	\$ 229.50
- Estacado y nivelación de cuadrículas de 25 mts. por lado (por Ha)	" 23.53
- Cálculo de movimiento de tierra y replanteo de nuevas cotas (por Ha)	" 23.53
- Construcción de 100 mt de canal para riego de parcela (por Ha)	" 8.24
- Construcción de 100 mt de canal para evacuar excedentes, idem caso anterior	" 8.24
-parte alicuota de obra de toma para riego	<u>" 12.00</u>
Total	\$ 305.04

4. Costo de obras viales

Estos costos son muy variables porque dependen de la calidad de camino que se desee construir y de la distancia donde se ubique la cantera de materiales de cubierta.

A modo de referencia se indica el costo Km de un camino que obedezca a las especificaciones indicadas en la figura No. 21 Este costo aproximado es de \$ 4700.



• Cuando solo se trata de rehabilitar caminos existentes, el costo se reduce enormemente debido a que solo se requiere una capa de ripio que se desparrama con motoniveladora y luego se conforman cunetas. Este costo aproximado es de \$ 750/Km.

Si solo se pretende construir caminos de tierra y conformar cunetas, se utilizará motoniveladora, su costo estimado es de \$ 250/Km

G. Asistencia Técnica

La sistematización de tierras para transformar un predio a su explotación racional bajo riego, puede cumplirse bajo dos etapas:

1. Sistematización en primera aproximación; y,
2. Sistematización definida dentro de un marco integral de desarrollo.

En el primer caso, sólo se pretende instalar un predio bajo condiciones de adelantar cultivos bajo riego realizando la mínima inversión y el mínimo desarrollo físico.

En el segundo caso, la sistematización obedece a un proyecto integral y se

pretende llevar al predio a una fase de óptimo aprovechamiento realizando la inversión necesaria para este objetivo.

Entre una etapa y otra puede transcurrir un tiempo variable, depende de la organización que se posea, de la capacidad instalada en personal profesional y técnico, de las fuentes de financiación, disponibilidad de maquinaria, tenencia de la tierra, etc. Es durante este período crítico que debe prestarse al usuario una permanente asistencia técnica orientada a la conservación de los recursos tierra y agua y teniendo como objetivo final, su motivación hacia el desarrollo físico definitivo.

Si las áreas de riego están organizadas en Distritos y si éstos cuentan con una dependencia de Ingeniería Agrícola, pueden éstas encargarse de la adecuación primaria e inclusive si los proyectos de riego están en etapa de construcción, los costos que demande esta fase pueden cargarse al valor/Ha.; pero si su administración técnica no está definida en este marco, serán los organismos especializados de las Instituciones encargadas del riego quienes asuman esta responsabilidad.

En las áreas ya bajo riego, el desarrollo físico debe ser definitivo, y en este caso la asistencia técnica depende de las Instituciones de Riego existentes, hasta que las áreas se organicen en Distritos y se implementen con la dependencia especializada de Ingeniería Agrícola.

Todo proyecto de sistematización de tierras incluyendo asistencia técnica debe ser considerado en el presupuesto ordinario del Distrito, que será cubierto por los respectivos usuarios del agua para uso agrícola.

La asistencia técnica para proyectos de sistematización de tierras, como otra alternativa, también podría brindarse a través de Instituciones del sector privado y acreditadas ante el Ministerio de Agricultura; sus servicios serían abonados a tanto por Ha. o por costo del proyecto en base a tarifas pre-establecidas.

H. Bibliografía

- Blair, E. Manual de Riego y Avenamiento Lima, Perú
- Chávez, O. Proyecto de sistematización de tierras, granja agrícola, Natáima Tolima, Colombia.
- Chavez, O. Diferentes métodos de nivelación de tierras. Proyecto Tolima No.5, Colombia
- Deloye et Rebaur. L'Irrigation. Le Maison Rustique Paris, Francia.
- Moleenar, A. Land, Development for Irrigation. California University.
- Marr, J.C. Grating land for surface irrigation. California Experimental Station, Extension Service.
- Trisoldi, A. El riego, planificación y prácticas.



***IMPRESO EN EL CENTRO DE DOCUMENTACION E
INFORMACION AGRICOLA***

28/7/89

IICA	
P12	
19 Chávez C. Oswaldo.	
AUTHOR	
Desarrollo Físico de las Tierras	
TITLE	
para su riego y Evaluación de.....	
DATE DUE	BORROWER'S NAME
28/7/89	Cruzado Vilas



