

APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA DE POCA
PROFUNDIDAD EN EL AREA DE BUENAVISTA

Por

ATENOGENES RODRIGUEZ GUILLEN

Tesis

que somete a la consideración del H. Jurado Examinador,
como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo

Aprobada:

El Presidente del Jurado

Ing. Butiquio Canales

El Director de la Escuela

Ing. Gabriel Murillo Peralta

UNIVERSIDAD DE COAHUILA

ESC. SUPERIOR DE AGRICULTURA
"ANTONIO NARRO"

UNIVERSIDAD DE COAHUILA

Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro"
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Buenavista, Saltillo

Junio de 1972



BIBLIOTECA

10443

BIOGRAFIA

Nombre del Autor: Atenógenes Rodríguez Guillén

Lugar y fecha de nacimiento: Burgos, Tamps., 4 de octubre de 1945.

Padres: Sr. Félix Rodríguez H. (finado) y Sra. Aurelia Guillén V. de Rodríguez.

Estudios Primarios: Escuela "Mártires de la Revolución" de Burgos, Tamps. de 1951 a 1956, y Escuela "Manuel M. Doria" de Linares, N. L. de 1956 a 1957.

Estudios Secundarios: Centro Escolar "Mariano Escobedo" de Linares, N. L., de 1957 a 1960.

Estudios de Bachillerato: Escuela Preparatoria Núm. 4, de Linares, N. L., de 1960 a 1962.

Estudios Profesionales: Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro", de la Universidad de Coahuila, en Saltillo, Coah. Ingresó a este plantel en 1962 y en junio de 1967 obtuvo su Certificado de Pasante de Ingeniero Agrónomo.

AGRADECIMIENTO

A mis Maestros y a las personas que en una u otra forma cooperaron para la realización de mis estudios.

DEDICATORIA

A mi Madre

Sra. Aurelia Guillén
Vda. de Rodríguez.

INDICE

	Pág.
BIOGRAFIA -----	i
AGRADECIMIENTO -----	ii
DEDICATORIA -----	iii
INTRODUCCION -----	1
REVISION DE LITERATURA -----	3
Agua del Subsuelo -----	3
Fuentes de Alimentación del	
Agua del Subsuelo -----	3
OBSERVACION Y ESTUDIO -----	22
Trabajo de Campo -----	22
Registros -----	23
DISCUSION -----	25
PROYECTOS -----	30
CONCLUSIONES -----	34
BIBLIOGRAFIA -----	35

INTRODUCCION

La ciudad de Saltillo, capital del Estado de Coahuila, cuenta actualmente con una población aproximada de 180,000 habitantes.

Su rápido crecimiento demográfico e industrial han hecho de la demanda del agua una de las principales preocupaciones de sus gobernantes.

A través de los años la ciudad de Saltillo y sus gobernantes han tenido que buscar nuevas fuentes de aprovisionamiento; esta búsqueda se ha limitado a explorar los acuíferos subterráneos, debido a que por sus características fisiográficas carece de ríos o corrientes permanentes por quedar al pie de las muy limitadas vertientes de las serranías inmediatas que bordean el pequeño valle sobre el cual se asienta la ciudad.

A principios del siglo el aprovechamiento del agua se limitaba a las emanaciones de manantiales y a la excavación de tajos, galerías y socavones.

En el año de 1940 se excavó la galería filtrante de Buenavista, Coahuila, enclavada a 8 km aproximadamente al sur de la ciudad, más exactamente en terrenos propiedad de la Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro".

Esta galería tiene por objeto la captación y conducción de aguas que pasan a poca profundidad pero que debido a la permeabilidad de su suelo no llegan a la superficie en forma

de manantiales.

Posteriormente esta galería se además en un tramo que -- comprende 916 m. Por las condiciones del terreno, por su -- permeabilidad, este tramo tiene captaciones en su parte pos--terior, es decir, en terreno no revestido el cual con el tiem--po se deslavó y ocasionó el derrumbe de su cielo.

Esta circunstancia condujo a buscar medidas que solucio--naran el problema radicalmente.

Este tramo produce actualmente 50 lt/seg, cantidad que -- por encontrarse a poca profundidad y pegado al tramo revesti--do hace de esta fuente un abastecimiento primordial, si toma--mos en cuenta el costo de la extracción de agua de acuíferos artesianos.

La medida más eficaz que se podía tomar, sería aparente--mente, revestir este tramo de tal manera que el trabajo tu--viera la más efectiva capacidad de captar y conducir estas --aguas.

Para esto es necesario la comparación de varios proyec--tos teniendo en cuenta, como factor de primer orden, el eco--nómico, y que reúna las características técnicas indispensa--bles.

REVISION DE LITERATURA

Aguas del Subsuelo

Zonas del Agua del Subsuelo. Inmediatamente abajo de la superficie, los poros del suelo contienen agua y aire en cantidades variables. Después de una lluvia, el agua puede moverse hacia abajo a través de esta zona de aereación. Algo del agua se dispersa por el suelo para ser retenida por las fuerzas de la capilaridad en los poros más pequeños o por la atracción molecular alrededor de las partículas del suelo. El agua de la zona de aereación se conoce como humedad del suelo. Si la capacidad de retención del suelo en la zona de aereación queda satisfecha, el agua se mueve hacia abajo, hacia una región donde los poros del terreno o de la roca están llenos de agua y el escurrimiento se efectúa de acuerdo con las leyes hidráulicas. El agua en esta zona de saturación se llama agua del subsuelo. Arriba de la zona de saturación hay un cordón capilar, en el cual los poros del suelo, más pequeños, contienen agua elevada por la acción capilar desde la zona de saturación.

Fuentes de Alimentación del Agua del Subsuelo

La fuente principal de alimentación del agua del subsuelo es la precipitación, la cual puede penetrar al suelo directamente hasta el agua del subsuelo, o bien, entrar a las corrientes superficiales y percolarse desde esos cauces hacia el agua del subsuelo. Debe hacerse hincapié en que el agua --

del subsuelo tiene la mínima prioridad en tiempo sobre el -- agua y que cae como precipitación. Esta baja prioridad, es_ un factor importante para la limitación de los ritmos o velo_ cidades con las cuales puede utilizarse el agua del subsuelo. Los procesos de la interceptación, del almacenamiento en las depresiones del terreno y de la humedad del suelo, deben que_ dar cumplidos en lo que se refiere a captar el agua que cae, antes de que alguna cantidad significativamente grande de -- agua pueda empezar a percolarse hacia el agua del subsuelo. Unicamente los períodos muy prolongados con una fuerte preci_ pitación, pueden proporcionar grandes cantidades de agua pa_ ra la recarga del agua del subsuelo. La recarga del agua -- del subsuelo es entonces un proceso intermitente e irregular.

Las condiciones geológicas definen y marcan el recorri_ do que sigue el agua que proviene de la precipitación para _ llegar a la zona de saturación. Si el nivel freático está _ cerca de la superficie del terreno, puede haber una conside_ rable percolación a través del suelo, capas relativamente im_ permeables arriba del nivel freático pueden evitar esa perco_ lación directa. Los cauces de las corrientes superficiales_ que cortan el terreno a través de depósitos aluviales permea_ bles, proporcionan el camino y acceso para que el agua llegue a un acuífero del subsuelo, cuando esa corriente este situa_ da precisamente arriba del nivel del acuífero. El ritmo de_ la percolación desde una corriente fluvial aportadora, está_

limitada por la cantidad y por las características del material subyacente, por lo cual todos los escurrimientos fluviales de aguas de avenidas que sean mayores o excedan al ritmo límite de la percolación pueden ser desaguados hacia el mar o hacia los lagos.

Otras fuentes de alimentación del agua del subsuelo las constituyen el agua de las partes profundas del terreno, que es llevado hacia arriba en las rocas intrusivas y el agua que queda captada entre las rocas sedimentarias, durante su formación. Las cantidades o volúmenes de estas aguas son pequeñas y en relación con la calidad, frecuentemente están muy mineralizadas hasta el grado de no ser apropiadas para su utilización. Sin embargo, estas aguas subterráneas profundas también pueden contaminar a otras aguas útiles.

✓ **Acuíferos.** Las formaciones que contienen y transmiten agua del subsuelo, se conocen con el nombre de acuíferos. La cantidad o volumen del agua del subsuelo que puede obtenerse en una sola área, depende del carácter del acuífero subyacente y de la cantidad y frecuencia de la recarga. La capacidad que tiene una formación para contener agua, se mide por la porosidad o relación entre el volumen de poros y el volumen total de la formación. Los poros varían de tamaño, desde las aberturas submicroscópicas en la arcilla y esquistos, hasta las grandes cavidades o cavernas y galerías de las formaciones calcáreas y de lava. La porosidad de un material puede -

determinar secando a la estufa una muestra no alterada y pesándola, después, la muestra es saturada con algún líquido y pesada de nuevo, finalmente la muestra saturada se sumerge en el mismo líquido y se anota el peso del líquido desalojado. El peso del líquido necesario para saturar a la muestra dividido entre el peso del líquido desalojado da el valor de la porosidad en forma decimal.

Una alta porosidad no indica que un acuífero rendirá o producirá grandes volúmenes de agua a un pozo. La cantidad de agua que puede obtenerse del acuífero, únicamente es la que escurrirá o fluirá por gravedad. El rendimiento específico del volumen de agua que se drenará libremente del acuífero expresado como un volumen total del acuífero. El rendimiento específico es siempre menor que la porosidad ya que una parte del agua será retenida en el acuífero por las fuerzas moleculares o capilares. El rendimiento es mucho menor que el de los materiales gruesos. La arcilla, aunque tiene una alta porosidad posee una textura de grano tan fino que ordinariamente rinde poca agua a los pozos. En contraste un calcáreo cavernoso o una arenisca fracturada con baja porosidad, puede dar o rendir casi toda el agua que contenga. Los acuíferos más importantes económicamente son los depósitos de arenas y de grava que tienen un rendimiento específico -- más bien alto

Material	Porosidad por cien- to	Rendimiento específico por ciento	permeabilidad gpd/pie ²
Arcilla	45	3	1
Arena	35	25	800
Grava	25	22	15000
Grava y arena	20	16	2000
Areniscas	15	8	100
Calizas y pizarras ..	5	2	1
cuarcita, granito ...	1	0.5	0.1

La capa o nivel freático. El nivel estático del agua en los pozos que penetran en la zona de saturación, se llama capa o nivel freático. El nivel freático con frecuencia se describe como una reproducción o réplica amortiguada de la topografía de la superficie del terreno. Este nivel es comúnmente más alto debajo de las montañas y los lomeríos, que debajo de los valles, por lo cual un plano o mapa de las curvas de nivel de la capa freática en una zona determinada, puede ser muy similar al de la topografía superficial. El nivel freático es la superficie de un cuerpo o masa de agua que está por sí misma constantemente ajustándose para alcanzar una condición de equilibrio. Si en una cuenca no hubiera recarga hacia los mantos de agua subterránea, o bien escurrimiento de salida desde esos mantos, el nivel freático eventualmente se volvería horizontal. Pocas cuencas tienen condiciones uniformes de recarga en la superficie. Algunas zonas reciben más lluvia que otras. Otras porciones de una

cuenca tienen suelos más permeables, por lo tanto, cuando ocurre o hay una recarga intermitente, se forman montículos y lomeríos en el nivel freático debajo de las áreas de máxima recarga. La recarga posterior, quizá pueda formar montículos adicionales en otros puntos de la cuenca, ocasionando -- que se modifique más el arreglo o distribución del escurrimiento en el subsuelo. Si a una condición tan simple como -- la descrita se le añaden o sobreponen: variaciones en la permeabilidad de los acuíferos, estratos impermeables y la influencia de los lagos, ríos y pozos, como resultado, se obtiene entonces una visión panorámica relativa al nivel freático y en el cual, dicho nivel está constantemente ajustándose para alcanzar el equilibrio. Debido a los bajos valores de los ritmos de escurrimiento de muchos acuíferos, rara vez se alcanza este equilibrio antes que ocurran las siguientes alteraciones adicionales.

Cuando el agua ocurre o se presenta en grietas, fisuras y cavernas, la situación es algo diferente. El escurrimiento en las aberturas grandes generalmente es turbulento y los ajustes se presentan con bastante rapidez. Comúnmente, el agua se encuentra aproximadamente al mismo nivel, en cualquier sitio dentro de las aberturas interconectadas en un sistema. Entre aberturas enteramente separadas, los niveles del agua pueden, en una misma formación geológica, variar -- considerablemente. Los pozos perforados en tales condiciones

darán, por lo tanto, muy poca agua, a menos que se interseccionen a una de las fisuras o cavernas.

Acuíferos artesianos. Hasta este punto en el tema, se han discutido y analizado aquellos acuíferos en los cuales la superficie superior del agua no está cautiva o confinada. Algunas veces, un acuífero se encuentra confinado por estratos de baja permeabilidad. La presión estática en un punto dentro del acuífero es equivalente a la elevación del nivel freático en el área de recarga, menos la pérdida de carga a través del acuífero, hasta el punto en cuestión. Un pozo perforado para pasar el estrato confinante, actúa como un piezométrico en un tubo y el agua subirá en el pozo hasta el nivel de la presión estática local. Si la presión es suficiente para elevar el agua arriba del terreno, el pozo se llama surgente. La superficie definida por el nivel freático en un grupo de pozos artesianos se llama superficie piezométrica, y es el equivalente artesianiano del nivel freático.

La forma de la superficie piezométrica puede compararse o visualizarse en una forma muy semejante a la de la línea del gradiente hidráulico en un tubo. Si no hay escurrimiento por el acuífero, la superficie piezométrica estará a nivel conforme aumenta la descarga, la superficie se inclinará más agudamente hacia el punto de la descarga. La pendiente del gradiente es fuerte o inclinada a través de áreas de baja permeabilidad y relativamente plana en donde la permeabi-

lidad es alta debido a las bajas velocidades del escurrimiento en el agua del subsuelo, la carga de velocidad es despreciable y las pequeñas variaciones se la sección transversaldel acuífero se reflejan en los niveles artesianos.

Cuando el agua se extrae de un pozo artesiano, se produce una depresión local de la superficie piezométrica. Estadisminución en la presión permite una ligera expansión del agua y, en algunos casos, una compactación del acuífero. La presión disminuida alrededor del pozo, aumenta el flujo o escurrimiento hacia el mismo y después de que haya pasado suficiente tiempo, este escurrimiento incrementado se refleja en un abatimiento del nivel freático en el área de recarga. En acuíferos grandes, el tiempo transcurrido en dicho proceso puede medirse en años.

Los acuíferos artesianos por lo general tienen áreas de recarga relativamente pequeñas en comparación con los acuíferos freáticos y comúnmente rinden o dan menos agua. La importancia económica de los acuíferos artesianos está en el hecho de que conducen y transmiten agua, el agua a distancias significativas o importantes y la entregan arriba del nivel del acuífero reduciendo así los costos de bombeo. Las areniscas de Dakota proporcionan el agua de las Black Hillsa una gran parte del estado de South Dakota. Inicialmente este acuífero transmitió grandes escurrimientos con presiones en la superficie del terreno hasta de 130 lb/plg². Las

fuertes extracciones de agua han causado presiones y rendimientos menores. En el área de recarga se ha advertido que hay un efecto muy pequeño por la extracción y se cree que la mayor parte del agua utilizada durante los últimos 50 años ha procedido del almacenamiento resultante de la compactación del acuífero y de la expansión del agua. Esto sugiere que la carga hidráulica no es la única fuente de presión en los acuíferos artesianos, sino que el peso de las formaciones arriba del acuífero es también un factor. El bombeo de acuíferos artesianos ha producido el hundimiento de terrenos en algunas áreas. En el oeste del Valle de San Joaquín de California, las elevaciones de la superficie del terreno descendieron 10 pies en 22 años. Durante ese mismo período la superficie piezométrica se abatió 190 pies.

Descarga del agua del Subsuelo. El agua del subsuelo en exceso de la capacidad local de un acuífero se descarga por evapotranspiración y por descarga superficial. Cuando el cordón capilar llega a los sistemas radiculares de la vegetación, se proporciona una ruta directa para la transpiración directa hacia la atmósfera. Algunas plantas típicas del desierto (freatofitas) tienen sistemas radiculares que se extienden hacia abajo por más de 30 pies para llegar hasta el agua del subsuelo. En algunos casos una fluctuación diaria de la elevación del nivel freático se nota o se advierte como resultado de la transpiración durante el día.

Conforme el cordón capilar se acerca a la superficie del terreno, mayores cantidades de agua pueden evaporarse directamente desde el suelo.

Si el nivel freático o un acuífero artesiano intersecta la superficie del terreno, el agua es descargada como escurrimiento superficial. Si el ritmo de descarga es bajo, o cuando el escurrimiento es esparcido sobre una área grande, puede ocurrir una filtración difundida y el agua no hace más que humedecer el terreno desde el cual se evapora. Sin embargo, la filtración difundida, a lo largo de los bancos de los ríos o corrientes o en los lagos, puede formar o constituir un considerable volumen y es, con frecuencia, la fuente principal del escurrimiento fluvial durante los períodos de sequía o estiaje. Una gran descarga desde un acuífero que esté concentrada en una área pequeña es o constituye un manantial.

Los grandes manantiales, generalmente están asociados con fisuras o cavernas en las rocas. Los manantiales asociados con acuíferos de gran extensión y moderada o baja permeabilidad, por lo común, escurren a ritmos relativamente constantes. Los manantiales que reciben su escurrimiento de acuíferos pequeños o altamente permeables, pueden fluctuar ampliamente en su descarga y algunas veces se secan durante las sequías.

Pozos poco profundos. El tipo más simple de pozo es el

pozo excavado o a cielo abierto que consiste en una fosa o zanja excavada hasta el nivel del agua freática. Con frecuencia se utiliza un revestimiento o ademe de mampostería para soportar a la excavación. Debido a la dificultad de excavar abajo del nivel freático, los pozos excavados no penetran hasta una profundidad suficiente para producir o dar un alto rendimiento de agua. Además si el agua freática se abate durante un período de sequía por un período de intensa extracción en los pozos de las cercanías, un pozo excavado poco profundo fácilmente puede secarse. Este tipo de pozo con frecuencia no se usa, sino solo para abastecimientos de simples fincas rurales.

Rendimiento seguro. La extracción del agua del subsuelo con ritmos mayores que aquellos con los cuales es realimentado resultan en un exceso del nivel freático y un aumento en el costo de bombeo. En las áreas costeras, la sobreexplotación puede invertir al gradiente del nivel freático que normalmente está dirigido hacia el mar y permite que el agua salada se mueva hacia la parte terrestre y contamine el acuífero. Un acuífero no alterado por el bombeo está en un equilibrio aproximado. El agua es añadida por recarga natural y eliminada por descarga natural. En años de agua abundante, el nivel freático sube y en años de sequía el nivel del agua declina, pero los ritmos de la recarga y de la descarga tienden a permanecer en un balance aproximado.

Cuando se pone un pozo en operación, se crea un nuevo grupo de condiciones, parte del agua puede eliminarse del almacenamiento en el acuífero o ser extraída en una forma similar a la que otros minerales se extraen de las minas. La depresión en el nivel freático causada por el pozo, puede inducir una recarga aumentada o puede disminuir a la descarga natural. El concepto de rendimiento seguro se ha utilizado -- por años para expresar a la cantidad de agua del subsuelo -- que puede extraerse sin perjudicar al acuífero, como una fuente alimentadora de agua, causar contaminación o crear problemas económicos por una altura de bombeo severamente aumentada. Prácticamente el rendimiento seguro no puede definirse en términos generales y realmente prácticos. La localización de pozos con respecto a áreas de carga y descarga, el carácter del acuífero, las fuentes potenciales de contaminación y muchos otros factores, están involucrados en las estimaciones de la extracción máxima factible de un acuífero. Un número determinado de pozos, estrechamente espaciados, causarán una declinación mucho más rápida en los niveles locales del agua que el mismo número de pozos, pero disperso con mayor amplitud.

La determinación de rendimiento seguro es un problema -- complejo en la hidrología y economía porque cada acuífero -- exige una solución única los tipos de casos son:

1. Acuífero en los cuales el rendimiento seguro está --

limitado por la disponibilidad de agua para recarga.

2. Acuíferos en los cuales el rendimiento seguro está limitado por la transmisibilidad del acuífero.

3. Acuíferos los cuales el rendimiento seguro esta limitado por la contaminación potencial.

El primer caso se encuentra comúnmente en las regiones áridas. El agua puede visualizarse como un gran almacenamiento que es abatido para satisfacer necesidades de agua durante los períodos de baja recarga. El descenso del nivel freático durante los períodos de sequía no es una evidencia que se haya excedido o superado el rendimiento seguro, pero una declinación continua durante los períodos de agua abundante, advierte sobre la existencia de extracciones excesivas. La extracción segura de un embalse del agua del subsuelo, es igual a la recarga anual menos la descarga natural inevitable.

$$\text{Rendimiento seguro} = P - R - E - G$$

E = Evapotranspiración para el área tributaria del acuífero

P = Precipitación media anual

R = Escurrimiento medio anual del área tributaria

G = Descarga superficial media anual desde el acuífero

La transmisibilidad de los acuíferos puede ser tan baja que aunque este disponible agua adecuada para la recarga, ésta no se mueve hacia los pozos con la suficiente rapidéz para permitir su utilización total. El abatimiento del nivel

freático puede aumentar el gradiente desde el área de recarga y permitir un mayor escurrimiento hacia los pozos. El rendimiento seguro de un acuífero así, no por la aprovechabilidad del agua, sino, más bien por el ritmo con el cual el agua puede entregarse al pozo.

Donde la contaminación del agua del subsuelo sea factible, el arreglo del pozo en el campo, los ritmos de utilización y los tipos de pozos, deben planearse en una forma tal, que las condiciones no permitan que la contaminación pueda desarrollarse. Los tres casos, por lo tanto, ofrecen diversos valores posibles del rendimiento seguro, dependiendo de la situación física y del método empleado para recoger y coleccionar el agua del subsuelo. De aquí que el rendimiento seguro sea, en esencia, un concepto académico el cual puede dársele significación cuantitativa, sólo cuando todas las condiciones de control estén definidas especialmente.

Túneles. Ocasionalmente es más económico conducir el agua por un túnel a través de una montaña, que por medio de un acueducto o un canal alrededor de la misma. Los túneles generalmente, son de sección circular o en herradura, para aprovechar las ventajas de la acción de arco. Si el material del túnel no tiene estabilidad, puede utilizarse un revestimiento de concreto de acero para evitar su falla; los túneles perforados en roca estable no necesitan revestirse por razones estructurales, pero sus superficies interiores gene-

ralmente se emparejan con gunita para mejorar sus características hidráulicas. El diámetro mínimo económico para túneles excavados a mano, aproximadamente es de 6 pies, mientras que los túneles excavados a máquina generalmente tienen un diámetro mínimo de 8 pies. Los túneles pueden escurrir total o parcialmente llenos. Cuando llenos, trabajan como conductos a presión y el revestimiento metálico puede ser necesario para regular las presiones para reventados cuando los túneles escurren parcialmente llenos, trabajan como un canal a cielo abierto y el escurrimiento en ellos si es uniforme está regido por la ecuación de Manning.

Galerías Filtrantes. Donde el agua subterránea puede ser recogida o interceptada a profundidades moderadas, es algunas veces interceptada por galerías construídas a través de la línea de escurrimiento. Si estos lugares están a suficiente profundidad, podrán proporcionar agua suficiente para ser interceptada. En forma, una galería puede consistir meramente de un dique abierto el cual conduce el agua hacia afuera o tal vez de un conducto cerrado de mampostería, madera, hierro o un tubo de arcilla vitrificada provista de numerosas pequeñas aberturas para permitir la entrada del agua, a menos que esté constantemente sumergida en el agua la madera no podrá ser usada, la mampostería y tubo vitificado son preferibles al hierro, por que estos materiales son dañados al estar expuestos al agua. Si las galerías no son cubiertas,

El crecimiento excesivo de la vegetación es apto para que -- ocurra la contaminación del agua.

Las galerías se construyen generalmente en zanjas abiertas. Para prevenir la entrada de material fino cerca de las aberturas, se debe llenar de grava de tamaño graduado y como precaución adicional las aberturas pueden hacerse únicamente en la parte inferior. Deben hacerse de tal manera que permitan la entrada de mano de obra para hacer inspecciones y limpiezas. Las galerías pueden ser tan largas como se necesiten para conducir una cantidad estimada, y en casos de disturbio con arena es riesgoso hacerlas bastante largas, sin proveerlas de registros de inspección.

El costo de las galerías es más o menos igual al del canal de tamaño similar y aumenta rápidamente con la profundidad, pero a una profundidad de 20 a 25 pies es tan baja que a menudo la construcción de una galería puede ser desventajosa cuando se comienza. Una galería intercepta el agua más completamente que los pozos y reemplaza la succión de tubos; es más durable que un tubo o pozo, y se evitan los disturbios causados por el aire.

Donde las condiciones son favorables el agua superficial puede usarse algunas veces para aumentar el agua subterránea usando así el suelo natural como un filtro, en lugar de un filtro de construcción artificial.

La economía en la planeación. El diseño de la ingenie-

ría de recursos hidráulicos, involucra el hacer muchas selecciones de entre varias alternativas físicamente factibles. En términos generales cada selección de entre un grupo de alternativas debe hacerse basada en consideraciones económicas. Cada alternativa que reciba una seria o especial atención, deberá expresarse en unidades monetarias antes de que se haga la selección. De hecho a no ser que las alternativas puedan expresarse en unidades monetarias, los conceptos involucrados en dichas selecciones no son medibles. Por ejemplo la unidad monetaria es la única unidad de medida que puede aplicarse a conceptos tan diversos como tubería de acero, horas-hombre de mano de obra calificada y no calificada y la reducción del peligro de inundaciones.

Los autores de economía de la ingeniería citan con frecuencia las preguntas o cuestiones clásicas. Estas preguntas son: ¿Por qué hacer esto de alguna manera? ¿por qué hacerlo ahora? ¿por qué hacerlo en esta forma? Estos asuntos pueden considerarse como diferentes aspectos de la cuestión general: ¿se cubrirán o pagarán los gastos?

Como estas preguntas lo indican, la mayor parte de las recomendaciones en proyectos de ingeniería abarcan un grupo principal de alternativas, y en cada uno de estos grupos hay muchos otros grupos secundarios o subordinados de alternativas. En cada etapa, en el análisis, es necesario considerar a la economía relativa para hacer una selección racional en-

tre las alternativas posibles y establecer así el diseño total o integral más favorable.

La importancia pública de un análisis económico adecuado a los proyectos principales de cuencas fluviales es admitida en general; los ingenieros y otros técnicos no siempre están enterados de los costos sociales que se derivan o resultan de decisiones inadecuadas sobre puntos que parecen ser cuestiones de menor importancia. Con frecuencia se presentan problemas cuya importancia, en conjunto, se vuelve grande.

Etapas de un estudio económico de ingeniería. Es útil considerar un estudio económico que comprenda los puntos o etapas siguientes:

1. Cada alternativa que aparezca con posibilidades debe identificarse y definirse claramente en términos físicos.
2. En la medida que pueda practicarse, las estimaciones físicas para cada alternativa deben traducirse a estimaciones monetarias de los pagos y gastos y que estarán influidas por la selección que se haga de entre varias alternativas. Las estimaciones deben hacerse tanto de fechas como de magnitudes de los pagos y gastos. Esto requiere hacer estimaciones de valores de la duración y de las repercusiones que haya en las estructuras y en otros bienes que se necesiten en cada alternativa. También exige una decisión concerniente a la duración del período de estudio o tiempo en el

cual se hará el estudio económico.

3. Usualmente las estimaciones monetarias necesitan -- ser colocadas en una base de comparación, por medio de las conversiones adecuadas en que se emplean las matemáticas del interés compuesto. En estas conversiones debe usarse el tipo_ de interés más atractivo y adecuado.

4. De entre las alternativas debe hacerse una selección o una recomendación para una selección. Esta selección se - influye adecuadamente por la comparación en términos de unidades monetarias, y por otros conceptos cuando no es practicable hacer la reducción a términos monetarios (términos intangibles o irreductibles).

OBSERVACION Y ESTUDIO

Trabajo de Campo

Después de observar el terreno y lo que convenía hacer se trazó una línea recta de una longitud de 260 metros con rumbo al lugar donde están a la vista los manantiales. Se fijaron puntos en el terreno por medio de estacas numeradas y se hizo una cuadrícula en el terreno que sirvió para levantar las alturas de todos los puntos y fijar los detalles del terreno.

Para hacer este trabajo utilicé la nivelación de perfil. Este método consiste en determinar las cotas de puntos a distancias conocidas sobre un trazo, para obtener el perfil de este terreno. Este método sirvió tanto para levantar la línea base, como para determinar las alturas de todos los distintos puntos de la cuadrícula.

El inicio del trabajo tuvo lugar en el banco de nivel número 1, punto escogido para comenzar el trabajo por ser un punto fijo colocado sobre la línea central.

El final del trabajo tuvo lugar en el banco de nivel número 2. En seguida efectué la nivelación de regreso para comprobar el trabajo quedando encerrado dentro de la tolerancia.

REGISTRO

Trabajo Nivelación		Conservador A.R.G.			
Lugar	Buenvista, Coah.	Fecha	Abril 19	Aparato	Rosbach
P. O.	+	Cota Aparato	Lecturas (-) B. N. y P. L	Puntos (-)	Cotas
B.N. 1	1.27	101.27			100.00
0+000				1.27	100.00
0+010				1.43	95.84
0+020				1.77	99.50
0+030	1.08	99.86	2.49		98.78
0+040				1.53	98.33
0+050				1.57	98.29
0+060				1.74	98.12
0+070				1.56	98.30
0+075				1.52	98.34
0+080	1.35	99.47	1.74		98.12
0+090				1.11	98.36
0+098				2.11/7.10	97.36/
					90.26
0+100.06				7.02	90.34
0+102				2.08	97.39
0+110				2.23	97.24
0+120				2.56	96.91
0+130				2.58	96.89
0+140				2.77	96.70
0+149				2.04/5.80	96.83/
					91.03
0+153				2.72/5.95	96.75/
					90.80
0+160	0.29	96.92	2.84		96.63
0+170				0.88	96.04
0+180				1.35	95.57
0+190				1.55	95.37
0+200				1.79	95.13
0+210				2.32	94.60
0+218				4.43	92.49
0+220				3.10	93.82
0+230				2.86	94.06
0+240				2.28	94.64
0+250				1.92	95.00
0+260				2.21	94.71

REGISTRO

Trabajo		Nivelación		Observador		A.R.G.	
Lugar		Buenavista, Coah.		Fecha		Abril 19	
Aparato		Rossbach					
Lado sur		Lado sur		Línea central		Lado norte	
20 metros		10 metros		B.N. 1		10 metros	
Lect. Cota		Lect. Cota				Lect. Cota	
1.26	100.01	1.54	99.73	0 +	000	0.89	100.38
1.59	99.68	1.94	99.33	0 +	010	1.09	100.18
1.95	99.32	2.24	99.03	0 +	020	1.05	100.22
1.92	99.35	2.33	98.94	0 +	030	3.11	98.16
0.59	99.27	1.10	98.76	0 +	040	2.07	97.79
0.83	99.03	1.05	99.81	0 +	050	2.08	97.78
1.02	98.84	1.31	98.55	0 +	060	2.12	97.74
0.95	98.91	1.42	98.44	0 +	070	1.25	98.61
0.94	98.92	1.50	98.36	0 +	075	1.39	98.47
1.31	98.55	1.56	98.30	0 +	080	1.38	98.48
1.16	98.31	1.09	98.38	0 +	090	1.97	97.50
1.45	98.02	1.27	98.20	0 +	098	2.35	97.12
				0 +	100.06		
1.61	97.86	1.26	98.21	0 +	102	2.38	97.10
2.16	97.31	1.66	97.51	0 +	110	2.74	96.73
2.22	97.25	1.97	97.50	0 +	120	3.05	96.42
2.47	97.00	2.27	97.20	0 +	130	3.10	96.37
2.40	97.07	2.18	97.29	0 +	140	3.24	96.23
				0 +	145		
2.63	96.84	2.22	97.25	0 +	153	3.40	96.07
2.71	96.76	2.59	96.88	0 +	160	3.39	96.08
0.60	96.32	0.35	96.57	0 +	170	1.22	95.69
1.05	95.87	0.74	96.18	0 +	180	1.59	95.35
				0 +	190	1.94	94.98
1.24	95.68	1.13	95.79	0 +	200	2.56	94.35
1.49	95.48	1.26	95.66	0 +	210	3.88	94.18
1.29	94.72	2.87	95.19	0 +	218		
				0 +	220	3.90	93.01
2.93	95.13	2.49	95.57	0 +	230	3.25	93.56
3.38	94.68	2.30	95.76	0 +	240	3.18	91.63
3.06	92.75	3.18	92.63	0 +	250	2.72	92.10
2.20	93.61	3.14	92.67	0 +	260	2.96	91.85
3.41	92.40	3.25	92.56				3.12
							91.69

DISCUSION

Todo lo anotado anteriormente son los datos levanta en el campo.

Debe hacerse la aclaración de que en tres puntos del caminamiento (0 + 098, 0 + 149 y 0 + 153) se tienen dos puntos negativos y dos cotas con cada uno. Esto se debe a que en esos puntos había pozos por lo que después de medir las alturas de las estacas previamente fijadas en el terreno, medí la profundidad de los pozos y después con la cota superior deduje la cota inferior restándole la profundidad.

Para levantar este trabajo en el campo tomé las precauciones necesarias, tratando de reducir los errores que con más frecuencia se cometen en la nivelación, y los cuales son:

No estar vertical estadal. Este error se elimina:

1º Empleando nivel de estadal para que quede a plomo.

2º Balanceando el estadal para que el observador tome la lectura mínima.

Error por reverberación. Se produce por la refracción de los rayos luminosos al subir el aire caliente que está en contacto con el suelo. Este error se evita en parte al dejar de trabajar durante las horas del mediodía.

Error por no estar perfectamente centrada la burbuja.

Error de apreciación por la curvatura terrestre.

Estos errores por su poco valor son despreciables; sólo cuando se trate de nivelaciones precisas deberán corregirse. Aunque con las visuales con que ordinariamente se trabaja en -

la nivelación directa, del orden de 100 metros, no es apreciable este error, y para evitar que se haga acumulativo conviene al ir trabajando mantener longitudes iguales de visuales hasta donde sea posible.

Precauciones al hacer una nivelación.

Como los puntos de liga unen una posición del aparato con la siguiente, deben ser puntos fijos, invariables, cuando menos mientras se cambia el aparato a la siguiente posición para leer atrás al mismo P.L. También deben escogerse si son puntos que existen sobre el terreno, que tengan como los bancos un punto sobresaliente.

Si sobre el trazo no se encuentran puntos así, deberán darse los P.L. con estacas, clavos o pijas metálicas, pues de esto depende en gran parte el éxito del trabajo.

Otra precaución importante es procurar que en cada posición del aparato (golpe de nivel) la distancia a que se lee atrás sea igual a la que se lee adelante, para eliminar cualquier error por desviación inapreciable de la línea de colimación o por curvatura y refracción.

La precisión en estos trabajos depende de muchos factores, pero básicamente además del aparato que se utilice depende del cuidado y experiencia del nivelador y del refinamiento que use.

La temperatura puede afectar a los estadales y los rayos solares al aparato si le llegan sólo de un lado, por lo que en algunos casos es recomendable usar sombrilla para protegerlo.

Los días nublados son más convenientes para nivelar, pues -- además de evitar lo citado anteriormente, la visibilidad es más uniforme en todas direcciones y sin sombras y contrastes fuertes que puedan hacer imprecisas las lecturas.

Un error depende en gran parte del número de puestas de aparato, es decir, de la distancia nivelada, pues para una misma -- distancia recorrida será mayor el error en terreno accidentado -- que en terreno plano en el que se requieren menos cambios de aparato, y las visuales atrás y adelante se pueden ir haciendo iguales fácilmente, lo cual es muy importante para este trabajo.

También se ha observado que lo más conveniente para nivelar un tramo definido, entre bancos, es que sea un mismo observador, el que lo haga hasta finalizar y en el mismo día, en forma continua, sin interrupciones, pues todas las operaciones, tanto del nivelador como de los estadaleros, se mecanizan y se hacen rutinariamente, logrando una uniformidad que se traduce en mayor -- precisión y velocidad del trabajo.

Por todo lo anterior varían las tolerancias para nivelaciones que recomiendan los textos entre unos y otros, pues unos -- consideran sólo los errores accidentales y otros todos los factores de trabajo.

Puedo decir que en México se ha seguido en general lo que recomienda Toscano en sus "Métodos Topográficos", quien sólo toma en consideración los errores accidentales. Suponiendo que -- se trabaje con un aparato ordinario cuyos constantes sean del --

orden de 20 metros para el radio de curvatura y 25 diámetros - para el poder amplificador, aproximando lecturas hasta 1 mm en los P.L. y con visuales máximas constantes de 100 metros aproximadamente, los errores máximos serán:

Nivelación entre dos puntos de ida y regreso, siguiendo - el mismo o diferente camino. Tolerancia = ± 1 cm en un kilómetro.

Lo descrito hasta aquí es el trabajo realizado en la superficie, el cual tuve que ligar con la superficie de la galería; de donde, para obtener el nivel inferior de ésta, medí la altura del B.N. 1 a la superficie de la galería utilizando un registro que se encuentra ahí. Dicha medida me dio un desnivel de 14.20 metros. En seguida corrí una nivelación interna, de una longitud de 51.20 metros y ésta me dio un desnivel de - 6 cm. Con todos estos datos reunidos el siguiente paso fue el trabajo de gabinete: En un papel milimétrico (escala horizontal 1 : 400 y escala vertical 1 : 100), construí el perfil del trazo y la cuadrícula, anotando en cada punto su cota respectiva. Con todas las cotas a la vista saqué las curvas a nivel, con una equidistancia vertical de 1 m. para hacer más objetiva la representación del relieve.

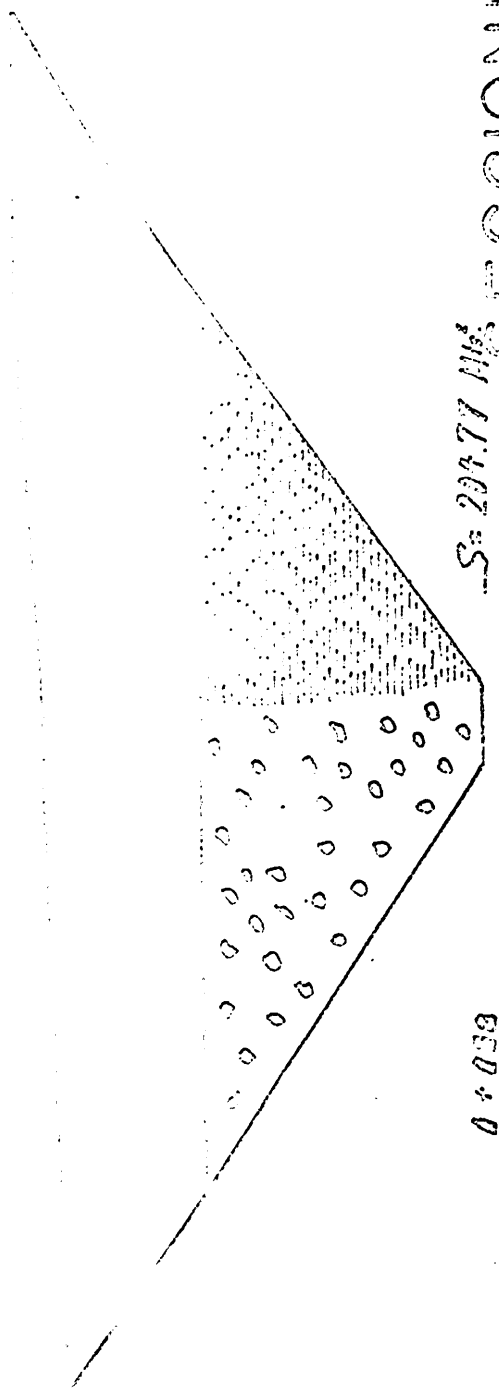
Después dibujé las secciones de donde determiné las áreas con el planímetro y los volúmenes por la fórmula del prismoide

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot d$$

Volumen de excavación calculado para una rasante de .002,

con plantilla de 2 m. y taludes de 1 : 5 - 1 = 20,250 m³.

Volumen calculado de excavación para una rasante .002 con
plantilla de 1 m. y taludes 1.5 : 1 = 19,399 m³.

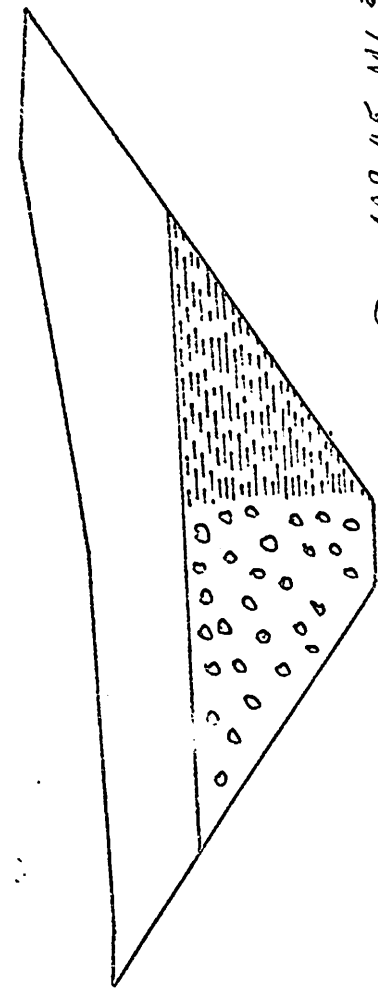


0+038 $S = 204.77 \text{ Mts}$ SECCIONES

Plantilla: 2.00 Mts.

Taludes: 15 : 1

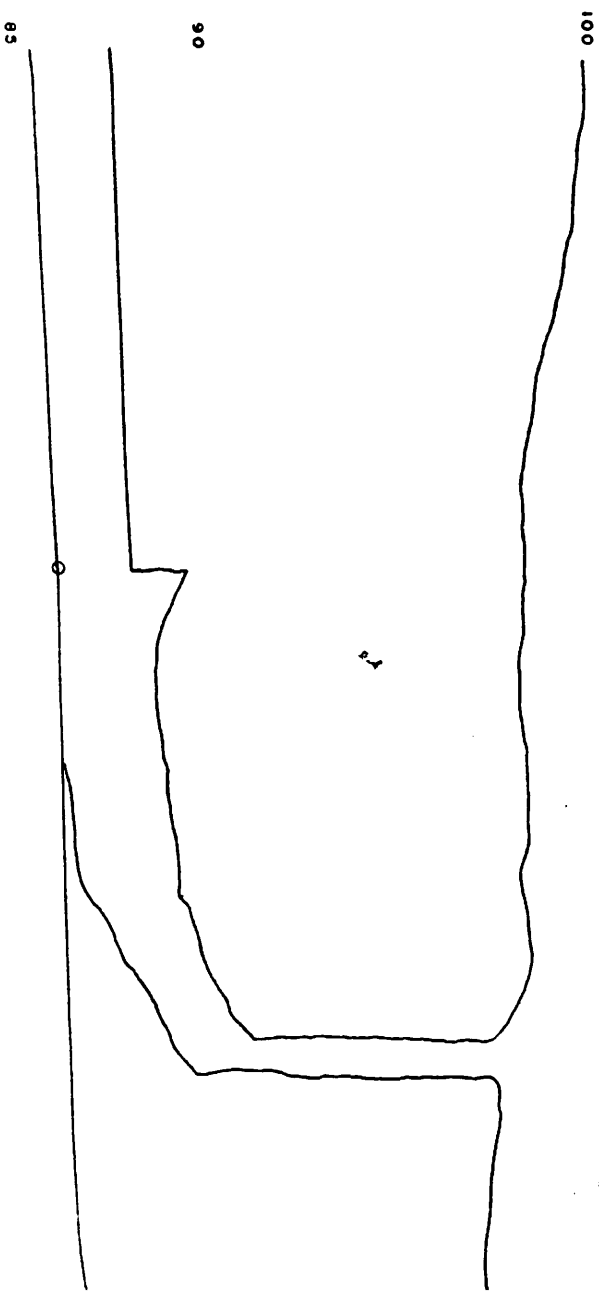
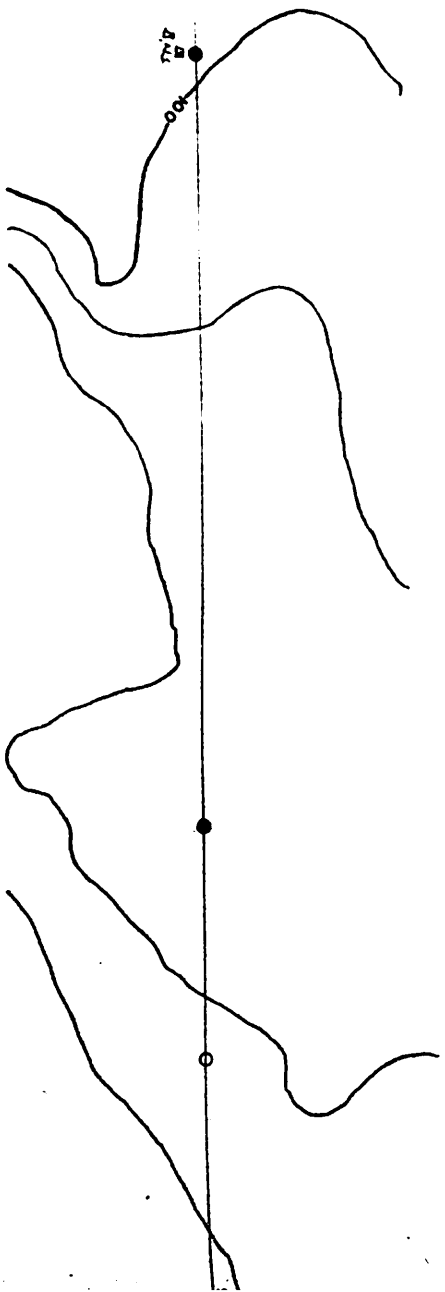
Escala 1 : 200



0+230

$S = 100.45 \text{ Mts}$

PLANTA



A hand-drawn sketch of a vertical line with a horizontal bar at the top, resembling a stylized letter 'F' or a simple architectural element. The drawing is done in black ink on a white background. The vertical line is slightly irregular, and the horizontal bar is also hand-drawn, with some small gaps or breaks in the lines. The overall impression is that of a quick, gestural sketch.

	96.89	86.56	10.33
0+140	96.70	86.58	10.12
0+149	<u>96.83</u>		
	91.03	86.60	10.27
0+153	<u>96.75</u>		
	90.60		
0+160	96.63	86.62	10.01
0+170	96.04	86.64	9.40
0+180	95.52	86.66	8.86
0+190	95.37	86.68	8.67
0+200	95.13	86.70	8.43
0+210	94.60	86.72	7.48
0+218	92.49		
0+220	93.82	86.74	7.08
0+230	94.06	86.76	7.30
0+240	94.64		
0+250	95.00		
0+260	94.71		

Signos Convencionales

POZO _____
DERRUMBE _____
REGISTROS _____

PROYECTOS

Proyecto Número 1

Zanja para captación y conducción
de agua, vuelta a llener con arcilla
y grava

Long. = 132 m.

Plantilla de 1 m. y taludes 1.5 : 1.

No necesita mantenimiento

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
			\$	\$
Excavación de zanja	m3	19,398	20	387,960
Grava	m3	4,405	25.66	113,164
Plantilla de zampeado	m3	185	115	21,275
Colocación de grava graduada	m3	330	14	4,620
Volteo de grava	m3	4,079	4	16,316
Relleno de tierra no compactada con maquinaria	m3	14,989	4	59,956
		Suma total		603,291

Nota. La grava graduada debe ir en toda el área
hidráulica del canal

Proyecto Número 2

Zanja para bóveda de mampostería de 1 m. de base por 2 m. de alto. Vuelta a llenar de grava y arcilla

Long. = 132 m.

Plantilla de 2 m. y taludes 1.5 : 1

Presupuesto de costos aproximados, sin agregar su mantenimiento

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
			\$	\$
Excavación de zanja	m3	20,250	20	405,000
Mampostería	m3	260	230	59,800
Excavación de agua	m3	42.2	60	2,532
Relleno de grava	m3	5,287	25.66	135,700
Volteo de grava	m3	5,287	4	21,148
Relleno de tierra a volteo	m3	14,567	4	58,268
Un registro para su inspección	pieza	1	8,000	8,000
Excavación para cimentación	m3	42.29	20	845.8
Varilla de fierro	kg	660	3.20	2,112
Tubos drenadores de 4"	pieza	1,584	10	15,840
Suma total				709,245.8

Proyecto Número 3

Zanja para captación y conducción de agua, con tubo de 1.22 de diámetro y vuelta a llenar con grava y arcilla

Long. = 132 m.

Plantilla de 2 m. y taludes 1.5 : 1

Presupuesto con costos aproximados
sin agregar su mantenimiento

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
			\$	\$
Excavación de zanja	m3	20,250	20	405,000
Tubería (incluyendo colocación)	pieza	80	800	64,000
Grava para relleno	m3	5,526	25.66	141,834
Volteo de grava para relleno	m3	5,526	4	22,104
Relleno de tierra a volteo	m3	14,567	4	58,268
Registro para su inspección	pieza		8,000	8,000
		Suma total		699,206

Proyecto Número 4

Zanja abierta para captación y conducción de agua. Con bóveda de ladrillo de 2 m. de base por 2 m. de alto. Vuelta e llenar de grava y arcilla.

Long. = 132 m.

Plantilla de 2 m. y taludes 1.5 : 1

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
			\$	\$
Excavación de zanja	m3	20,250	20	405,000
Bóveda de ladrillo	m. lin.	132	864.51	114,115
Grava para relleno	m3	4,891	25.66	125,536
Volteo de grava	m3	4,891	4	19,564
Relleno de tierra a volteo	m3	14,567	4	58,268
Un registro para su inspección	pieza	1	8,000	8,000
Suma total				730,483

CONCLUSIONES

El proyecto número 1 es el más recomendable para llevarse a cabo, por lo siguiente:

1. Por su diferencia en costo con los demás.
2. Con su plantilla de zampeado y mortero reúne la condición de conducción que para el caso es suficiente.
3. Con el relleno de grava hasta la parte máxima de escurrimiento, y por el lado opuesto una cortina de arcilla reúne la condición de captación en su máxima expresión.
4. Los cálculos están hechos para una rasante de .002, pero si ésta se aumenta a .003 mejoramos la condición de conducción, a cambio de sacrificar un poco su captación, sacrificio que será más notable en épocas de sequía prolongada.
5. A diferencia de los demás proyectos, éste no necesita mantenimiento.
6. Por su gran diferencia en precio se puede reconstruir cada 20 años, si fuera necesario.
7. Por su tipo de construcción es más higiénico que los demás.
8. Por su sencillez en el proyecto su construcción es más rápida, lo que ahorra molestias, tiempo y gastos extras.

BIBLIOGRAFIA

- Brambila, A. Tratado Práctico de Topografía, 8ª edición.
Editorial Tesis Reséndiz.
- Linsley, R. K. y J. B. Franzini. 1967. Ingeniería de los
Recursos Hidráulicos. Cía. Editorial Continental, SA
México, España. Primera edición en español.
- Montes de Oca, M. 1968. Topografía. Representaciones y
Servicios de Ingeniería, SA. Tercera ed. revisada.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Especificaciones Gene
rales y Técnicas de Construcción.
- Trueba Coronel, S. 1971. Hidráulica. Cía. Editorial Con
tinental, Undécima edición.
- Turneaure, F. E., and H. L. Russell. 1924. Public Water
Supplies. J. Wiley & Sons, Inc.