

**REPORTE DE ANOMALIAS**

**CUCBA**

**A LA TESIS:**

**LCUCBA03522**

**AUTOR:**

**MENDEZ CASTRO ROBERTO**

**TIPO DE ANOMALIA:**

**Errores de Origen:**

**Inconsistencia en foliado de la tesis  
Existen paginas sin folio**

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE AGRICULTURA



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

## “NIVELACION DE TERRENOS”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

P R E S E N T A

ROBERTO MENDEZ CASTRO

GUADALAJARA, JAL. 1983



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Escuela de Agricultura      Diciembre 17 de 1980

EXPEDIENTE .....

NUMERO .....

**C. PROFESORES:**

- ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA, Director
- ~~ING. HECTOR HERMOSILLO DE LA CERDA, Asesor~~
- ~~ING. MANUEL REYES QUIROZ, Asesor~~

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

" NIVELACION DE TERRENOS "

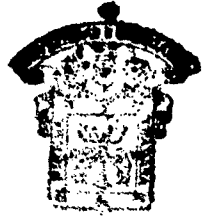
presentado por el Pasante ROBERTO MENDEZ CASTRO han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes que sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarle las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"PIENSA Y TRABAJA"  
EL OFICIAL MAYOR

ING. JOSE ANTONIO SANCHEZ VAL MADRIGAL

srd.



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jal., Diciembre 19 de 1980

C. ING. LEONÉL GONZALEZ JAUREGUI  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
P R E S E N T E .


Habiendo revisado la Tesis del PASANTE ROBERTO

MENDEZ CASTRO Titulada:

" NIVELACION DE TERRENOS ".


Demos nuestra aprobación para la impresión de la  
misma.


DIRECTOR DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
ING. ANDRÉS RODRIGUEZ GARCIA

ASESOR

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
ING. HECTOR HERMOSILLO DE LA CERDA

  
\_\_\_\_\_  
ING. MANUEL REYES QUIROZ

U N I V E R S I D A D D E G U A D A L A J A R A  
E S C U E L A D E A G R I C U L T U R A

"NIVELACION DE TERRENOS"

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el Título de:  
Ingeniero Agrónomo Fitotecnista.

Roberto Méndez Castro.

Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco. Enero / 82.

A MI ESPOSA LUZ MARIA  
POR SU AMOR, COMPRENSION Y APOYO.

A MIS PADRES:  
POR SU AYUDA Y APOYO.

A MIS HERMANOS CON CARINO,  
ESPECIALMENTE A CECILIA.

A MIS PARIENTES CON ATENCION.

CON ADMIRACION Y RESPETO  
A TODOS MIS MAESTROS.

A MIS AMIGOS CON APRECIO.

AGRADEZCO DE MANERA MUY ESPECIAL  
A TODAS LAS PERSONAS QUE INTERVINIERON  
EN LA ELABORACION DE ESTA TESIS:

Al Director de este Trabajo

Ing. Andrés Rodríguez G.

A los Asesores - Ing. Manuel Reyes Q.

Ing. Héctor Hermosillo C.

Además: Ing. Hernán Pérez Camargo.

Ing. Pascual Orozco Muñiz.

Ing. Salvador Gutiérrez Jiménez.

José Encargación Ramos Mariscal.

M. C. Enrique Arias Jiménez.



CON CARÍÑO Y RESPETO A TODAS  
AQUELLAS PERSONAS DE LAS CUALES HE APRENDIDO.

A MI PATRIA CON VENERACION.

A MI "ALMA MATER".

## I N D I C E

	Pág.
Introducción	
Cap. I.- Generalidades .....	1
Cap. II.- Criterio para la nivelación de terrenos.....	3
Cap. III.- Qué se necesita para una nivelación.....	5
Cap. IV.- Levantamiento topográfico.....	7
Cap. V.- Cómo se hace una nivelación.....	9
Cap. VI.- Qué es una nivelación .....	11
Cap. VII.- Diferentes métodos de diseño en nivelacion....	12
7.1.- Método Plano	
7.1.1.- Método plano.....	12
7.1.2.- Método de mínimos cuadrados .....	28
7.2.- Método de Perfil.....	43
7.2.1.- Método del perfil en dos direcciones..	43
7.2.2.- Método del perfil en una dirección....	44
7.3.-Método Comprobación del Proyecto.....	46
7.3.1.- Método de comprobación del proyecto...	49
7.4.- Método de Rectificación de Curvas de Nivel....	49
7.5.- Cálculo del Movimiento de Tierras.....	51
Cap. VIII.- Especificaciones de la maquinaria.....	55
8.1.- Tractor sobre carriles.....	55
8.2.- Tractor sobre neumáticos.....	55
8.3.- Escrepas o Trailas.....	55
8.4.- Escrepas Rotatorias o Rotahaul.....	56
8.5.- Line-Plane.....	57

	Pág.
8.6.- Bulldozer.....	58
8.7.- Motoconformadora.....	58
8.8.- Cíncel y Escarificador.....	59
8.9.- Adaptación de los equipos.....	59
8.10.-Elección de los equipos.....	60
Cap. IX.- Conservación de la nivelación.....	62
Cap. X.- Beneficios de la nivelación.....	63
Cap. XI.- Conclusiones.....	64
Bibliografía.....	65

## INTRODUCCION,

Siendo la meta principal del Agrónomo aumentar la productividad en el campo, es de suponerse que siendo la irregularidad del terreno uno de los factores limitantes para la producción, porque ocasiona el arrastre de los materiales orgánicos hacia las partes bajas, a los arroyos y ríos, es obvio que la tarea de modificar la superficie del terreno, es una tarea importante para el Agrónomo mediante la cual se propicia la mejor distribución del agua y de los nutrientes en suspensión; además, evita la acumulación de sales en las partes bajas máximo que en México no puede considerarse como país privilegiado en la distribución de sus disponibilidades hidráulicas.

Sus ríos más caudalosos como son: Usumacinta, Grigalva, Tonalá, Coatzacoalcos y Papaloapan que presentan el 50 % de los recursos hídricos de la República Mexicana, riegan nada más aproximadamente el 10 % de la superficie total del país. Además de la distribución de los ríos tan irregular, existen otros factores en -- contra, como son: la configuración orográfica, la calidad de nuestras tierras y -- clima, para hacer la relación:

AGUA DISPONIBLE  
TIERRA PARA LA AGRICULTURA DE RIEGO

reduciendo por estas razones, las tierras disponibles para la agricultura de riego a poco más de 11 millones de hectáreas (Madero, 1978).

Uniendo lo anterior a nuestro gran crecimiento demográfico y la creciente

demanda de alimentos, le dan al agua un valor inapreciable, que nos obliga a -- ser cautos y cuidadosos en su empleo, y mejorar métodos para las labores agrícolas que nos den mayor cosecha por unidad de agua empleada.

Para que el agua sea empleada eficientemente, es necesario nivelar el terreno a sembrar, pues es conocida la importancia del agua en el suelo para la - obtención de mejores cosechas cada vez; la nivelación de las tierras agrícolas es el conducto para el cabal aprovechamiento de los nutrientes del suelo y de - los fertilizantes aplicados.

Por otro lado es importante considerarla como un complemento de cualquier proyecto de irrigación, ya que generalmente se invierten sumas considerables en obras de captación y distribución (Madero, 1978).

## Capítulo I

### GENERALIDADES

Nivelar un terreno con fines agrícolas es proveerlo de una superficie uniforme donde el agua sea aplicada eficientemente (Madero, 1978).

La nivelación de tierras ha sido preocupación del hombre desde la antigüedad, y así tenemos vestigios de como en Asia los Chinos y en América los Aztecas y los Incas, construían sus terrazas para detener la erosión (Trueba, 1971).

Desde el punto de vista agrícola, la nivelación de los terrenos quebrados ó de superficie dispereja, tiene por objeto facilitar y perfeccionar la mecanización de gastos, ahorro de agua, aumento en la productividad, conservación de suelos evitando azolve a drenes (Trueba, 1971).

Desde el punto de vista del Ingeniero Agrónomo, la nivelación de tierras en un terreno agrícola consiste en la remoción de la tierra de las partes altas, se acarreo y depósito en las bajas, a fin de dejar una superficie plana - que facilite las labores agrícolas y desde el punto de vista económico, no necesariamente deberá ser horizontal, sino la que implique un movimiento mínimo de metros cúbicos de excavación y rellenos (Trueba, 1971).

Los agricultores corrigen las ondulaciones, tanteando, pues toman tierra de los lugares altos para moverla hacia los bajos. Posteriormente hacen la siembra y riegan, corrigiendo las partes que aún estan fuera de nivel. Esta forma -

de arreglo aunque sencilla, tiene el inconveniente de tomar varios años y de ignorar si podría ser antieconómica, debido al gran movimiento de tierra (Pala---cios).

Ahora bien, en los últimos años se está empleando para la nivelación de terrenos agrícolas el \*rayo laser\*, que consiste en dos aparatos: El emisor que lanza el rayo, desde un tripie colocado a una distancia de más de 300 metros de donde opera el tractor, y el aparato receptor (especie de antena) o sensor, que recibe luz, montado sobre un soporte en el tractor que controla eléctricamente la abertura o cierre, indistintamente, de una válvula que automáticamente sube o baja las cuchillas de la niveladora (Estrada, 1979).

Se considera aún para este sistema, la necesidad de que se apliquen aunque de forma más burda parte de la metodología para nivelar pues es necesario para conocer el centroide y darle la inclinación al emisor para mover el mínimo de tierra.

## Capítulo II

### CRITERIO PARA LA NIVELACION DE TERRENOS

El criterio para la nivelación de terrenos depende de: la clase de suelo, pendiente, clima, plantas a cultivar, método de riego y de los proyectos del agricultor (SCS de USA, 1977).

La nivelación de terrenos nunca deberá planearse sin conocer antes el perfil del suelo y el corte máximo que pueda hacerse sin afectar seriamente la fertilidad, suelos que tienen problema en cuanto la excavación permisible, no permiten suficiente libertad al diseñador. Estos suelos son problema difícil cuando aparte de su poco espesor son de topografía ondulada o con fuertes pendientes (SCS de USA, 1977; Madero, 1978).

Con frecuencia, el clima de una región impone ciertos límites en cuanto a la pendiente para prevenir la erosión debida a la lluvia o para proporcionar un desagüe adecuado. También es necesario conocer las plantas a cultivar para sa-ber el método de riego a seleccionar, ya que esto dará una idea sobre la nivelación necesaria, es obvio que las plantas que se cultivan intensamente, como las hortalizas, pueden justificar un alto costo de nivelación, mientras las destinadas a convertirse en forrajes con un periodo vegetativo corto, sólo justifica una inversión mucho menor (SCS de USA, 1977).

Cuando en un mismo terreno se van a usar varios métodos de riego, deberán satisfacerse los requisitos del método más limitado. Y deberán tomarse en cuan-



ta siempre las normas mínimas en cuanto a conservaciones del suelo, se acepta -- generalmente que lo más apropiado para la producción agrícola, es una superficie con un grado de pendiente muy cercano a la horizontalidad (SCS de USA, 1977).

Es importante considerar en cuanto a suelos: Textura la cual influye en el proyecto de las pendientes de riego y longitud de surco. Profundidad pues un suelo al someterse al proceso de nivelación puede descubrir suelo indeseable que no se presentaría si el terreno no se nivelara. Infiltración es otra característica importante e influye directamente en las pendientes y longitudes de riego. Fertilidad ésta influye en la profundidad de los cortes (Madero, 1978).

También es necesario establecer ciertas condiciones en cuanto a la pendiente para el adecuado control del agua de riego. La configuración topográfica de los terrenos es determinante en la economía de los trabajos de nivelación. En terrenos con topografía accidentada, es casi seguro que los cortes deban de ser -- profundos descubriendo suelos de mala calidad (Madero, 1978).

### Capítulo III

#### QUE SE NECESITA PARA UNA NIVELACION

En primer lugar antes de intentar cualquier nivelación es de suma importancia estudiar toda el área. Es conveniente realizar un levantamiento topográfico de plancheta del terreno en cuestión, con el objeto que nos de con suficiente precisión, idea de las pendientes dominantes y la localización de los accidentes topográficos más importantes. Este deberá contener, las áreas cubiertas de monte, bordos, canales, drenes, superficies colindantes, etc. (Madero, 1978).

Si no es posible hacer el levantamiento con plancheta, si es importante hacer un levantamiento con nivel para la planeación del sistema de riego, es necesario dejar bancos de nivel y puntos de control horizontal, con el objeto de restablecer en el terreno tanto el control vertical como el horizontal (SCS de USA, 1977).

Con el plano anterior el responsable del proyecto deberá recorrer el área, para saber si es conveniente dividir el terreno en secciones más pequeñas que tengan condiciones similares de pendiente y características del suelo, para hacerlo más accesible al agricultor (SCS de USA, 1977; Madero, 1978).

Antes de nivelar, se quitarán del terreno la basura y plantas que haya en él. En áreas desérticas, deberán arrancarse los arbustos y hierbas, los cuales se rastrillarán y quemarán. En tierras cultivadas generalmente es sufi

ciente el corte y rastrilleo o la quema de los matorrales vegetales. Los surcos deberán eliminarse, ya sea usando discos o emparejadores (SCS de USA, 1977; Madero, 1978).

El pasto de las praderas deberá segarse y rastrillarse, pero sin tumbar ni enterrar dicha vegetación inmediatamente antes de la nivelación. Cualquier trabajo que afloje la superficie del terreno hace difícil graduar exactamente las cotas proyectadas, dice el Servicio de Conservación de Suelos de USA, (1977); por su parte Madero (1978) considera conveniente además del desmonte y borrado de bordos y/o canales, un paso de rastra de discos de tipo V, con el objeto de aflojar la tierra. Si se juzga necesario dar un segundo paso, que éste se dé perpendicular al primero y después de éste un pado de niveladora, la cual es conveniente que sea cuando menos de 15.20 metros de largo ( 50 --- pies).

## Capítulo IV

### LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Una vez realizados los trabajos del Capítulo anterior, se procede a la toma de datos para la configuración topográfica del terreno, la cual consiste en la toma de las elevaciones (cotas) de cada uno de los vértices de la cuadrícula que se traza de acuerdo con lo accidentado del terreno.

El procedimiento que se sigue para el levantamiento topográfico es sencillo. Se trazan en primer lugar dos líneas perpendiculares entre sí, las cuales se toman como base para el trazo de la cuadrícula siendo la principal la más larga de las dos, la cual si es posible se hará coincidir con el lado más largo del terreno, la otra línea en caso de ser una figura irregular, se hace pasar por el vértice más alejado, procediéndose en igual forma con el trazo de las otras dos líneas (Madero, 1978).

El polígono por nivelar debe quedar inscrito en un rectángulo, del cual, se estacan a cada cadenamiento sus lados, partiendo de la línea base o principal (Madero, 1978).

En terrenos de topografía suave en los que raramente la media de los cortes llega a los 15 cm., la cuadrícula se traza sobre lados de 20 a 30 metros, cuando la topografía es muy accidentado, los cadenamientos se reducen para detectar mayor número de accidentes topográficos (Madero, 1978), un estacado de 10 X 10 requiere 4 veces más estacas que uno de 20 X 20.

El rendimiento medio para una brigada compuesta por: un topógrafo, un anotador, cuatro estadaleros, y dos baliceros es de 25 Has., por 8 horas efectivas de trabajo (Madero, 1976).

Las estacas necesarias para el levantamiento topográfico se calculan con la fórmula siguiente, pero habrá que aumentar las suficientes para los puntos especiales.

#### Cálculo Topográfico

$$\text{Núm. de estacas} = \frac{\text{Superficie en m}^2}{\text{Largo de caden.} \times \text{Ancho de caden.}}$$

## Capítulo V

### COMO SE HACE UNA NIVELACION

Se hace en apoyo a un levantamiento topográfico generalmente de tipo cuadrícula para saber en primer lugar la cota promedio y en base a ésta, se proyectan las cotas calculadas para posteriormente considerar los cortes y rellenos - en base a cada estación (SCS de USA, 1977; Madero, 1978).

Una vez teniendo los cortes y rellenos de cada cadenamiento, se procede a marcar las estacas, previendo la compactación del terreno por el paso de la maquinaria y asegurar así una compensación entre cortes y rellenos. Es recomendable hacer pruebas de campo, para observar el asentamiento del material y afirmar el espesor que debe considerarse por compactación (Madero, 1978; SCS de USA, 1977; Palacios). En general se dice que debe haber un 30 % más de corte en relación al relleno y con este fin se aplica esta fórmula:

$$\frac{(\text{Cortes} + \text{Rellenos})}{\text{Número de Cortes}} \times 0.15 = \text{Cantidad que habrá que sumarse algebraicamente para que el corte sea mayor un 30 \% (Palacios).}$$

El operador tendrá como base las estaca colocadas con color rojo el CORTE y color azul el RELLENO (Plan de nivelación de la Laguna; Madero, 1978; Madero, 1981), estos con una escala generalmente de 1:1, para dar mejor idea del corte o relleno según el caso.

Si la nivelación se hace con equipo de "rayos laser", en la torre base se tendrá que dar la pendiente y el tractor en su receptor se encargará de subir o

bajar la cuchilla conforme sea necesario (Estrada, 1979).

La mayor parte de las nivelaciones se ejecutan con un equipo de tralla del tipo carga, remolcada por un tractor, puede ser de oruga o neumático, desde lo más pequeño para granjas hasta unidades pesadas (SCS de USA, 1977).

## Capítulo VI

### QUE ES UNA NIVELACION

Es la inclinación que deben de tener los terrenos para el mejor aprovechamiento del agua de riego, y consiste en la modificación del relieve de la superficie del suelo, hasta conseguir una pendiente que se planea previamente, con el fin de que dicha superficie sea la más apropiada para la eficiente aplicación del riego. Normalmente la nivelación de terrenos requiere el movimiento de gran cantidad de tierra, lo cual no debe confundirse con los trabajos que a veces se hacen para dejar totalmente plano un terreno. Generalmente éstos trabajos se ajustan, con equipo especial con el fin de eliminar pequeñas irregularidades, pero sin cambiar la topografía general del terreno (SCS de USA, 1977).

En los últimos años se han ideado varios sistemas, en los cuales se calcula la mejor posición de los planos, cuadrículando el terreno es posible saber el volumen de tierra por remover y el costo aproximado de la operación; además se le puede dar la pendiente que conviene al plano calculado. Es importante recalcar que el emparejamiento a "ojo" rara vez es adecuado para terrenos que van a ser regados (SCS de USA, 1977).



## Capítulo VII

### DIFERENTES METODOS DE DISEÑO EN NIVELACION

Existen a saber 4 métodos básicos y un gran número de variaciones de cada uno de ellos, todos de uso común (SCS de USA, 1977). Estos son:

- 1.- Método Plano
  - 1.1.- Método Plano
  - 1.2.- Método de Mínimos Cuadrados
- 2.- Método de Perfil
  - 2.1.- Método de Perfil en Dos Direcciones
  - 2.2.- Método de Perfil en una Dirección
- 3.- Método de Comprobación de Proyectos
  - 3.1.- Inspección del Plano
- 4.- Método de la Rectificación de Curvas de Nivel

#### 7.1.- METODO PLANO.

Son llamados así debido a que la superficie resultante muestra una pendiente uniforme, tanto transversal como longitudinalmente. De estas se obtiene una superficie realmente plana (SCS de USA, 1977).

##### 7.1.1.- METODO PLANO

Este es un método muy útil para el desarrollo superficial de las clases --  $A_1$ ,  $A_2$  y  $B_1$  donde es ampliamente usado (SCS de USA, 1977). (Tabla 1).

Este método es un modelo matemático que permite la adaptación de las pendientes o bien tener el mínimo de tierra movida, cumpliendo con los requisitos -- mínimos de riego y conservación del suelo. (Tabla 1).

El procedimiento para el proyecto de nivelación de terrenos agrícolas - el método es como sigue:

#### Localización del Centróide.

El cual se localiza en la intercepción de las diagonales si el terreno es rectangular, o bien si el terreno es irregular, el centróide puede localizarse, suponiendo que cada estaca (sin contar las auxiliares) del terreno representa la misma superficie (SCS de USA, 1977).

#### Cálculo de la Altitud Media del Terreno.

Se calcula sumando todas las cotas de la cuadrícula y dividiendola entre el número de puntos o cadenamientos (SCS de USA, 1977).

#### Cálculo de la Pendiente.

Se omite si es evidente que la razante no está de acuerdo con el criterio seguido en la nivelación. Con un espaciamento en la cuadrícula de 30 m., - la pendiente queda expresada en la siguiente forma:

$$M_x = \frac{E(D_x H_y) - (A) (H)}{B}$$

$$M_y = \frac{E(D_y D_x) - A (H)}{E}$$

Donde  $D_x$  = Distancia en estaciones desde el eje de la  $y$

$D_y$  = Distancia en estaciones donde el eje de la  $x$

$A$  = Constantes de la tabla 2

$B$  = Constantes de la tabal 2

$H_x$  = Suma de las cotas en una dirección  $X$

$H_y$  = Suma de las cotas en una dirección  $Y$

$E_x$  = Pendiente del plano en dirección  $X$

$M_y$  = Pendiente del plano en dirección  $Y$

$H$  = Suma de todas las cotas del proyecto

Si el espaciamiento es otro que no sea el de 30 m., la pendiente  $M_x$  y  $M_y$ , deberán corregirse por esta fórmula:

$$\text{Correcciones a } M_x = \frac{\text{Espaciamiento de la cuadrícula en dirección de } X}{30} M_x$$

$$\text{Correcciones de } M_y = \frac{\text{Espaciamiento de la cuadrícula en dirección de } Y}{30} M_y$$

#### Determinación de la Cota del Centroide.

Se determina sumando todas las cotas de la cuadrícula y dividiendola por el número de estaciones. Para obtener la compensación entre cortes y rellenos se hace disminuyendo unos cuantos centímetros en cada una de las cotas (SCS de USA, 1977).

#### Cálculo de Cortes y Rellenos.

A la cota observada se le resta la cota calculada; si la cota observada es mayor que la calculada se tendrá corte y si la cota observada es menor que la calculada será relleno.

#### Localización del Centroide Y.

1.- Núm. Hilera	1	2	3	4	5	6	7	8		
2.- Núm. Cortes	24	24	24	24	24	24	24	22	=	190
	24	48	72	96	120	144	168	176	=	$\frac{848}{190} = 4.463$

#### Localización del Centroide X.

1.- Núm. Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.- Núm. Estacas	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	= 190
104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	161	168	= $\frac{2353}{190}$ = 12.384

Cota del Centroide.

$$\frac{1484.26}{190} = 7.818 = 7.812$$

Cálculo de la Pendiente Y

Hx	Dy	(Hy Dy)	$M_y = \frac{E(Hy Dy) - A(E Hx)}{B}$
173.04	8	1384.32	
188.96	7	1322.72	
188.61	6	1131.66	$M_y = \frac{6641.82 - (4.5)(1484.26)}{1008}$
187.34	5	936.70	
187.31	4	749.24	
186.07	3	558.21	$M_y = - \frac{37.35}{1008} = - 0.0370535$
186.04	2	372.08	
186.89	1	186.89	
1484.26	36	6641.82	$\frac{M_y \times 20}{30}$ — para 20 mt. — = 0.0247023

si 0.0247023 — 100

$$x \text{ — } 20 = - 0.00494047$$

Cálculo de la Pendiente X

Hy —	60.88	60.76	61.04	61.26	61.35	61.58	62.07	62.63	62.23
Dx —	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HyDx —	60.88	121.52	183.12	245.04	306.75	369.48	434.49	501.04	560.07

Hy —	62.51	62.35	62.30	62.61	62.92	63.19	62.27	62.25	62.48
Dx —	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HyDx —	625.10	685.85	747.60	813.93	880.88	947.85	1012.32	1058.25	1124.64

Hy —	62.88	63.46	63.43	64.19	55.93	56.69	—	1484.26	
Dx —	19	20	21	22	23	24	—	300.00	
HyDx —	1194.72	1269.20	1332.03	1412.18	1286.39	1360.56	—	18533.89	

$$M_x = \frac{18533.89 - (12.5)(1484.26)}{9200}$$

$$M_x = \frac{19.36}{9200} = 0.0021043$$

$$\frac{M_x \times 20}{30} = -0.0014028$$

$$\text{si } 0.0014028 \text{ --- } 100$$

$$x \text{ --- } 20 = -0.0028056$$

Cálculo de Cotas en Cada Cadenamiento

$$H = a + M_x(x) + M_y(y)$$

$$7.812 = a + (-0.0002806 \cdot 12.384) + (-0.00494048 \cdot 4.463)$$

$$7.812 = a - 0.00347495 - 0.02204936$$

$$7.812 = a - 0.02552431$$

$$a = 7.812 - 0.02552431$$

$$a = 7.7864757$$

$$H_{1,1} = 7.7864757 + (-0.0002806 \cdot 1) + (-0.00494048 \cdot 1)$$

$$= 7.7812546$$

Es evidente que estas rasantes no van de acuerdo a la pendiente natural del terreno y la eliminación. Por lo tanto tendremos que buscar conforme a la textura del suelo una pendiente para ajustarla al terreno por nivelar.

En la tabla 3 vemos que para un suelo ligero con una longitud de surcos de 200 mt., la pendiente permisible para riego es de 0.15 %.

$$= a + (0.03 \cdot 12.384) + (-0.01 \cdot 4.4463)$$

$$7.812 = a + 0.37152 - 0.04463$$

$$7.812 = a + 0.32689$$

$$a = 7.48511 \text{ --- } 7.486$$

$$H_{1,1} = 7.48511 + (0.03 \cdot 1) + (-0.01 \cdot 1)$$

$$H_{1,1} = 7.50511 \text{ --- } 7.056$$

$$\begin{aligned}
 H_{1,1} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 1) = 7.506 \\
 H_{1,2} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 2) = 7.496 \\
 H_{1,3} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 3) = 7.486 \\
 H_{1,4} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 4) = 7.476 \\
 H_{1,5} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 5) = 7.466 \\
 H_{1,6} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 6) = 7.456 \\
 H_{1,7} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 7) = 7.446 \\
 H_{1,8} &= 7.486 + (0.03 \times 1) + (-0.01 \times 8) = 7.436 \\
 \\ 
 H_{2,1} &= 7.486 + (0.03 \times 2) + (-0.01 \times 1) = 7.536 \\
 H_{2,2} &= 7.486 + (0.03 \times 2) + (-0.01 \times 2) = 7.526 \\
 H_{2,3} &= 7.486 + (0.03 \times 2) + (-0.01 \times 2) = 7.516 \\
 \vdots & \\
 H_{24,7} &= 7.486 + (0.03 \times 24) + (-0.01 \times 7) = 8.136
 \end{aligned}$$

O bien se puede sumar algebraicamente a cada cadenciamiento de la diferencia de cada 20 m., para este caso 0.03 y 0.01.

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
					0.020			0.015
$H_{1,1}$	7.31	7.506		0.195		0.216		0.180
$H_{1,2}$	7.50	7.496	0.004		0.024		0.028	
$H_{1,3}$	7.56	7.486	0.074		0.094		0.089	
$H_{1,4}$	7.47	7.476	0.094		0.114		0.109	
$H_{1,5}$	7.69	7.466	0.224		0.244		0.239	
$H_{1,6}$	7.79	7.456	0.334		0.354		0.349	
$H_{1,7}$	7.67	7.446	0.224		0.244		0.239	
$H_{1,8}$	7.79	7.436	0.354		0.374		0.369	

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>2,1</sub>	7.48	7.536		0.056		0.036		0.041
H <sub>2,2</sub>	7.40	7.526		0.126		0.106		0.111
H <sub>2,3</sub>	7.45	7.516		0.066		0.046		0.051
H <sub>2,4</sub>	7.56	7.506	0.054		0.074		0.069	
H <sub>2,5</sub>	7.68	7.496	0.184		0.204		0.199	
H <sub>2,6</sub>	7.76	7.486	0.274		0.294		0.289	
H <sub>2,7</sub>	7.72	7.476	0.244		0.264		0.259	
H <sub>2,8</sub>	7.71	7.466	0.244		0.264		0.259	
H <sub>3,1</sub>	7.52	7.566		0.046		0.026		0.031
H <sub>3,2</sub>	7.48	7.556		0.076		0.056		0.061
H <sub>3,3</sub>	7.54	7.546		0.006	0.014		0.009	
H <sub>3,4</sub>	7.67	7.536	0.134		0.154		0.149	
H <sub>3,5</sub>	7.75	7.526	0.224		0.244		0.239	
H <sub>3,6</sub>	7.81	7.516	0.294		0.314		0.309	
H <sub>3,7</sub>	7.64	7.506	0.134		0.154		0.149	
H <sub>3,8</sub>	7.63	7.496	0.134		0.154		0.149	
H <sub>4,1</sub>	7.54	7.596		0.056		0.036		0.041
H <sub>4,2</sub>	7.47	7.586		0.116		0.096		0.101
H <sub>4,3</sub>	7.60	7.576	0.024		0.044		0.039	
H <sub>4,4</sub>	7.79	7.566	0.224		0.244		0.239	
H <sub>4,5</sub>	7.79	7.556	0.234		0.254		0.249	
H <sub>4,6</sub>	7.82	7.546	0.274		0.294		0.289	
H <sub>4,7</sub>	7.63	7.536	0.094		0.114		0.109	

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>4,8</sub>	7.62	7.526	0.094		0.114		0.109	
H <sub>5,1</sub>	7.54	7.626		0.086		0.066		0.071
H <sub>5,2</sub>	7.60	7.616		0.016	0.004			0.001
H <sub>5,3</sub>	7.68	7.606	0.074		0.094		0.089	
H <sub>5,4</sub>	7.87	7.596	0.274		0.294		0.289	
H <sub>5,5</sub>	7.79	7.586	0.204		0.224		0.219	
H <sub>5,6</sub>	7.64	7.576	0.064		0.084		0.079	
H <sub>5,7</sub>	7.57	7.566	0.004		0.024		0.019	
H <sub>5,8</sub>	7.66	7.556	0.104		0.124		0.119	
H <sub>6,1</sub>	7.61	7.656		0.046		0.026		0.031
H <sub>6,2</sub>	7.66	7.646	0.014		0.034		0.029	
H <sub>6,3</sub>	7.82	7.636	0.184		0.204		0.199	
H <sub>6,4</sub>	7.93	7.626	0.304		0.324		0.319	
H <sub>6,5</sub>	7.78	7.616	0.164		0.184		0.179	
H <sub>6,6</sub>	7.61	7.606	0.004		0.024		0.019	
H <sub>6,7</sub>	7.56	7.596		0.036		0.016		0.021
H <sub>6,8</sub>	7.61	7.586	0.024		0.044		0.039	
H <sub>7,1</sub>	7.66	7.686		0.026		0.006		0.011
H <sub>7,2</sub>	7.69	7.676	0.014		0.034		0.029	
H <sub>7,3</sub>	7.84	7.666	0.164		0.184		0.179	
H <sub>7,4</sub>	7.93	7.656	0.274		0.294		0.289	
H <sub>7,5</sub>	7.84	7.646	0.194		0.214		0.209	
H <sub>7,6</sub>	7.75	7.636	0.114		0.134		0.129	
H <sub>7,7</sub>	7.65	7.626	0.024		0.044		0.039	



COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>7,8</sub>	7.71	7.616	0.094		0.114		0.109	
H <sub>8,1</sub>	7.74	7.716	0.024		0.044		0.039	
H <sub>8,2</sub>	7.75	7.706	0.044		0.064		0.059	
H <sub>8,3</sub>	7.87	7.696	0.174		0.194		0.189	
H <sub>8,4</sub>	7.85	7.686	0.164		0.184		0.179	
H <sub>8,5</sub>	7.97	7.676	0.294		0.314		0.309	
H <sub>8,6</sub>	7.91	7.666	0.244		0.264		0.259	
H <sub>8,7</sub>	7.82	7.656	0.164		0.184		0.179	
H <sub>8,8</sub>	7.72	7.646	0.074		0.094		0.089	
H <sub>9,1</sub>	7.57	7.746		0.176		0.156		0.161
H <sub>9,2</sub>	7.76	7.736	0.024		0.044		0.039	
H <sub>9,3</sub>	7.75	7.726	0.024		0.044		0.039	
H <sub>9,4</sub>	7.80	7.716	0.084		0.104		0.099	
H <sub>9,5</sub>	7.82	7.706	0.114		0.134		0.129	
H <sub>9,6</sub>	7.89	7.696	0.194		0.214		0.209	
H <sub>9,7</sub>	7.92	7.686	0.234		0.254		0.249	
H <sub>9,8</sub>	7.72	7.676	0.044		0.064		0.059	
H <sub>10,1</sub>	7.76	7.776		0.016	0.004			0.001
H <sub>10,2</sub>	7.75	7.766		0.016	0.004			0.001
H <sub>10,3</sub>	7.71	7.756		0.046		0.026		0.031
H <sub>10,4</sub>	7.75	7.746	0.004		0.024		0.019	
H <sub>10,5</sub>	7.74	7.736	0.004		0.024		0.019	
H <sub>10,6</sub>	7.80	7.726	0.074		0.094		0.089	

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>10,7</sub>	7.99	7.716	0.274		0.294		0.289	
H <sub>10,8</sub>	7.91	7.706	0.204		0.224		0.219	
H <sub>11,1</sub>	7.82	7.805	0.014		0.234		0.029	
H <sub>11,2</sub>	7.72	7.796		0.076		0.056		0.061
H <sub>11,3</sub>	7.73	7.786		0.056		0.036		0.041
H <sub>11,4</sub>	7.64	7.776		0.136		0.116		0.121
H <sub>11,5</sub>	7.71	7.766		0.056		0.036		0.041
H <sub>11,6</sub>	7.85	7.756	0.094		0.114		0.109	
H <sub>11,7</sub>	8.01	7.746	0.264		0.284		0.279	
H <sub>11,8</sub>	7.97	7.736	0.234		0.254		0.247	
H <sub>12,1</sub>	7.81	7.836		0.026		0.006		0.011
H <sub>12,2</sub>	7.74	7.826		0.086		0.066		0.071
H <sub>12,3</sub>	7.52	7.816		0.296		0.276		0.281
H <sub>12,4</sub>	7.61	7.806		0.196		0.176		0.181
H <sub>12,5</sub>	7.73	7.796		0.066		0.046		0.051
H <sub>12,6</sub>	7.85	7.786	0.064		0.084		0.079	
H <sub>12,7</sub>	8.04	7.776	0.264		0.284		0.279	
H <sub>12,8</sub>	8.00	7.766	0.234		0.254		0.249	
H <sub>13,1</sub>	7.85	7.866		0.016	0.004			0.001
H <sub>13,2</sub>	7.75	7.856		0.106		0.086		0.091
H <sub>13,3</sub>	7.64	7.846		0.206		0.186		0.191
H <sub>13,4</sub>	7.66	7.836		0.176		0.156		0.161
H <sub>13,5</sub>	7.70	7.826		0.126		0.106		0.111

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>13,6</sub>	7.86	7.816	0.044		0.064		0.059	
H <sub>13,7</sub>	8.07	7.806	0.264		0.284		0.279	
H <sub>13,8</sub>	8.08	7.796	0.284		0.304		0.299	
H <sub>14,1</sub>	7.81	7.896		0.086		0.066		0.071
H <sub>14,2</sub>	7.74	7.886		0.146		0.126		0.131
H <sub>14,3</sub>	7.73	7.876		0.146		0.126		0.131
H <sub>14,4</sub>	7.79	7.866		0.076		0.056		0.061
H <sub>14,5</sub>	7.76	7.856		0.096		0.076		0.081
H <sub>14,6</sub>	7.96	7.846	0.114		0.134		0.129	
H <sub>14,7</sub>	8.06	7.836	0.224		0.244		0.239	
H <sub>14,8</sub>	8.07	7.826	0.244		0.214		0.259	
H <sub>15,1</sub>	7.86	7.926		0.066		0.046		0.051
H <sub>15,2</sub>	7.79	7.916		0.126		0.106		0.111
H <sub>15,3</sub>	7.77	7.906		0.136		0.116		0.121
H <sub>15,4</sub>	7.89	7.896		0.056		0.036		0.041
H <sub>15,5</sub>	7.84	7.886		0.046		0.026		0.031
H <sub>15,6</sub>	7.99	7.876	0.114		0.134		0.129	
H <sub>15,7</sub>	8.11	7.866	0.244		0.264		0.259	
H <sub>15,8</sub>	7.99	7.856	0.134		0.154		0.149	
H <sub>16,1</sub>	7.82	7.956		0.136		0.116		0.121
H <sub>16,2</sub>	7.87	7.946		0.076		0.056		0.021
H <sub>16,3</sub>	7.82	7.936		0.116		0.096		0.101
H <sub>16,4</sub>	7.87	7.926		0.056		0.036		0.041

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>16,5</sub>	7.87	7.916		0.046		0.026		0.031
H <sub>16,6</sub>	7.98	7.906	0.074		0.094		0.089	
H <sub>16,7</sub>	8.06	7.896	0.164		0.184		0.179	
H <sub>16,8</sub>	7.58	7.886	0.094		0.114		0.109,	
H <sub>17,1</sub>	7.72	7.986		0.266		0.246		0.251
H <sub>17,2</sub>	7.73	7.976		0.246		0.226		0.231
H <sub>17,3</sub>	7.77	7.966		0.196		0.176		0.181
H <sub>17,4</sub>	7.85	7.956		0.106		0.086		0.091
H <sub>17,5</sub>	7.81	7.946		0.136		0.116		0.121
H <sub>17,6</sub>	7.82	7.936		0.116		0.096		0.101
H <sub>17,7</sub>	7.84	7.926		0.086		0.066		0.071
H <sub>17,8</sub>	7.81	7.916		0.106		0.086		0.091
H <sub>18,1</sub>	7.89	8.016		0.126		0.106		0.111
H <sub>18,2</sub>	7.79	8.006		0.216		0.196		0.201
H <sub>18,3</sub>	7.84	7.996		0.156		0.136		0.141
H <sub>18,4</sub>	7.86	7.986		0.126		0.106		0.111
H <sub>18,5</sub>	7.71	7.976		0.266		0.246		0.251
H <sub>18,6</sub>	7.66	7.966		0.306		0.286		0.291
H <sub>18,7</sub>	7.78	7.956		0.176		0.156		0.161
H <sub>18,8</sub>	7.95	7.946	0.004		0.024		0.019	
H <sub>19,1</sub>	7.99	8.046		0.056		0.036		0.041
H <sub>19,2</sub>	7.80	8.036		0.236		0.216		0.221
H <sub>19,3</sub>	7.78	8.026		0.246		0.226		0.231

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>19,4</sub>	7.88	8.016		0.136		0.116		0.121
H <sub>19,5</sub>	7.83	8.006		0.176		0.156		0.161
H <sub>19,6</sub>	7.75	7.996		0.246		0.226		0.231
H <sub>19,7</sub>	7.84	7.986		0.146		0.126		0.131
H <sub>19,8</sub>	8.01	7.976	0.034		0.054		0.049	
H <sub>20,1</sub>	8.01	8.076		0.066		0.046		0.051
H <sub>20,2</sub>	7.89	8.066		0.176		0.156		0.161
H <sub>20,3</sub>	7.84	8.056		0.216		0.196		0.201
H <sub>20,4</sub>	7.84	8.046		0.206		0.186		0.191
H <sub>20,5</sub>	7.91	8.036		0.126		0.106		0.111
H <sub>20,6</sub>	7.93	8.026		0.096		0.076		0.081
H <sub>20,7</sub>	7.95	8.016		0.066		0.046		0.051
H <sub>20,8</sub>	8.09	8.006	0.084		0.104		0.099	
H <sub>21,1</sub>	8.06	8.106		0.046		0.026		0.031
H <sub>21,2</sub>	7.93	8.096		0.166		0.146		0.151
H <sub>21,3</sub>	7.79	8.086		0.296		0.276		0.281
H <sub>21,4</sub>	7.86	8.076		0.216		0.196		0.201
H <sub>21,5</sub>	7.83	8.066		0.236		0.216		0.221
H <sub>21,6</sub>	7.94	8.056		0.116		0.096		0.101
H <sub>21,7</sub>	8.01	8.046		0.036		0.016		0.021
H <sub>21,8</sub>	8.01	8.036		0.026		0.006		0.011
H <sub>22,1</sub>	8.12	8.136		0.016	0.004			0.001
H <sub>22,2</sub>	8.00	8.126		0.126		0.106		0.111

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>22,3</sub>	8.01	8.116		0.106		0.086		0.091
H <sub>22,4</sub>	7.90	8.106		0.206		0.136		0.191
H <sub>22,5</sub>	8.00	8.096		0.096		0.076		0.081
H <sub>22,6</sub>	8.10	8.086	0.014		0.084		0.029	
H <sub>22,7</sub>	8.06	8.076		0.016	0.004			0.001
H <sub>22,8</sub>	8.00	8.066		0.066		0.046		0.051
H <sub>23,1</sub>	8.10	8.166		0.066		0.046		0.051
H <sub>23,2</sub>	8.06	8.156		0.096		0.076		0.081
H <sub>23,3</sub>	7.99	8.146		0.156		0.136		0.141
H <sub>23,4</sub>	7.89	8.136		0.246		0.226		0.221
H <sub>23,5</sub>	7.81	8.126		0.286		0.266		0.271
H <sub>23,6</sub>	8.04	8.116		0.076		0.056		0.061
H <sub>23,7</sub>	8.01	8.106		0.096		0.076		0.081
H <sub>24,1</sub>	8.30	8.196	0.634		0.654		0.649	
H <sub>24,2</sub>	8.17	8.186		0.016	0.004			0.001
H <sub>24,3</sub>	8.12	8.176		0.056		0.036		0.041
H <sub>24,4</sub>	8.10	8.166		0.066		0.046		0.051
H <sub>24,5</sub>	7.95	8.156		0.206		0.186		0.191
H <sub>24,6</sub>	8.10	8.146		0.046		0.026		0.031
H <sub>24,7</sub>	7.95	8.136		0.186		0.166		0.171
			12.864	12.532	14.826	10.436	14.163	10.883

Rel C/R = 1.0347 Rel C/R = 1.4206 Rel C/R = 1.0314

En el primer intento tenemos una relación de cortes sobre relleno de: --- 1.0347 y como necesitamos un 30 % mas de corte para compensar la compactación - para los rellenos.

Sabemos que de ser posible habrá de determinarse el factor de compacta -- ción en forma práctica para cada caso en particular, sobre todo para grandes -- extensiones en donde la omisión de éste, puede gravitar en contra del que reali -- za los trabajos (Madero 1976, 1981), presenta algunos datos para ilustrar lo an -- terior:

M A T E R I A L	COLUMNA ORIGINAL	VOLUMEN SUELTO	VOLUMEN COMPACTADO
A R E N A	1.0	1.15	0.87
L I M O	1.0	1.20	0.83
T I E R R A	1.0	1.25	0.80
C O M U N	1.0	1.33	0.75

Para el fin antes mencionado utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad a sumar a los cortes y - restar a los rellenos para que la relación Corte/Relleno sea de 1.30} = \frac{(\text{E Corte} + \text{E Rellenos})}{\text{Número de Corte}} \cdot 0.15$$

$$\text{Tenemos: } \frac{(12.864 + 12.432)}{86} \cdot 0.15 = \frac{1.8972}{86} = 0.02206$$

Redondeamos aumentando 0.020 a los cortes y disminuyendolo a los rellenos y de esto, obtenemos una relación de Corte/Relleno de 1.4206.

Después para darnos una idea de lo que necesitamos disminuir a los cortes y aumentar a los rellenos hacemos una serie de números como sigue:

AUMENTO A CORTES	CORTE	NUM. DE CORTES	RELLENOS	NUM. DE RELLENOS	C/R RELACION
0.020	14.826	- 94	10.436	+ 96	1.4206
0.019	14.732	- 94	10.532	+ 96	
0.018	14.638	- 94	10.623	+ 96	
0.017	14.544	- 94	10.724	+ 96	
0.016	14.450	- 94	10.916	+ 96	1.3355
0.015	14.356	- 94	10.916	+ 96	1.3151
0.014	14.262	- 94	11.012	+ 96	(1.295)
0.013	14.168		11.108		

Observemos que aumentando 0.014 a los cortes y restandolos a los rellenos tenemos el valor más cerca al 30 % más de corte que de relleno, pero si observamos que el número de cortes en la primera columna es de 86 y en la segunda es de 94 nos vamos un poco arriba del porcentaje necesario para después ajustar al valor requerido y así pues aumentamos en la tercer columna 0.015 a los cortes y restamos esto mismo a los rellenos obtenemos una relación C/R de 1.3014.

A continuación se procede a hacer el cálculo del movimiento de tierra -- con base a cualquiera de las fórmulas como son: Prismoidal, cuatro vértices, me



dia de corte y rellenos, promedio de áreas o del plano horizontal.

#### 7.1.2.- METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

Este es en realidad una variación del método plano, pues también éste nos dá una superficie realmente plana, sólo al hacer los cálculos de pendiente estos varían de un método a otro. Se considera útil para el desarrollo de relieves superficiales de las clases  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $C_1$ , y  $C_2$ . (Tabla 1).

Tanto el método plano como éste de mínimos cuadrados son métodos más o menos matemáticos con una secuencia similar.

Palacios, explica que este método se basa en el principio de los mínimos cuadrados, que tiene las siguientes ecuaciones:

$$E x y = a e x^2 - b e x$$

$$E y = a E x - n b$$

Las que forman un sistema de dos ecuaciones simultáneas a las que:

$a$  = Pendiente de una recta

$b$  = Ordenada en el origen

La Ecuación de la Recta es:

$$y = a x + b$$

Por otro lado, dos rectas que se cruzan definen un plano; entonces se busca la forma para que dichas rectas pasen por el centroide, pero para que el plano resultante tenga el mínimo movimiento de tierra se escogen las rectas de tal manera que en la ecuación  $y = a x + b$ , se tomen las cotas medias.

La secuencia de este método según Madero (1978, 1980) es como se sigue:

- 1).- Se determina el área del lote; por medio de cualquier fórmula.
- 2).- Se determina la posición del centroide del área; indicado en el método anterior.
- 3).- Se determina la cota que corresponde al centroide del área; viene siendo el promedio de todas las cotas.
- 4).- Se determinan las pendientes de las líneas que compensan cortes y rellenos, precisamente por el principio de los mínimos cuadrados.

Así pues, de los datos de nuestro plano tenemos:

AREA DEL LOTE: 7 - 09 - 34 Has.

Localización del Centroide X

1.- Núm. Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2.- Núm. Estacas	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1 X 2	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88
1.- Núm. Columna	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2.- Núm. Estacas	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1 X 2	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176
1.- Núm. Columna	23	24									
2.- Núm. Estacas	7	7 =	190								
1 X 2	161	168 =	2.353								
				$\frac{2.353}{190} = 12.384$							

Localización del Centroide Y

1.- Núm. Columna	1	2	3	4	5	6	7	8			
2.- Núm. Estacas	24	24	24	24	24	24	24	22 =	190		
	24	48	72	96	120	144	168	176 =	848	$\frac{848}{190} = 4.463$	

Cota del Centroide

$$\frac{1484.26}{190} = 7.812$$

## Cálculo de la Pendiente Y

(1)	$H^1$	60.88	60.76	61.04	61.26	61.35	61.58	62.07	62.63
(2)	$Z^1$	7.610	7.595	7.630	7.658	7.669	7.698	7.759	7.829
(3)	$XZ^1$	7.610	15.190	22.890	30.630	38.345	48.188	54.313	62.632
(4)	X	1	2	3	4	5	6	7	8
(5)	$X^2$	1	4	9	16	25	36	49	64
(6)	Estacas	8	8	8	8	8	8	8	8
(7)	4 X 6	8	16	24	32	40	48	56	64

(1)	$H^1$	62.25	62.51	62.35	62.30	62.61	62.92	63.19	63.27
(2)	$Z^1$	7.779	7.814	7.794	7.788	7.826	7.865	7.899	7.909
(3)	$XZ^1$	70.011	78.140	85.734	93.456	101.778	110.110	118.485	126.544
(4)	X	9	10	11	12	13	14	15	16
(5)	$X^2$	81	100	121	144	169	196	225	256
(6)	Estacas	8	8	8	8	8	8	8	8
(7)	4 X 6	72	80	88	96	104	112	120	128

(1)	$H^1$	62.25	62.48	62.88	63.47	63.43	64.19	55.93
(2)	$Z^1$	7.781	7.810	7.860	7.933	7.929	8.024	7.990
(3)	$XZ^1$	132.277	140.580	149.340	158.660	166.509	176.528	183.770
(4)	X	17	18	19	20	21	22	23
(5)	$X^2$	289	324	361	400	441	484	529
(6)	Estacas	8	8	8	8	8	8	7
(7)	4 X 6	136	144	152	160	168	176	161

(1)	H <sup>1</sup>	56.69	=	1484.260
(2)	Z <sup>1</sup>	8.099	=	187.248
(3)	XZ <sup>1</sup>	194.376	=	2364.058
(4)	X	24	=	300.000
(5)	X <sup>2</sup>	576	=	4900.000
(6)	Estacas	7	=	190.000
(7)	4 X 6	168	=	2353.000

$$\text{Pendiente } n - s = \frac{\frac{\sum XZ^1}{N} - \frac{\sum X \cdot \sum Z^1}{N^2}}{\frac{\sum X^2}{N} - \frac{(\sum X)^2}{N^2}} = \frac{\frac{2364.058}{24} - \frac{300.000 \times 187.248}{24}}{\frac{4900.000}{24} - \frac{300.000 \times 300.000}{24}}$$

$$\text{Pendiente } N - S = \frac{2364.058 - 2340.600}{4900.000 - 3750.000} = \frac{23.458}{1150.000} = 0.0204$$

## Cálculo de la Pendiente X

H	Z	ZY	Y	Y <sup>2</sup>	Estacas	4 X 6 = (7)
173.04	7.865	62.920	8	64	22	176
188.96	7.873	55.111	7	49	24	168
183.61	7.859	47.154	6	36	24	144
187.34	7.806	39.030	5	25	24	120
187.31	7.805	31.220	4	16	24	96
186.07	7.753	23.259	3	9	24	72
186.04	7.752	15.504	2	4	24	48
<u>186.89</u>	<u>7.787</u>	<u>7.787</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>24</u>	<u>24</u>
1484.26	62.500	281.985	36	204	190	848

$$\text{Pendiente E} - 0 = \frac{E_x z - \frac{E_y \cdot E_z}{N}}{E_y^2 + \frac{E_y \cdot E_y}{N}} = \frac{281.985 - \frac{36.000 \times 62.500}{8}}{204.000 + \frac{36.000 \times 36.000}{8}}$$

$$\frac{281.985 - 281.250}{204.000 - 162.000} = \frac{0.735}{42} = 0.0175$$

Cálculo de Cotas en cada Cadenamiento

Ecuación del plano  $H = a + P_e o (x) + P_N s (Y)$

$$7.812 = a + (0.0175 \cdot 12.384) + (0.0204 \cdot 4.463)$$

$$a = 7.812 + 0.21672 + 0.09104452$$

$$- a = 7.812 + 0.03077652$$

$$a = 7.50423 \text{ — } 7.504$$

$$H_{1,1} = 7.504 + (0.0175 \cdot 1) + (0.0204 \cdot 1) = 7.5419 \text{ — } 7.542$$

Las Cotas se Calculan Igual que en el Método Anterior

$$H_{1,1} \text{ — } 7.504 + (0.0175 \cdot 1) + (0.0204 \cdot 1) = 7.542$$

$$H_{1,2} \text{ — } 7.504 + (0.0175 \cdot 1) + (0.0204 \cdot 1) = 7.562$$

$$H_{1,3} \text{ — } 7.504 + (0.0175 \cdot 1) + (0.0204 \cdot 1) = 7.583$$

⋮

$$H_{2,1} \text{ — } 7.504 + (0.0175 \cdot 2) + (0.0204 \cdot 1) = 7.559$$

⋮

$$H_{24,7} \text{ — } 7.504 + (0.0175 \cdot 24) + (0.0204 \cdot 7) = 8.067$$

O bien se puede calcular sumando algebraicamente a cada cadenamiento los valores de la pendiente empezando del cadenamiento 1,1 se tendría:

$$\begin{aligned}
 H_{1,1} &= 7.542 + 0.0175 \text{ --- } H_{2,1} \\
 H_{2,1} &= 7.580 + 0.0175 \text{ --- } H_{3,1} \\
 H_{3,1} &= 7.577 + 0.0175 \text{ --- } H_{4,1} \\
 H_{4,1} &= 7.595 + 0.0175 \text{ --- } H_{5,1} \\
 &\vdots \\
 H_{24,1} &= 7.945
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{1,1} &= 7.542 + 0.0204 \text{ --- } H_{1,2} \\
 H_{1,2} &= 7.562 + 0.0204 \text{ --- } H_{1,3} \\
 H_{1,3} &= 7.583 + 0.0204 \text{ --- } H_{1,4} \\
 H_{1,4} &= 7.603 + 0.0204 \text{ --- } H_{1,5} \\
 &\vdots \\
 H_{24,7} &= 8.067
 \end{aligned}$$

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>1,1</sub>	7.31	7.542		0.232		0.217		0.218
H <sub>1,2</sub>	7.50	7.562		0.062		0.047		0.048
H <sub>1,3</sub>	7.55	7.583		0.023		0.008		0.009
H <sub>1,4</sub>	7.57	7.603		0.033		0.018		0.019
H <sub>1,5</sub>	7.69	7.624	0.066		0.081		0.080	
H <sub>1,6</sub>	7.79	7.644	0.146		0.161		0.160	
H <sub>1,7</sub>	7.67	7.664	0.006		0.021		0.020	
H <sub>1,8</sub>	7.79	7.685	0.105		0.120		0.119	
H <sub>2,1</sub>	7.48	7.560		0.080		0.065		0.066
H <sub>2,2</sub>	7.40	7.580		0.180		0.165		0.166
H <sub>2,3</sub>	7.45	7.601		0.151		0.136		0.137
H <sub>2,4</sub>	7.56	7.621		0.061		0.046		0.047
H <sub>2,5</sub>	7.58	7.642	0.038		0.053		0.052	
H <sub>2,6</sub>	7.76	7.662	0.098		0.113		0.112	
H <sub>2,7</sub>	7.72	7.682	0.038		0.053		0.052	
H <sub>2,8</sub>	7.71	7.703	0.007		0.022		0.021	

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>3,1</sub>	7.52	7.577		0.057		0.042		0.043
H <sub>3,2</sub>	7.48	7.597		0.117		0.102		0.103
H <sub>3,3</sub>	7.54	7.618		0.078		0.063		0.062
H <sub>3,4</sub>	7.67	7.638	0.032		0.047		0.046	
H <sub>3,5</sub>	7.75	7.659	0.091		0.106		0.105	
H <sub>3,6</sub>	7.81	7.579	0.131		0.146		0.145	
H <sub>3,7</sub>	7.64	7.699		0.059		0.044		0.045
H <sub>3,8</sub>	7.63	7.720		0.090		0.075		0.076
H <sub>4,1</sub>	7.54	7.595		0.055		0.040		0.041
H <sub>4,2</sub>	7.47	7.615		0.145		0.130		0.131
H <sub>4,3</sub>	7.60	7.636		0.036		0.021		0.020
H <sub>4,4</sub>	7.79	7.656	0.134		0.149		0.148	
H <sub>4,5</sub>	7.79	7.577	0.113		0.128		0.127	
H <sub>4,6</sub>	7.82	7.697	0.123		0.138		0.137	
H <sub>4,7</sub>	7.63	7.717		0.087		0.072		0.073
H <sub>4,8</sub>	7.62	7.738		0.118		0.103		0.104
H <sub>5,1</sub>	7.54	7.612		0.072		0.057		0.058
H <sub>5,2</sub>	7.60	7.632		0.032		0.017		0.018
H <sub>5,3</sub>	7.68	7.653	0.027		0.042		0.041	
H <sub>5,4</sub>	7.87	7.673	0.197		0.212		0.211	
H <sub>5,5</sub>	7.79	7.694	0.096		0.111		0.110	
H <sub>5,6</sub>	7.64	7.714		0.074		0.059		0.060
H <sub>5,7</sub>	7.57	7.734		0.164		0.149		0.150

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>5,8</sub>	7.66	7.755		0.095		0.080		0.081
H <sub>6,1</sub>	7.61	7.730		0.020		0.005		0.006
H <sub>6,2</sub>	7.66	7.650	0.010		0.025		0.024	
H <sub>6,3</sub>	7.82	7.671	0.149		0.164		0.163	
H <sub>6,4</sub>	7.93	7.691	0.239		0.254		0.253	
H <sub>6,5</sub>	7.78	7.712	0.068		0.083		0.082	
H <sub>6,6</sub>	7.61	7.732		0.112		0.107		0.108
H <sub>6,7</sub>	7.56	7.752		0.192		0.177		0.178
H <sub>6,8</sub>	7.61	7.773		0.163		0.148		0.149
H <sub>7,1</sub>	7.66	7.647	0.013		0.028		0.027	
H <sub>7,2</sub>	7.69	7.667	0.023		0.038		0.037	
H <sub>7,3</sub>	7.84	7.688	0.152		0.167		0.166	
H <sub>7,4</sub>	7.93	7.708	0.222		0.237		0.236	
H <sub>7,5</sub>	7.84	7.729	0.111		0.126		0.125	
H <sub>7,6</sub>	7.75	7.749	0.001		0.016		0.015	
H <sub>7,7</sub>	7.65	7.769		0.119		0.104		0.105
H <sub>7,8</sub>	7.71	7.790		0.080		0.065		0.066
H <sub>8,1</sub>	7.74	7.665	0.075		0.090		0.089	
H <sub>8,2</sub>	7.75	7.685	0.065		0.080		0.079	
H <sub>8,3</sub>	7.87	7.706	0.164		0.179		0.178	
H <sub>8,4</sub>	7.85	7.726	0.124		0.139		0.138	
H <sub>8,5</sub>	7.79	7.747	0.223		0.238		0.237	
H <sub>8,6</sub>	7.91	7.767	0.143		0.158		0.157	



COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>8,7</sub>	7.82	7.787	0.033		0.048		0.047	
H <sub>8,8</sub>	7.72	7.808		0.088		0.073		0.074
H <sub>9,1</sub>	7.57	7.682		0.112		0.097		0.098
H <sub>9,2</sub>	7.76	7.702	0.058		0.073,		0.072	
H <sub>9,3</sub>	7.75	7.723	0.027		0.042		0.041	
H <sub>9,4</sub>	7.80	7.743	0.057		0.072		0.071	
H <sub>9,5</sub>	7.82	7.764	0.056		0.071		0.070	
H <sub>9,6</sub>	7.89	7.784	0.106		0.121		0.120	
H <sub>9,7</sub>	7.92	7.804	0.116		0.131		0.130	
H <sub>9,8</sub>	7.72	7.825		0.105		0.090		0.091
H <sub>10,1</sub>	7.76	7.700	0.060		0.075		0.074	
H <sub>10,2</sub>	7.75	7.720	0.030		0.045		0.044	
H <sub>10,3</sub>	7.71	7.741		0.031		0.016		0.017
H <sub>10,4</sub>	7.75	7.761		0.011	0.004		0.003	
H <sub>10,5</sub>	7.74	7.782		0.042		0.027		0.028
H <sub>10,6</sub>	7.90	7.802	0.098		0.113		0.112	
H <sub>10,7</sub>	7.99	7.822	0.168		0.163		0.182	
H <sub>10,8</sub>	7.91	7.843	0.067		0.082		0.081	
H <sub>11,1</sub>	7.82	7.717	0.103		0.118		0.117	
H <sub>11,2</sub>	7.72	7.737		0.017		0.002		0.003
H <sub>11,3</sub>	7.63	7.758		0.128		0.113		0.114
H <sub>11,4</sub>	7.64	7.778		0.138		0.123		0.124
H <sub>11,5</sub>	7.71	7.799		0.089		0.074		0.075

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>11,6</sub>	7.85	7.819	0.031		0.046		0.045	
H <sub>11,7</sub>	8.01	7.839	0.171		0.186		0.185	
H <sub>11,8</sub>	7.97	7.860	0.110		0.125		0.124	
H <sub>12,1</sub>	7.81	7.735	0.075		0.090		0.189	
H <sub>12,2</sub>	7.74	7.755		0.015		0.000		0.001
H <sub>12,3</sub>	7.52	7.776		0.256		0.241		0.242
H <sub>12,4</sub>	7.61	7.796		0.186		0.171		0.172
H <sub>12,5</sub>	7.73	7.817		0.087		0.072		0.073
H <sub>12,6</sub>	7.85	7.837	0.013		0.028		0.027	
H <sub>12,7</sub>	8.04	7.857	0.183		0.198		0.197	
H <sub>12,8</sub>	8.00	7.878	0.122		0.137		0.136	
H <sub>13,1</sub>	7.85	7.752	0.098		0.113		0.112	
H <sub>13,2</sub>	7.75	7.772		0.022		0.007		0.008
H <sub>13,3</sub>	7.64	7.793		0.153		0.138		0.139
H <sub>13,4</sub>	7.66	7.813		0.153		0.138		0.139
H <sub>13,5</sub>	7.70	7.834		0.134		0.119		0.120
H <sub>13,6</sub>	7.85	7.854	0.006		0.021		0.020	
H <sub>13,7</sub>	8.07	7.874	0.195		0.211		0.210	
H <sub>13,8</sub>	8.08	7.895	0.185		0.200		0.199	
H <sub>14,1</sub>	7.81	7.770	0.040		0.055		0.054	
H <sub>14,2</sub>	7.74	7.790		0.050		0.035		0.034
H <sub>14,3</sub>	7.73	7.811		0.081		0.066		0.067
H <sub>14,4</sub>	7.79	7.831		0.041		0.026		0.027

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>14,5</sub>	7.76	7.852		0.092		0.077		0.078
H <sub>14,6</sub>	7.96	7.872	0.088		0.103		0.102	
H <sub>14,7</sub>	8.06	7.892	0.168		0.183		0.182	
H <sub>14,8</sub>	8.07	7.913	0.157		0.172		0.171	
H <sub>15,1</sub>	7.86	7.787	0.073		0.088		0.087	
H <sub>15,2</sub>	7.79	7.807		0.017		0.002		0.003
H <sub>15,3</sub>	7.77	7.828		0.058		0.043		0.044
H <sub>15,4</sub>	7.84	7.848		0.008	0.007		0.006	
H <sub>15,5</sub>	7.84	7.869		0.029		0.014		0.015
H <sub>15,6</sub>	7.99	7.889	0.104		0.116		0.115	
H <sub>15,7</sub>	8.11	7.909	0.201		0.216		0.215	
H <sub>15,8</sub>	7.99	7.930	0.060		0.075		0.074	
H <sub>16,1</sub>	7.82	7.805	0.015		0.030		0.029	
H <sub>16,2</sub>	7.87	7.825	0.045		0.060		0.059	
H <sub>16,3</sub>	7.82	7.846		0.026		0.011		0.010
H <sub>16,4</sub>	7.87	7.866	0.004		0.019		0.018	
H <sub>16,5</sub>	7.87	7.887		0.017		0.002		0.003
H <sub>16,6</sub>	7.98	7.907	0.073		0.088		0.087	
H <sub>16,7</sub>	8.06	7.927	0.133		0.148		0.147	
H <sub>16,8</sub>	7.98	7.948	0.032		0.047		0.046	
H <sub>17,1</sub>	7.72	7.822		0.102		0.087		0.088
H <sub>17,2</sub>	7.73	7.842		0.112		0.097		0.098
H <sub>17,3</sub>	7.77	7.863		0.093		0.078		0.079

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>17,4</sub>	7.85	7.883		0.033		0.018		0.019
H <sub>17,5</sub>	7.81	7.904		0.094		0.079		0.080
H <sub>17,6</sub>	7.72	7.924		0.204		0.189		0.190
H <sub>17,7</sub>	7.84	7.944		0.104		0.089		0.090
H <sub>17,8</sub>	7.81	7.965		0.155		0.140		0.141
H <sub>18,1</sub>	7.89	7.840	0.050		0.065		0.064	
H <sub>18,2</sub>	7.79	7.860		0.070		0.055		0.056
H <sub>18,3</sub>	7.84	7.881		0.041		0.026		0.027
H <sub>18,4</sub>	7.86	7.901		0.041		0.026		0.027
H <sub>18,5</sub>	7.71	7.922		0.212		0.197		0.198
H <sub>18,6</sub>	7.66	7.942		0.282		0.267		0.268
H <sub>18,7</sub>	7.78	7.962		0.182		0.167		0.168
H <sub>18,8</sub>	7.75	7.983		0.233		0.218		0.219
H <sub>19,1</sub>	7.99	7.857	0.133		0.148		0.147	
H <sub>19,2</sub>	7.80	7.877		0.077		0.062		0.063
H <sub>19,3</sub>	7.78	7.898		0.118		0.103		0.104
H <sub>19,4</sub>	7.88	7.918		0.038		0.023		0.024
H <sub>19,5</sub>	7.83	7.939		0.109		0.094		0.095
H <sub>19,6</sub>	7.75	7.959		0.209		0.194		0.195
H <sub>19,7</sub>	7.84	7.979		0.139		0.124		0.125
H <sub>19,8</sub>	8.04	8.000	0.040		0.055		0.054	
H <sub>20,1</sub>	8.01	7.875	0.135		0.150		0.149	
H <sub>20,2</sub>	7.89	7.895		0.005	0.010		0.009	

COORDENADAS	COTAS	COTAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
	OBSERVADAS	CALCULADAS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>20,3</sub>	7.84	7.916		0.076		0.061		0.062
H <sub>20,4</sub>	7.84	7.936		0.096		0.081		0.082
H <sub>20,5</sub>	7.91	7.957		0.047		0.032		0.033
H <sub>20,6</sub>	7.93	7.977		0.047		0.032		0.033
H <sub>20,7</sub>	7.95	7.997		0.047		0.032		0.033
H <sub>20,8</sub>	8.09	8.018	0.072		0.087		0.086	
H <sub>21,1</sub>	8.06	7.892	0.168		0.183		0.182	
H <sub>21,2</sub>	7.93	7.912	0.018		0.033		0.032	
H <sub>21,3</sub>	7.79	7.933		0.143		0.128		0.129
H <sub>21,4</sub>	7.86	7.953		0.093		0.078		0.079
H <sub>21,5</sub>	7.83	7.974		0.144		0.129		0.130
H <sub>21,6</sub>	7.94	7.994		0.054		0.039		0.040
H <sub>21,7</sub>	8.01	8.014		0.004	0.011		0.010	
H <sub>21,8</sub>	8.01	8.035		0.025		0.010		0.011
H <sub>22,1</sub>	8.12	7.910	0.210		0.225		0.224	
H <sub>22,2</sub>	8.00	7.930	0.070		0.085		0.084	
H <sub>22,3</sub>	8.01	7.951	0.059		0.074		0.073	
H <sub>22,4</sub>	7.90	7.971		0.071		0.056		0.057
H <sub>22,5</sub>	8.00	7.992	0.008		0.023		0.022	
H <sub>22,6</sub>	8.10	8.012	0.088		0.103		0.102	
H <sub>22,7</sub>	8.05	8.032	0.018		0.033		0.032	
H <sub>22,8</sub>	8.00	8.053		0.053		0.038		0.039
H <sub>23,1</sub>	8.10	7.927	0.173		0.188		0.187	

COORDENADAS	COTAS OBSERVADAS	COTAS CALCULADAS	1° COLUMNA		2° COLUMNA		3° COLUMNA	
			CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS	CORTES	RELLENOS
H <sub>23,2</sub>	8.06	7.947	0.113		0.128		0.127	
H <sub>23,3</sub>	7.99	7.968	0.022		0.037		0.036	
H <sub>23,4</sub>	7.89	7.988		0.098		0.083		0.084
H <sub>23,5</sub>	7.84	8.009		0.169		0.154		0.155
H <sub>23,6</sub>	8.04	8.029	0.011		0.026		0.025	
H <sub>23,7</sub>	8.01	8.049		0.039		0.024		0.025
H <sub>24,1</sub>	8.30	7.945	0.355		0.370		0.369	
H <sub>24,2</sub>	8.17	7.965	0.205		0.220		0.219	
H <sub>24,3</sub>	8.12	7.986	0.134		0.149		0.148	
H <sub>24,4</sub>	8.10	8.006	0.094		0.109		0.108	
H <sub>24,5</sub>	7.95	8.027		0.077		0.062		0.063
H <sub>24,6</sub>	8.10	8.047		0.053		0.038		0.039
H <sub>24,7</sub>	7.95	8.067		0.117		0.102		0.103
			8.765	9.089	10.177	7.651	10.061	7.745

Rel C/R = 0.964    Rel C/R = 1.330    Rel C/R 1.302

En el primer intento vemos que la relación Corte/relleno es muy cercana a la unidad, es decir que casi son iguales y debido a nuestra textura necesitamos un 30 % más de cortes que de rellenos y para este fin usamos la fórmula siguiente:

$$\text{Cantidad a sumar a los cortes y restará los rellenos,} = \frac{(E \text{ Cortes} + R \text{ Rellenos})}{92} \cdot 0.15 = 0.0150$$

$$\text{Tenemos que } \frac{(8.765 + 9.647)}{92} \cdot 0.15 = 0.0150$$

Aumentamos 0.015 a los cortes y se le resta a los rellenos, donde obtenemos una relación de  $C/R = 1.330$ . Para darnos una idea de lo que necesitamos aumentar a los cortes, hacemos una serie de números así:

AUMENTO A CORTES	CORTES	NUM. DE CORTES	RELLENOS	NUM. DE RELLENOS	RELACION C/R
15	10.177	- 96	7.651	+ 94	1.3302
14	10.081	- 96	7.745	+ 94	<u>1.3016</u>
13	9.985	- 96	7.839	+ 94	1.2738
12	9.889		7.933		

Se decide aumentar 0.014 a los cortes y disminuirlo a los rellenos. Respecto a la primera columna,

Se continúa con el cálculo de movimiento de tierras por cualquiera de los métodos para este fin.

## 7.2.- METODO DEL PERFIL

Es llamado así debido a que el proyectista trabaja con perfiles de líneas de la cuadrícula, en lugar de hacerlo con cotas marcadas en un plano. Especialmente adecuado para el proyecto de nivelación de terrenos muy planos ó de topografía ondulada, en las que se desea formar un relieve superficial de las clases  $B_2$ ,  $C_1$  y  $C_2$  (SCS de USA, 1977), (Tabla 1).

Existen muchas variaciones de este método de tanteos para ajustar grados - de pendientes sobre perfiles trazados, hasta el punto en que se encuentra el cri- terio de riego y se obtiene la compensación del movimiento de tierra.

#### 7.2.1.- METODO DEL PERFIL EN DOS DIRECCIONES.

Este procedimiento es utilizado por personal poco experimentado, cuyo mét- do es permitir la visión tridimensional del relieve del suelo y la adaptación si- multánea de la pendiente en la dirección del riego y de la pendiente transversal (plan de nivelación).

Se hace con la siguiente secuencia:

- a) Trazo del Relieve; Este paso consiste en el trazo de un plano base, cuya cota de comparación, es inferior a la cota menor del terreno, y cada punto se traza arriba del plano de comparación y a la derecha del punto de referencia, -- Así el relieve superficial se puede trazar restando la elevación del plano ba- se de la elevación de cada esquina de la cuadrícula, y cada punto se traza -- arriba del plano de comparación y a la derecha del punto de referencia; de -- tal manera que el relieve queda a  $45^\circ$  respecto a la base (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

Es conveniente que la escala del relieve sea más grande comparada con la - del plano base para poder realizar la variación de las elevaciones (Plan de nive- lación).

El trazo en dos direcciones no pueden usarse convenientemente en todos a-- aquellos terrenos que tengan grandes diferencias de elevación (SCS de USA, 1977).



- b) Determinación de la dirección del riego; La dirección de riego se puede determinar estudiando los dos conjuntos de perfiles sobre el relieve tridimensional. en el proyecto de riego. Se prueban diferentes líneas de pendiente, adaptables a cada perfil individual en las dos direcciones. La pendiente de riego será la más favorable (Plan de nivelación).
- c) Comprobación de pendiente entre perfiles; Deberán adaptarse los perfiles en dirección del riego y en sentido transversal a él. Conocida la dirección del riego se buscan líneas de pendiente que simultáneamente cumplan los requisitos impuestos por la pendiente en la dirección del riego y el de la pendiente transversal (Plan de nivelación).
- d) Cálculo de cortes y rellenos; Esto se lleva a cabo tomando las diferencias entre las elevaciones de las cotas observadas y las elevaciones de las líneas de pendiente, obtenidas en el último tanteo, correspondiendo dichas diferencias a cada esquina de la red (Plan de nivelación).
- e) Balance de cortes y rellenos; Este se lleva a cabo bajo el procedimiento de porcentaje utilizado en métodos planos.
- f) Cálculo del movimiento de tierra; Se hace por medio del cualquiera de las fórmulas como son: Primoidal, Cuatro Vértices, Media de Cortes y Rellenos, Promedio de Areas ó del Plano Horizontal (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

#### 7.2.2.- METODO DEL PERFIL EN UNA DIRECCION

Este método consiste esencialmente, de un procedimiento de prueba y error que permite la adaptación de líneas de pendiente sobre la gráfica de los perfiles de tal forma que se cumplan los requisitos impuestos por el riego y aún por el

drenaje, tratando además de efectuar un balance entre cortes y rellenos (Plan de nivelación).

EL PROCEDIMIENTO POR ETAPAS ES EL SIGUIENTE:

- a) Trazo de los Perfiles: Se trazan generalmente en una dirección y cada uno de ellos se localizan sobre el papel, de tal manera que el plano de comparación para cada perfil queda situado horizontalmente en la posición correcta en relación con los del perfil adyacente (Plan de nivelación). Es útil practicar los perfiles en ambas direcciones o al menos unos cuantos perfiles en ángulos rectos con la dirección original (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).
- b) Determinación de las Razantes de Prueba: Esto se realiza moviendo una reglilla sobre cada perfil, lo cual representa líneas de pendiente posibles, basadas dichas líneas en el criterio de riego y de drenaje, el movimiento deberá ser de tal forma que a ojo se logre un balance entre las áreas y las situadas abajo de ellas y abajo del perfil. Estas líneas no tienen que ser completamente uniformes y pueden variar de un tramo a otro, pero debe cuidarse que con los valores límites impuestos por la pendiente de riego (Plan de nivelación).

Durante el desarrollo de este método se tuvieron que tomar en cuenta las cotas proyectadas de la primera columna ( $X = 1$ ) donde se fué obteniendo el corte y relleno según se necesitaba para tener una pendiente más o menos regular y con el 30 % más de corte que de relleno.

- e) Prueba de la Pendiente Entre los Perfiles: Con las elevaciones a lo largo de las líneas de pendientes obtenidas en el paso anterior, se lleva a cabo el trazado de las perfiles en la otra dirección coordinada, las cuales deberán satig

facilitar las limitaciones impuestas a la pendiente transversal. Se necesita llevar a cabo una serie de tanteos antes de que se cumplan los requisitos de pendiente, se delineará un plano que aunque satisfactorio no será es ideal para riego (Plan de nivelación).

Este método se proyecta con una pendiente de riego de .03 a .09 % los cuales son apropiados para la textura media de este terreno según Madero (1978).

- d) Cálculo de cortes y rellenos; Se hizo tomando las diferencias entre las elevaciones de la superficie original y las elevaciones de las líneas de pendiente obtenidas en el último tanteo.
- e) Balace de cortes y rellenos; Este se lleva a cabo bajo el procedimiento porcentual (en este caso Rel C/R = 1.3), utilizado en los métodos planos.
- f) Cálculo del movimiento de tierra; Se hace por medio de cualquiera de las fórmulas como son: Primoidal, Cuatro Vértices, Media de Cortes y Rellenos, Promedio de Area o del Plano Horizontal (Plan de nivelacion; SCS de USA, 1977).

### 7.3.- METODO DE COMPROBACION DEL PROYECTO.

Este método es uno de los más usados para el mejoramiento de tierras cuyas clases no son A ni B, con relación a su relieve superficial. También esta basada en tanteos (SCS de USA, 1977). (Tabla 1).

7.3.1.- Debido a que muchos factores tienen que ser considerados simultáneamente, con el fin de obtener una superficie satisfactoria del terreno sin que el costo sea excesivo se necesita personal experimentado y se ejecuta donde la nivelación

es una práctica importante (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977). Está especialmente adaptada para usarse en tierras de topografía ondulada o en terrenos donde es necesario el empleo de superficies curvas (SCS de USA, 1977).

El método consiste en disponer sobre la cuadrícula los datos de las elevaciones, las alcantarillas, disposición de tomas de agua con sus tirantes respectivos, bancos de nivel, etc., es decir toda la información pertinente (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

El proyectista debe considerar las limitaciones impuestas por la pendiente para riego tanto en la dirección del mismo como en el sentido transversal, la relación permisible entre cortes y rellenos, la pendiente para el drenaje y excavación que el suelo permitirá, se seleccionan elevaciones de prueba tratando de cumplir con dichas limitaciones (SCS de USA, 1977; Plan de nivelación); Por lo regular se tantean las elevaciones primero sobre líneas de control tales como las orillas desde donde se deriva el agua dentro del campo, línea donde interrumpa el recorrido del agua en el sentido del riego por la introducción de las zanjas intermedias y para asegurar el drenaje adecuado. Una vez que se tienen las elevaciones de prueba para los puntos centrales, se seleccionan otros para los puntos intermedios con el criterio del diseño en mente. Después de que se han propuesto ya todas las elevaciones de prueba sobre el campo, se saca la relación de cortes sobre relleno. Cuando no checa se pueden aumentar o disminuir los cortes y rellenos hasta ajustarla mediante nueva introducción de elevaciones de prueba (Plan de nivelación).

En el desarrollo de este método en primer lugar se procedió a tantear las elevaciones de la hilera, uno en el sentido de la pendiente, después se procedió igualmente con la hilera cinco para proseguir a llenar las elevaciones del terreno y secando su corte y relleno, se vió que era la relación C/R de 1.3 % que se procedio a calcular la cantidad que había que aumentar a los cortes y rellenos para ajustar esa especificación.

Primero dió una relación C/R = 1.596

Cantidad a sumar a los cortes y -  
restar a los rellenos para que la  
relación Corte/Relleno se 1.30 =  $\frac{(E \text{ Corte} + E \text{ Rellenos})}{\text{Número de Cortes}} \cdot 0.15$

$$\frac{(1.417 + .885)}{95} \cdot 0.15 = \frac{0.17265}{95} = .002$$

Como en este caso se tenía sólo centímetros se procedió a corregir hileras empezando del número ocho hasta que se obtuvo la relación que se pide.

Obteniendo finalmente 1.359 de corte y 1.051 de relleno los cuales nos dan una relación de 1.293 la cual se considera correcta.

El cálculo del movimiento de tierra.- Se hace por medio de las fórmulas como son; Primoidal, Cuatro Vértice, Media de Cortes y Rellenos, Promedio de Area o del Plano Horizontal (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

#### 7.4.1.- METODO DE RECTIFICACION DE CURVAS DE NIVEL

Básicamente, este método es un ajuste por tanteo de las curvas de nivel en un plano del proyecto (SCS de USA, 1977).

Es un método aplicable a campos donde la pendiente transversal debe hacerse uniforme, donde hay limitaciones de tiempo para ejecutar la nivelación y las estaciones no pueden permanecer sobre el campo. Se aplica por lo regular donde es necesario remover las prominencias y depresiones extremas y en la nivelación entre terrenos (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

Este método exige un criterio considerable del proyectista, con el fin de reducir al número mínimo el acarreo de tierra (SCS de USA, 1977).

Se necesita, contar con plano de curvas de nivel que no implica necesariamente una configuración tipo cuadrícula, requiriéndose no obstante la localización de los linderos y las bancas de nivel, para que cualquier punto pueda ser controlado tanto horizontal como verticalmente, la localización de las fuentes de abastecimiento que influyen en la dirección del riego, y el trazo de las curvas de nivel y la localización de la salida del drenaje que también afecta en cierto grado a las curvas de nivel (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

En el plano con las curvas de nivel se localizan curvas de nivel de prueba mediante hojas sobrepuestas basadas en los criterios de riego, la comparación entre las curvas de nivel originales y las curvas de prueba nos permiten determinar los cortes y rellenos (Plan de nivelación; USA, 1977).

Debido a que en este método no se utiliza un levantamiento de cuadrícula, es necesario utilizar un control horizontal para el estacado, haciendo mediciones a lo largo de los linderos del terreno, localizando la posición de las curvas de nivel. Desde estos puntos se estacan las curvas de nivel en intervalos de 25 metros y se corre una nivelación por ellos determinando por diferencias los cortes y rellenos (Plan de nivelación; SCS de USA, 1977).

Si la nivelación no puede llevarse a cabo en pasos sucesivos, se deberán establecer varios bancos de nivel permanentes a lo largo de los linderos del terreno, pudiéndose de esta manera restablecer fácilmente en cualquier tiempo las curvas de nivel (SCS de USA, 1977).

### 7.5.- CALCULO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

El método preciso para calcular el volumen de movimiento de tierra en la nivelación de terrenos, se basa en la fórmula prismoidal:

$$V = \frac{L}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

Donde: V = Volumen, en metros cúbicos.

L = Distancia perpendicular entre las bases, en metros.

$A_1$  = Superficie de una de las bases, en metros cuadrados.

$A_m$  = Superficie de la sección media, paralelas a las bases, en metros cuadrados.

El uso de esta fórmula se es laborioso; por lo cual suelen usarse métodos aproximados.

El método de las cuatro vértices se basa en la fórmula:

$$V_e = \frac{L^2}{108} \left( \frac{H_c^2}{H_c + H_r} \right)$$

$$V_r = \frac{L^2}{108} \left( \frac{H_r^2}{H_r + H_c} \right)$$

en la cual:  $V_e$  = Volumen de cortes, en metros cuadrados.

$V_r$  = Volumen de rellenos, en metros cuadrados.

L = Espaciamiento de la cuadrícula, en metros.

$H_c$  = Suma de cortes en cuatro vértices de un cuadro de la cuadrícula, en metros.

$H_r$  = Suma de rellenos en cuatro vértices de un cuadro de la cuadrícula, en metros.



El método de promedio de área se basa en la fórmula siguiente:

$$V = L \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

Donde: V = Volumen de cortes (o rellenos) en metros cúbicos.

L = Distancia entre secciones, en metros.

A<sub>1</sub> = Área de cortes (o rellenos) en una de las secciones.

A<sub>2</sub> = Área de cortes (o rellenos) en una de las secciones), en metros cuadrados.

El método del Plano-Horizontal.- Este método es el del promedio de áreas, - en el cual, en lugar de hacer uso de secciones transversales del terreno, se utilizan las áreas totales del mismo. Esta adaptado especialmente para usarse en el método de rectificación de curvas de nivel y en terreno donde hay tandes cortes - y rellenos. Se basa en la siguiente fórmula:

$$V = H \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

Donde: V = Volumen de cortes (o rellenos) entre las áreas, en metros cúbicos.

A<sub>1</sub> = Área de cortes (o rellenos) C<sub>1</sub>, en metros cuadrados.

A<sub>2</sub> = Área de cortes (o rellenos) C<sub>2</sub>, en metros cuadrados.

H = Diferencia entre C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>, en metros.

El Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de -- los Estados Unidos de América, para dar una idea relativa de la exactitud de es-- tos métodos para el calculo de movimiento de tierra, se hicieron los calculos ---

para un terreno por varios métodos, obteniendo los siguientes resultados:

M E T O D O	C O R T E	R E L L E N O	C / R
TRIANGULAR	5148	3420	1.50
CUATRO VERTICES	5151	3423	1.50
PROMEDIO DE AREA	5363	3724	1.44
ADICION	5547	3862	1.44

## Capítulo VIII

### ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINARIA

#### 8.1.- Tractor sobre carriles.

Consiste en un tractor montado sobre carriles, (cinturones de acero) con dos tipos de ruedas unas de impulso y otras de transmisión, dicho carril da mayor fuerza de tracción bajo condiciones variables del suelo. Debido precisamente al carril la velocidad de estos tractores es baja comparada con los montados sobre neumáticos, se uso está indicado para distancias cortas de acarreo y como tractor empujador cuando es requerida la potencia extra o bien cuando se requiera jalar un escarificador.

#### 8.2.- Tractor sobre neumáticos.

Este tipo de tractores de dos o cuatro neumáticos son utilizados cuando los trabajos exigen mayor velocidad de transporte y la necesidad de potencia en el empuje es de importancia secundaria, por lo que su eficiencia es mayor en distancias grandes de acarreo. El diseño del tractor de dos llantas esta basado en los requerimientos impuestos por la velocidad y la maniobrabilidad y el de cuatro llantas además de la velocidad se basa también en las necesidades de estabilidad.

#### 8.3.- Escrepas o Trailas.

Las escrepas o trailas son máquinas excavadoras y niveladoras que arrastran o transportan sus cargas detras de la máquina motriz o de impulso e incluyen una variedad de tipos y tamaños; pudiendo ir detrás de tractores de carriles o movi-

dos por neumáticos o bien, ser una unidad compacta donde la fuerza motriz esta - - fusionada por ella. Puede ser de un eje, dos ejes o ninguno; pueden descargar por abajo o por detrás y pueden ser controladas por un sistema de cables, por control hidráulico o inclusive manualmente.

Las máquinas más utilizadas son las de vaciado por su parte inferior, de -- dos ejes y son adecuadas para el corte y relleno alternativo, bajo las más varia- das condiciones de suelo. La escrepa es capaz de excavar, cargar, acarrear y des- cargar en un simple ciclo normal de trabajo; puede trabajar sola pero su eficien- cia se incrementa si le adiciona otra máquina durante la carga. Por lo regular -- efectua su trabajo en capas delgadas tanto durante el corte como durante el relle- no, por lo que su eficiencia no se afecta por la profundidad del corte o la altu- ra del relleno. En los diferentes modelos existentes, su distancia de acarreo eco- nómica varía desde cerca de 30 hasta 300 metros o más. Bajo condiciones de traba- jo son favorables es capaz de mover la tierra a un costo más barato por metros -- cúbicos que cualquier otro tipo disponible.

Existen dos tipos básicos el de dos ejes remolcado y controlado por un trac- tor independiente del tipo de carriles por lo regular y el tipo de impulsión pro- pia sobre dos o cuatro neumáticos. Las escrepas impulsadas por medio de vehículos con carriles tienen un efecto cortante máximo no así las de neumáticos, por lo -- que necesitan el auxilio de otro vehículo empujador durante la carga, sin embar- go, poseen mayor velocidad de transporte o acarreo de la carga por lo que son re- comendables para distancias de acarreo mayores. Por general las escrepas tienen

tres partes básicas desde el punto de vista funcional:

- a) La cuchara o tolva que es la parte que carga y acarrea equipada con una arista cortadora en el fondo de la misma, pudiéndose elevar o bajar dicha tolva.
- b) El delantal es la parte frontal de la tolva y puede ser elevado o bajado independientemente de ella.
- c) El eyector o compuerta trasera, el cual se mueve hacia atrás para permitir la entrada de la carga hacia adelante para descargarla.

Dentro de este tipo general de escrepa estan incluidas algunas variantes específicas como siguen:

- 1.- Traila o escrepa de acarreo.
- 2.- Moto escrepas con cargas de presión.
- 3.- Escrepa tipo Carry-All
- 4.- Moto escrepa auto cargadora Caterpillar.
- 5.- Johnson accionado con tractores agrícolas.
- 6.- International, etc.

#### 8.4.- Escrepa rotatoria o Rotohaul.

Al igual que el Line-Plane este tipo de implemento posee un principio de trabajo diferente del de las escrepas comunes. Consiste de un transportador en forma de rueda con paletas u hojas que gira alrededor de una tolva cilíndrica, el cual - remueve la tierra y la deposita dentro de la tolva durante la carga y durante la - descarga la tolva gira para efectuar su trabajo. Su eficiencia es más baja que el tipo general citado adaptándose mejor a los trabajos ligeros de movimiento de tie-

rra. Ya que requiere menos potencia para efectuar su trabajo un tractor tipo granja la puede mover fácilmente. Puede ser usada en áreas pequeñas ya que ella misma corta, transporta, descarga y afina el suelo.

#### 8.5.- Line-Plane.

Aunque este tipo de aparato es esencialmente una escrepa conviene distinguirlo de ella, porque tiene una aplicación diferente que las máquinas incluidas en la descripción dada con anterioridad. Este implemento consiste de un marco firme soportado en cada lado por ruedas o patines con ejes o son ellos y una tolva sin fondo con su cuchilla correspondiente, que se sitúa por lo regular en la parte media del marco. Es importante que dicho implemento sea rígido ya que existe una relación definida entre el extremo de la hoja y las llantas de soporte. Este tipo de máquina se utiliza una vez que el movimiento grueso o pesado de tierra ha sido efectuado y se requiere simplemente emparejar las pequeñas prominencias o depresiones ligeras que las otras máquinas dejaron a dicho trabajo se llama afinación. Dado que la tolva no tiene fondo, el movimiento de tierra se lleva a cabo poco a poco, rascando, arrastrando y extendiendo la carga. Para ejecutar dicha operación en forma correcta se debe romper primero la superficie del suelo para aflojar el suelo. Al trabajar la hoja ajustable se coloca a un nivel permanente para mantener la tolva parcialmente llena a  $1/3$  de su capacidad lo que permitirá la remoción de lomas aisladas y el relleno de depresiones.

#### 8.6.- Bulldozer.

Esta máquina consiste de un tractor ya sea de carriles o sobre llantas, el cual lleva adaptado en forma integral una hoja o cuchilla cortadora y empujadora de dimensiones variables en su parte frontal o bien en su parte posterior la cual puede ser bajada o elevada con movimientos verticales permitiendo así la variación del ángulo de corte; dicha hoja es controlada ya sea hidráulicamente o por medio de cables. La variación de esta máquina conocida como angleadozar permite variar la posición de la hoja en planos horizontales por lo que al moverse hacia adelante renueva la tierra hacia un lado. Los bulldozer sobre carriles se utilizan para trabajo pesado y los de ruedas para extender y rellenar el material flojo.

#### 8.7.- Motoconformadora.

Consiste de dos brazos cruzados que soportan el motor y la sección de control, dichos brazos convergen para formar una viga comba en la parte frontal. La hoja o cuchilla móvil está fija a un círculo suspendido del marco general. Es impulsada por un tractor de doble diferencial, la longitud de la cuchilla varía de 3 a 5 metros. Su acción flotante le permite establecer planos horizontales rígidos utilizándose principalmente un trabajo de afinamiento con el Line-Plane.

### 8.8.- Cinzel y Escarificador.

Estos implementos son arrastrados por un tractor de oruga y consisten de -- una serie de dientes montados sobre un bastidor o estructura, los cuales con cierta inclinación penetran en el suelo por peso a profundidades graduales. Si la superficie del suelo es relativamente dura y requiere que se afloje para mantener cierta eficiencia bastará la utilización del cinzel que no es sino una rastra dotada de una serie de dientes. Cuando el suelo es muy duro se requerirá un implemento más fuerte que el cinzel para el trabajo tal como el escarificador de 25 toneladas de peso y con menor número de dientes pero más grandes y más fuertes.

### 8.9.- Adaptación de los Equipos.

Como cada equipo presenta características particulares que lo hacen eficiente en cada clase de movimiento de tierra; con el establecimiento arbitrario de límites de acarreo para cada clase de movimiento de tierra se pueden citar especificaciones de orden general que determinan la conveniencia económica de los equipos para las clases y movimientos de tierra delimitadas. Tales especificaciones deberán modificarse de acuerdo con las condiciones de conservación del equipo, destreza de operadores, condiciones de trabajo, etc.

Muñoz Vázquez (1970) obtiene las siguientes especificaciones; Tumba de Bordo: (0 = 40 m). Para este caso los tractores de carriles con cuchillas son las --



que producen los mejores rendimientos económicos. En distancias hasta de 10 m., - los tractores D8, D7, y D7 con escrepón, y el D6 producen los mismos rendimientos, para distancias superiores a 20 m., el D8 y el D7 con escrepón presentan igual precio unitario por volumen.

Conformación o Desgaste: (40 - 80). Si se requiere equipo de arrastre el D8 y el D7 con escrepón son los más indicados; sin embargo si el pago se efectúa por hora máquina efectiva se puede usar con mayor ventaja la motoescrepa J - 621 en primer lugar y en seguida el D8 con tralla y el MRS con escrepón.

Movimiento de tierras: (80 m. en adelante). Para la distancia considerada - de (500 m.) en este caso la motoescrepa J - 621 es la más adecuada por su amplio margen, siguen en orden decreciente el D8 con tralla, el MRS con escrepón, las escrepas Johnson y por último el tractor D7 con escrepón.

#### Elección de los equipos.

Esta elección se lleva a cabo, de acuerdo no sólo con la conveniencia económica sino también, tomando en cuenta la magnitud de las masas de tierra, condiciones del suelo, porción de las acumulaciones de tierra, cercanías de los niveles freáticos, etc.

Tratándose de tumba de bordos, el equipo se seleccionará de acuerdo con el tamaño de los mismos para evitar desperdicios o carencias de fuerza motriz, ya que resulta más económico desbastar bordos grandes con tractores de mayor poten--

cia, pues se disminuyen los ciclos de trabajo.

En suelos con contenidos de humedad altas, conviene utilizar equipos de carriles de carga a presión que no compacta mucho de superficie, también se deben utilizar estos equipos en aquellos suelos que poseen residuos de vegetación pues los escrepones y escrepas pueden sufrir desperfectos o retrasos.

Cuando las acumulaciones por mover se presentan cercanas a bordos o en lugares de cierta inaccesibilidad, un equipo de fácil maniobra para estos casos es el angledorezer.

Si se requiere de mejores acabados y mayor uniformidad en la superficie, -- los escrepones son mejores que el resto del equipo.

En los suelos de texturas ligera, con contenidos de humedad bajas, el material se pulveriza fácilmente por lo que resultan mejores los equipos de acarreo -- por arrastre que los autocargadores y los de carga a presión.

Cuando el nivel freático esta próximo a la superficie, el equipo sobre llantas no es recomendable por la forma de transmisión de carga, la cual puede producir hundimientos.

Así mismo, cuando las distancias de acarreo son grandes no se aconseja utilizar equipo que no retenga la carga, como el escrepón a las cuchillas porque se producen mermas durante el acarreo.

## Capítulo IX

### CONSERVACION DE LA NIVELACION

La nivelación de tierras con frecuencia requiere de una inversión que puede equipararse a la realizada en las obras de captación y producción para un sistema de irrigación, y así como éstos, requiere de una conservación permanente para que dicha inversión no se pierda a través de los diferentes ciclos agrícolas (Madero, 1978).

Durante el proceso de un trabajo de nivelación, se requiere cortar los suelos en las partes altas del terreno y depositarlas en las partes bajas del mismo en espesores variables, los que al recibir las aguas de riego, lógicamente sufren un asentamiento desigual según los espesores requeridos, siendo éste del primer -desequilibrio del plano nivelado; posteriormente el agricultor en sus labores agrícolas, también crea ciertos movimientos de tierras que conducen a través de varios ciclos agrícolas a la pérdida de la nivelación (Madero, 1978).

Considerando los aspectos anteriores, es conveniente que todos los terrenos que han sido nivelados se conserven convenientemente a través de las labores agrícolas, previas a la iniciación de los ciclos de cultivo, recomendándose en términos generales, que por lo menos se den a los terrenos nivelados un paso ó dos pasos de Lane-Plane, y que el agricultor emplee siempre el arado reversible el cual no produce las depresiones que origina el arado de tipo fijo (Madero, 1978, 1981).

## Capítulo X

### BENEFICIOS DE LA NIVELACION

Para nuestro México es bastante importante el uso racional del agua, porque teniendo una superficie de 1'970,000 Km<sup>2</sup> y una superficie regable de apenas - - 11'000,000 Has., las cuales nos dan un 5.58 % de superficie regable, siendo ésta muy pequeña para la gran población que tiene México, es importante para el mejor uso del agua la nivelación del terreno ya que el primero en disfrutar los beneficios del terreno nivelado es el propio agricultor al hacer los riegos; en la región Lagunera la nivelación ha permitido reducir en un 50 % al personal requerido para riego además de reducir el tiempo requerido.

Al manejar eficientemente el agua a nivel de la parcela además del beneficio inmediato que obtiene el agricultor se obtienen los siguientes:

- 1.- Distribución uniforme del agua dentro de la parcela.
- 2.- Maduración uniforme de la semilla, esto evitará las resiembras.
- 3.- Mejoramiento del drenaje superficial.
- 4.- Conservación de la fertilidad, pues evita la lixiviación.
- 5.- Menor volumen de agua requerido, consecuentemente se puede regar más superficie con la misma agua.
- 6.- Operación más eficiente de la maquinaria agrícola.
- 7.- Aumento de rendimientos de cosecha por unidad de volumen de agua empleada.

Por lo tanto es importante que todos los proyectos de irrigación, en los -- cuales son aplicables por un sistema de riego, con la NIVELACION DE TIERRAS un complemento necesario a todos los proyectos de irrigación, ya que su objetivo es : -- Aumentar la eficiencia del agua a nivel parcela.

## Capítulo XI

### CONCLUSIONES

Al comparar los diferentes métodos de nivelación se observa que los "Métodos planos" están hechos para superficies regulares (cuadros y rectángulos) al igual que el método "Coeficientes de Trueba" (no tratado en esta tesis por no tener los índices apropiados para este trabajo) por lo que para hacer concordar la pendiente teórica y la natural del terreno fue necesario aumentar la cota media a los cadenamientos faltantes (23, 7 y 24, 8), por otro lado estos métodos son los que más fácilmente se adaptaron a las especificaciones del diseño.

El método "MINIMOS CUADRADOS" es el método más versátil pero los diferentes tipos de suelo (tabla 1) en relación a su relieve, por esto y su facilidad de cálculos es el recomendable para la mayoría de las nivelaciones que se realizan, siempre y cuando haya suficiente "profundidad de corte".

Durante la elaboración del presente trabajo se vió la conveniencia de hacer numeraciones progresivas y regresivas para calibrar lo más exacto posible la relación Cortes/Rellenos, la cual muchas veces es difícil.

Se considera la nivelación de terrenos de bastante importancia por los beneficios presentados en el capítulo anterior, sobre todo ahora que el país lucha por obtener la autosuficiencia alimentaria, ya que la creciente población demanda más alimentos de los que nuestro avance agronómico puede generar.

Así pues es de vital importancia aumentar la productividad en nuestro agro.

## BIBLIOGRAFIA

Estrada Alburguerque, Anselmo, 1979. Artículo editado en el "SOL DEL CAMPO". Año 1, No. 15, 15 al 30 de junio de 1979. Organización Editorial Mexicana.

Madero Rodríguez, José, 1978. Apuntes de "Nivelación de Tierras Agrícolas" preparadas para el primer curso de capacitación a nivel técnico superior, Sub-secretaría de Operación S.A.R.H., Centro de Capacitación en Irrigación y Drenaje "BENITO JUÁREZ" El Carrizo, Sin., Mexico.

Madero Rodríguez, José, 1981, Operación de Distritos de Riego. Curso a nivel técnico superior. Quinta edición Tomo III.

Muñoz Vázquez, José Manuel, 1970. La Nivelación de Tierras y la teoría de las Redes (Algoritmo de Hitchcock), -- Tesis Profesional para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo Chapingo, Mex., México.

Servicio de Conservación de Suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America, 1977. "Nivelación de Terrenos". Tomo VII de la Colección de Ingeniería de Suelos, Cuarta Impresión, Editorial Diana. México D. F. México.

Palacios Vélez, Enrique, apuntes sobre Nivelación de Tierras.

Plan de Nivelación de Tierras en la Comarca Lagunera.

Trueba Coronel, Samuel, 1971. Coeficiente de Trueba para el Cálculo de Nivelación de Tierras Agrícolas. Editorial C.E.C.S.A., México D. F. México.

CLAVE	PENDIENTE PARA RIEGO	PENDIENTE NATURAL	EFICIENCIAS POSIBLES CON AGUA DE RIEGO	LABOR REQUERIDA EN LOS RIEGOS	LIMITACIONES DEL METODO	NECESIDADES DE NIVELACION	
A <sub>1</sub>	Uniforme, pero no mayor de 0.05 por ciento	Ninguna	Alta	Muy baja	Ninguna	Ninguna	
A <sub>2</sub>	Uniforme				Está restringida la longitud de caballones en cada cuadro de riego		
B <sub>1</sub>					Uniforme, pero no mayor de 0.3 por ciento		Restringida la longitud de caballones a nivel, así como la anchura
B <sub>2</sub>					Variable, pero no mayor de 0.3 por ciento		Anchura de caballones muy restringida. No se aceptan a nivel. Surcos superficiales no permitidos en suelos de textura gruesa o muy gruesa. Las corrugaciones deben tener pendiente longitudinal de, por lo menos, cuatro veces la pendiente transversal
B <sub>3</sub>	Puede ser uniforme o variable, y mayor de 0.3 por ciento, pero no mayor de 0.5 por ciento	Puede ser uniforme o variable, pero no mayor de 0.3 por ciento	Moderadamente baja	No se aceptan caballones a nivel. Restringida la anchura de los caballones	La nivelación es deseable para aumentar la longitud o anchura de los caballones		
C <sub>1</sub>	Regularmente uniforme, cuando las pendientes son mayores de 0.5 por ciento, las pendientes convexas grandes máximas sin ser el doble mínimo; las pendientes cóncavas tienen grado máximo sin ser 1½ el mínimo. No se permiten pendientes onduladas	Uniforme o variable, pero no mayor de 0.3 por ciento	Buena	Moderada a alta	Muy restringida las anchuras de los caballones. No se aceptan caballones. Surcos superficiales no se aceptan en suelos de textura gruesa y muy gruesa. Las corrugaciones deben tener pendiente longitudinal de, por lo menos, cuatro veces la pendiente transversal	La nivelación es conveniente para reducir las necesidades de labor y mejorar la eficiencia de irrigación	
C <sub>2</sub>	Uniforme o variable, pero no mayor de 0.5 por ciento	Aplicable solamente en surcos en contorno o en riego por terrazas en contorno, dentro de limitaciones especiales de profundidad de surcos y textura del suelo					
C <sub>3</sub>	Puede ser uniforme o regularmente uniforme, como se estableció antes	Uniforme o variable y más 0.5 por ciento					
D <sub>1</sub>	Variable pero sin que el nivel alcance o sobrepase los grados	Variable, pero no mayor de 0.3 por ciento	Pobre	Alta	Restringida la anchura de los caballones. No se aceptan caballones a nivel o corrugaciones	Se necesita la nivelación para el riego, con fines de conservación	
D <sub>2</sub>		Variable, pero no mayor de 0.5 por ciento			Muy restringida la anchura de los caballones. No se aceptan caballones de nivel o corrugaciones. No se aceptan surcos someros en suelos de textura gruesa o muy gruesa		
E		Variable y mayor de 0.5 por ciento			Muy pobre		Muy alta

FUENTE: Servicio de Conservación de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

TABLA NUMERO 2, CONSTANTES PARA LA DETERMINACION DE LA RASANTE

NUMERO DE ESTACIONES EN DIRECCION TRANSVERSAL A LA RASANTE QUE ESTA SIENDO DETERMINADA																									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
VALORES DE A																									
1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	
VALORES DE B																									
1	0.5	2	5	10	17.5	28	42	60	82.5	110	143	182	227.5	280	340	408	484.5	570	665	770	885.5	1012	1150	1300	1462.5
2	1.0	4	10	20	35	56	84	120	165	220	286	364	455	560	680	816	969	1140	1330	1540	1771	2024	2300	2600	2925
3	1.5	6	15	30	52.5	84	126	180	247.5	330	429	546	682.5	840	1020	1224	1453.5	1710	1995	2310	2656.5	3036	3450	3900	4389.5
4	2.0	8	20	40	70	112	168	240	330	440	572	728	910	1120	1360	1632	1938	2280	2660	3080	3542	4048	4600	5200	5850
5	2.5	10	25	50	87.5	140	210	300	412.5	550	715	910	1137.5	1400	1700	2040	2422.5	2850	3325	3890	4427.5	5060	5750	6500	7312.5
6	3.0	12	30	60	105	168	252	360	495	660	858	1092	1365	1680	2040	2448	2907	3420	3990	4620	5313	6072	6900	7800	8775
7	3.5	14	35	70	122.5	196	294	420	577.5	770	1001	1274	1592.5	1960	2380	2856	3391.5	3990	4655	5390	6198.5	7084	8050	9100	10237.5
8	4.0	16	40	80	140	224	336	480	660	880	1144	1456	1820	2240	2720	3264	3876	4560	5320	6160	7084	8096	9200	10400	11700
9	4.5	18	45	90	157.5	252	378	540	742.5	990	1287	1638	2047.5	2520	3060	3672	4360.5	5130	5985	6900	7969.5	9108	10350	11700	13162.5
10	5.0	20	50	100	175	280	420	600	825	1100	1430	1820	2275	2800	3400	4080	4845	5760	6650	7700	8855	10120	11500	13000	14625
11	5.5	22	55	110	192.5	308	462	660	907.5	1210	1573	2002	2502.5	3080	3740	4488	5329.5	6270	7315	8470	9740.5	11136	12650	14300	16087.5
12	6.0	24	60	120	210	336	504	720	990	1320	1716	2184	2730	3360	4080	4896	5814	6840	7980	9240	10626	12140	13800	15600	17550
13	6.5	26	65	130	227.5	364	546	780	1072.5	1430	1859	2366	2957.5	3640	4420	5304	6298.5	7410	8645	10010	11511.5	13156	14950	16900	19012.5
14	7.0	28	70	140	245	392	588	840	1155	1540	2002	2548	3185	3920	4760	5712	6783	7980	9310	10780	12397	14168	16100	18200	20475
15	7.5	30	75	150	262.5	420	630	900	1237.5	1650	2145	2730	3412.5	4200	5100	6120	7267.5	8550	9975	11550	13282.5	15180	17250	19500	21937.5
16	8.0	32	80	160	280	448	672	960	1320	1760	2288	2912	3640	4480	5440	6528	7752	9120	10640	12320	14168	16192	18400	20800	23400
17	8.5	34	85	170	297.5	476	714	1020	1402.5	1870	2431	3094	3867.5	4760	5780	6936	8236.5	9690	11305	13090	15053.5	17204	19550	22100	24862.5
18	9.0	36	90	180	315	504	756	1080	1485	1980	2574	3276	4095	5040	6120	7344	8721	10260	11970	13860	15939	18216	20700	23400	26325
19	9.5	38	95	190	332.5	532	798	1140	1567.5	2090	2717	3458	4322.5	4760	5780	696	8236.5	10830	12635	14630	16824.5	19228	21850	24700	27727.5
20	10.0	40	100	200	350	560	840	1200	1650	2200	2860	3640	4550	5600	6800	8160	9690	11400	13300	15400	17710	20240	23000	26000	29250
21	10.5	42	105	210	367.5	588	882	1260	1732.5	2310	3003	3822	4777.5	5880	7140	8568	10174.5	11970	13965	16170	18595.5	21252	24150	27300	30712.5
22	11.0	44	110	220	385	616	924	1320	1815	2420	3146	4004	5005	6160	7480	8976	10659	12540	14630	16940	19481	22264	25300	28600	32175
23	11.5	46	115	230	402.5	644	966	1380	1897.5	2530	3289	4186	5232.5	6440	7820	9364	11143.5	13110	15295	17710	20366.5	23276	26450	29600	33637.5
24	12.0	48	120	240	420	672	1008	1440	1980	2640	3432	4368	5460	6720	8160	9792	11628	13680	15960	18480	21252	24288	29600	31200	35100
25	12.5	50	125	250	437.5	700	1050	1500	2062.5	2750	3575	4550	5687.5	7000	8500	10200	12112.5	14250	16625	19250	22137.5	25300	28750	32500	36562.5
26	13.0	52	130	260	455	728	1092	1560	2145	2860	3718	4732	5915	7280	8840	10608	12597	14820	17290	20020	23023	26312	29900	33800	38025

FUENTE: Servicio de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

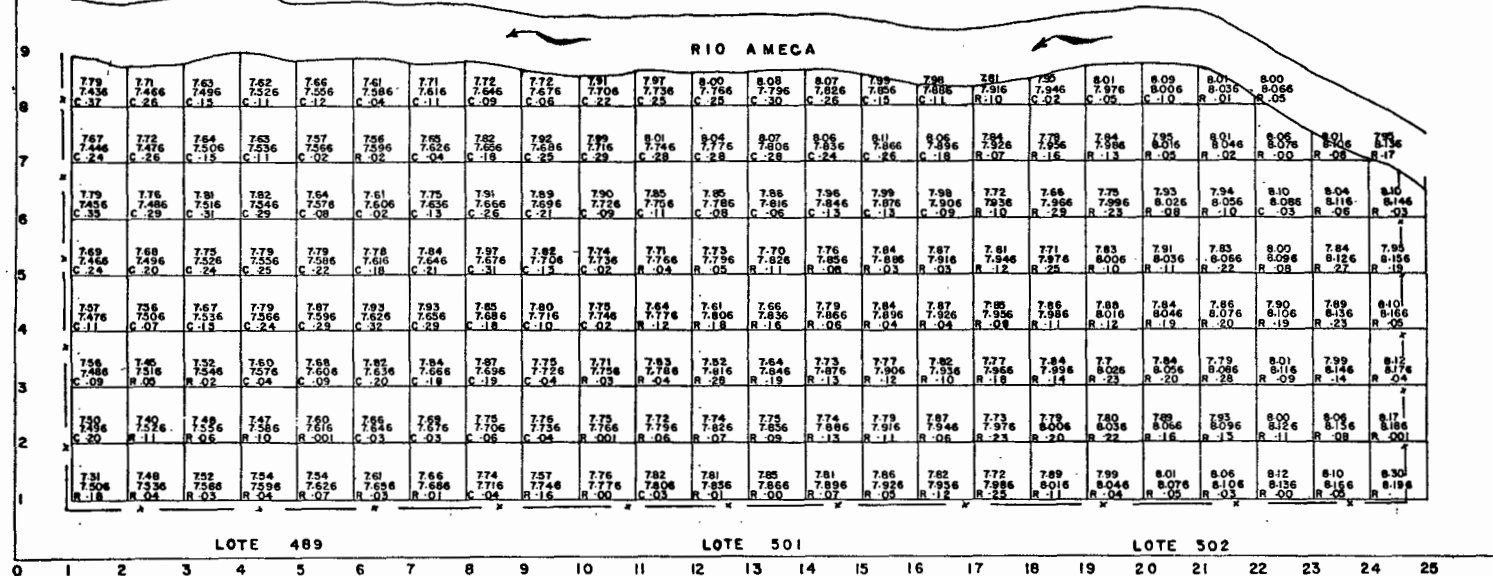
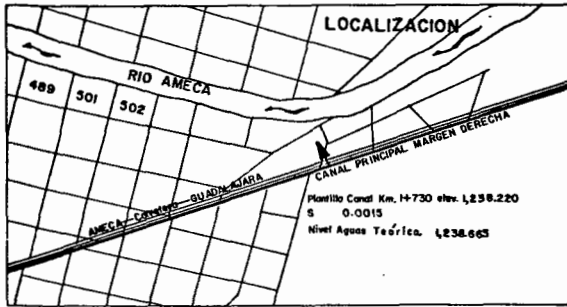


T A B L A No. 3

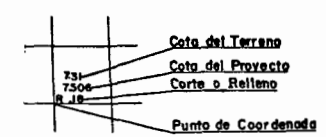
PENDIENTES Y LONGITUDES DE RIEGO RECOMENDADAS PARA SURCOS  
Y MELGAS SEGUN TIPO DE SUELO.

TEXTURA	PENDIENTE		LONGITUD		GASTO	
	Metros / Millar		Metros		Lts./ Seg.	
LIGERAS	0.20	0.75	100	150	2	a 3
	0.75	1.50	150	200		
MEDIAS	0.20	0.75	150	200	1.5	a 2
	0.75	1.50	200	250		
	1.50	3.00	250	350		
PESADAS	0.20	0.75	200	300	0.5	a 1.5
	0.75	1.50	300	400		
	1.50	3.00	400	500		

NOTA: El gasto en litros por segundo está expresado para riegos en surcos, la conversión a melgas, se hace multiplicando el ancho de ésta, expresado en metros por el gasto para surcos.



CLAVE:

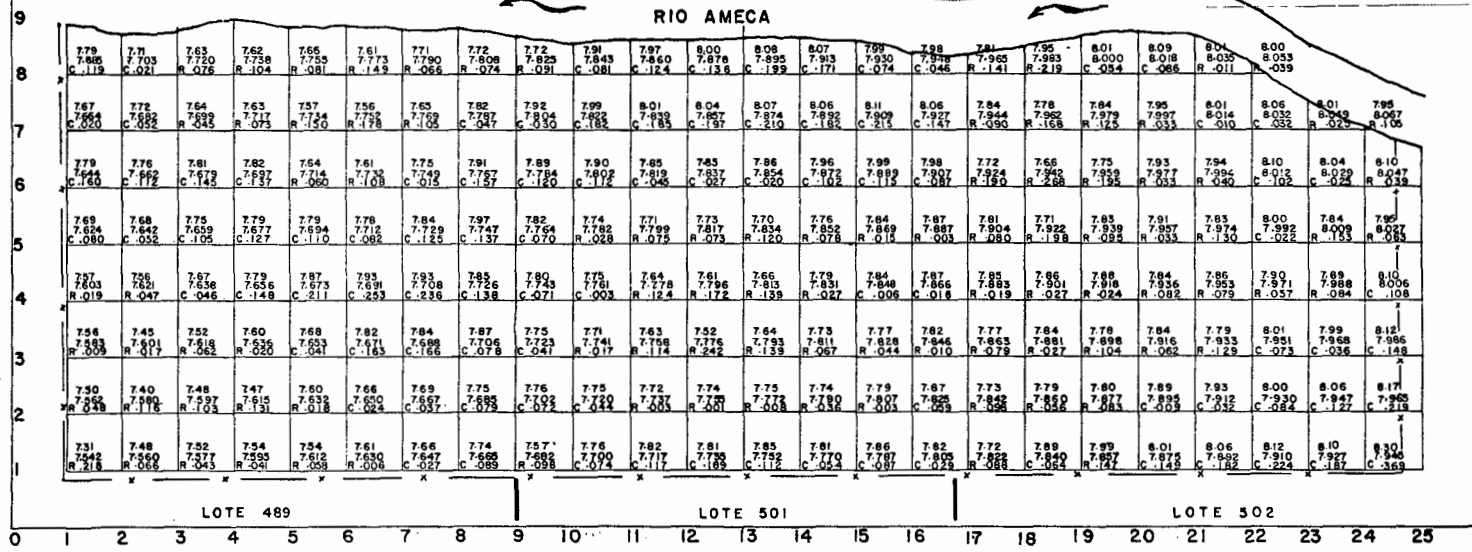
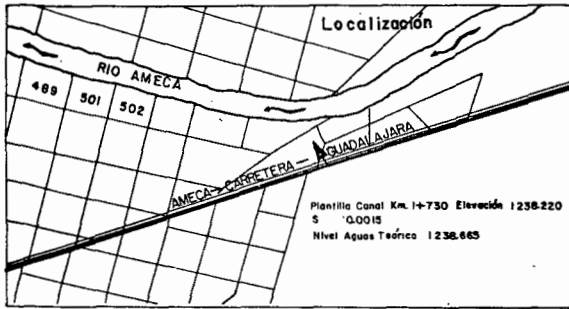


NOTAS:

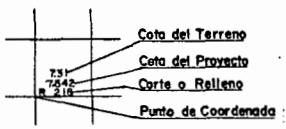
- Corte Maximo 0.35
- Pendiente Maxima 0.0025
- Acotacion en Metros.

ESCALA 1:1000

DATOS PROPORCIONADOS POR:		
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS		
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA ESCUELA DE AGRICULTURA		
PLANO DE PROYECTO		Método:
NIVELACION DE TIERRAS		PLANO
PARA OBTENER EL TITULO DE ING. AGRONOMO FITOTECNISTA ROBERTO MENDEZ C.; LAS AGUAS MPO. ZAPOPAN JALISCO		
LEVANTO:	DIBUJO:	PROYECTO:
Ing. Antonio Sahagun	José E. Ramos Mariscal	Roberto Mendez Castro



CLAVE:

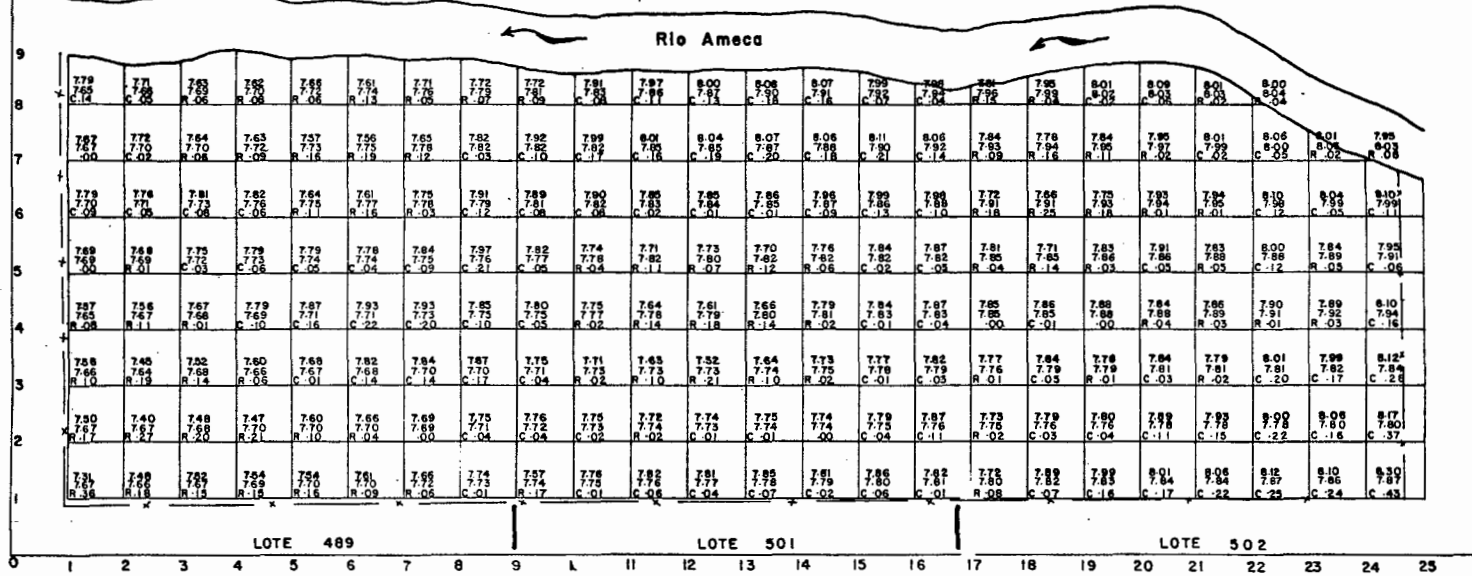
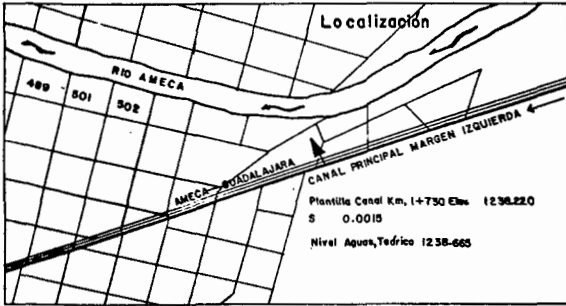


NOTAS:

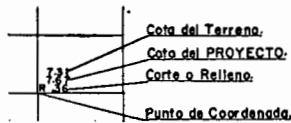
- Corte Maximo 0.35
- Pendiente Maxima 0.0025
- Acotaciones en Metros.

ESCALA 1:1000  
Superficie 7-09-34

DATOS PROPORCIONADOS POR:	
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS	
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA ESCUELA DE AGRICULTURA	
PLANO DE PROYECTO	Metodo:
NIVELACION DE TIERRAS	MINIMOS CUADRADOS
PARA OBTENER EL TITULO DE ING. AGRONOMO FITOTECNISTA	
ROBERTO MENDEZ C.; LAS AGUJAS MPO. ZAPOPAN JALISCO	
LEVANTO:	DIBUJO:
Ing. Antonio Sahagun M.	José E. Ramos Mariscal
PROYECTO:	Roberto Mendez Castro



CLAVE:



NOTAS: Córte Máxima 0.35  
Pendiente Máximo 0.0025  
Anotaciones en Metros.

ESCALA 1:1000

PLANO PROPORCIONADO POR:  
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
ESCUELA DE AGRICULTURA

PLANO DE PROYECTO  
NIVELACION DE TIERRAS

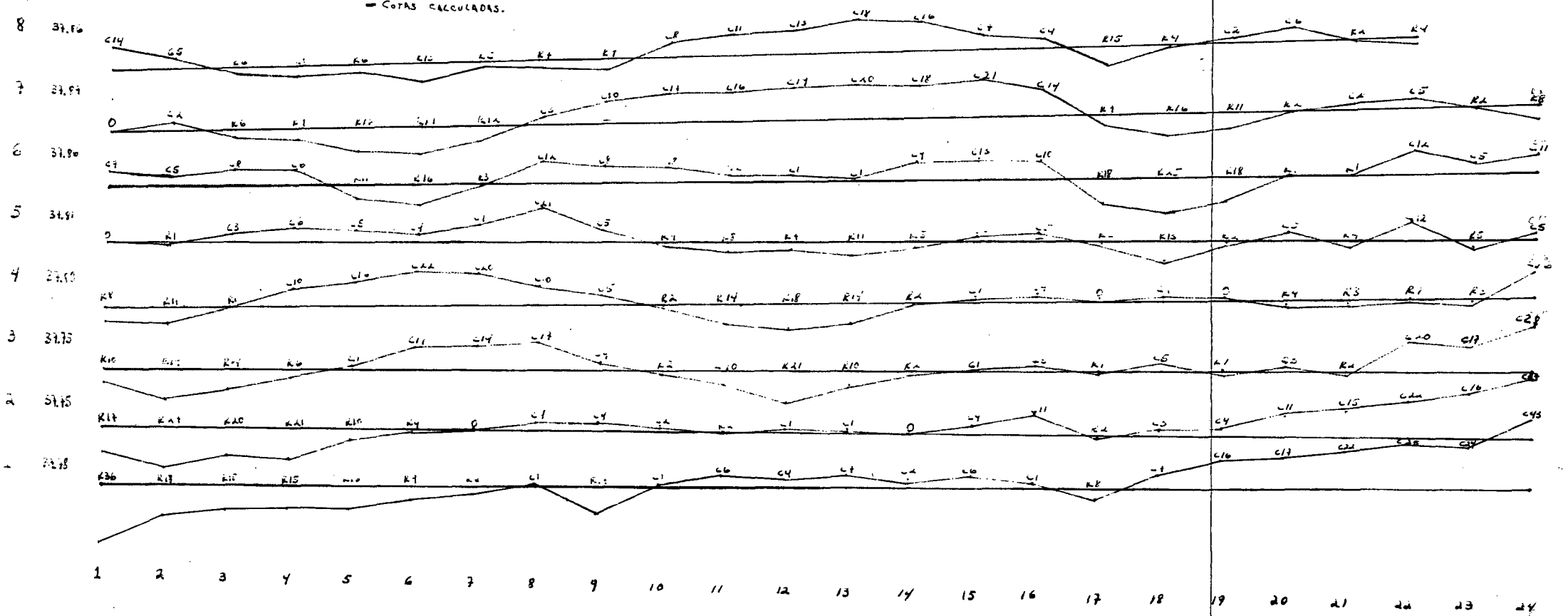
Metodo:  
TRAZO EN UNA DIRECCION

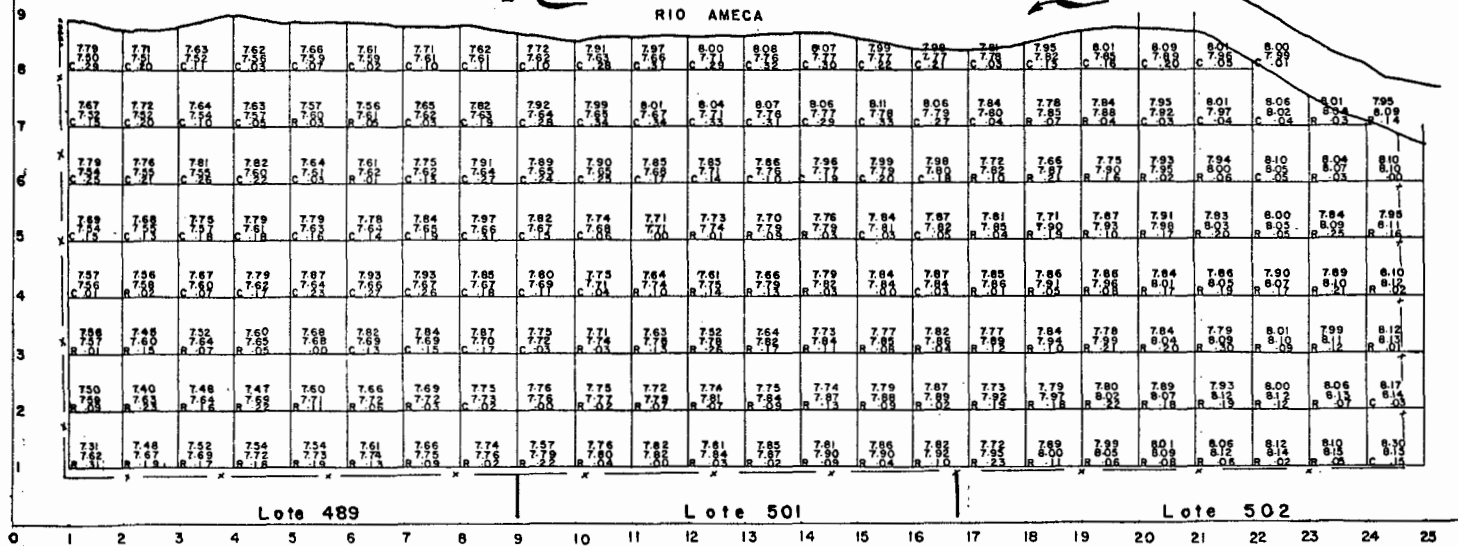
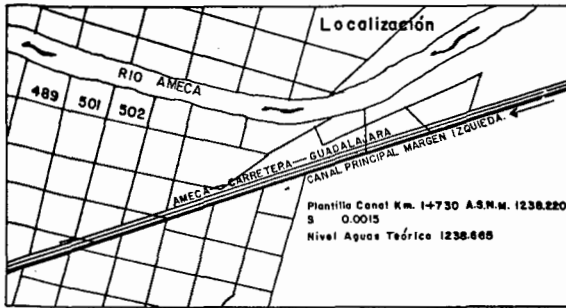
PARA OBTENER EL TITULO DE ING. AGRONOMO FITOTECNISTA  
ROBERTO MENDEZ C.; LAS AGUAS MPO. ZAPOPAN JALISCO

LEVANTO: Ing. J. Antonio Sahagún M. DIBUJO: José E. Ramos Mariacal. PROYECTO: Roberto Mendez Castro.

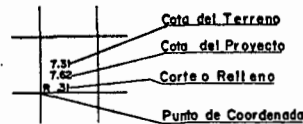
PERFIL DEL TERMINO.

- COTAS OBSERVADAS.  
 - COTAS CALCULADAS.





CLAVE:



NOTAS:

Corte Máximo 0.35

Pendiente Máxima 0.0025

Acotacion en Metros.

ESCALA 1:1000

Superfici 7-09-34 Has.

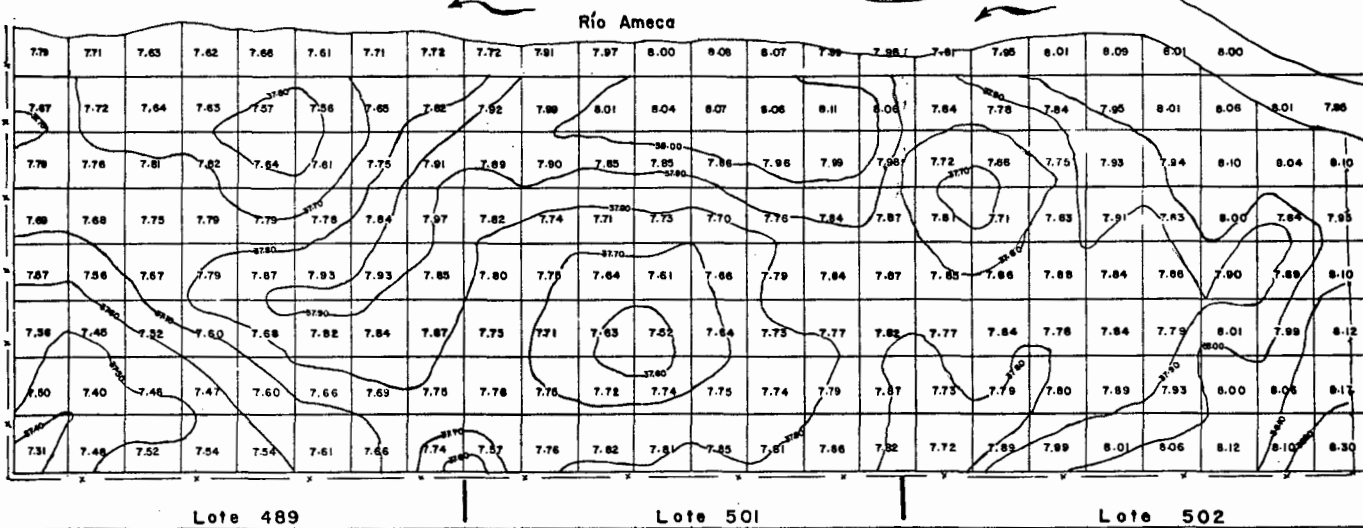
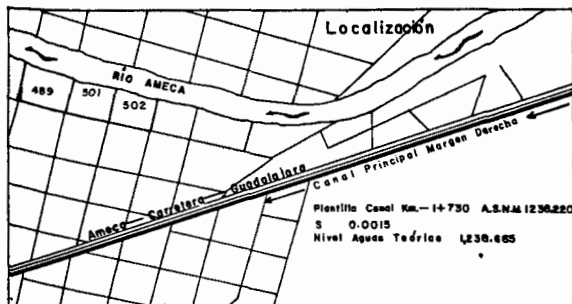
DATOS PROPORCIONADOS POR:  
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
ESCUELA DE AGRICULTURA

PLANO DE PROYECTO Comprobación  
NIVELACION DE TIERRAS del Proyecto

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ING AGRONOMO FITOTECNISTA  
ROBERTO MÉNDEZ C: LAS AGUJAS MPO ZAPOPAN JALISCO.

LEVANTO: Ing. Antonio Sahagún M. DIBUJO: José E. Ramos Mariscal PROYECTO: Roberto Méndez Castro



ESCALA 1:1000  
Superficie 7-09-34 Has.

DATOS PROPORCIONADOS POR: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS		
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA ESCUELA DE AGRICULTURA		
PLANO DE PROYECTO	Metodo:	
NIVELACION DE TIE- RRAS	RECTIFICACION DE CURVAS DE NIVEL	
PARA OBTENER EL TITULO DE ING. AGRONOMO FITOTECNISTA ROBERTO MENDEZ C.; LAS AGUJAS MPO. ZAPOPAN JALISCO		
LEVANTO: ING. ANTONIO SAHAGUN M.	DIBUJO: JOSE E. RAMOS M.	PROYECTO: ROBERTO MENDEZ CAST.