

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**Nivelación de Tierras del Predio "El Mezquital"
en Tolimán Mpio. de Tolimán, Jal.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO
ORIENTACION SUELOS
P R E S E N T A N
DURAN AVILA JOSE REFUGIO
GOMEZ FRANCO SALVADOR**

GUADALAJARA, JAL.

MAYO DE 1993



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION ESCOLARIDAD

EXEDIENTE _____

NUMERO 1312/92

10 de Diciembre de 1992.

C. PROFESORES:

ING. JORGE PEDRO TOPETE ANGEL, DIRECTOR

ING. RAMON CEJA RAMIREZ, ASESOR

ING. RUBEN ORNELAS REYNOSO, ASESOR

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

" NIVELACION DE TIERRAS DEL PREDIO ' EL MEZQUITAL '
EN TOLIMAN MPIO. DE TOLIMAN, JAL."

presentado por el (los) PASANTE (ES) DURAN AVILA JOSE REFUGIO
GOMEZ FRANCO SALVADOR

han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

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

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"
"AÑO DEL BICENTENARIO"
EL SECRETARIO

M.C. SALVADOR MENA MUNGUIA

mam

IYF



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección ESCOLARIDAD

Expediente

Número ... 1312/92

10 de Diciembre de 1992.

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)

DURAN AVILA JOSE REFUGIO y GOMEZ FRANCO SALVADOR

titulada:

" NIVELACION DE TIERRAS DEL PREDIO ' EL MEZQUITAL ' EN TOLIMAN MPIO. DE TOLIMAN, JAL."

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. JORGE PEDRO TOPETE ANGEL

ASESOR

ASESOR

ING. RAMON CEJA RAMIREZ

ING. RUBEN ORNELAS REYNOSO

srd'

ryr

Al comprar este oficio, cite fecha y número

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara y a la Facultad de Agronomía por haberme formado como un profesional dentro de la sociedad.

Quiero hacer patente mi agradecimiento, a los profesores que con tanta dedicación, esfuerzo y entusiasmo, lograron influir en mi desarrollo profesional para que obtuviera la capacidad de enfrentarme a los problemas que surgen en el camino de la vida:

- Ing. Ramón Padilla Sánchez
- Ing. Leonel González Jauregui.
- Ing. Jorge Pedro Topete Angel.
- Ing. Ernesto A. Mirapontes Lau.
- Ing. Arturo Curiel Ballesteros.
- Quím. Angel Pérez Zamora.
- Ing. Rogelio Huerta Rosas.

A los Ingenieros que con su incondicional apoyo se esforzaron para que esta obra llegara a su culminación:

- Jorge Pedro Topete Angel.
- Ramon Ceja Ramirez.
- Ruben Ornelas Reynoso.

Agradezco infinitamente a mi familia y a mis amigos, que de una u otra forma compartieron momentos, brindandome su desinteresada colaboración para lograr mi meta; Dentro de ellos hago destacar, a la persona que en ningún momento dejó de regalarme su ayuda espiritual y material, para que mis aspiraciones en la vida se llevaran a cabo, a el, mi Padre:

Sr. Elias Durán Díaz.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara y Facultad de Agronomía por haberme forjado y brindado una oportunidad en el campo profesional.

En especial a las personas que con su sacrificio y apoyo moral lograron impulsarme a terminar mi meta :

A mis Señoras Padres: Daniel Gómez Pérez,
 Antonia Franco Rocha.

A mis Hermanos: Juan, Teresa, Delia, Maricela, Irma, Bertha,
 Herminia, Carmen, Rosa y Laura.

A las personas que por su apoyo civil y moral me impulsaron a concluir mi carrera de Agronomía :

A mis tíos : Sr. José Gómez Pérez,
 Sra. Julia Franco Rocha,
 Sr. Rafael Hernández Gómez.

A mis primos: Xóchitl, Rafael e Iván.

A los Ingenieros: Ramón Padilla Sánchez,
 Ramón Ceja Ramírez,
 Rubén Onnelas Reynoso.

Al Ing. M.C. Jorge Pedro Topete Angel por haberme brindado todos los medios y labor intensa para concluir el desarrollo del trabajo.

A los Profesores, que por sus consejos y motivación me encaminaron al mundo de mi carrera:

Prof. José Padilla González.

Prof. Juan Mendoza Fernández.

Así como a aquéllas personas, que de la mejor manera, me apoyaron para terminar la carrera de Agronomía.

A todos, infinitas gracias.

Salvador Gómez Franco.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCION	3
ANTECEDENTES.....	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. Generalidades.....	5
2.2. Levantamientos Topográficos.....	5
- Poligonales.....	6
2.3. Nivelación.....	7
2.3.1. Elementos de la Nivelación.....	7
2.3.2. Métodos de Nivelación.....	8
- Cuadrícula.....	9
2.3.3. Cálculo de Rasantes.....	9
- Mínimos cuadrados.....	10
2.4. Cubicación de Tierras.....	11
2.4.1. Abundamiento y Compactación.....	12
2.4.2. Movimiento de Tierras.....	13
III. OBJETIVOS.....	14
IV. MATERIALES Y METODOS.....	15
4.1. Materiales de Campo y Gabinete.....	15
4.2. Metodología.....	15
4.3. Desarrollo del Método.....	17
4.3.1. Localización.....	17
4.3.2. Establecimiento de la Poligonal.....	18
4.3.3. Levantamiento de la Nivelación.....	18
4.3.4. Cálculo de cotas del proyecto.....	18

4.3.5. Coeficientes de Regresión Múltiple...	19
- Cálculo del Centroide.....	20
- Coeficiente de Regresión Lineal....	21
4.3.6. Coeficientes de Trueba.....	23
4.3.7. Sistema de Ecuaciones Matriciales....	26
- Desarrollo de ecuaciones.....	27
V. RESULTADOS.....	32
VI. DISCUSION DE RESULTADOS.....	34
VII. CONCLUSIONES.....	36
VIII. RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFIA.....	38
ANEXOS.	

I. INTRODUCCION.

El presente trabajo se refiere a las técnicas de nivelación de tierras, cuyo propósito específico es la eliminación del microrrelieve del suelo, manteniendo la pendiente general del terreno para minimizar los costos del movimiento de tierras.

La importancia del proyecto de nivelación, radica en generar información y diseñar planos base para la ejecución de labores de nivelación que optimicen la relación agua disponible / agua aprovechable por las plantas.

El estudio de nivelación emplea técnicas convencionales usadas en los levantamientos topográficos y en el cálculo de la cubicación de terracerías.

El objetivo del estudio es el diseño de nivelación de 35.00 has., en el predio El Mezquital en el municipio de Toluimán Jalisco, así como la comparación de tres procedimientos de nivelación, empleando el método de mínimos cuadrados, con la finalidad de evaluar las bondades de éstos.

La metodología empleada se basa en el método de conservación de azimutes, así como en la nivelación por cuadrícula, el método de mínimos cuadrados para el cálculo de las rasantes de proyecto y del método de áreas - volúmenes para el cálculo de las terracerías.

ANTECEDENTES.

La abundante experiencia en trabajos de nivelación de tierras y las nuevas políticas agrícolas, que consideran los factores limitantes de las tierras, dan lugar a criterios para un mejoramiento y explotación más eficiente del recurso, ocupando un lugar relevante en la productividad de los terrenos. En relación con éstos criterios, la ciencia del mejoramiento de los terrenos, tiene que afrontar nuevos retos; uno de ellos es la investigación y elaboración de métodos que optimicen las condiciones desfavorables de los factores de la producción integrados en el medio ambiente.

La práctica demuestra que, cuando se combinan de forma favorable los factores de desarrollo de las plantas, se pueden asegurar altos rendimientos. Uno de los problemas más importantes en el mejoramiento del terreno es la explotación e introducción de métodos y técnicas de riego, que sean viables, siendo necesario en muchos casos la nivelación de tierras, tales técnicas tienden a minimizar la problemática en la distribución del agua de riego, eficientizando los trabajos y la productividad agrícola.

La nivelación de tierras es un factor de productividad sumamente importante, especialmente en zonas de riego, ya que se traduce en un mejor aprovechamiento del agua por los cultivos, siendo determinante para el fracaso o éxito en la agricultura moderna.

Un terreno bien nivelado puede recibir una lámina de agua homogénea, lo que se traduce en una germinación uniforme en toda el área y como tal, un máximo aprovechamiento de la superficie sembrada; por el contrario, una superficie desnivelada muestra una germinación irregular tiempo después de la siembra, debido a zonas de encharcamiento y lugares donde no alcanza a llegar el agua.

Debido a la problemática del microrrelieve, que se presentaba en el predio "El Mezquital" en Toluca, Jal., y a los suelos de textura franco arenosa, la aplicación del agua de riego por gravedad ocasionaba problemas de encharcamiento y distribución deficiente, por lo que era importante la nivelación de las tierras que actualmente están dedicadas al cultivo de jitomate.

Para lo anterior se dió la contratación del proyecto de nivelación, mediante el cual se pretende indicar con exactitud los movimientos de tierras en cortes y rellenos dentro del predio, para evitar la erosión de los suelos que ya se manifestaba en pequeñas cárcavas, y de la lixiviación de nutrientes y uso de láminas de agua excesivas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades.

La topografía se define como ciencia matemática que opera en pequeñas porciones de la tierra, donde se desprecian los efectos de la curvatura terrestre, la cual realiza la representación gráfica del lugar, con todos los accidentes sobre un plano, según Brambila 1922, Maciel 1974, y Montes de Oca 1986.

Los trabajos de topografía según Brambila (1922), se clasifican en:

- 1) Planimetría.
- 2) Agrimensura.
- 3) Nivelación.

Considera además que se realizan con diferentes métodos e instrumentos. Para la planimetría se requiere de la perimetría y de levantamientos de detalle.

Trueba (1971), considera que la nivelación de tierras ha sido preocupación del hombre desde la antigüedad, y así tenemos vestigios de cómo en Asia, los chinos; en América, los Aztecas y los Incas, construían sus terrazas para detener la erosión y lograr hacer agricultura con mayor eficiencia.

Brinker y Wolf (1982), definen a la topografía como "la ciencia y el arte de determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie terrestre, sobre dicha superficie y abajo de la misma", hacen hincapié en que los métodos de medición sobre el terreno son los convencionales, no así los métodos de topografía aérea y por satélite, aún cuando el uso de éstos se ha intensificado.

La importancia de la topografía radica en su uso intensivo y extensivo en muchas ramas de la ingeniería mencionando la ingeniería carretera, urbana, agrícola, etc., tanto en los proyectos de factibilidad como durante la ejecución de éstos.

2.2 Levantamientos topográficos.

Actualmente los levantamientos topográficos según Brinker y Wolf (1982), se requieren para la planeación y construcción de: carreteras, vías férreas, fraccionamientos de terrenos, obras de irrigación, etc., y para ello existen varios tipos de levantamientos, que van a depender según

sea el tipo de planeación, de los cuales se mencionan los siguientes:

- Levantamientos de control.
- Levantamientos para vías férreas.
- Levantamientos para construcción.
- Levantamientos hidrológicos.
- Levantamientos catastrales.
- Levantamientos orográficos o de configuración.
- Levantamientos de terrenos irrigables.

Poligonales.

Brambila (1922), menciona que para la perimetría con uso del teodolito, se realiza de tres formas:

- Azimuts astronómicos directos.
- Deflexiones.
- Angulo del vértice de observación.

Al comparar los tres métodos, Brambila menciona que el primer método es el más sencillo y lo recomienda para todo trabajo de perimetría.

Torres y Villate (1968), mencionan que el levantamiento de poligonales, se realiza por medio de:

- Radiaciones.
- Intersecciones.
- Poligonales.

De los cuales, el levantamiento por poligonales lo conocen por "conservación de azimutes", que lo recomiendan cuando la extensión del terreno es grande y/o con obstáculos; y especifican que el error de cierre en ángulo de la poligonal, debe ser:

Para levantamientos de poca precisión: $e = a n$.
Para levantamientos de alta precisión: $e = a \sqrt{n}$.
Donde:

- e.- Error de cierre en ángulo.
- a.- La aproximación del teodolito.
- n.- Número de vértices de la poligonal.

El trazo de una poligonal según Brinker y Wolf (1982), es la operación de establecer estaciones de la misma y hacer las mediciones necesarias; consideran que es uno de los procedimientos fundamentales y más utilizados en la práctica para las posiciones relativas de puntos en el terreno, se usan ampliamente en levantamientos de control, para construcción, de configuración, etc.

Además mencionan que para la medición de ángulos o líneas de las direcciones de las poligonales se usan los métodos siguientes:

- Rumbos.
- Angulos interiores.
- Angulos de deflexión.
- Angulos a la derecha.
- Por azimuts.

Yemanu y Cardoza (1983), Montes de Oca (1986), indican que las poligonales se pueden realizar a través de:

- Angulos interiores.
- Deflexiones.
- Conservación de azimutes.

En el presente trabajo se construyó la poligonal, haciendo uso del método de conservación de azimutes, el cual Yemanu y Cardoza señalan que es un método rápido y eficiente, además indican que para evitar error de arrastre de una estación a otra, es necesario llevar flojo el tornillo de precisión del movimiento general.

2.3 Nivelación.

Según Brambila (1922), Madrigal e Higashida (1965), definieron a la nivelación como parte de la topografía, que tiene por objeto presentar la superficie del terreno, o bien para controlar en el terreno las elevaciones de los diversos elementos de un proyecto; para este caso, con fines de riego.

2.3.1. Elementos de la Nivelación.

Los elementos que generalmente se deben tomar en cuenta según SCS del USDA (1977), citado por Méndez (1983), son: clima, suelo (profundidad y textura), pendiente, método de riego y plantas a cultivar.

El clima, a través de la precipitación, impone ciertos límites cuando se ajusta la pendiente, de tal forma que se debe proporcionar un desagüe adecuado o prevenir el arrastre del suelo. En cuanto al suelo es necesario considerar la textura, la cual influye en la pendiente propuesta y longitud del surco.

La profundidad, es importante porque se podrían en un momento dado, hacer cortes que eliminarían la capa del suelo fértil; es necesario entonces, buscar la mayor aproximación de la superficie proyectada al relieve existente.

Aidarov, Golovanov y Mamaev (1985), consideraron que suelos con horizonte húmico de gran espesor, permiten un corte de hasta 20 a 25 cm; en suelos con espesores pequeños, se permite un corte de hasta 15 cm. En los suelos que se corta el horizonte húmico, disminuye su fertilidad reflejándose en el desarrollo de las plantas.

La pendiente es necesaria para darle un control adecuado al agua, tratando de evitar la erosión hídrica y buscando una mejor distribución de la humedad en el suelo.

Cuando varios métodos de riego van a ser usados en un mismo terreno, deberán satisfacerse los requisitos del método más limitado, en éste caso el de gravedad. Deberán tenerse en cuenta las normas de conservación del suelo; se acepta que lo más apropiado para la producción agrícola, es una superficie con un grado de pendiente muy cercano a la horizontalidad.

Es necesario conocer el tipo de plantas a cultivar para saber el método de riego a seleccionar, ya que esto nos dará idea sobre el costo de la nivelación.

2.3.2 Métodos de Nivelación.

Brambila (1922), Torres y Villate (1968), mencionan que la nivelación se puede realizar mediante métodos directos o indirectos; los métodos indirectos son:

- a) Barométrico.
- b) Trigonométrico.

El método directo o nivelación topográfica, requiere de niveles y es la de mayor uso y precisión, los trabajos de nivelación se pueden ejecutar de dos maneras:

- a) Nivelación simple, que se aplica cuando la diferencia de altura entre dos puntos puede determinarse con una estación y una observación.
- b) Nivelación compuesta, que se aplica cuando hay necesidad de hacer varias estaciones para determinar la diferencia de altura entre dos puntos.

En la nivelación compuesta se usa generalmente el método americano, que consiste en hacer lecturas intermedias entre dos puntos extremos.

El método aplicado en el presente trabajo fué el de nivelación directa compuesta, empleado cuando el terreno es bastante quebrado ó cuando las visuales resultan demasiado largas (>300 m).

Se toman una serie de nivelaciones simples que se van ligando por medio de los puntos de cambio que son B.N. (Bancos de Nivel) transitorios.

Según Madrigal e Higashida (1965) y Torres y Villate (1968), indicaron que por la forma de organizar la combinación de las nivelaciones, se han clasificado en tres métodos:

- 1) Secciones.
- 2) Radiaciones.
- 3) Cuadrícula.

Cuadrícula.

En éste trabajo se empleó el método de la cuadrícula que se utiliza según Torres y Villate, cuando los terrenos son extensos y presentan variaciones considerables en su relieve.

Según Maciel (1974), Brinker y Wolf (1984), este método consiste en establecer una red de cuadros de 5,10 ó 20 m. dependiendo de la extensión ó precisión requerida en la nivelación.

Según Montes de Oca (1986), considera que el levantamiento de zonas extensas que requieran configuración y detalle, como el caso de estudios de zonas de riego, donde el terreno sea relativamente plano, la cuadrícula es uno de los métodos que facilita y ordena el trabajo de "rellenar" con configuración toda el área.

2.3.3 Cálculo de Rasantes.

Según Marr (1959), al nivel al que se levanta o baja la superficie en cada estaca del cuadrículado se le denomina rasante, se utilizan diversos métodos para calcularla, usando cualquiera de ellos, se puede delinear una nueva superficie del terreno que será regada perfectamente, los métodos son los siguientes:

- 1.- Mínimos cuadrados y perfiles promedios.
- 2.- Corte Transversal.
- 3.- Perfil de doble sentido.

Sin embargo, el SCS del USDA (1977), citado por Méndez en (1983), considera que existen cuatro métodos básicos, cada uno de ellos con variaciones propias para realizar el diseño de la nivelación, los cuales son:

- 1.- Método Plano.
 - Método plano.
 - Método de mínimos cuadrados.

- 2.- Método de Perfil.
 - En dos direcciones.
 - En una dirección.
- 3.- Método de Comprobación de Proyectos.
- 4.- Método de Rectificación de Curvas de nivel.

Según Aidarov et al (1985), la nivelación se proyecta y se diseña por medio de diferentes métodos, en los cuales todos ellos se reducen a la determinación de los cortes y rellenos del suelo necesarios en diferentes puntos del área nivelada, con la condición de que haya un balance en el trabajo de corte con el trabajo de relleno (con la condición de que el volúmen del relleno supere en un 10 a 12 % al volúmen del corte).

Mínimos Cuadrados.

Marr (1953), menciona que el método de mínimos cuadrados es un procedimiento estadístico para obtener la mejor determinación de la relación de un grupo de puntos y que ha sido adaptado al problema de ajustar un plano, a las diferentes elevaciones que delinean la superficie irregular de un terreno de cualquier forma; basándose en las pendientes de las líneas medias, en las direcciones de los ejes de coordenadas proyectados.

Trueba (1971), menciona y hace uso de los mínimos cuadrados a través de modelos matemáticos, estableciendo valores de coeficientes de regresión, por medio de tablas modelo (con cierto número de estacas en las abscisas y en las ordenadas), de tal manera que los bloques del terreno a nivelar se ajusten a alguno de los modelos preparados por él y posteriormente obtener la ecuación del plano proyecto; esto es, empleando los Coeficientes de Trueba para terrenos de forma cuadrada o rectangular que se ajusten a un estacado mínimo de 4x4 (columnas y filas), hasta de 31x31 variando tanto las filas como las columnas.

Según Torres (1981), considera que el método de mínimos cuadrados, forma un plano que presenta el mejor ajuste para una nivelación económica y productiva, el cual determina las pendientes N-S y W-E, empleando las siguientes ecuaciones de regresión lineal:

$$Pns = \frac{\sum E \bar{Y} - \frac{\sum E \sum \bar{Y}}{n}}{\sum E^2 - \frac{(\sum E)^2}{n}}$$

$$P_{WE} = \frac{\frac{\sum E \bar{X}}{n}}{\frac{\sum E^2 - \frac{(\sum E)^2}{n}}{n}}$$

Donde:

- P.- Pendiente ajustada para N-S u W-E.
- E \bar{Y} .- Producto distancia estación, promedio cotas Y.
- E \bar{X} .- Producto distancia estación, promedio cotas X.
- E.- Número estaciones en cada sentido.
- n.- Número de estacas según sentido N-S, W-E.

Resultando la ecuación general para cualquier punto que desee calcularse, de forma:

$$P_{XY} = 0 + (P_{NS} * X_P) + (P_{WE} * Y_P)$$

Donde:

- 0.- Cota de origen.
- P,X.- Pendiente N-S.
- P,Y.- Pendiente W-E.

Topete (1992), en comunicación directa, indica que una manera rápida y eficiente de la aplicación del método de mínimos cuadrados es a través del procesamiento digital, empleando hoja de cálculo, llegando inclusive a estimar los volúmenes de terracerías.

2.4. Cubicación de Tierras.

Brambila (1922), señala que el cálculo de las terracerías, se puede realizar por tres procedimientos:

- Cálculo por promedio de áreas.
- Cálculo por área media.
- Cálculo por la forma prismoidal.

Siendo el tercero el más laborioso, pero más exacto. En México, el más usual, es el primero de ellos, debido a la mano de obra barata y el bajo valor de los terrenos; explicó ampliamente la cubicación, pero para cortes y rellenos de canales o caminos, empleando el método de secciones transversales y distancias entre éstas, para obtener promedios, empleando la ecuación:

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

Marr (1953), menciona que la cubicación es la base principal para estimar las necesidades del equipo y gastos; si el trabajo se va a pagar según los metros cúbicos de excavación, ésta cubicación será exactamente calculada mediante la fórmula prismoidal, pero también se obtiene un grado de exactitud que se garantiza por el uso de la fórmula del promedio de áreas de los extremos, que es una forma menos complicada para éste tipo de cálculos.

La cubicación de tierras según Brinker y Wolf (1982), Davis y Kelly (1984), tiene por objeto determinar los volúmenes de las terracerías, en un plano topográfico, que tenga las líneas de nivel antes y después de la nivelación.

Méndez (1983), menciona que se pueden calcular a través de:

- Prismoide.
- Cuatro Vértices.
- Promedio de área.
- Plano horizontal.

De las cuales el SCS del USDA (1977), citado por Méndez hace una comparación de los cuatro métodos obteniendo resultados semejantes, por lo que el uso de cualquiera de ellos, en términos prácticos, resultan con una eficiencia adecuada.

2.4.1 Abundamiento y Compactación.

Según Trueba (1971), considera que en términos generales, el volumen excavado, el transportado y el de relleno, no son iguales, debido principalmente a la disgregación y cambio de compactación de los materiales, cuyo grado de abundamiento y compactación dependen del tipo de suelo que se trate.

El incremento en los datos de cortes y rellenos se hará en función del tipo de suelo y a juicio del Ing. Agrónomo, considerando que los suelos arcillosos se compactan más que los arenosos, por lo que es necesario considerar el coeficiente de compactación.

Caracterizando a los suelos de la zona de estudio, como de textura franco arenosa, permeables y poco compactos, se estableció un coeficiente de compactación entre el 15 y 20 %, ($C = 0.18$ %); esto es, que por cada metro cúbico excavado se tiene 0.82 m^3 de relleno.

Por lo tanto el aumento en los datos de corte por compactación, está dado por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum c(K)}{n_c}$$

El corte promedio se ajusta, por la proporción del número de estacas de las áreas de corte y relleno:

$$\frac{n_r}{n_c} C = C_a$$

Donde:

- C .- Corte promedio por compactación (cm).
- C_a.- Corte promedio ajustado (cm).
- n_c.- Número de estacas con datos de corte.
- n_r.- Número de estacas con datos de relleno.
- (K).- Coeficiente de compactación.
- Σc.- Suma total de los datos de corte.

En términos prácticos, el incremento en los datos de corte y de relleno varía de 2.0 cm. para suelos arenosos y hasta 4.0 cm. para suelos arcillosos.

Torres (1984), menciona que, normalmente se requiere de un porcentaje más de corte que de relleno, dependiendo de la clase textural del suelo, en promedio acostumbra calcular 30 % más de corte que de relleno.

Sánchez G. (1991), en comunicación directa, menciona que el factor de abundamiento varía del 20 al 35 % según sea la textura del suelo, siendo el porcentaje menor para suelos arenosos y el porcentaje mayor para suelos arcillosos.

2.4.2 Movimiento de Tierras.

Según Trueba 1971 considera que el uso de equipo inadecuado para la ejecución de éste tipo de obra, resulta antieconómico tanto como para el que contrata como para el que la ejecuta, el trabajo consiste en tres etapas:

- Excavación.
- Acarreo.
- Depósito.

Comercialmente se debe de adquirir la maquinaria que pueda ejecutar las tres etapas, como la motoescrepa o las mototrailas que tienen una fuente de energía ó sea un motor que forma parte del diseño de la máquina.

III OBJETIVOS.

El proyecto ejecutivo tiene como objetivo principal, elaborar los planos de rasantes para nivelación de 35.00 has. de terrenos en terrazas de río, así como la cubicación de las terracerías a movilizar y la comparación de tres procedimientos para el cálculo de las rasantes, aplicando el método de mínimos cuadrados.

IV MATERIALES Y METODOS.

4.1 Materiales de Campo y Gabinete.

Material de campo.

El terreno a nivelar abarca una superficie de 35.00 has. la cuál fué señalada en la carta topográfica E 13 - B 24, con escala 1:50,000 editada por INEGI (Fig. 1).

Esta área se ubica en las cercanías de la localidad de Tolimán, en el municipio de Tolimán, Jal., los trabajos de campo se realizaron durante el mes de mayo de 1991.

El equipo topográfico fue: Teodolito Rossbach, nivel Wild montado, estadales, cinta metálica de 30 m., balizas, estacas, marros, marcadores de aceite, libretas de nivel y tránsito.

Material de Gabinete.

Se utilizó computadora gama de 1.2 Kb, con disco duro de 20 Mb, equipo de dibujo Leroy K+E, papel albanene 90-95 grs., impresora Laserjet HP/III, programas de cómputo Lotus 123, Works y MS-DOS V 5.0; equipo y material de oficina.

4.2 METODOLOGIA.

La metodología de campo consistió en la aplicación del método de conservación de azimutes, para el levantamiento y configuración del predio. Se realizó una cuadrícula con los linderos que permitan el uso de líneas guías de mayor longitud, construyéndose una retícula a 90° con estacado a cada 20 m. de equidistancia.

De igual forma se hicieron trazos auxiliares a 90°, perpendiculares a las líneas guía; efectuándose los cadenamientos con cinta metálica de 30 m, alineados con tránsito y la nivelación de puntos con nivel montado.

Se tomaron referencias de apoyo, indicando los Bancos de Nivel respectivos. Para la identificación de las estacas, se usó una nomenclatura de dígitos y literales; señalando su número o clave de control, el cadenamiento correspondiente y posteriormente al cálculo, se marcó tanto la cota del terreno natural como la cota de proyecto, indicándose el corte o relleno. (Plano No 1).

En el trabajo de gabinete se procedió a subdividir el predio en bloques rectangulares, delimitando el bloque según los cambios de pendiente general del terreno; de tal manera que el sentido de la pendiente de los bloques es diferente entre sí; además cada bloque nos muestra pendientes dominantes pero homogéneas dentro de éste, posteriormente tomando en cuenta la superficie representativa de cada estaca, se obtiene la ecuación del plano que constituirá la superficie a nivelar.

Para la obtención del plano proyecto se utilizó el método de mínimos cuadrados, resolviendo el sistema de ecuaciones por medio de la inversión de matrices, quedando:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum X & \sum Y \\ \sum X & \sum X^2 & \sum XY \\ \sum Y & \sum XY & \sum Y^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum XZ \\ \sum YZ \end{bmatrix}$$

Donde:

- n .- Número de estaca.
- X .- Abscisa de una estaca.
- Y .- Ordenada de una estaca.
- Z .- Cota de la estaca calculada.

En el plano de proyecto, aparecen referenciados los siguientes datos:

- + 05.....(-) corte ó (+) relleno en cm.
- 94.00.....Cota calculada de proyecto.
- 93.95.....Cota de terreno natural.
- A 01.....Identificación del estacado.

El proceso de cálculo se llevó a cabo mediante el uso de computadora, empleando el sistema MS-DOS; se utilizó el método de matrices con el programa de Lotus-123, donde se procesaron los datos de campo una vez subdividido en bloques el terreno a nivelar.

Finalmente se presentan los cuadros de datos correspondientes a los bloques nivelados, así como la estimación de los volúmenes parciales y totales de terracerías a mover.

Se construyó un plano conteniendo la delimitación del predio, cotas del terreno natural, cotas de proyecto, datos de cortes y rellenos; así como un plano con la distribución de canales y drenes, indicandose la dirección del riego, las curvas a nivel del terreno nivelado y la subdivisión del predio en bloques.

4.3 DESARROLLO DEL METODO.

4.3.1 Localización.

El sitio de proyecto se localiza dentro de la Región Hidrológica No 16, denominada Cuenca Armería-Coahuayana, siendo la corriente de aprovechamiento para el proyecto, el río Armería.

El área que comprende el sitio de proyecto se localiza a 1.2 Km al suroeste de la localidad de Tolimán, Jal. Siendo las coordenadas geográficas:

Latitud N: 19° 35' 00"
Longitud W: 103° 56' 15"
Altitud media: 608 m.s.n.m.

El área de las tierras a nivelar, abarca una superficie de 35.00 has. la cual se señala en el croquis de localización de la figura 1, basado en la carta topográfica E 13 B-24, con escala 1:50,000 editada por INEGI.

4.3.2 Establecimiento de la Poligonal.

El levantamiento topográfico para la configuración del predio, se basó en el método de conservación de azimutes, donde se referenció el banco de nivel (BN) fuera del área de trabajo, sobre el canal principal de riego del predio con referencia de cota arbitraria 100.00m.

La poligonal está conformada por 10 vértices, tomando referencias de la configuración del polígono, en el límite del predio que es un lienzo de alambre. Enseguida se muestra el cuadro de construcción de la poligonal y en el plano se muestran las referencias particulares de la misma.

CUADRO No. 1
CONSTRUCCION DE LA POLIGONAL PREDIO EL MEZQUITAL.

EST.	P.V.	Azimut	Dist.	COORDENADAS	
				Y	X
0	1	89° 13'	380.0	326.0	1130.0
1	2	180° 00'	100.0	100.0	820.0
2	3	90° 00'	360.0	40.0	740.0
3	4	270° 00'	180.0	327.6	522.0
4	5	90° 00'	300.0	220.0	377.8
5	6	79° 51'	170.0	462.0	199.0
6	7	135° 56'	162.0	538.0	351.0
7	8	223° 32'	222.0	488.8	505.6
8	9	155° 16'	210.0	586.0	705.4
9	0	126° 12'	350.0	589.0	910.4

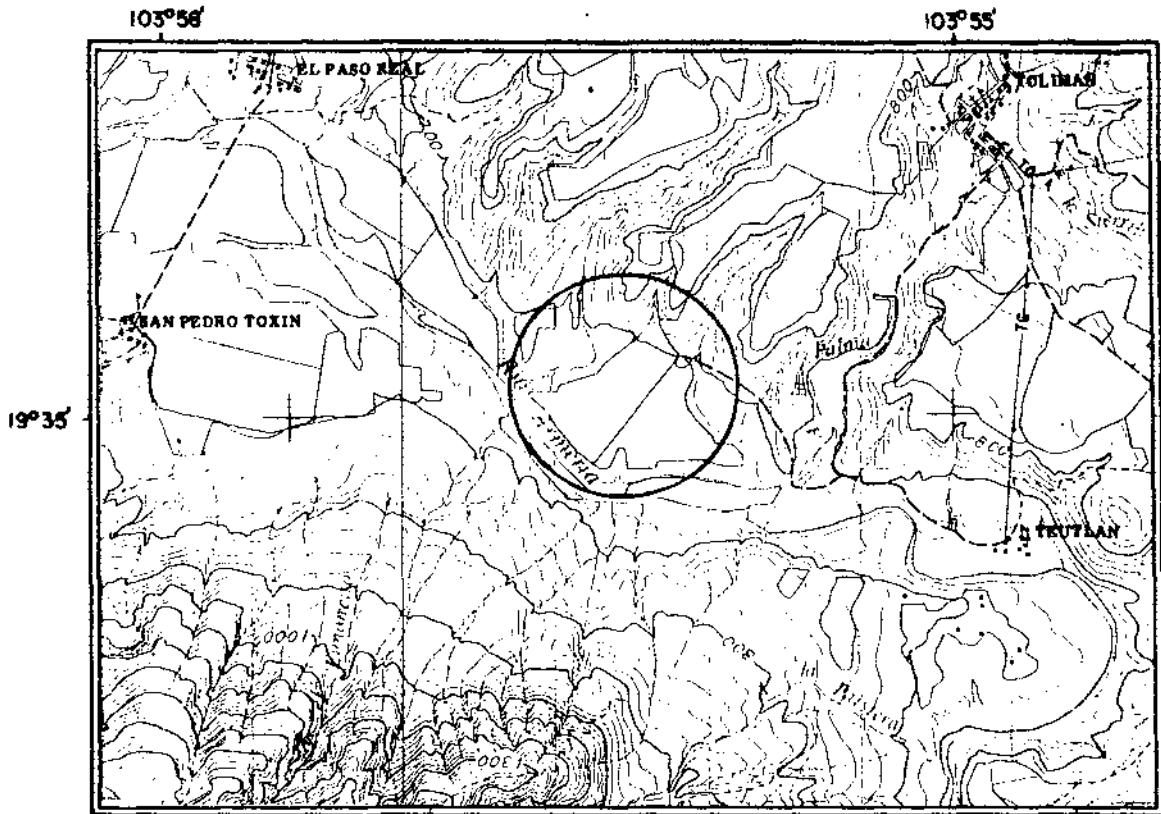
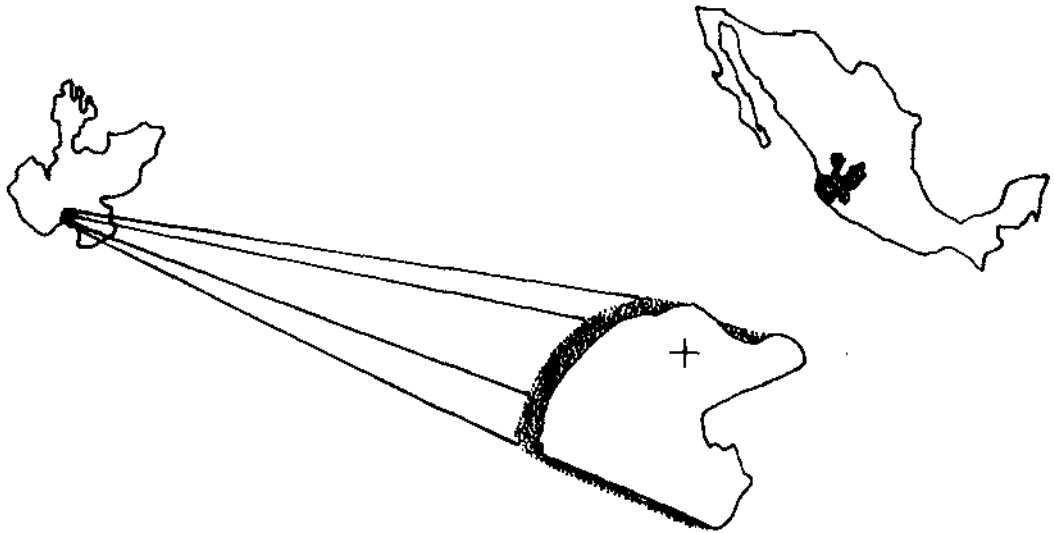


Fig. 1.- Croquis de localización

La escala de presentación gráfica de la poligonal es de 1:2000; comprobándose el cierre de la misma, al coincidir el extremo del último lado, con el origen del primer lado.

Se efectuó la compensación de errores considerando el error máximo admisible o "Tolerancia" para trabajos de precisión mediante la ecuación:

$$E_a = a \sqrt{n}.$$

Donde:

- Ea.- Error de cierre en ángulo.
- a.- Aproximación del teodolito (" ").
- n.- Número de vértices de la poligonal.

El ajuste respectivo se hizo en campo comprobando el error angular de cierre en la estación de inicio, desde el azimut final coincidió con el azimut inicial.

4.3.3 Levantamiento de la nivelación.

Una vez realizado el levantamiento de la poligonal del área, se procedió a la realización de una cuadrícula con los linderos que permitieran el uso de líneas guías de máxima longitud, con las cuales se construyó una retícula a 90° estacando las vértices de ésta, a una distancia de 20 m entre los vértices.

Debido a la irregularidad del predio, hubo necesidad de hacer trazos auxiliares también a 90°, los cadenamientos entre estacas se hicieron con cinta metálica, alineadas con tránsito y procediendo a la nivelación de los puntos, con nivel montado (Fig. 2). Para la identificación del estacado, se empleó una nomenclatura de dígitos y literales (Plano No. 1).

Cada estaca fué marcada con su clave de control y el cadenamiento correspondiente, como se marca en la figura No. 3. Posteriormente, una vez efectuado el estacado y recabados los datos para la nivelación, se procedió al cálculo de cotas del terreno natural.

4.3.4 Cálculo de cotas del proyecto.

Con los datos del levantamiento topográfico, se procede a calcular las cotas de proyecto y los volúmenes de cortes y rellenos que deberán hacerse en el terreno, con la finalidad de nivelar el predio conservando la pendiente general del terreno, con lo que se procura un mínimo movimiento de tierras a un costo bajo y en un tiempo relativamente corto.

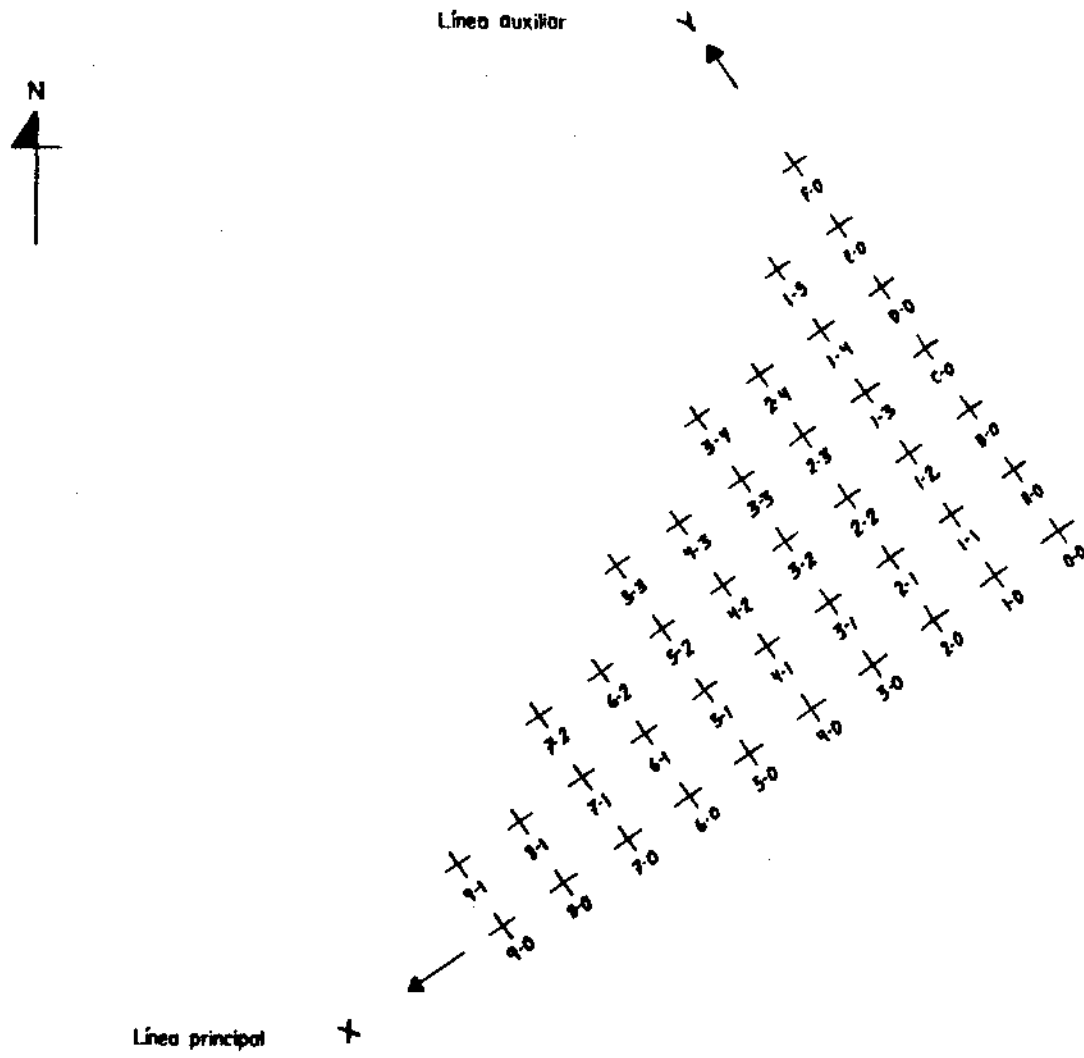


Fig. 2.- Nomenclatura del estacado.

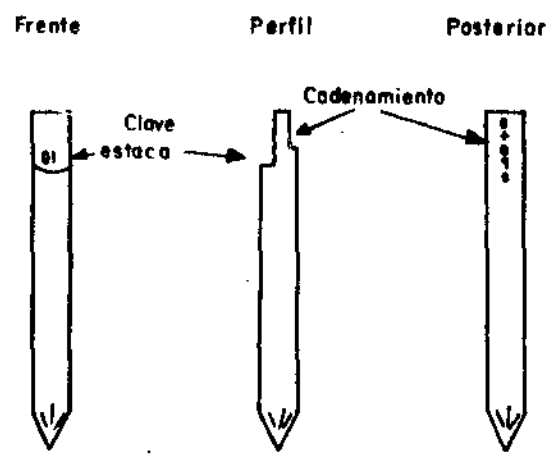


Fig. 3.- Marcaje del estacado

El procedimiento general, empleado para calcular los valores de las rasantes de proyecto de cada estaca, que representan una área de 400 m², se denomina método de mínimos cuadrados y se puede desarrollar a través de tres formas que señalaremos como:

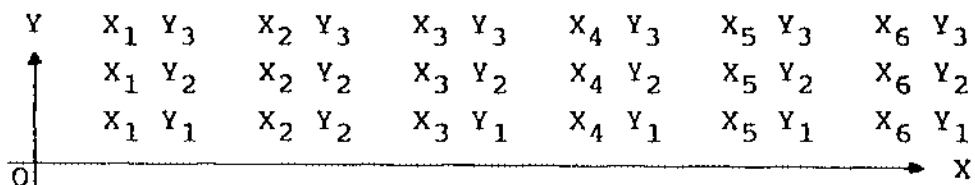
- Coeficientes de regresión múltiple.
- Coeficientes de trueba.
- Sistema de ecuaciones simultáneas matriciales.

4.3.5 COEFICIENTES DE REGRESION MULTIPLE.

Este procedimiento utiliza la aplicación de los métodos estadísticos, donde se estiman coeficientes de regresión para dos planos perpendiculares de las rasantes de proyecto, las cuales se distribuyen en torno a un eje central denominado "centroide".

Se inicia, ordenando el estacado del terreno ó bloque de terreno a nivelar, en base a un cuadrante de coordenadas en 'X' y 'Y' ó bien, tomando como referencia puntos cardinales como son N-S y E-O.

Para el desarrollo del procedimiento, tomaremos como ejemplo, el bloque B-6 del plano No 1, cuya secuencia es como sigue:



Sustituyendo las filas (Y) y las columnas (X), las estacas del bloque No 6, quedan referenciadas de la siguiente forma:

CUADRO No. 2.
NOMENCLATURA DE ESTACADO.
BLOQUE B - 6.

Y ₃	13	23	33	43	53	63
Y ₂	12	22	32	42	52	62
Y ₁	11	21	31	41	51	61
0	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆

Cálculo del Centroide.

Posterior al ordenamiento del estacado, se inicia el cálculo para la determinación del centroide ó punto central del bloque, a partir del cual se efectúa el balance de las rasantes de proyecto. Se toman como referencia los siguientes datos del bloque o predio a nivelar:

$$\begin{array}{l} \text{Estacas en } Y_i.- n_y = 3; \quad E_y = 1+2+3 = 6 \\ \text{Estacas en } X_i.- n_x = 6; \quad E_x = 1+2+3+4+5+6 = 21 \\ \text{Total estacas.- } N = 18 \end{array}$$

Enseguida se estima la posición del centroide respecto a los ejes de coordenadas X,Y, a partir del promedio de las estacas:

$$\bar{E}_x = \frac{21}{6} = 3.5 \quad y \quad \bar{E}_y = \frac{6}{3} = 2$$

Por lo tanto la posición del centroide (Ce) será:

$$Ce = 3.5_x, 2_y$$

Una vez obtenido el centroide, se procede al cálculo de la ecuación de regresión lineal, para lo cual se requieren las cotas del terreno natural, de las estacas del bloque mencionado, las que se representan en el cuadro No 3.

Como se observa en éste cuadro, se obtuvieron los promedios parciales tanto de las filas como de las columnas, así como la sumatoria y la media general de las observaciones; valores usados en la sustitución de las variables de las ecuaciones de los coeficientes de regresión B_0 y B_1 .

Finalmente se obtiene una ecuación de regresión lineal múltiple, con dos variables, que nos representan las rasantes de proyecto en dos planos perpendiculares, los que basculan sobre el centroide; el modelo de regresión propuesto es:

$$\hat{Z} = B_0 + B_1 (X) + B_2 (Y)$$

Donde:

- B_0 .- Ordenada al origen ó "centroide" ajustado.
- B_1, B_2 .- Coeficientes de regresión de los planos de proyección.
- x, y .- Representan la posición de una estaca sobre el eje de coordenadas cartesianas.
- \hat{Z} .- Cota estimada de proyecto, de la estaca correspondiente.

CUADRO No. 3
DISTRIBUCION DE ESTACAS Y COTAS DEL TERRENO NATURAL
BLOQUE -6

X	1	2	3	4	5	6	EYi.	Yi.
Y								
3	89.43	89.33	89.20	89.15	89.12	89.06	535.29	89.22
2	89.38	89.26	89.01	89.06	89.05	88.90	534.66	89.11
1	89.20	89.10	88.54	88.69	88.86	88.95	533.34	88.89
EX.j	268.01	267.69	266.75	266.90	267.03	266.91	EX. = 1,603.29	
\bar{X}_j	89.34	89.23	88.92	88.97	89.01	88.97	$\bar{X}_j = 89.07$	

DONDE :

- E.- REPRESENTA LA ESTACA EN LAS ORDENADAS O ABCISAS
- X.- REPRESENTA EL ORDEN DE LA ESTACA EN EL EJE DE LAS ABCISAS
- Y.- REPRESENTA EL ORDEN DE LA ESTACA EN EL EJE DE LAS ORDENADAS
- Z.- REPRESENTA LA COTA DEL TERRENO NATURAL

$X_1 \quad Y_1$
 $X_2 \quad Y_2$
 $X_3 \quad Y_3$

[Faint handwritten notes and diagrams, possibly showing a grid or coordinate system]

Coeficientes de regresión lineal B₁ y B₂.

Partiendo del supuesto de que una variable depende de otra independiente, la función se representa como:

$$Y = f (X)$$

Por lo tanto, una cota del terreno, esta dada por la función:

$$Z = f (X, Y)$$

Con la nomenclatura del estacado (Cuadro No 2), así como con los datos de las cotas del terreno natural, representadas por las estacas del bloque a nivelar (cuadro No 3), se inicia la sustitución de las variables que conforman las ecuaciones de los coeficientes de regresión:

$$\hat{B}_1 = \frac{\sum(\bar{X}_j \cdot E_x) - \frac{(\sum E_x)(\sum X_j)}{n_x}}{\sum E_x^2 - \frac{(\sum E_x)^2}{n_x}}$$

Sustituyendo:

$$\hat{B}_1 = \frac{1869.23 - \frac{(21)(534.43)}{6}}{91 - \frac{(21)^2}{6}} = \frac{1869.23 - 1870.43}{17.5} = -1.2$$

Por lo tanto:

$$\hat{B}_1 = -0.0698 \text{ (Pendiente de rasante en X ó E-O).}$$

$$\hat{B}_2 = \frac{\sum(\bar{Y}_i \cdot E_y) - \frac{(\sum E_y)(\sum Y_i)}{n_y}}{\sum E_y^2 - \frac{(\sum E_y)^2}{n_y}}$$

Sustituyendo:

$$\hat{B}_2 = \frac{534.74 - \frac{(6)(267.21)}{3}}{14 - \frac{(6)^2}{3}} = \frac{534.74 - 534.42}{14 - 12} = \frac{0.325}{2}$$

Por lo tanto:

$$\hat{B}_2 = 0.1625 \quad (\text{Pendiente de rasante en Y ó N-S}).$$

$$\hat{B}_0 = \bar{X}.. + B_1 (\bar{E}_X) - B_2 (\bar{E}_Y)$$

Sustituyendo:

$$\hat{B}_0 = 89.07 - (-0.0698)(31.5) - (0.1625)(2)$$

Por lo tanto:

$$\hat{B}_0 = 89.00 \quad (\text{Cota centroide ajustado}).$$

Con los datos anteriores, se establece la ecuación generalizada para la estimación de las cotas de las rasantes de proyecto, del terreno o bloque a nivelar:

$$\hat{Z} = B_0 + B_1 (X) + B_2 (Y)$$

Sustituyendo:

$$\hat{Z} = 89.00 + (-0.0698)(X) + 0.1625 (Y)$$

Una vez obtenidas las cotas de proyecto, por diferencia con las del terreno natural, se calculan los cortes y rellenos, para luego estimar las terracerías, considerando el área de influencia de cada estaca, que en este caso es de 400 m² (20 m x 20 m).

4.3.6 COEFICIENTES DE TRUEBA.

Este procedimiento se basa en la aplicación de modelos matemáticos de mínimos cuadrados, haciendo uso de coeficientes y de tablas preparadas por el autor, las cuales consideran un número variable de estacas en las abscisas y en las ordenadas.

El desarrollo del método, implica la obtención de una ecuación empírica, que representa el plano que constituirá la superficie resultante del proceso de nivelación; la ecuación de regresión queda establecida de la siguiente forma:

$$\hat{Z} = A + B (X) + C (Y)$$

Donde:

- Z.- Cota estimada (m).
- A; B; C.- Coeficientes de regresión.
- X, Y.- Coordenadas de estacas.

El método de mínimos cuadrados, se determina por la siguiente expresión: $(A + BX + CY - Z)^2 = \text{Mínimo}$; de tal forma que el procedimiento básico es el mismo que se define en el método de Coeficientes de Regresión, sin embargo, a diferencia de éste en que se deben calcular los coeficientes, Trueba los propone en base al modelo de bloque a nivelar y al número de estacas del bloque.

Debido a lo anterior, Trueba genera tablas de coeficientes y número de combinaciones de estacado, en bloques de diferente tamaño. Las tablas determinan el valor del centroide, así como los coeficientes característicos obtenidos para un bloque de 4 x 4 estacas, hasta un bloque de 31 x 31 estacas; en este caso varían tanto las filas como las columnas.

Como particularidad del método, es el hecho de que no se requiere de la elaboración del plano topográfico con las curvas de nivel del terreno natural, sino que se va directamente al plano de proyecto con isolíneas del terreno nivelado.

Dadas las características del bloque No 6 (3x6) considerado como ejemplo en el método de coeficientes de regresión, anexamos una hilera más para poderlo desarrollar por el método de coeficientes de trueba, dado que los coeficientes inician con un cuadrado de 4x4 (Cuadro No 4).

Para el desarrollo del método contamos tanto con las tablas de coeficientes de trueba del cuadro 4, como con los datos del cuadro 5 que contiene las cotas del terreno natural del bloque 6 a nivelar.

En el cuadro 5, se desglosan las sumas algebraicas de filas y columnas, resultando como valores finales:

Suma algebraica de filas.- $S_{af} = 4.57,$

Suma algebraica de columnas.- $S_{ac} = - 5.57$

Posteriormente de las tablas se obtienen los coeficientes característicos de las hileras (C_i) y de las columnas (C_L) (modelo 4x6), donde:

$$C_i = \frac{1}{60}; \quad C_L = \frac{1}{140}$$

Obtención de coeficientes de regresión:

$$C_Y = \frac{1}{60} (S_{af}); \quad C_Y = \frac{4.57}{60} = 0.0761666$$

$$B_X = \frac{1}{140} (S_{ac}); \quad B_X = \frac{- 5.57}{140} = - 0.0397857$$

Por último se obtiene el coeficiente A, deducido a partir de las coordenadas (E_x, \bar{y}) y cota del centroide ó media general (C_e) y de los valores de B_X y C_Y :

$$C_e = 89.108333$$

$$\bar{E}_X = \frac{\text{sumas estaciones en X}}{\text{No de estaciones en X}} = \frac{0+1+2+3+4+5}{6} = 2.5$$

$$\bar{E}_Y = \frac{\text{sumas estaciones en Y}}{\text{No de estaciones en Y}} = \frac{0+1+2+3}{4} = 1.5$$

CUADRO No. 5
DISTRIBUCION DE COEFICIENTES Y COTAS DEL TERRENO NATURAL

	-3	-2	-1	1	2	3	EYi.	Coef.	SUMA ALGEBRAICA
2	89.37	89.30	89.20	89.16	89.19	89.09	535.31	2 = 1,070.62	
1	89.43	89.33	89.20	89.15	89.12	89.06	535.29	1 = 535.29	1,605.91
-1	89.38	89.26	89.01	89.06	89.05	88.90	534.66	-1 = (534.66)	4.57
-2	89.20	89.10	88.54	88.69	88.86	88.95	533.34	-2 = (1,066.68)	(1,601.34)
EXi.	357.38	356.99	355.95	356.06	356.22	356.00	EX.. =	2,138.60	
Coef.	-3	-2	-1	1	2	3			
	(1,072.14)	(713.98)	(355.95)	356.06	712.44	1,068.00			$\bar{X}.. = 89.10$
		(2,142.07)			2,136.50				N = 24
SUMA ALGEBRAICA				(5.57)					

Ecuación generalizada:

$$\hat{z}_{Ce} = A + B(E_X) + C(E_Y)$$

Sustituyendo:

$$89.108333 = A - 0.0397857 (2.5) + 0.0761666 (1.5)$$

$$A = 89.108333 + 0.0994642 - 0.1142499$$

Por lo tanto:

$$A = 89.093547 \text{ (Centroide ajustado).}$$

Obteniéndose la ecuación para la estimación de las rasantes ó cotas del plano proyecto:

$$\hat{z} = 89.093547 - 0.0397857 (X) + 0.0761666 (Y).$$

Donde:

Z.- Cota estimada (m).
X, Y.- Coordenada de estaca.

4.3.7 SISTEMA DE ECUACIONES SIMULTANEAS MATRICIALES.

Este procedimiento aunque puede ser desarrollado manualmente, debido al tiempo que se utilizaría en la inversión y multiplicación de matrices, es más adecuado mediante el uso de un computador digital, empleando una hoja de cálculo.

El presente trabajo se desarrolló por éste procedimiento, ahorrando con ello tiempo y sobre todo evitando errores de cálculo e incrementando la precisión en la obtención de los coeficientes de regresión, así como el resultado casi inmediato de los volúmenes de corte y relleno del cálculo de terracerías.

Como se señaló anteriormente el terreno (35.0 has.) fué dividido en bloques de diferente tamaño, tomando en cuenta la homogeneidad del bloque en su pendiente general, evitando el obtener datos de corte y relleno exagerados; de tal manera que el sentido de la pendiente general de los bloques es diferente entre sí.

Lo anterior dió como resultado la obtención de seis bloques, cuyos tamaños varían desde $3 \times 6 = 18$ estacas, siendo el menor (B-6), hasta bloques de $19 \times 13 = 247$ estacas, que es el mayor (B-00).

El proceso de cálculo se desarrolló empleando una computadora con sistema MS-Dos, resolviendo las ecuaciones matriciales con la hoja de cálculo de LOTUS-123; generando para cada bloque una ecuación de regresión que estima el plano de las rasantes que constituirá la superficie nivelada, el modelo generalizado es:

$$Z = B_0 + B_1(X) + B_2(Y)$$

Los términos de la ecuación son definidos con el procedimiento para la estimación de Coeficientes de Regresión.

La solución del modelo se encuentra a partir del siguiente sistema de ecuaciones simultáneas:

$$\begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum x & \sum y \\ \sum x & \sum x^2 & \sum xy \\ \sum y & \sum xy & \sum y^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum XZ \\ \sum YZ \end{bmatrix}$$

Donde:

$B_{0,1,2}$.- Coeficientes de regresión.

n .- Número de estacas.

x .- Abscisa de una estaca y ,

y .- Ordenada de una estaca.

Referentes a un sistema de ejes cartesianos que pasan por la primera hilera y la primera columna de estacas.

Z .- Cota de terreno natural de la estaca calculada.

Desarrollo de ecuaciones matriciales.

Se inicia con el ordenamiento de las cotas de terreno natural del bloque a nivelar, así como la indicación de la ordenada al origen (X_0) y del número de estacas en las ordenadas (Y) y las abscisas (X), como en el cuadro 5a:

CUADRO No 5a

DATOS Y COORDENADAS DEL BLOQUE B-6.

Cota terreno natural	Ordenada al origen	Estacas	
		Abscisa	Ordenada
Z	X_0	X	Y
89.2	1	0	0
89.38	1	0	1
89.43	1	0	2
89.1	1	1	0
89.26	1	1	1
89.33	1	1	2
88.54	1	2	0
89.01	1	2	1
89.2	1	2	2
89.69	1	3	0
89.06	1	3	1
89.15	1	3	2
88.86	1	4	0
89.05	1	4	1
89.12	1	4	2
88.95	1	5	0
88.9	1	5	1
89.06	1	5	2

Dado que la matriz original es de tipo rectangular con 3 columnas y 18 hileras, es necesario, obtener una matriz cuadrada, dando la siguiente lista de comandos:

Menu, Range (rango de la matriz a cuadrar).

[X] = [X₀, X, Y] (Cuadro 5).

└--> Transpose (Selecciona matriz a trasponer).
 └--> Output range (Rango de salida)

$$[X]^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 4 & 4 & 4 & 5 & 5 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Para obtener la matriz cuadrada [X¹ X] :

Menu, Data (Datos)

└--> Matrix
 └--> Multiply $\begin{cases} \text{First range to multiply: } X^1 \\ \text{Second range to multiply: } X \end{cases}$
 └--> Output range (Rango de salida)

$$[X^1 X] = \begin{bmatrix} n & \sum X & \sum Y \\ \sum X & \sum X^2 & \sum XY \\ \sum Y & \sum XY & \sum Y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18 & 45 & 18 \\ 45 & 165 & 45 \\ 18 & 45 & 30 \end{bmatrix}$$

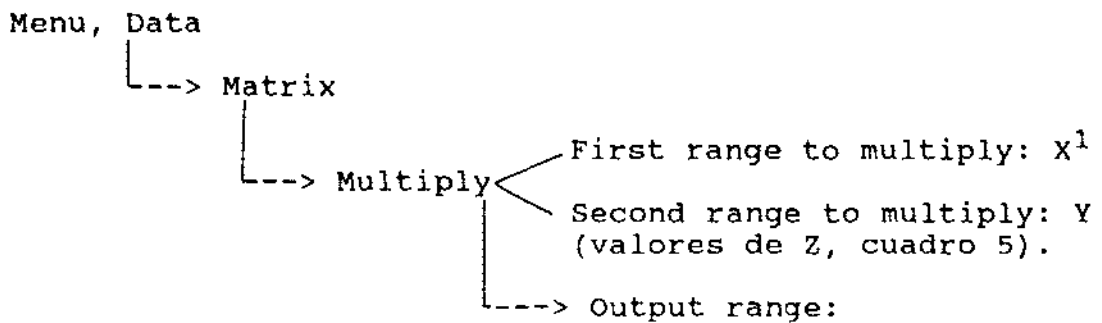
Inversión de la matriz [X¹X]⁻¹:

Menu, Data (Datos)

└--> Matrix
 └--> Inverse ---> Range to inverse: X¹X
 └--> Output range (Rango de salida)

$$[X^1 X]^{-1} = \begin{bmatrix} \sum y^2 & -\sum x & -\sum y \\ -\sum x & \sum x^2 & -\sum xy \\ -\sum y & -\sum xy & n \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.2579 & -0.0476 & -0.0833 \\ -0.0476 & 0.0190 & 0 \\ -0.0833 & 0 & 0.0833 \end{bmatrix}^{-1}$$

Obtención de la matriz $[X^1 Y]$:

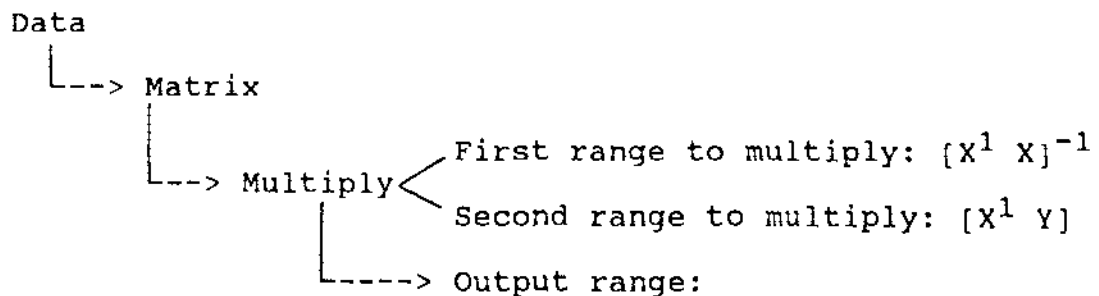


$$[X^1 Y] = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ X_m & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum XZ \\ \sum YZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1603.29 \\ 4004.56 \\ 1605.24 \end{bmatrix}$$

Donde:

Y_i = Valores de Z (cuadro 5).

Obtención de la matriz de B_1 :



$$[X^1 X]^{-1} [X^1 Y] = \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.2579 & -0.0476 & -0.0833 \\ -0.0476 & 0.0190 & 0.0 \\ -0.0833 & 0.0 & 0.0833 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1603.29 \\ 4004.56 \\ 1605.24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 89.0836 \\ -0.0698 \\ 0.1625 \end{bmatrix}$$

De esta forma queda determinada la ecuación de regresión lineal múltiple, donde:

$$Z = B_0 + B_1(X) + B_2(Y)$$

Por lo tanto:

$$\hat{Z} = 89.0836 + (-0.0698)(X) + 0.1625(Y).$$

Sustituyendo la abscisa (X) y la ordenada (Y) de cada estaca, se obtiene el valor de \hat{Z}_i , es decir, la cota de proyecto de la estaca calculada.

Se puede agilizar este paso, desarrollando la ecuación para cada una de las estacas del bloque, mediante la hoja de cálculo de Lotus, desarrollando una ecuación alfanumérica del tipo:

$$F_2 / + \$ B_0 \$ + (Coord X * \$ B_1 \$) + (Coord Y * \$ B_2 \$)$$

Donde:

- $B_{0,1,2}$.- Coeficientes de regresión.
- X;Y.- Coordenadas de cada estaca.
- F₂.- Tecla de comando.

Finalmente se da instrucciones al computador para que calcule las terracerías donde se comparan las cotas del proyecto menos las cotas del terreno natural, como se muestra en el siguiente ejemplo:

<u>Cota Proyecto</u>	<u>-</u>	<u>Cota T.N.</u>	<u>=</u>	<u>Corte ó Relleno (m)</u>
89.08		89.20		(0.12)
88.94		88.54		0.40
89.41		89.43		(0.02)
89.27		89.20		0.07

Estos resultados son plasmados en sus respectivas estacas así como en el plano No 1.

Posteriormente al cálculo de las diferencias, se estima el volumen de corte ó relleno, considerando una área de 400 m² para cada una de las estacas del bloque comprendido, por ejemplo:

Coordenada Estaca X,Y	Diferencia (m)	Area (m ²)	Volúmenes (m ³)	
			Corte	Relleno
0,0	(0.12)	400	(46.52)	.
2,0	0.40	400		161.63
2,2	0.07	400		27.63
3,1	(0.02)	400	(9.30)	

Quedando una hoja con los datos estimados como se muestra en el cuadro No 6, del Bloque-6; al imprimir se indica:

```

/ Print
  |
  |---> Printer
      |
      |---> Range
          |
          |---> Aling
              |
              |---> GO.
  
```

Con la información obtenida en campo y con el resultado de las cotas de proyecto, se realiza la nivelación del predio según lo muestra la fig. 4. En esta figura se muestra el diagrama de bloque idealizado, de lo que es el terreno natural y de las rasantes de proyecto que indican la condición llana del terreno una vez nivelado; conservandose la pendiente general del mismo.

CUADRO No. 6
CALCULO DE CORTES Y RELLENOS DEL BLOQUE B-6

BLOQUE	COORDENADAS			COTA		DIFERENCIA	VOLUMEN	
	XO	X	Y	TERRENO	ESTIMADA		CORTE	RELLENO
6	1	0	0	89.20	89.08	(0.12)	(48.00)	
	1	0	1	89.38	89.25	(0.13)	(52.00)	
	1	0	2	89.43	89.41	(0.02)	(8.00)	
	1	1	0	89.10	89.01	(0.09)	(36.00)	
	1	1	1	89.26	89.18	(0.08)	(32.00)	
	1	1	2	89.33	89.34	0.01		4.00
	1	2	0	88.54	88.94	0.40		160.00
	1	2	1	89.01	89.11	0.10		40.00
	1	2	2	89.20	89.27	0.07		28.00
	1	3	0	88.69	88.87	0.18		72.00
	1	3	1	89.06	89.04	(0.02)	(8.00)	
	1	3	2	89.15	89.20	0.05		20.00
	1	4	0	88.86	88.80	(0.06)	(24.00)	
	1	4	1	89.05	88.97	(0.08)	(32.00)	
	1	4	2	89.12	89.13	0.01		4.00
	1	5	0	88.95	88.73	(0.22)	(88.00)	
	1	5	1	88.90	88.90	0.00	0.00	
1	5	2	89.06	89.06	0.00	0.00		
TOTAL DE CORTE Y RELLENO B-6							(328.00)	328.00

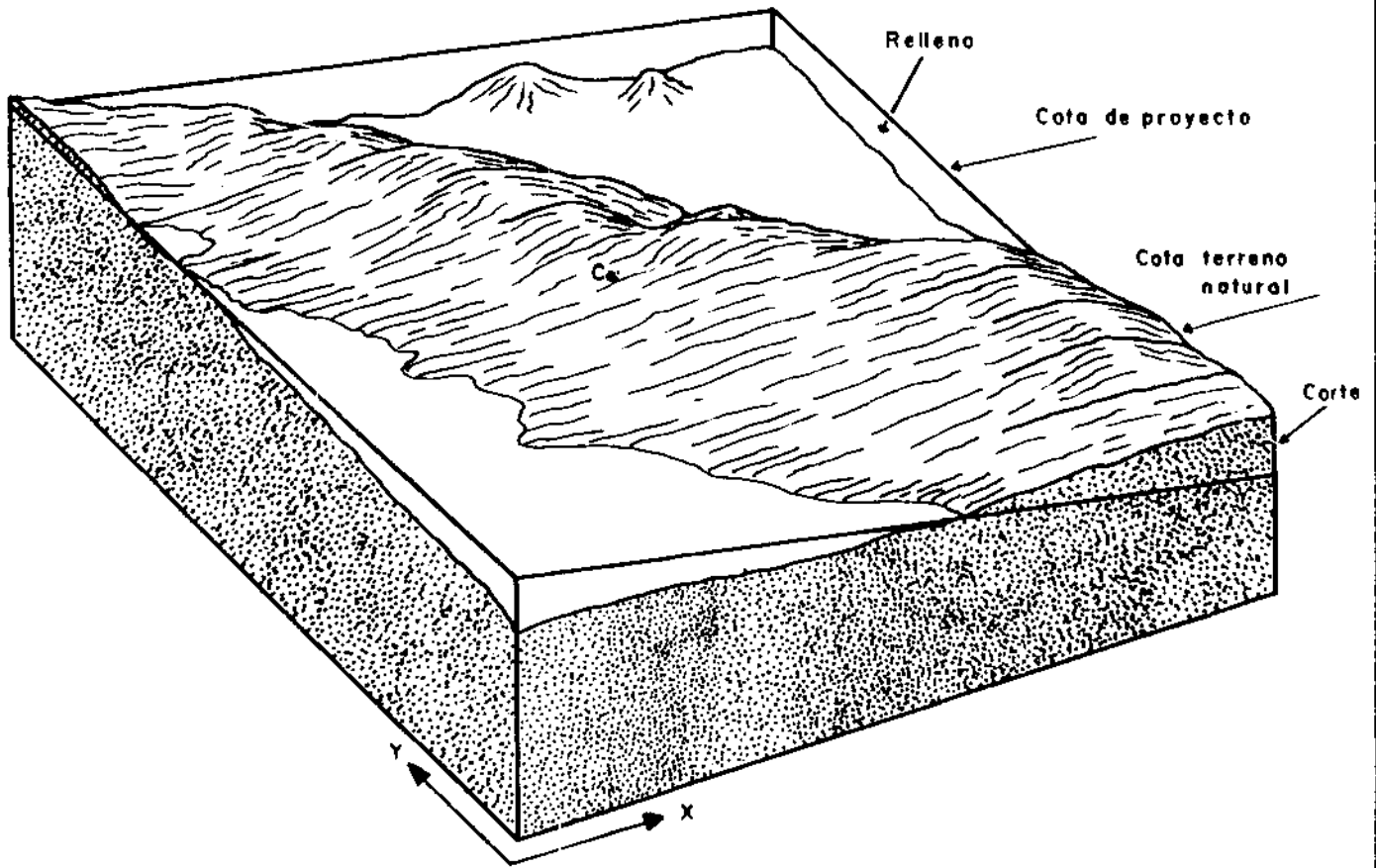


Fig. 4.- Diagrama de bloque (Bloque-00)

RESULTADOS.

Una vez aplicados los diferentes métodos topográficos y analíticos, en el desarrollo del proyecto de nivelación del predio el "Mezquital", se obtuvieron los siguientes resultados:

En el cálculo de la nivelación, se optó por dividir el predio en seis bloques, los que mantienen una pendiente general del terreno, contrastante entre ellas; lo anterior permitió que la nivelación de cada bloque implicara un mínimo movimiento de terracerías con la finalidad de evitar el deterioro del suelo, sobre todo en los horizontes superiores y así conservar al máximo la fertilidad natural del suelo. Por otra parte se pretende abatir los costos del proceso de nivelación, en el movimiento de los volúmenes de tierra a distribuir dentro del predio.

Aplicando el método de mínimos cuadrados mediante el programa de LOTUS -123, se obtuvo el cálculo de las cotas del proyecto, las diferencias en cortes (+) y rellenos (-) para cada estaca referenciada y los volúmenes parciales y totales por bloque nivelado; los datos son presentados en un formato como el del siguiente cuadro correspondiente al Bloque 6.

Se presenta a continuación el cuadro No 7 indicando los resultados por bloques y el total de la cubicación de terracerías para el predio de 35.0 has.:

CUADRO No 7 CUBICACION TOTAL DE TERRACERIAS.
Predio el Mezquital, Tolimán.

Bloque	Núm. Estacas	Vol. Corte (m ³)	Vol. Relleno (m ³)
Boo	19x13 = 247	22,488.39	22,488.39
B 2	9x10 = 90	4,720.22	4,720.22
B 3	7x13 = 91	5,273.22	5,273.22
B 4	16x12 = 192	7,841.32	7,841.32
B 5	11x14 = 154	13,666.63	13,666.63
B 6	6x3 = 18	328.63	328.63
	Total	54,318.41	54,318.41

Como consecuencia del cálculo de cotas, cortes y rellenos para la nivelación de tierras, se obtuvo el plano de proyecto No 1, que indica los datos de campo y gabinete, conteniendo la nomenclatura que se muestra en la figura 5.

El plano de proyecto para cortes y rellenos, contiene los mismos datos para cada una de las estacas, referidas en los cuadros de los bloques $B_{00} - B_6$; el plano presenta una escala de 1:1000, señalando la cuadrícula de 20 x 20 m para todos los bloques y la configuración de la poligonal cerrada.

Una vez elaborado el plano de cortes y rellenos, se procedió a formar el plano del terreno nivelado, con curvas a nivel a una equidistancia de 10 cm y representados a cada 0.5 m.

Dentro de cada bloque delimitado y nivelado, se señala la distribución del sentido del riego, con una pendiente de tres al millar ($S = 0.003$); esta pendiente puede ser diferente a criterio del residente de obra y del cultivo a introducirse.

De igual forma, se señalan los canales de riego y drenes necesarios para el buen manejo de los bloques y el agua de riego, así como los caminos de acceso. La escala del plano es igualmente E 1:1000

Se presenta una secuencia de fotografías panorámicas del sitio de proyecto, que señalan las diferencias del terreno antes (Fotos 1 y 2) y después de los trabajos de nivelación (Fotos 3 a 7); señalando en cada caso la distribución de los bloques respectivos, una vez nivelados e indicando su pendiente general.

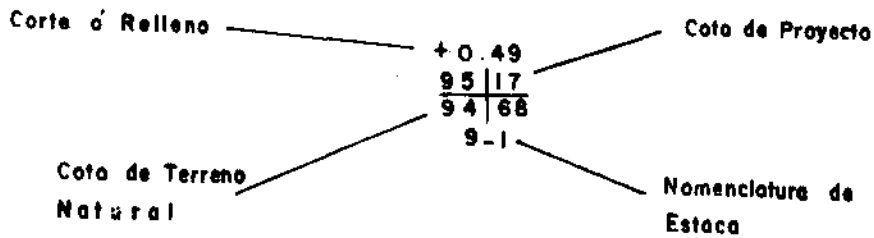
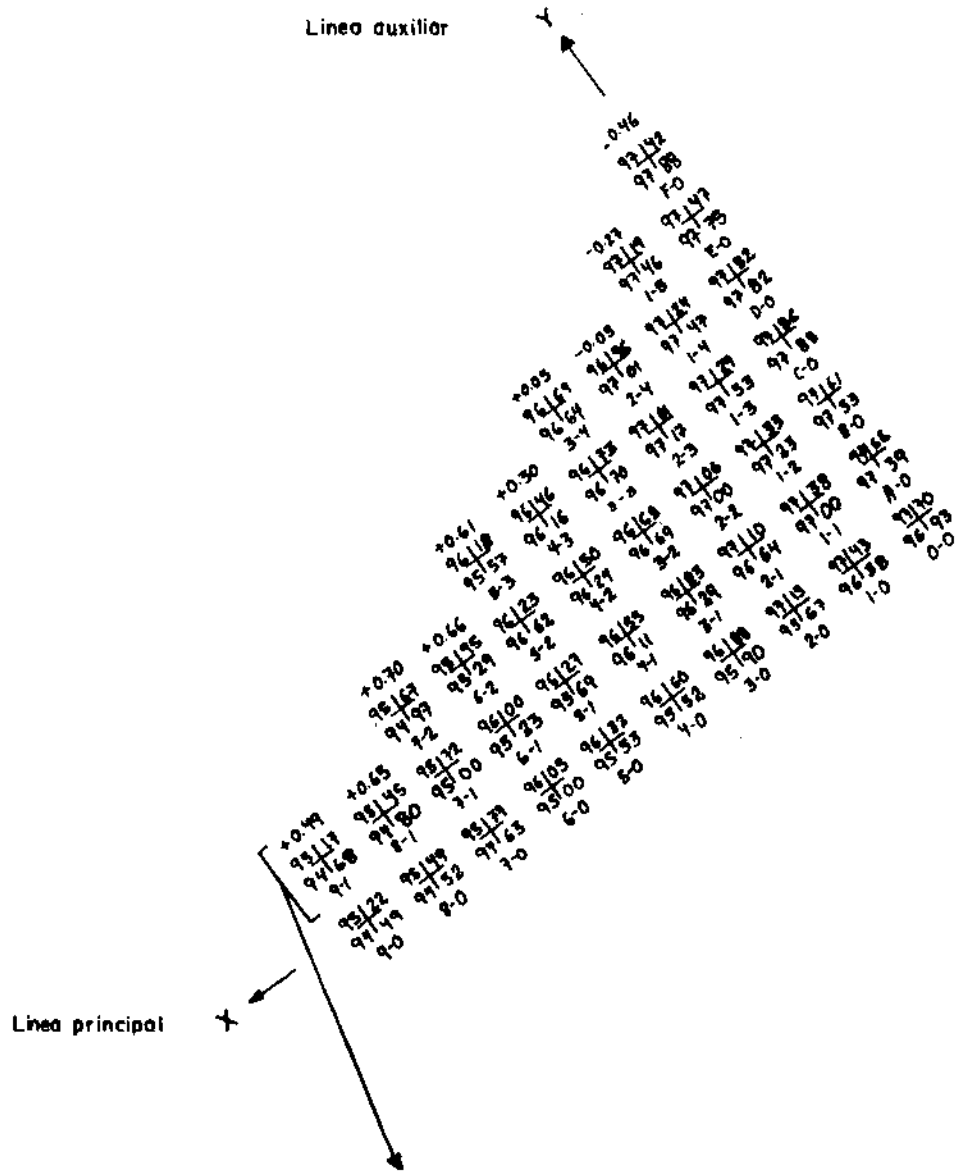


Fig. 5.- Datos de estacas del plano No.-1



FOTO No. 1
VISTA DEL PREDIO EL MEZQUITAL ANTES DE NIVELACION CON CUBIERTA
DE CUCURBITACEA (CALABACITA).



FOTO No. 2
PANORAMICA DONDE SE OBSERVAN MANCHONES SIN CULTIVO DEBIDO AL
MICRORELIEVE Y MALA DISTRIBUCION DEL AGUA DE RIEGO.



FOTO No. 3
PANORAMICA DE LOS BLOQUES B-0 Y B-3 UNA VEZ NIVELADOS.



FOTO No. 4
VISTA DE LOS BLOQUES B-2 Y B-4 DONDE SE APRECIA LA DIFERENCIA DE LA PENDIENTE GENERAL DEL TERRENO, DE LOS BLOQUES NIVELADOS.



FOTO No. 5
VISTA PARCIAL QUE MUESTRA AL FRENTE EL BLOQUE B-2, INDICANDO LA
PENDIENTE GENERAL DEL TERRENO NIVELADO. AL FONDO SE OBSERVAN
LOS BLOQUES B-0 Y B-3.

VI. DISCUSION.

- La elaboración de planos de ésta naturaleza, nos lleva a reforzar el sentido crítico del agrónomo, porque a través de éstos, se decide transformar la realidad en la forma más idónea posible; debido fundamentalmente a que sin ellos se incurriría a cometer graves errores, aumentando los costos de la nivelación, y posiblemente, a un mal manejo de los recursos naturales.
- La división del terreno a nivelar en bloques, es una forma práctica, eficiente y económica; todo ello resultó debido a que las diferentes partes del terreno, presentaron cierta homogeneidad y de ahí se llegó a la decisión de tomarlas como unidades dentro del predio, porque de ésta forma se logra que la cantidad de tierra a mover se reduzca al mínimo necesario.
- En el presente trabajo no se necesita elaborar un plano con las curvas a nivel del terreno natural, porque el plano de cortes y rellenos es suficiente para satisfacer los requisitos de la nivelación, generandose un plano nivelado con curvas equidistantes, señalandose una pendiente general del terreno nivelado.
- El uso de los mínimos cuadrados, es un método que logra ajustar al máximo el plano obtenido, a las irregularidades de la superficie, porque es un método en el que las diferencias de cotas con respecto a la línea media ó rasantes del proyecto son un mínimo, reduciendo por lo tanto los volúmenes de terracería a mover y por lo tanto, los costos de operación de la nivelación.
- De los procedimientos para calcular la rasante ó plano proyecto dentro del método de mínimos cuadrados, el de ecuaciones simultáneas matriciales, es el que tiene el mejor ajuste sobre las cotas del terreno natural, sin embargo, cuando no se cuenta con equipo computarizado es muy laborioso este proceso matricial.
- El procedimiento de ecuaciones de regresión múltiple, es un método que tiene una desviación de 2 cm. con respecto al de ecuaciones matriciales, considerandose ésta variación al uso de medias de datos del primer método y al redondeo de dígitos; es un método que no requiere de un equipo tan específico (computadora), obteniendo eficientes resultados, aún a costa de un mayor tiempo en el procesamiento de la información. Se requiere además el mecanografiado del documento y cuadros de resultados.

El uso de los coeficientes de trueba, es el método que tuvo mayor variabilidad con respecto al método de ecuaciones simultáneas matriciales. Como limitante de éste procedimiento, es el riesgo que se corre al calcular los datos en forma manual, cometiendo errores sistemáticos durante el desarrollo y debido al gran número de datos, en ocasiones implica realizar de nuevo los cálculos para la obtención de los coeficientes de regresión.

El método requiere de mayor tiempo que los anteriores y aún cuando resulta eficiente el cálculo de datos, es el de menor exactitud, sin embargo es el más simple.

VII CONCLUSIONES.

La nivelación por bloques en el terreno, genera una mayor eficiencia de la nivelación de tierras; reduce la cantidad de tierra a mover y reduce los costos de la nivelación.

La nivelación de tierras en nuestro país es requisito indispensable para lograr explotar en forma más adecuada los terrenos de riego, aumentando la eficiencia en el manejo del agua y el suelo.

El método de mínimos cuadrados, es un método práctico, eficiente y preciso, mediante el cual se determina el mínimo movimiento de tierras a bajo costo.

El uso de la inversión de matrices, por computadora, es una forma rápida y exacta para la elaboración del plano proyecto. Además que se obtienen los datos de proyecto, los cortes y rellenos y la cubicación de terracerías en forma casi simultánea.

El método de coeficientes de regresión múltiple, es el procedimiento más accesible y obtiene excelentes resultados ya que no requiere equipo de cómputo, aunque su desarrollo es más lento.

El método de los coeficientes de trueba es fácil, y que tuvo su época de aplicación, pero en la actualidad existe los medios como para que su uso sea muy limitado.

VIII RECOMENDACIONES.

En el caso de la dirección del riego, se recomienda una pendiente del surco de 0.003 %; se deberán empastar los drenes con la finalidad de mantener su eficiencia y debido al cambio de pendientes, se sugiere la construcción de caídas rápidas para evitar riesgos de deterioro por erosión hídrica.

El revestimiento de los canales principales y tomas de agua, es muy necesario, para así aumentar la eficiencia en el uso del agua por conducción. En la subdivisión de los bloques, se puede aprovechar con doble propósito la construcción de canales-drenes.

En los trabajos de construcción se recomienda el uso de moto escrapas ó mototrailas y se debe tener cuidado en la supervisión de cortes y rellenos donde se debe incluir el factor de abundamiento de 2.0 cm como mínimo, ó a juicio del residente, dar el abundamiento que considere necesario para el tipo de material y características del terreno, con lo que se evita fallas en la nivelación y encharcamiento por compactación.

En caso de no contar con equipo de cómputo para la elaboración del plano proyecto, se aconseja utilizar el método de coeficientes de regresión múltiple.

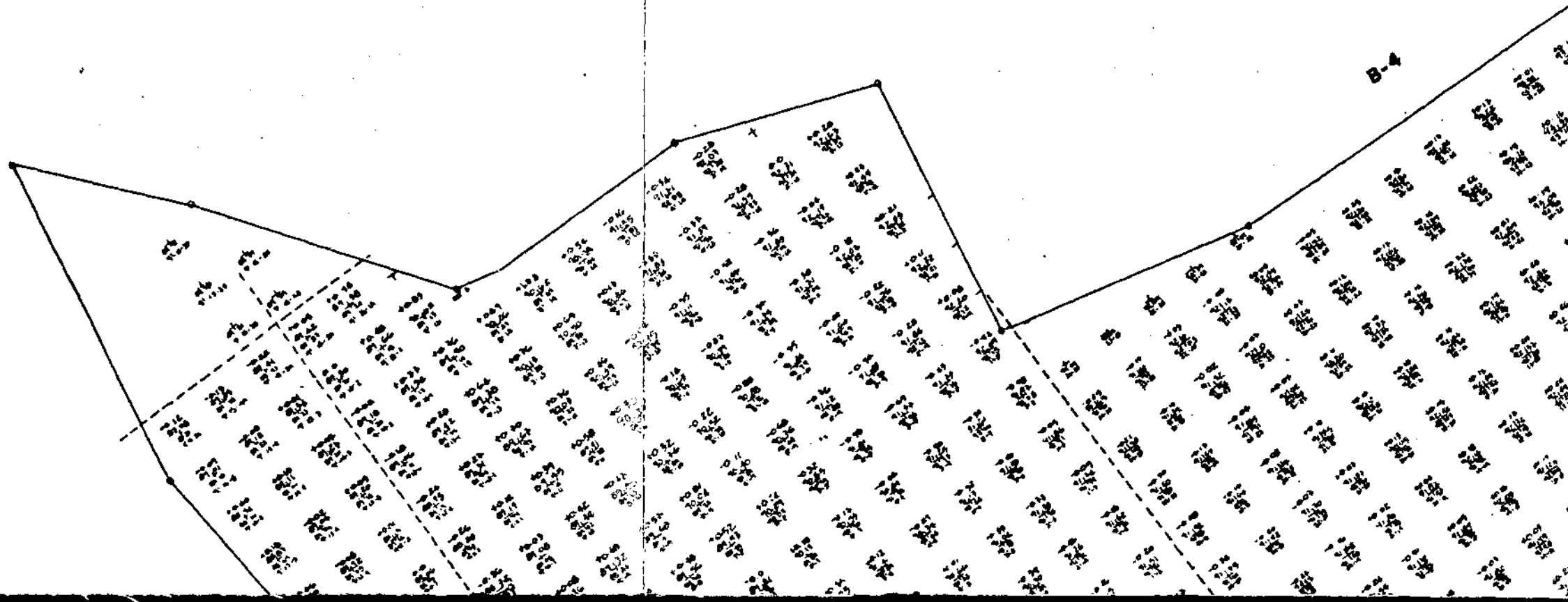
Finalmente, el trazo definitivo de canales principales y derivadores, así como tomas de agua, drenes y métodos de riego, dependerán del tipo de cultivo a realizar y equipo disponible para tal fin, trabajos que podrán ser definidos mediante un proyecto para el diseño de riego del cultivo especificado.

BIBLIOGRAFIA

- Aguayo, L. L. (1989). "Zona de Riego" Proyecto Valle Tototlán canal principal margen derecha km. 0+000 en el mpio. de Tototlán, Jal. Tesis profesional, Facultad de Ingeniería. U de G. Jalisco, México.
- Aidárov, I.P. Golovánov, A.I. y Mamáev, M.G. (1985). El Riego. Ed. Mir Moscú, URSS.
- Brambila, A. (1974). Topografía. Décima edición. Ed. Tesis Reséndiz. México, D.F.
- Brinker, C. R. y Wolf, R. P. (1982). Topografía Moderna. Sexta edición. Ed. HARLA. México, D.F.
- Davis, E. R. y Kelly, W. J. (1984). Topografía Elemental. Ed. CECSA. México, D.F.
- Dorf, C. R. (1980). Introducción al álgebra de matrices. Segunda reimpresión. Ed. LIMUSA. México, D.F.
- Maciel, G. R. (1974). Topografía Básica II. Escuela de Agricultura, U de G. Guadalajara, Jal. México.
- Madrigal, S. F. e Higashida, M. A. (1965). Nivelación Diferencial Topográfica. Ed. SOP. México, D.F.
- Marr, C. J. (1953). Preparación de Tierras para el Riego de Superficie. Ed. Consejo de Bienestar Rural. Caracas, Venezuela.
- Méndez, C. R. (1983). Nivelación de Terrenos. Tesis Profesional Facultad de Agronomía, U de G. Guadalajara, Jal. México.
- Montes de Oca, M. (1986). Topografía. Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México, D.F.
- Ostle, B. (1979). Estadística Aplicada. Ed. LIMUSA. México, D. F.
- Sandover A. J. (1974). Topografía. Cuarta impresión. Ed. CECSA. México, D.F.
- Steel, G. D. y Torrie, H. J. (1986). Bioestadística: Principios y procedimientos. Segunda Edición. Ed. McGraw, Hill. México, D.F.
- Topete, A. J. (1986). Diseños Experimentales. Apuntes de clase. Fac. Agronomía, U de G. Jalisco, México.

- Torres, N. A. y Villate, B. E. (1968). Topografía. Ed. Norma. Bogotá, Colombia.
- Torres, R. E. (1984). Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Segunda Edición. Ed. Diana. México, D.F.
- Trueba, C. S. (1971). Coeficientes de Trueba para el cálculo de nivelación de tierras Agrícolas. Ed. CECSA. México, D.F.
- Yemanu, H. y Cardoza, R. (1983). Topografía General. Cuarta edición. Ed. PATUACH. Chapingo, México.

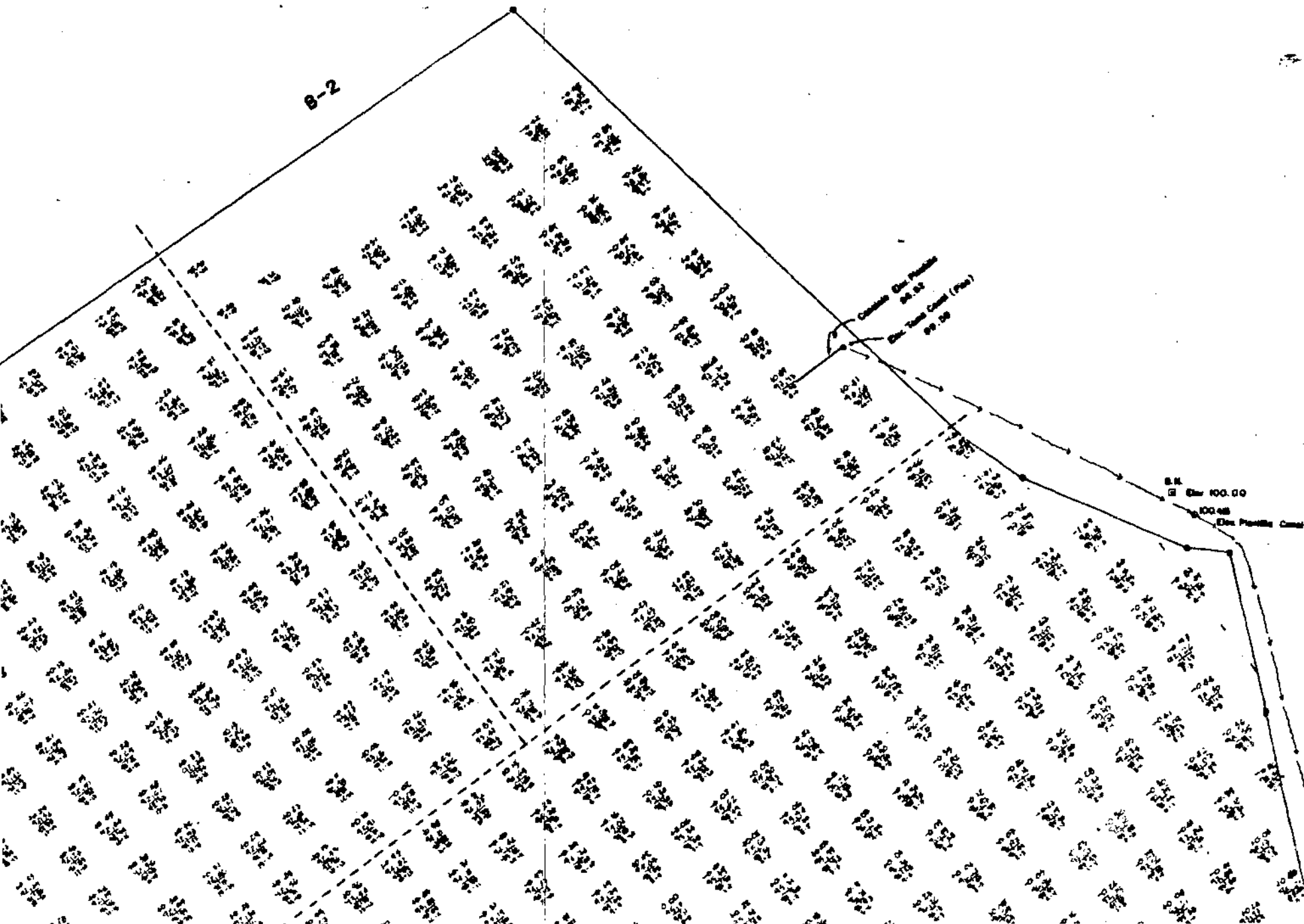
7



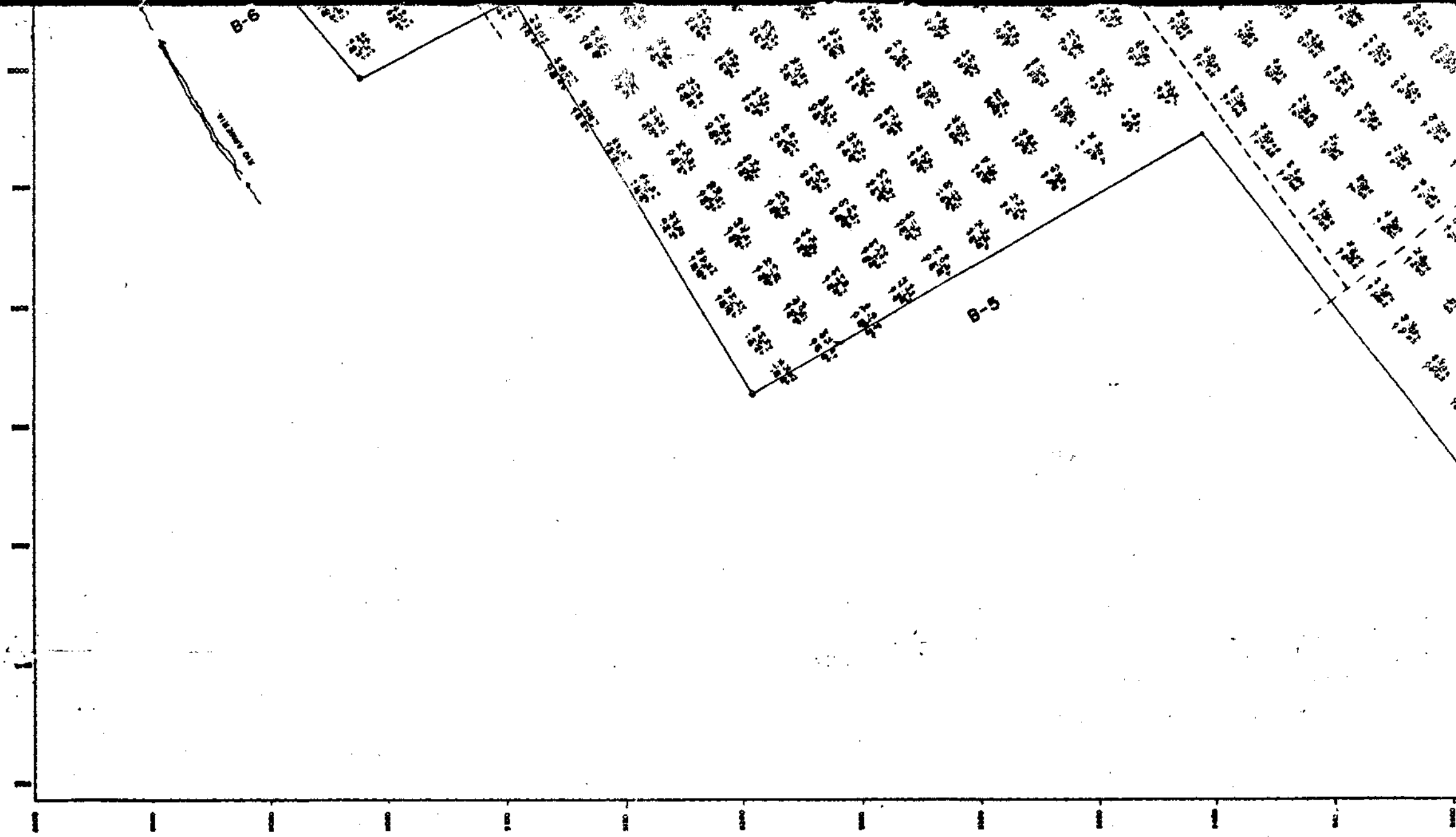
B-4

2

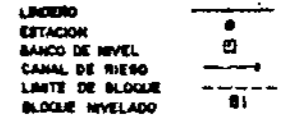
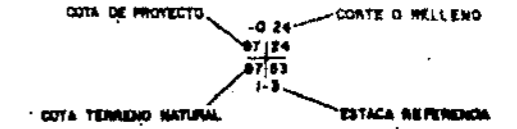
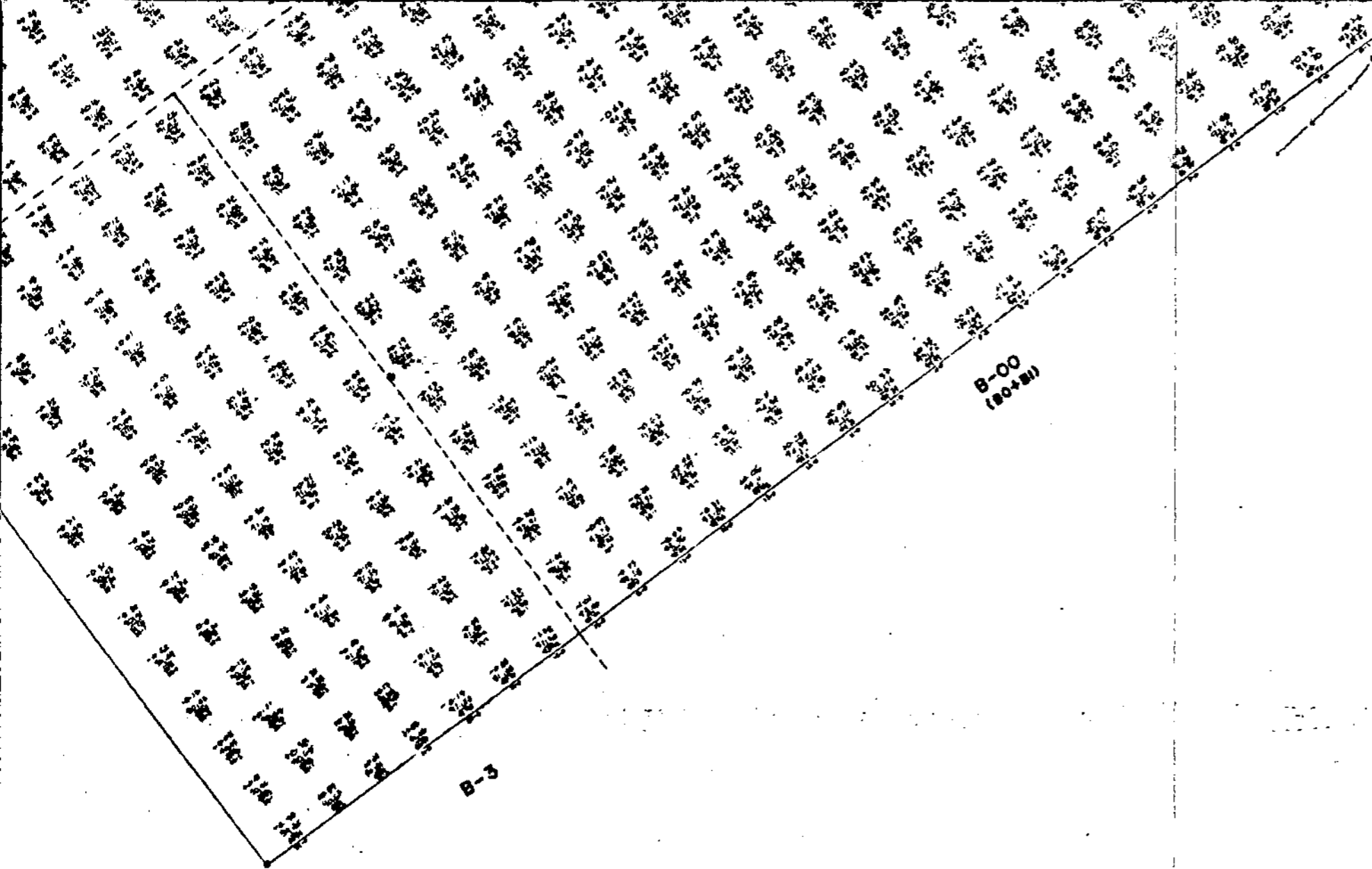
8-2



SIMBOLOGIA



100



CUADRO DE CONSTRUCCION

EST.	P.V.	AZIMUT	DIST.	Y	X
0	1	235°20'	380.0	324.0	1130.0
1	2	235°20'	100.0	100.0	820.0
2	3	328°20'	340.0	40.0	340.0
3	4	235°20'	180.0	327.6	822.0
4	5	323°20'	300.0	220.0	327.6
5	6	65°29'	170.0	462.0	199.0
6	7	107°55'	162.0	538.0	551.0
7	8	64°01'	222.0	488.8	805.6
8	9	66°45'	210.0	566.0	705.4
9	0	142°35'	330.0	588.0	815.4

NOTA:

A todos los cortes (-) y referencias (+) disminuir 2 cm. por compensación por abundancia.

SUPERFICIE APROXIMADA 35.00 ha

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA			
FACULTAD DE AGRONOMIA			
NIVELACION AGRICOLA DEL POTRERO EL MEZQUITAL, MPIO. TOLIMAN JAL.			
TESIS PROFESIONAL ORIENTACION SUELOS			
JOSE RGIO. DURAN AVILA Y SALVADOR GOMEZ FRANCO			
GUAD. JAL. ENERO 1999	ESCALA 1:2000	APROBO ING. JORGE PEDRO TOPETE A	HOJA UNICA

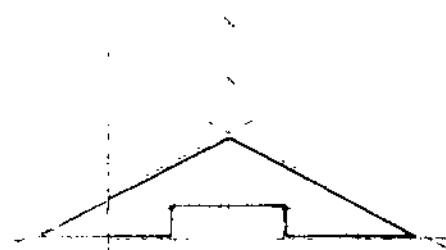
1400

1350

1300

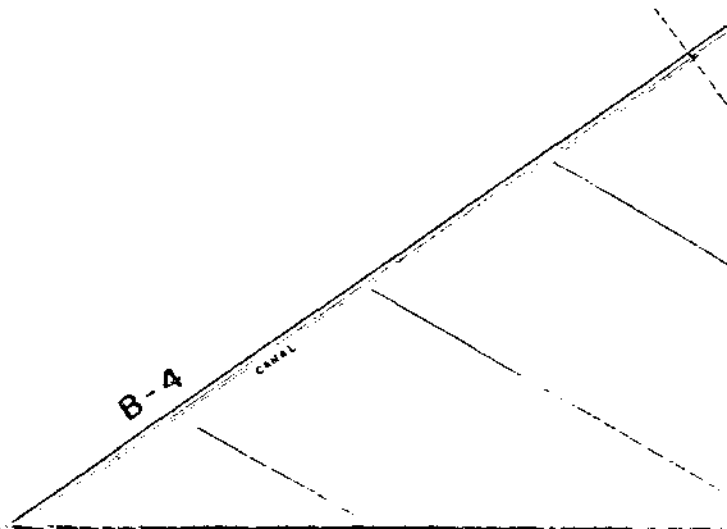
1250

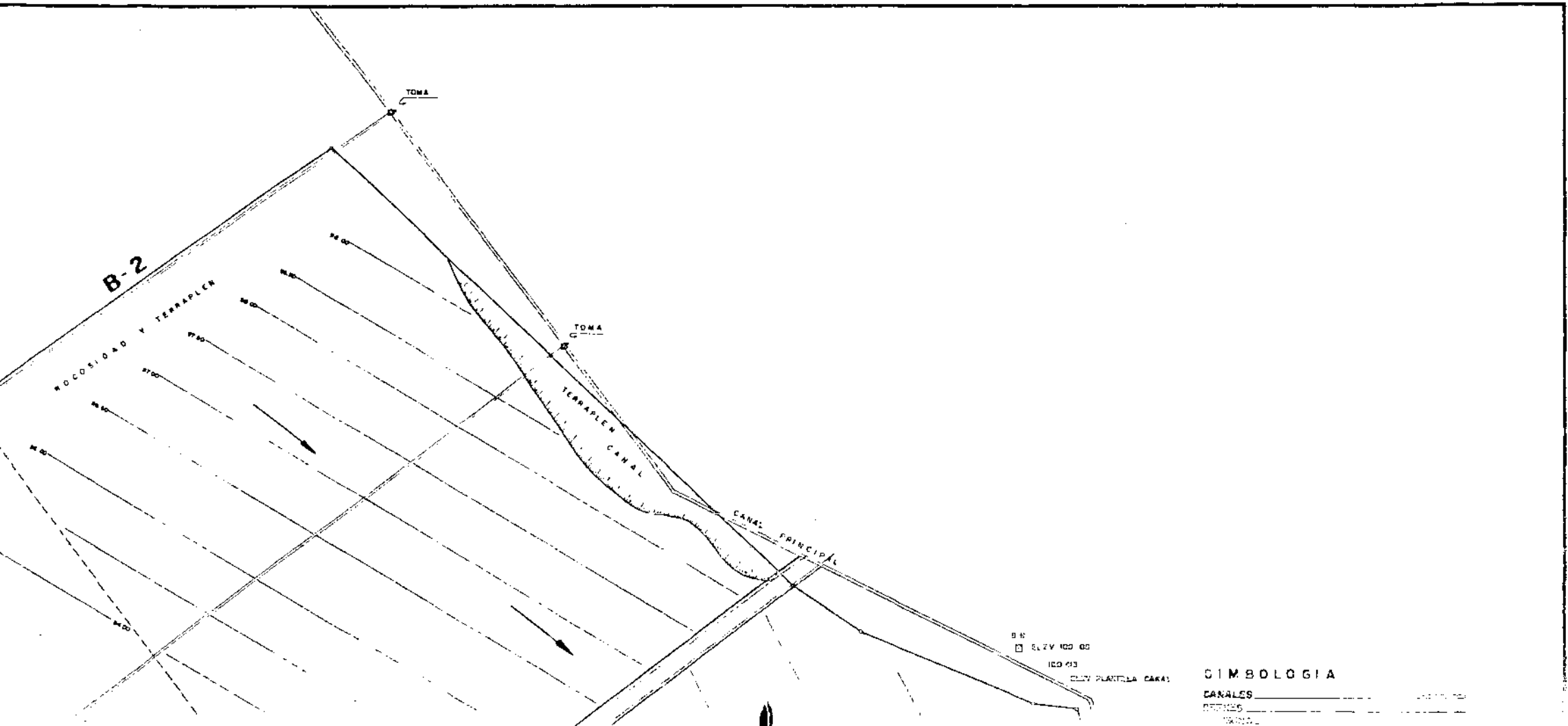
1200



B-4

CANAL





B-2

TOMA

TOMA

ROCOSIDAD Y TERRAPLEN

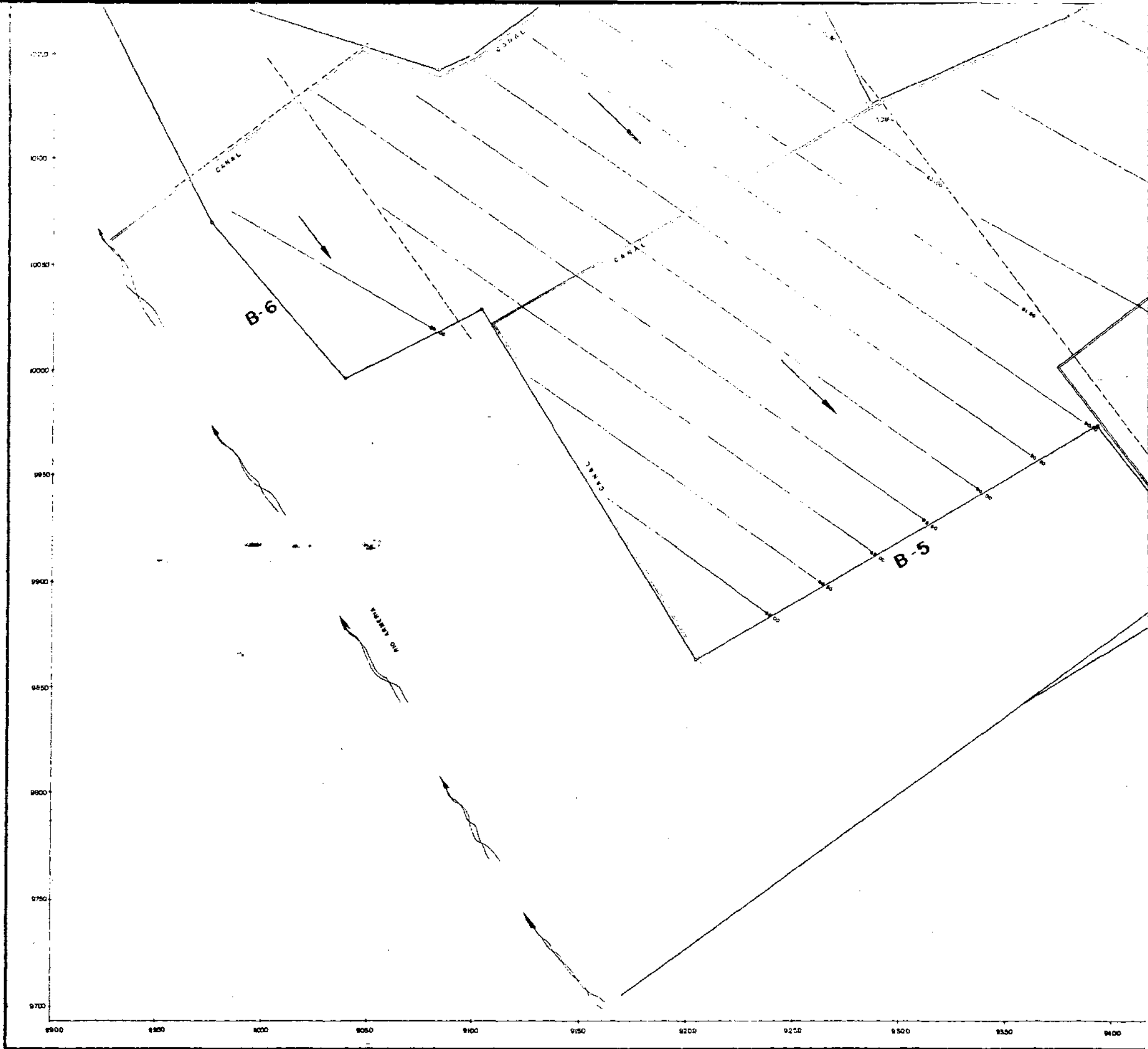
TERRAPLEN CANAL

CANAL PRINCIPAL

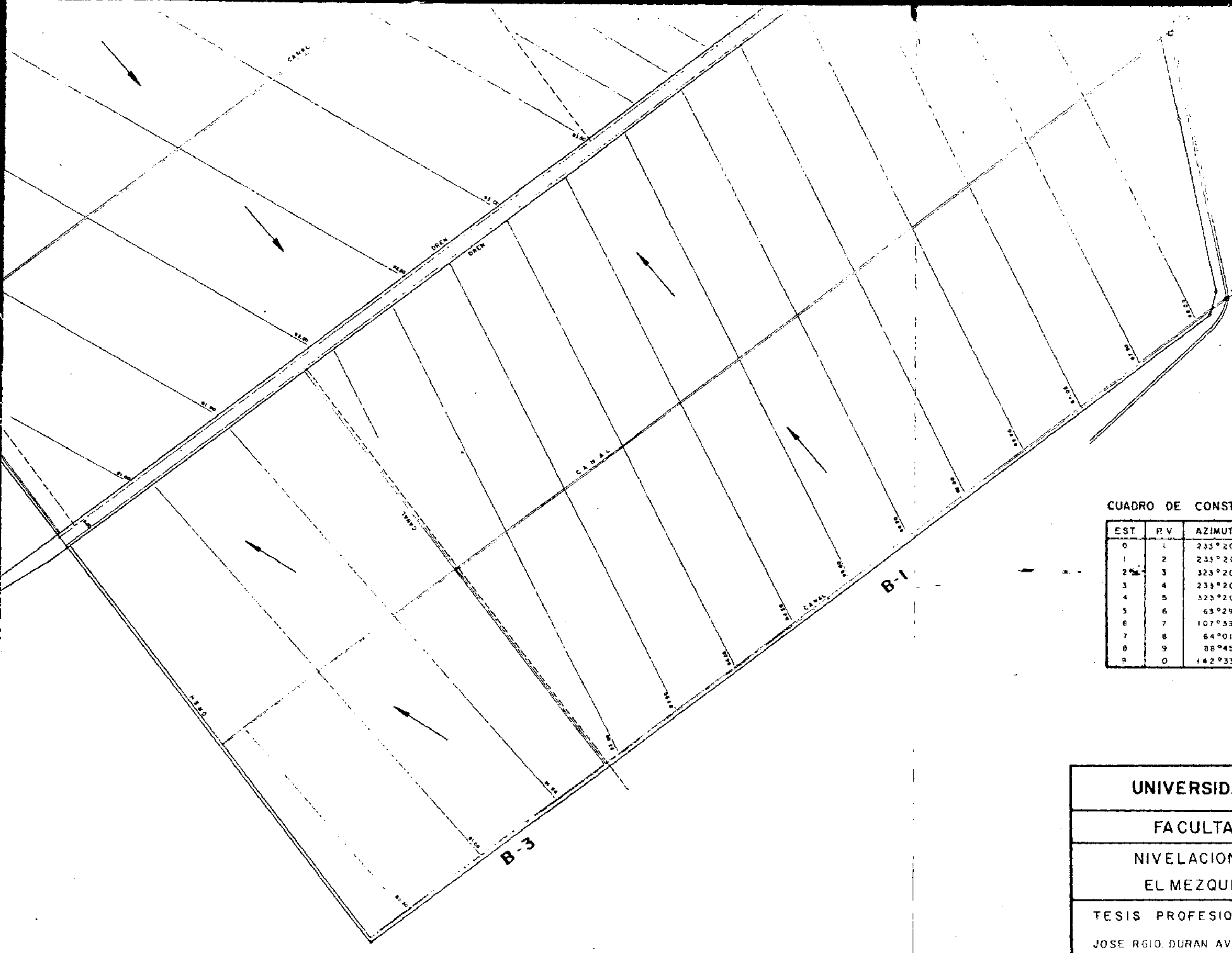
B N
 □ ELEV 100 00
 100 00
 ELEV PLANTA CANAL

SIMBOLOGIA

CANALES _____
 BARRIOS _____
 CAMINO _____



CURVA DE NIVEL
 CURVA DE AGUA
 DIVISION DE BLOQUE
 BLOQUE NUMERO
 TERRAPLEN
 CANAL PRINCIPAL



CUADRO DE CONSTRUCCION

EST	P.V	AZIMUT	DIST	Y	X
0	1	233°20'	380.0	326.0	1130.0
1	2	233°20'	100.0	100.0	820.0
2	3	323°20'	360.0	40.0	740.0
3	4	233°20'	180.0	327.6	522.0
4	5	323°20'	300.0	220.0	537.8
5	6	63°29'	170.0	462.0	199.0
6	7	107°53'	162.0	538.0	551.0
7	8	64°01'	222.0	486.8	505.6
8	9	88°45'	210.0	584.0	705.4
9	0	142°33'	350.0	589.0	316.4

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA
NIVELACION AGRICOLA DEL POTRERO
EL MEZQUITAL, MPIO. TOLIMAN JAL.
TESIS PROFESIONAL ORIENTACION SUELOS
JOSE RGIO. DURAN AVILA Y SALVADOR GOMEZ FRANCO

GUAD, JAL ENERO 1993 ESCALA 1:2000 APROBADO ING JORGE PEDRO TOLETE A HOJA 0001

9450 9500 9550 9600 9650 9700 9750 9800 9850 9900 9950