

21
25

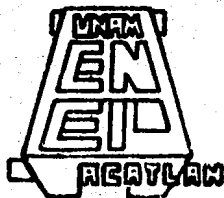


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
A C A T L A N**

**METODOLOGIA EN LA PLANEACION PARA EL
DESARROLLO DE SISTEMAS DE RIEGO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JAVIER NUÑEZ HERNANDEZ



México, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	PAGINA
CAPITULO I FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA -----	1
CAPITULO II ESTUDIOS PREVIOS -----	15
CAPITULO III DEMANDAS DE RIEGO -----	51
CAPITULO IV OBRAS HIDRAULICAS -----	99
CAPITULO V CONSIDERACIONES EN LOS CANALES DE ----- CONDUCCION -----	127
CAPITULO VI DRENAJE -----	165
CAPITULO VII ADMINISTRACION Y OPERACION -----	217
CAPITULO VIII DISTRITO DE RIEGO No. 41 RIO YAQUI, SONORA -----	:229
CONCLUSIONES	257

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

El territorio nacional es una parte geográfica conocida por todos como una porción de tierra bastante accidentada por lo que trae en consecuencia para los mexicanos el compromiso de realizar los estudios, planes y proyectos de una manera óptima y eficiente por parte de las instituciones públicas (o privadas en algunos casos) con que se cuentan, teniendo como objetivos primordiales, el proporcionar bienes socio-económicos que favorezcan al desarrollo de las regiones y en consecuencia del país.

Por lo anterior y en lo que se refiere a la producción de alimentos y en conjunción con los planes de producción de éstos, se observa la necesidad de que para aumentarla es conveniente en muchos casos la ampliación de sistemas de riego ya existentes o la creación de ellos para un mejor aprovechamiento de los recursos que puedan existir.

Motivado por esta problemática, he querido presentar este estudio con el objeto de mostrar los aspectos más importantes a considerar en la realización de los proyectos de sistemas de riego, proporcionando mediante el presente trabajo la manera de decidir sobre la factibilidad de llevarse a cabo.

En general, este trabajo consta de ocho capítulos, desarrollado de la siguiente manera:

Se presenta la Factibilidad Económica de un proyecto, como se mencionó antes, los Estudios Previos, las Obras Hidráulicas

que componen a un sistema de riego, en función de los factores principales como: el hombre, suelo, clima, etc., las consideraciones en los Canales de Conducción, la Red de Drenaje, la Administración y Operación y por último, el Sistema de Riego No. 41 del río Yaqui, en el que de una manera sintetizada se tratan algunos factores ya expuestos que tuvieron que ser considerados en la realización del mismo.

El sistema del río Yaqui, Sonora; es considerado como ideal ya que como se puede apreciar en el capítulo dedicado a el, cuenta con buen abastecimiento de agua, excelente red de caminos, procedimientos adecuados de explotación de la tierra, así como una buena red de canales de riego, razones por las cuales lo he tomado como modelo para apreciar los resultados obtenidos al llevarse a cabo una buena planeación y sobre todo cuando las condiciones de los estudios previos llevados a cabo son favorables.

C A P I T U L O I

FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA

1. OBJETIVO.

1.1 EL FINANCIAMIENTO COMO PARTE INTEGRAL DE UN PROYECTO.

1.1.1 Aspectos económicos.

1.1.2 Aspectos de planeamiento.

1.2 EVALUACION DE PROYECTOS.

1.2.1 Consideraciones fundamentales.

1.2.2 Relación beneficio costo.

1.2.3 Exceso de beneficios sobre costos.

1.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS INDICES.

FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA

1. OBJETIVO

La realización de un proyecto, significa introducir en la economía del país un elemento dinámico que provoca repercusiones en todo el sistema. En su etapa de estudio el proyecto se puede definir como el conjunto de antecedentes que permiten juzgar las ventajas que presenta la asignación de recursos económicos a un centro o unidad productora donde serán transformados en determinados bienes o servicios.

Si se decide llevar a cabo la iniciativa, se entra en una etapa de realización y el proyecto pasa a ser el conjunto de antecedentes y planes que permite montar aquella unidad productora.

1.1 EL FINANCIAMIENTO COMO PARTE INTEGRAL DE UN PROYECTO

La solución adecuada para el proyecto de un sistema de riego solo es posible obtenerla cuando se adopta una alternativa que tenga en cuenta todos los aspectos del problema. Es decir, el mejor proyecto bajo el punto de vista técnico, puede que no sea la mejor solución si no se ha tomado en cuenta lo relativo a operación y mantenimiento, administración y financiamiento; y viceversa, no es posible recomendar o dar una solución de carácter financiero, si no se toman en cuenta los aspectos técnicos, operativos y administrativos. Por lo

tanto para obtener una optimización, en el mayor grado posible, el estudio y análisis de un proyecto debe incluir todos los aspectos del programa del cual el proyecto forma parte. Otros aspectos que están vinculados con el económico, son los siguientes:

- a) Económicos y Sociales
- b) Planeamiento
- c) Técnicos
- d) Organización, Operación y Mantenimiento

1.1.1 Aspectos Económicos

El estudio y conocimiento de la situación general del país y de su economía, así como, de su desarrollo, es esencial para formarse un criterio de las prioridades que se deben tener en el desarrollo del programa.

Para establecer las prioridades en los proyectos de Sistemas de Riego, es necesario tener un concepto de los beneficios económicos y sociales que pueden esperarse. Se reconoce que un mejoramiento económico combinado con un mejoramiento social ofrece las mejores perspectivas para el mejor desarrollo general de un país. Así como, el desarrollo económico dentro de un marco de condiciones adecuadas, establece condiciones favorables para el progreso social y de bienestar, así también el progreso social puede contribuir a un creci-

miento general económico. Por lo general, la búsqueda de una solución hacia un balance adecuado de inversiones económicas y de inversiones sociales, es más difícil mientras más limitados son los recursos del país. En estos casos es conveniente dar prioridad a aquellos programas que combinan los aspectos económicos y sociales, o sea, programas de características económicas con metas sociales y que al mismo tiempo tengan características sociales con metas más económicas.

Un programa que reúne las características anteriores es el de suministrar agua por medio de riego, ya que al mismo tiempo que establece condiciones favorables para el desarrollo económico, tiene una marcada significación social.

1.1.2 Aspectos de Planeamiento

Por planeamiento se puede considerar para este caso, el poder llegar a determinar cual es la solución más favorable o conveniente que debe adoptarse teniendo en cuenta en una forma integral, los aspectos técnicos, financieros y administrativos.

La solución a adoptarse en cada caso debe ser una consecuencia del estudio de evaluación de todas las posibles soluciones alternativas a base de análisis de factibilidad económica.

1.1.3 Aspectos técnicos

En términos generales el aspecto técnico es el más familiar para los ingenieros ya que en todo el país se cuenta con profesionales capacitados para llevar a cabo el diseño y construcción de las obras, no sólo en sólidos conocimientos, sino además con la preparación y experiencia suficiente para aplicar esos conocimientos a soluciones que se adapten al medio.

1.1.4 Aspectos de organización, operación y mantenimiento

La eficiencia en aspectos de organización, operación y mantenimiento es indispensable en lo relativo al financiamiento, tanto para la recuperación de las inversiones como en la obtención de los fondos necesarios para el sostenimiento del servicio bajo una base firme.

1.2 EVALUACION DE PROYECTOS

1.2.1 Consideraciones fundamentales.

El problema que hay que abordar en la factibilidad económica como su nombre lo dice, es ver si un proyecto se puede llevar a cabo o no, según los resultados positivos o negativos del análisis que se haga.

Estos resultados positivos o negativos se pueden determinar por medio de una evaluación o sea calificando y comparando con otros proyectos alternativos de acuerdo con una determinada escala de valores a fin de establecer un orden de prioridad de cada proyecto que se establece.

Los coeficientes de evaluación se pueden definir aritméticamente como cocientes entre los que en términos generales se llamarían ventajas y desventajas del proyecto.

Si se colocan las ventajas en el numerador y las desventajas en el denominador sería posible reconocer los coeficientes según lo que pretenden elevar al máximo (ventajas y reducir al mínimo desventajas).

Las fórmulas de evaluación, miden pues, cuantía de producción de algún tipo.

Los criterios de evaluación económica y su mayor o menor complejidad derivan a su vez, de la forma de definir los beneficios y de la selección que se haga entre las distintas normas y tipos de cálculo.

Ahora, la determinación de prioridad no se determina única-

mente por la factibilidad económica, sino que se tienen las siguientes funciones:

- a) Trata de la justificación del uso recomendado para los recursos y es propiamente el problema de la evaluación.
- b) Se refiere a la justificación de la técnica propuesta en el proyecto.
- c) Se refiere a la fecha recomendada para la iniciación práctica del proyecto.

En todo proyecto hay una fase económica y otra técnica que están íntimamente ligadas, o sea, cada alternativa técnica implica una alternativa económica.

No hay una secuencia natural para las cuestiones técnicas y económicas en un estudio, pues ambas hay que considerarlas simultáneamente. Sin embargo, establecidos los parámetros básicos de uno u otro aspecto del problema, el proyecto constará de una fase económica explícita en todo el análisis de evaluación del proyecto, en la que estarán incorporados los elementos técnicos básicos.

Así, por consiguiente el grado de precisión alcanzado en el estudio de la fase económica deberá guardar relación con el grado de precisión de la fase técnica.

Para determinar la factibilidad económica del proyecto,

comunmente se adoptan los coeficientes de evaluación siguientes:

- Relación beneficio costo
- Tasa de rendimiento interno
- Exceso de beneficios sobre costos

1.2.2 Relación beneficio costo

En el análisis de factibilidad económica de los grandes proyectos, especialmente aquellos caracterizados por un período de vida extremadamente largo y sustanciales beneficios indirectos difícilmente determinables, el criterio seguido se conoce con el nombre de beneficios-costos.

Este criterio, involucra una comparación cuantitativa (sobre base anual) entre todos los beneficios económicos netos atribuidos a un proyecto y los costos reales del proyecto.

Primero se calculan los costos del proyecto teniendo en cuenta un período de amortización relacionado con la vida de la obra.

La apreciación de la factibilidad económica que resulta de la aplicación de este criterio, puede expresarse de la siguiente forma:

Si los beneficios anuales netos de los proyectos exceden los costos del capital, los proyectos deben ser considerados como económicamente justificables. La relación entre los bene-

ficios y los costos debe ser mayor a la unidad, entre mayor sea esta relación mayor será la prioridad del proyecto.

La relación beneficio-costos, permite obtener la utilidad neta para cada peso invertido durante la construcción y funcionamiento del proyecto.

El cálculo de este coeficiente se basa en los beneficios y - costos pero actualizados o en valor presente.

$$R = \frac{\text{BENEFICIOS ACTUALIZADOS}}{\text{COSTOS ACTUALIZADOS}}$$

Como se dijo anteriormente, esta relación debe ser mayor a - la unidad pues de otra manera se tendrían pérdidas.

TASA DE RENDIMIENTO INTERNO

Definición.- La tasa de interés para la cual la relación beneficio-costos es igual a la unidad, se llama tasa de rendimiento interno. Es la que nos permite ver qué proyecto recupera más rápido la inversión.

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}} = 1 \frac{B_t - C_t}{(1 + i)^t} = 0$$

Esta consideración también puede ser importante tratándose - de la evaluación de un proyecto puesto que nos permite tomar prioridades.

Para ejemplificar más claramente este concepto, suponer que se tienen dos alternativas.

Alternativa (A)

Alternativa (B)

Y que las dos tienen la misma relación beneficio-costos.

$$\frac{B}{C_A} = \frac{B}{C_B}$$

Analizando este coeficiente se puede ver que no hay prioridad pues los dos son satisfactorios, pero al obtener la tasa de rendimiento interno de cada una de las alternativas se nota lo siguiente:

T.R.I. (A) = 18%

T.R.I. (B) = 12%

Lo que quiere decir, que el proyecto (A) recupera más rápido la inversión.

El criterio de selección entre proyectos se orienta a escoger aquellos que registren la tasa de rendimiento interno más alta.

La tasa de rendimiento interno de un proyecto se puede obtener por medio de una interpolación entre dos tasas de descuento analizadas, ya que la depreciación se considera lineal.

Suponiendo que el análisis beneficio-costos se hace con una tasa de descuento al 8% se obtiene el siguiente análisis:

$$\frac{B}{C} = 1.5 \quad \text{resultado de}$$

$$B = 600$$

$$C = 400$$

$$B - C = 600 - 400 = 200 > 0$$

Luego al 16% se obtiene la relación

$$\frac{B}{C} = 0.7 \quad \text{resultado de}$$

$$B = 1400$$

$$C = 2000$$

$$B - C = 1400 - 2000 = -600 < 0$$

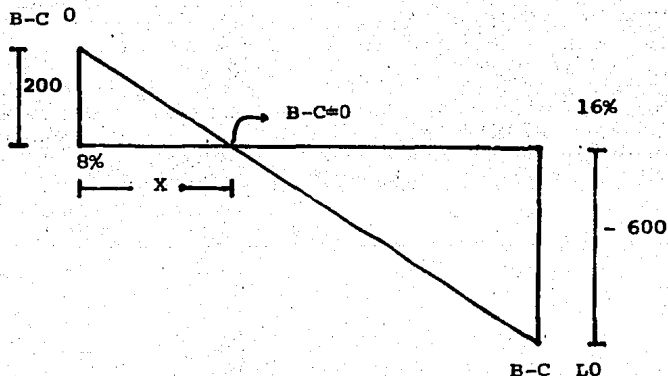
Esto quiere decir que entre las tasas de 8% y 16% hay otra para la cual la relación beneficio costo es igual a la unidad y en consecuencia se obtiene la tasa de rendimiento interno.

$$\frac{B}{C} = 1.5 \quad B - C = 200 \quad 8\%$$

$$\frac{B}{C} = 1.00 \quad B - C = 0 \quad X\%$$

$$\frac{B}{C} = 0.70 \quad B - C = -600 \quad 16\%$$

La interpolación para hallar la tasa de rendimiento interna (X) se hace de la siguiente manera:



$$\frac{X}{200} = \frac{8}{600 + 800}; \quad X = \frac{1600}{1400}$$

$$\text{T.R.I.} = 8 + 2 = 10\%$$

1.2.3 Exceso de beneficios sobre costos

Al evaluar un proyecto de inversión se orienta a maximizar el incremento en el ingreso nacional neto, medido por la diferencia entre los beneficios y los costos, ésto es, que un aumento en el ingreso nacional es equivalente a un aumento en el bienestar nacional.

Los datos necesarios para obtener este coeficiente son los mismos que para obtener la relación beneficio costo, únicamente que en este caso se considera la diferencia.

Para efectos de decisión se guía uno por el que tenga mayor exceso de beneficios sobre costos, y como se ve en la evaluación de proyectos también es interesante considerarlo.

Finalmente después de evaluar, cada uno de los proyectos alternativos o sea analizar cada uno de los coeficientes de evaluación se puede decir, si es fácil o no la realización de un proyecto.

1.3 Consideraciones sobre Indices

a.- Vida útil del proyecto

Como vida útil del proyecto se consideran 50 años, pues ésta es la duración física de las obras o vida útil promedio de los proyectos de riego, estimada por las instituciones que financian este tipo de obras o proyectos.

b.- Tasa de interés a la que deben descontarse los beneficios y los costos

Al introducir el tiempo en el análisis de un proyecto y en el análisis-beneficio costo para obtener el valor actualizado de la corriente de beneficios y costos que generará el proyecto, se plantea la elección de la tasa de interés o costo del capital al que deben ser descontados las cifras futuras.

Descontar los beneficios y costos de un proyecto a una tasa de interés, significa implícitamente, que durante la vida útil del proyecto, no va a variar la preferencia por el tiempo de consumo de la comunidad.

La elección de una tasa de interés que refleje el costo de oportunidad social del capital, plantea múltiples alternativas, por ejemplo:

Se pueden elegir como tasa de descuento la que paga el gobierno por sus bonos, o se debe considerar el tipo de interés al que prestan los organismos internacionales para proyectos de desarrollo.

Un criterio alternativo a la tasa de interés para la evaluación de proyectos, que aparentemente evita la elección de una tasa de descuento arbitraria, es el cálculo de la tasa de rendimiento interno, que como ya se dijo refleja la productividad del capital dentro de cada proyecto.

c.- Beneficios y costos que deben incluirse

Al considerar los beneficios que se deben en este tipo de análisis, hay que distinguir los beneficios directos y los indirectos.

Los beneficios directos son los beneficios atribuibles directamente a la inversión y los indirectos son todos aquellos efectos externos hacia adelante y hacia atrás que genera el

proyecto, medido por las ganancias de las empresas que transforman, transportan y comercializan los productos derivados del proyecto.

Los costos a los que hay que referirse en el análisis están representados por la inversión gubernamental realizada en el proyecto y pueden ser por ejemplo: Obras de almacenamiento, obras de distribución, nivelación de tierras, revestimiento de canales, obras complementarias y por la corriente actualizada de los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego.

C A P I T U L O I I

ESTUDIOS PREVIOS

2. GENERALIDADES.

2.1 NOCIONES DE METEOROLOGIA.

2.1.1 Estudios climatológicos.

2.1.2 Evaporación.

2.1.3 Heladas.

2.1.4 Transpiración.

2.1.5 Temperatura.

2.1.6 Viento.

2.1.7 Precipitación.

2.2 ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS.

2.2.1 Localización del área.

2.2.2 Situación política.

2.2.3 Vías de comunicación.

2.2.4 Tenencia de la tierra

2.2.5 Aspectos socioeconómicos.

2.3 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS.

2.4 ESTUDIOS HIDROLOGICOS.

2.5 ESTUDIOS AGROLOGICOS.

2.6 ESTUDIOS GEOTECNICOS.

2.6.1 Gran visión de conjunto.

2.6.2 Alternativas de anteproyecto.

2.6.3 Proyecto detallado.

2.7 CLASIFICACION AGRICOLA DE SUELOS PARA FINES DE RIEGO.

2. GENERALIDADES

Todo proyecto hidráulico requiere para su realización llevar a cabo un conjunto de estudios previos antes de ejecutar las obras necesarias, estos estudios son de gran importancia en los sistemas de riego, debido a que comprenden una serie de variables como son los fenómenos meteorológicos, aspectos socioeconómicos y culturales, políticos, topográficos, hidrográficos y también los estudios que se hagan sobre el tipo de suelo entre otros.

Al efectuar los estudios anteriores, se pueden planear y diseñar en forma óptima los sistemas de riego, esto quiere decir, que de todas las ventajas y desventajas que ofrecen el conjunto de variables, se tratará de interrelacionar a éstas para encontrar la opción u opciones que más convengan, lo que dará como resultado será que el sistema de riego que se construya opere con un sistema de canales de distribución y de drenaje que permite llevar el agua hasta las parcelas para que exista un buen aprovechamiento de ella, lo cual acompañado de una adecuada administración y control del sistema de riego, traerá mejoras a la población o poblaciones que dependan de él.

2.1 NOCIONES DE METEOROLOGIA

Meteorología, es la ciencia que estudia los fenómenos que ocurren en la atmósfera, tales como: viento, precipitación,

temperatura, etc. El comportamiento de estos fenómenos en un determinado lugar y por un cierto tiempo se llama Clima. La meteorología es una rama de la física, debido a que la atmósfera es una mezcla de gases, donde la interrelación entre temperatura, presión y volumen sigue las leyes de la dinámica y termodinámica. Además, está relacionada con la geografía; ya que la latitud, altitud, localización y topografía de áreas de tierra y agua, afectan las características y distribución de los elementos meteorológicos sobre la superficie terrestre.

2.1.1 Estudios climatológicos

Debe tomarse en cuenta que los conocimientos relacionados con la atmósfera y el suelo son de extrema importancia cuando se desea elaborar un proyecto rentable para una zona agrícola, el clima y los factores meteorológicos son los que darán a una determinada región amplias o nulas posibilidades de desarrollo agrícola, ya que, puede generarse un proyecto de grandes dimensiones, pero si no se contará con los estudios climatológicos necesarios y suficientes, el proyecto puede convertirse en una inversión perdida por ciclones, falta o demasia en la precipitación, clima inadecuado para un determinado cultivo, etc.

El clima ejerce una influencia determinante sobre las posibi

lidades agrícolas de una zona, por lo efectos directos en el desarrollo de los cultivos, en las características del suelo y en las disponibilidades hidráulicas en general. La potencialidad de una región determinada, las actividades que en ella se desarrollan y el fruto de las mismas están sujetas a las condiciones y procesos atmosféricos que tienen lugar en el curso de un ciclo agrícola de un año cualquiera. A medida que se tenga un mayor conocimiento de cada uno de estos elementos, pueden hacerse interpretaciones más correctas respecto a su influencia sobre los cultivos y suelo, y se podrá buscar también la más correcta adaptabilidad de las plantas de cultivo a las variaciones climatológicas, defendiéndolas a las desfavorables y aprovechando a su máximo las favorables.

La sucesión de los fenómenos meteorológicos, tiene pues influencia sobre la distribución de cultivos que se consideren en el plan de riegos, determinando las fechas de siembra más convenientes y consecuentemente la programación de los riegos y sus coeficientes, interviniendo también en los cálculos de probables aportaciones y extracciones de los vasos de almacenamiento y afectando en diferentes formas la operación del sistema de distribución.

Para el estudio de estos aspectos tan variables, en los sistemas de riego, se han instalado estaciones termopluviométricas convenientemente distribuidas en toda el área con el ob-

jeto de contar con datos abundantes y correctos que permitan definir con mayor precisión posible, las características de los factores climatológicos; obteniendo así un mayor aprovechamiento de las disponibilidades hidráulicas y mayores rendimientos en los cultivos, eliminando el empirismo y reduciendo a un por ciento mínimo los factores desconocidos fuera de control, dando así más seguridad a la agricultura.

2.1.2 Evaporación

La evaporación, es un proceso mediante el cual moléculas de agua que se encuentran contenidas en un recipiente, sea éste natural o artificial, o en la superficie terrestre, adquieren debido a la acción del sol, la suficiente energía cinética, pasando del estado líquido al gaseoso.

La evaporación está relacionada con una diferencia entre la presión del vapor de la masa de agua y la existente entre el aire sobre la superficie de la misma, la temperatura del aire y del agua, velocidad del viento, presión atmosférica y la calidad del agua.

La medición del grado de evaporación de una región se hace en forma directa usando un evaporímetro. El evaporímetro más usual consiste en un recipiente circular de lámina, abierto en su parte superior, de aproximadamente 1.20 m., de diámetro y 0.26 m. de alto.

2.1.3 Heladas

Para la mayoría de los cultivos comercialmente importantes - el crecimiento se detiene cuando la temperatura se acerca al punto de congelación.

Para salvar el problema, es necesario conocer primero la forma en que las heladas ocurren para así minimizar las pérdidas causadas por ellas.

2.1.4 Transpiración

Se denomina transpiración, al proceso por el cual el vapor - del agua se desprende de las plantas vivas, principalmente - de las hojas y pasa a la atmósfera. Durante el período de desarrollo de un cultivo, hay un continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, - sube por los tallos y sale por las hojas de la planta. Las - plantas retienen solo una pequeña parte del agua que absorben las raíces.

La velocidad de movimiento del agua a través de la planta varía de 0.3 a 1.8 m., por hora; pero en condiciones de temperatura excepcionalmente altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso, ésta velocidad puede aumentar enormemente.

Si la velocidad de evaporación en las hojas excede de la absorción de las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento del vegetal.

2.1.5 Temperatura

Este aspecto y los anteriores, están íntimamente relacionados ya que la presión de vapor depende de la temperatura. La cantidad de emisión de moléculas de la masa de agua está en función de su temperatura, ya que a mayor temperatura, mayor será la energía molecular liberada. La evaporación no depende de la temperatura de la superficie del agua, sino del resultado directo del incremento en la presión del vapor con la temperatura.

La temperatura es un factor de mucha importancia en el uso consuntivo o evapotranspiración (ver Demandas de Agua), y para los cultivos su crecimiento está en función de la radiación solar, ésto quiere decir que a temperaturas bajas el crecimiento de las plantas es lento. El uso consuntivo del agua puede variar grandemente aún en años de iguales temperaturas acumuladas debido a las desviaciones de la distribución normal estacional. La transpiración no está influenciada exclusivamente por la temperatura, sino también por el área foliar y las necesidades fisiológicas de la planta, las que están relacionadas a la etapa de madurez.

2.1.6 Viento

El viento, es un elemento efectivo para remover las moléculas que se desprenden de la superficie del agua a la evaporación, lo que origina variaciones en las características de -

la masa de aire que se encuentra sobre ésta. Puede así, traer masas de aire caliente, lo cual origina un aumento de evaporación; si la masa de aire es frío, puede disminuir la evaporación, e incluso, favorecer la condensación.

El viento es de importancia también para generar precipitaciones originándose éstas con el enfrentamiento de aire mas ligero y cálido con masas de aire densas y frías, a este tipo de precipitaciones se les llama por convección.

Otro tipo de precipitación, es la orográfica y es cuando el viento al chocar con las barreras montañosas tiende a subir lo que en ese momento puede provocar el fenómeno de convección y consecuentemente la precipitación.

Existe la precipitación ciclónica, que está asociada al paso de ciclones y está ligada con superficies frontales entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad.

Al realizar los estudios previos del viento en la zona donde se requiere el sistema de riego, se puede y debe considerar si se trata de una zona ventosa, ya que ésta tiene más probabilidad de generar precipitaciones que se puedan aprovechar para la agricultura.

2.1.7 Precipitación

La precipitación, es una componente fundamental del ciclo hidrológico y se ha tomado como el inicio del análisis de di -

chas componentes. Esta precipitación es el agua que recibe -
la superficie terrestre en cualquier estado físico, provee -
niente de la atmósfera, como ya se mencionó en el punto ante -
rior, para que exista precipitación es necesario el enfria -
miento de la atmósfera hasta que el aire se sature con el va -
por de agua originándose la condensación del vapor atmosféri -
co.

2.2 ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS

2.2.1 Localización del área

Al proyectarse un sistema de riego, se deberán tomar en cuenta como datos importantes la localización geográfica, definiendo sus grados de latitud en la que se encuentra; así como su altitud promedio sobre el nivel del mar, ésto puede ser tomado en cuenta para definir los tipos de cultivos que son recomendables.

2.2.2 Situación política

Se considerarán los estudios relativos a los límites geográfico-políticos, que tenga y cubra el proyecto con respecto a otros estados de la república o incluso a los municipios de un mismo estado, así como, también mencionar si tiene relación o límites con algún arroyo o río importante o que involucre éste como ya se dijo antes a dos o más estados colindantes.

La superficie estudiada para el sistema de riego tendrá que ser definida con respecto a los puntos cardinales.

2.2.3 Vías de comunicación

Para que el sistema de riego pueda ser explotado en cuanto a la distribución oportuna de los productos, así como, mantener las instalaciones en buen funcionamiento, es conveniente que el sistema cuente con buenas vías de comunicación.

Al proyectarlo, se tomarán en cuenta los caminos de terrace-

ría que conduzcan a la región agrícola, que tipo de vehículos puede circular y los inconvenientes que pueda presentar en épocas de lluvias.

También se debe considerar de manera importante qué tipos de carreteras principales están cerca del distrito de riego o - como sucede en varios casos la carretera principal cruza a - éste, en caso de que así suceda, esto ayuda en gran parte al buen funcionamiento del sistema de riego.

2.2.4 Tenencia de la tierra.

Dentro de los sistemas de riego y de conformidad con la codificación agraria del país, desde el punto de vista del régimen de la propiedad, se tienen tres tipos de agricultores: Antiguos propietarios, colonos y ejidatarios.

Debido a la extensión de terreno a la que tiene derecho a usar cada uno de estos tipos de usuario es diferente; ya que en la mayoría de los casos la tierra ya está repartida de manera irregular antes de la formación del sistema de riego por lo que se tiene que la estructura y distribución de los sistemas no obedece a la forma regular y organizada con que éstos se proyectan y realizan, sino que por el contrario, generalmente el fraccionamiento se encuentra sin concordancia con la cuadrícula de coordenadas de los levantamientos de planeación. Esta situación aunada a la también diferente condición jurídica, social y económica de cada uno de ellos, in

fluye en la administración del sistema de riego.

Lo conveniente al realizar este estudio es adaptar el sistema de riego de acuerdo a la distribución de las tenencias de la tierra y de ser posible de los cultivos, es decir, de tal manera que el sistema aún y con sus variaciones en lo planeado resulte eficiente en todos sus canales para que la dotación de agua llegue a todos los cultivos.

2.2.5 Aspectos socioeconómicos

Son cuatro los aspectos socioeconómicos de más importancia a considerar en la planeación y proyecto de los sistemas de riego.

- a) Demografía
 - b) Población económicamente activa en el sector agropecuario
 - c) Nivel de conocimientos sobre aspectos agropecuarios
 - d) Nivel económico
- a) La demografía, es importante señalarla en el proyecto para saber como está distribuida la población que obtendrá los beneficios, así como, también observar la tendencia de su crecimiento para tomar en cuenta las necesidades que puede presentar la población en el futuro en relación a las ampliaciones o modificaciones que pretendan del sistema de riego.

- b) Este proceso es necesario estudiarlo o investigarlo para tomar en cuenta los porcentajes de la población económicamente activa en el sector agropecuario, ya que gracias a ésto se puede evaluar la importancia que tendrá el sistema de riego proyectado en la población y desde luego - la misma población para el sistema.
- c) El nivel de conocimientos sobre aspectos agropecuarios es de consideración ya que no basta que un gran porcentaje de la población se dedique a la agricultura cuando esta población carece de los conocimientos modernos sobre como aprovechar mejor la tierra, el agua y la maquinaria necesaria para los cultivos y cosechas. Actualmente debido a la gran demanda de los productos agrícolas se requiere que éstos sean distribuidos en forma rápida y segura para su inmediato consumo, ésto exige a los trabajadores del campo que estén actualizados en las técnicas y maquinaria agropecuarias. El sistema de riego resultará beneficiado ya que se explotará convenientemente de acuerdo a lo planeado.
- d) Debido a que la práctica de la agricultura está en función de la época conveniente para cada cultivo, resulta no deseable que en las poblaciones agrícolas la mayor parte de la población dependa económicamente de ella ya que cuando ésto suceda puede ocasionar grandes tras -

tornos y desequilibrios a la población y en gran escala al país como sucede con algunas poblaciones de la República Mexicana.

Se debe estudiar el nivel económico de la población o poblaciones beneficiadas por la implantación de un sistema de riego para ocasionar o verse afectado por el desempleo cuando no se producen cosechas.

2.3 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

La Topografía del terreno debe tenerse muy en cuenta durante la planeación y ejecución de la distribución del agua, tratando de que se rieguen en primer lugar las tierras más altas, con el objeto de que los canales trabajen con tirantes altos el menor tiempo posible y consecuentemente las pérdidas de conducción sean menores. Por otra parte, en aquellos casos en que se utilicen vasos intermedios en la distribución del agua, el regar primeramente las tierras altas reviste importancia fundamental, ya que una extensión a veces importante de terrenos solamente pueden regarse cuando el vaso tiene un máximo nivel de embalse y determinado valor. De manera que si una porción de estas tierras se queda sin regar, por alguna circunstancia habiendo descendido el nivel del vaso, para poder proporcionarle el riego será necesario subir nuevamente al nivel de embalse; para lo que a veces se requerirá derivar grandes volúmenes, pues un centímetro de la escala del vaso puede representar gastos fuertes sostenidos durante tiempo considerable, sufriendo grandes pérdidas por evaporación y filtración en los vasos y con riesgo además de quedarse con volúmenes sobrantes almacenados. La tendencia es ir bajando los vasos de tal manera que al finalizar de regar queden prácticamente vacíos.

Considerando la distribución del agua a nivel de parcela, la topografía influye en forma decisiva en la solución del método

do de riego, en la orientación del mismo y en general en el trazo y características de regaderas, surcos, melgas, etc. Cuando se prevén posibles inundaciones por avenidas, el alto dato de la topografía es muy útil para determinar lugares de posibles fallas y proceder a su refuerzo; se pueden también estimar las zonas que probablemente resultarán inundadas.

En los distritos donde todavía hay necesidad de construir drenes, la topografía es indispensable para su localización y trazo; así como, para el cálculo de escurrimientos.

2.4 ESTUDIOS HIDROLOGICOS

La Hidrología, estudia los fenómenos hidrometeorológicos que gobiernan las precipitaciones y escurrimientos de las aguas y que determinan las sequías y las grandes avenidas, estudia también las modificaciones que sufre el agua en la superficie de la tierra, producidas por la evaporación del suelo, compara las variaciones de escurrimientos en localidades situadas en condiciones idénticas de precipitación pero de características físicas diferentes y viceversa, estudia las modificaciones producidas en el escurrimiento por alteraciones artificiales, como sucede en regiones desmontadas y reforestadas construcción de presas, etc.

De acuerdo a la definición anterior, se deduce que la hidrología es de importancia en todos los problemas que involucren el aprovechamiento del agua y básicamente para que ésta sea utilizada racionalmente en los distritos de riego.

Los principales objetivos de la hidrología, al diseñar una obra de ingeniería, pueden resumirse en dos grandes grupos:

- a) Obtención de la avenida máxima que con una determinada frecuencia puede ocurrir en un cierto lugar, lo cual es necesario considerar al diseñar vertedores, puentes y drenajes en general.
- b) Conocimiento de la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia del transporte del agua sobre la superficie

terrestre. Esto servirá para el diseño de instalaciones de irrigación, abastecimiento de agua, aprovechamiento hidroeléctricos y navegación de ríos.

2.5 ESTUDIOS AGROLOGICOS

Uno de los problemas básicos que se presentan en los sistemas de riego, es el mantenimiento y mejoramiento de la productividad de las tierras de cultivo. Se ha observado que las tierras que se abren al cultivo por primera vez generalmente son fértiles y capaces de producir buenas cosechas; sin embargo, esta situación no se mantiene en la generalidad de los casos y en pocos años, debido a la falta de prácticas agronómicas adecuadas, los suelos se empobrecen y se hacen duros y difíciles de trabajar, las plagas se incrementan en forma notable y es entonces cuando el agricultor empieza a trabajar e invertir más en sus cultivos y a obtener menores cosechas, de tal manera que llegará el momento en que el valor de las cosechas no será suficiente para pagar los costos de cultivo; aparece entonces la miseria y en último extremo se llega al abandono de las tierras.

Dada pues la importancia que el suelo tiene como parte del medio físico dentro del cual se desenvuelve la agricultura resulta indispensable realizar los ESTUDIOS AGROLOGICOS siguientes: Con el personal técnico correspondiente efectuar la correcta interpretación de las influencias y efectos de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo bajo riego; sobre los cultivos que se practican en el Sistema

de Riego, así como, llevar a cabo diseños de riego, de tal manera que se aprovechen al máximo posible las condiciones y características de los diversos tipos de suelos a fin de conservar e incrementar su capacidad productiva.

Los datos anteriores proporcionan además, la orientación indispensable para intentar la distribución más perfecta de cultivos a manera de no permitir que se practiquen cultivos de inundación o de frecuentes y abundantes riegos en suelos excesivamente porosos y permeables, pues se desperdiciarán grandes volúmenes de agua en perjuicio de otros cultivos.

La falta de conocimientos agrológicos y la práctica de riego aplicada ciegamente pueden causar efectos sumamente perjudiciales. Al iniciarse la agricultura de riego y aumentar el contenido de agua del suelo, esa actividad se incrementa y evoluciona con mayor rapidez y en muy diversos sentidos, de tal manera que en poco tiempo las características observadas antes de la iniciación del riego sufren cambios y alteraciones trascendentes tanto sobre la capacidad productora del suelo como en los métodos de cultivo aplicables, surgiendo de inmediato la necesidad de aplicar medidas correctivas tendientes, todas a conservar e incrementar la aplicabilidad de métodos de cultivo eficaces y económicos que sigan las transformaciones benéficas del suelo.

2.6 ESTUDIOS GEOTECNICOS

Los temas y la intensidad de los estudios geotécnicos para el diseño de un sistema de riego y sus estructuras, varían con el nivel de estudio y el grado de aproximación que se requiera, dependiendo también del tipo, magnitud e importancia del sistema de riego.

En todos los proyectos hidráulicos que se planeen, se considera que existen tres grandes niveles de estudio bien diferenciados, que son:

- 1er. Nivel: Gran visión de conjunto
- 2o. Nivel: Alternativas de anteproyecto
- 3er. Nivel: Proyecto detallado

Los niveles de estudio anteriores, llevados a cabo al efectuar los estudios geotécnicos para que sirvan a la planeación de los sistemas de riego se realizarán de la siguiente manera:

2.6.1 Gran visión de conjunto

A este nivel se lleva a cabo un examen general de proyecto de riego que se pretende concretar, considerando al canal principal y sus laterales alojados en una faja de terreno que puede llegar a varios kilómetros de ancho.

- A. El estudio de la ruta del canal principal y en general, del sistema de riego, deberá iniciarse tomando como base el conocimiento o la información previa del terreno en el que se alojarán. Esto puede lle -

vase a cabo sobre los planos topográficos, agrologicos y de suelos existentes o con los datos disponibles que permitan conocer con relativa aproximación la naturaleza de las rocas y de los suelos.

- B. Conjuntamente con la información recabada en A., y sobre las cartas o planos disponibles, se planean los primeros reconocimientos sobre la faja de terreno que se considere necesaria ya que la principal y mejor información en relación a un proyecto determinado es la obtenida mediante los reconocimientos superficiales de la zona.

Estos reconocimientos previos, que pueden ser terrestres y/o aéreos, son principalmente de tipo geológico y señalan, en terminos generales las características de las diferentes zonas o sitios investigados que sean de especial interés en el proyecto, para tomar en cuenta los problemas que pueden presentarse en las diferentes alternativas de localización en el segundo nivel de estudio.

- C. Con apoyo de lo anterior, las observaciones que se hagan permitiran obtener y recabar en forma estimativa la siguiente información general de tipo geotécnico, con el fin de zonificar y clasificar los suelos y rocas:

- Conocimiento en el lugar, de la topografía, hidrografía, climatología y geología regionales.

- Naturaleza y comportamiento de obras de ingeniería en la región, en relación con los suelos y rocas que intervienen o son afectados por aquellas.
- Estimación de los posibles problemas que puedan presentarse durante y después de la construcción, ocasionados por la naturaleza del lugar, como: Zonas lacustres o pantanosas, zonas de laderas inestables o frecuentemente erosionadas, zonas con suelos peligrosos, expansivos o colapsibles, mala calidad de materiales para terraplenes en bordos de canales o caminos.

Con la información anterior, se elaborará el perfil estratigráfico de la ruta o las rutas elegidas y las recomendaciones especiales para la elaboración de los anteproyectos.

El perfil estratigráfico deberá contener los siguientes datos:

- Clasificación, características estructurales y grado de alteración de las rocas.
- Características de resistencia y de permeabilidad - taludes recomendables y dificultad de ataque de rocas y suelos.

- Identificación general de los suelos en el campo de acuerdo con el SUCS, así como, determinar la existencia de suelos peligrosos.

Deberá hacerse un informe geotécnico que contenga toda la información descriptiva anterior indicando, además, las zonas de préstamos probables para materiales de construcción y recomendaciones generales de construcción.

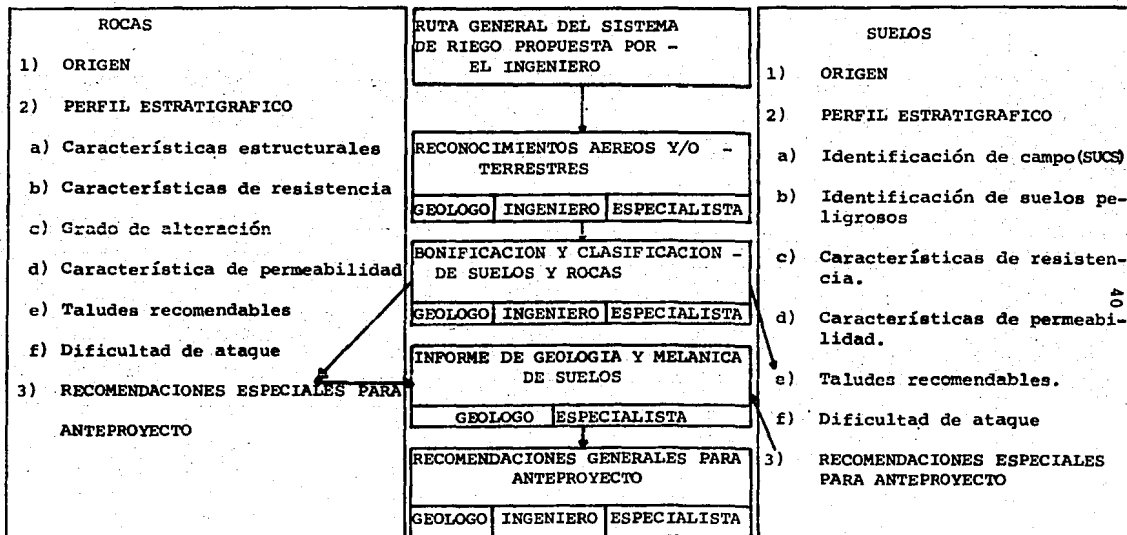
- D. Con la información recabada, será posible formular conclusiones y recomendaciones generales que justifiquen el o los trazos de los canales que sea necesario seguir estudiando con mayor detalle, por reunir las características más ventajosas y como es obvio, eliminar aquellas alternativas que no resulten adecuadas por sus inconvenientes.

De acuerdo con los resultados obtenidos se precisará el ancho de las fajas de terreno que es necesario estudiar con más detalle, así como, los procedimientos más recomendables para efectuar los nuevos estudios geotécnicos.

El esquema No. 2.1, es una guía general para el proyectista y refleja las actividades del geólogo con cedor de estas obras del especialista en mecánica de suelos y del proyectista de sistemas de riego.

ESQUEMA N° 2.1

GRAN VISION DE CONJUNTO .- PRIMER NIVEL DEL ESTUDIO



2.6.2 Alternativas de anteproyecto

Después de que se ha realizado el estudio del proyecto de un sistema de riego al primer nivel de gran visión, se procede al segundo nivel de estudio geotécnico para las alternativas de anteproyecto escogidas.

A. Con el conocimiento previo de la región, se podrá juzgar si las condiciones del terreno de cimentación son semejantes a lo largo de las diversas alternativas consideradas.

En este caso se podrá reducir la magnitud de los estudios geotécnicos, para no cubrir todas las alternativas con los mismos.

B. En ocasiones, durante la realización de los estudios será suficiente la información obtenida mediante la observación visual superficial, para juzgar sobre las características del terreno de cimentación, como en aquellos casos en que afloran formaciones rocosas o suelos duros o compactos, donde normalmente es difícil efectuar sondeos sin ayuda de maquinaria especial.

Los métodos de exploración del terreno a este segundo nivel se reducen al empleo manual para excavaciones a cielo abierto en pozos o trincheras y con cucharas posteadoras y barrenas helicoidales, que generalmente se emplean en los suelos

blandos o de mediana consistencia.

La profundidad y separación de los sondeos serán fijados por el especialista en mecánica de suelos, dependiendo de las características geométricas y topográficas del canal, así como, de las geomorfológicas del terreno.

Las pruebas de laboratorio necesarias para definir correctamente los perfiles estratigráficos, son los siguientes:

- Límite líquido, límite plástico y límite de contracción.
- Granulometrías. Porcentaje de finos y de coloides.
- Humedad natural y peso volumétrico seco en estado natural, Humedad óptima de compactación y peso volumétrico seco máximo. Peso específico relativo de los sólidos.
- Resistencia a la compresión simple en muestras intactas.

En los perfiles estratigráficos, se debe consignar para cada capa la siguiente información:

- Clasificación de suelos en el laboratorio de acuerdo con el SUCS.
- Consistencia de las arcillas y limos plásticos y

compacidad de los limos no plásticos, arenas y gravas, a partir de pruebas manuales.

- Características de permeabilidad, taludes recomendables en corte y terraplenes.

- C. Una vez aceptada la alternativa técnica y económicamente más atractiva y definida la disposición general del sistema de riego.

En el esquema No. 2.2 se resume lo anteriormente expuesto.

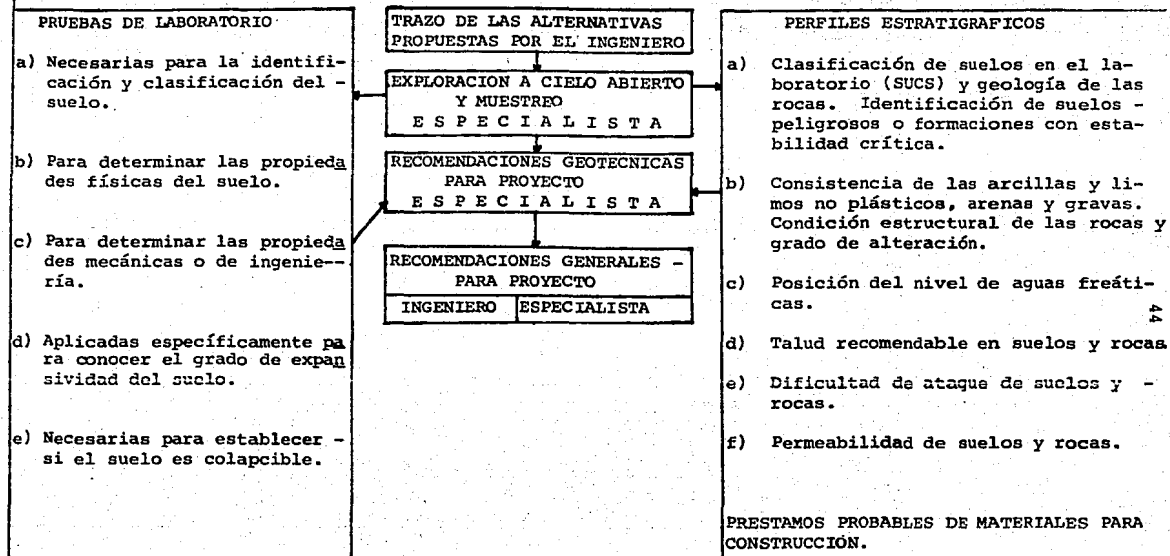
2.6.3. Proyecto detallado

Habiéndose hecho los estudios geotécnicos al segundo nivel de estudio se procede a detallar la alternativa más conveniente, complementando hasta donde sea necesario los estudios para lograr un proyecto seguro y económico. Este tercer nivel constituye el estudio geotécnico detallado, que se realiza como sigue:

- A. Sobre el trazo casi definitivo del canal y sus laterales se planeará la forma de llevar a cabo el estudio geotécnico detallado, dependiendo del tipo, magnitud e importancia del sistema de riego y de lo suficiente que hayan sido la exploración y los datos obtenidos en los estudios previos.

ESQUEMA N° 2.2

ALTERNATIVAS DE ANTEPROYECTO - SEGUNDO NIVEL DEL ESTUDIO



El espaciamiento y profundidad de los sondeos están íntimamente ligados con la información obtenida en el estudio preliminar hecho al segundo nivel.

Las muestras alteradas e inalteradas se enviarán al laboratorio para los ensayos programados. Los resultados concretos de las pruebas que interesan para efectuar los análisis de estabilidad y definir cuantitativamente la información contenida en los perfiles estratigráficos, son por lo general los siguientes:

- Límite líquido, límite plástico y límite de contracción
- Granulometrías. Porcentaje de finos y coloides.
- Humedad natural y peso volumétrico seco en estado natural.
- Humedad óptima de compactación y peso volumétrico seco máximo. Peso específico relativo de los sólidos.
- Resistencia a la compresión simple de muestras inalteradas. Resistencia al esfuerzo cortante en muestras inalteradas y en muestras compactadas a partir de pruebas triaxiales.
- Coeficiente de permeabilidad.
- Pruebas índice especiales de los suelos peligrosos: expansivos y colapsibles.

Los análisis de estabilidad son los siguientes:

- Estabilidad de taludes.
- Capacidad de carga.
- Análisis de asentamientos y expansiones.
- Estudios sobre revestimientos.

Los perfiles estratigráficos deben contener la siguiente información.

- Clasificación de suelos en el laboratorio según el SUCS y la geología de las rocas.
- Posición del nivel de aguas freáticas e identificación de suelos peligrosos o formaciones con estabilidad crítica.
- Coeficiente de permeabilidad y dificultad de ataque de suelos y rocas. Velocidad de propagación de ondas sísmicas.

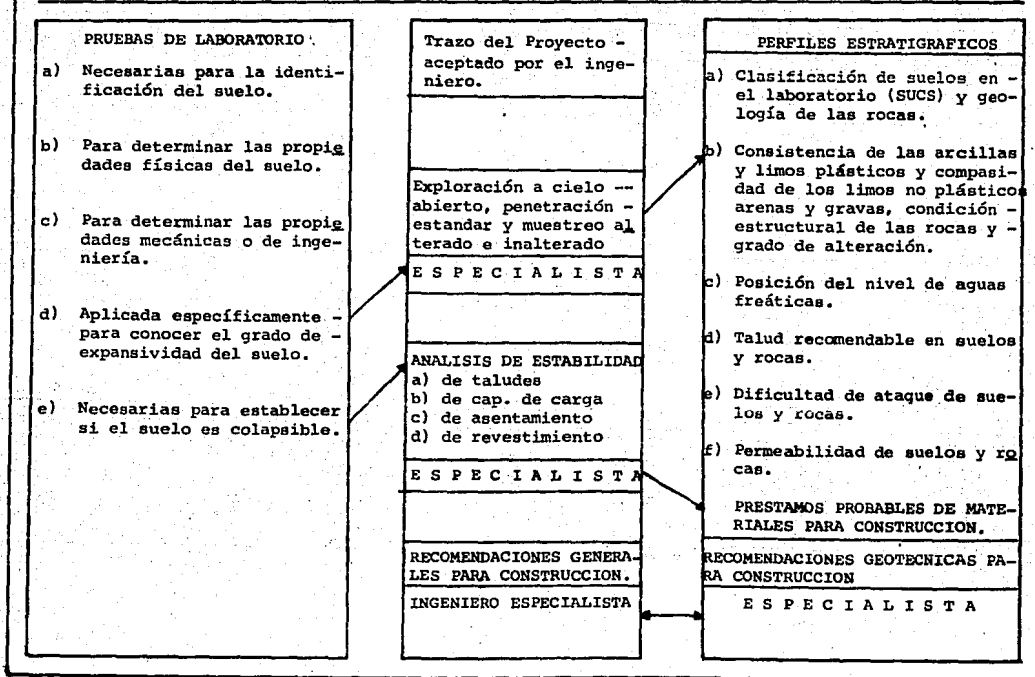
B. Con toda la información anterior, es posible definir - las recomendaciones específicas de carácter geotécnico para el diseño y construcción de los canales y sus estructuras.

C. Con el apoyo en los estudios geotécnicos detallados y las características geométricas del sistema de riego, se elaborará el proyecto detallado, que debe incluir - las especificaciones y procedimientos de construcción.

En el esquema No. 2.3, se muestra una guía general para - el proyectista en lo que se refiere a los estudios geotécnicos detallados.

ESQUEMA N° 2.3

PROYECTO DETALLADO - TERCER NIVEL DEL ESTUDIO



2.7 CLASIFICACION AGRICOLA DE SUELOS PARA FINES DE RIEGO.

Los factores que intervienen en la clasificación agrícola son los siguientes:

Textura. Al hacer los estudios, se tendrá cuidado si resulta muy ligera o demasiado arenosa. Para fines agrícolas, el suelo deberá presentar una textura suave.

Inundación. Se estudiará la zona para que los suelos que se quieran para la agricultura, no sean afectados por inundaciones de los ríos cuando se presentan precipitaciones extraordinarias.

Manto Freático. Se analizará la profundidad del manto para poder predecir si las tierras serán afectadas con las precipitaciones extraordinarias ya que éstas pueden ocasionar que el manto freático, suba de nivel hasta llegar a la superficie terrestre, originando inundaciones.

Por otro lado, puede resultar benéfico si se encuentra a una profundidad en la que no pueda ocurrir lo anterior y resulte costeable la extracción del agua y ser utilizada para el riego.

Pendiente. La pendiente del terreno es importante conocerla, para saber hasta que punto pueden erosionarse los suelos al grado de no permitir la siembra o por la demasiada velocidad con que puede circular el agua y -

no permitir que el suelo la pueda absorber en beneficio de la planta.

Drenaje Superficial. El drenaje está relacionado en parte con el concepto anterior, deberá presentarse de tal forma que no sea muy lento o casi nulo, ya que esto puede ocasionar ensalitramiento del suelo, putrefacción de las raíces de la planta, etc.

Rocosidad. La rocosidad afecta a los suelos, ya que un suelo entre mas rocoso, sea menos conveniente a la agricultura, pues aunque podrían aportar cosechas, éstas serían pobres y representarían problemas al sembrarse, lo que finalmente resultaría poco costoso el sembrar en suelos de este tipo.

CAPITULO III

DEMANDAS DE RIEGO

- 3. USO CONSUNTIVO.
- 3.1 CONCEPTO GENERAL.
 - 3.1.1 Componentes del uso consuntivo.
 - 3.1.2 Factores que determinan el uso consuntivo.
- 3.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DEMANDA DE RIEGO.
- 3.3 APLICACION DE LOS USOS CONSUNTIVOS.
 - 3.3.1 Métodos para determinar el uso consuntivo.
 - 3.3.2 Obtención del U.C. por el método de Blaney y Criddle.
 - 3.3.2.1 Metodología para el cálculo del U.C., según Blaney y Criddle.
 - 3.3.3 Obtención del U.C. por el método racional.
 - 3.3.1 Metodología para el cálculo del U.C. (método racional).
 - 3.3.3.2 Cálculo del uso consuntivo por el método racional.
- 3.4 COEFICIENTE UNITARIO DE RIEGO.
 - 3.4.1 Lamina teórica de riego.
- 3.5 EVAPOTRANSPIRACION.
 - 3.5.1 Método de Thornthwaite.
- 3.6 METODO PARA CUANTIFICAR LA LLUVIA EFECTIVA.

3. USO CONSUNTIVO.

3.1 CONCEPTO GENERAL.

El uso consuntivo (U.C.), es la cantidad de agua absorbida por un cultivo durante su ciclo vegetativo, para ser transpirada o empleada directamente en la edificación de los tejidos de las plantas unida a la cantidad de agua evaporada desde el suelo en que está vegetando el cultivo.

3.1.1 Componentes del uso consuntivo.

El uso consuntivo está constituido por: el agua necesaria para que las plantas cultivadas puedan realizar su desarrollo completo y madurar su cosecha, agua empleada por las plantas mismas para transpirarla o acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones, suspensiones o soluciones, o bien evaporada a la atmósfera directamente desde el suelo, y que por tanto, no puede recuperarse o conservarse. Los últimos componentes constituyen casi el 99% del uso consuntivo por lo que es correcto mencionar el término "Evapotranspiración Real", cuando se refiere al (U.C.).

3.1.2 Factores que determinan el uso consuntivo.

El (U.C.), es variable, ya que influyen diversos factores la mayor parte de ellos determinantes del desarrollo vegetativo de las plantas, que afectan de modo importante,

el consumo de agua de éstas durante su ciclo vital.

Los factores que mas poderosamente influyen en dicho - desarrollo vegetativo y por tanto en la cantidad de agua consumida por la cosecha y en el (U.C.) son:

- . La cantidad de calor aprovechable durante el ciclo vegetativo.
- . El fotoperíodo durante dicho ciclo.
- . La evaporación normal en el lugar.
- . La capacidad de retención del agua por el suelo.
- . La naturaleza del suelo, tanto desde el punto de vista de su textura y estructura, como desde el de su fertilidad, considerada en todos sus aspectos.
- . La especie cultivada.
- . La variedad agrotipo, dentro de cada clase de cosecha, puesto que cada una posee un desarrollo potencial distinto determinado por su genética.
- . El rendimiento efectivo de la cosecha, como consecuencia de sus respuestas al habitat o conjunto de factores ecológicos que solicitan a las plantas.

En forma mas general, los factores anteriores estarían comprendidos dentro de los factores que determinan las necesidades de agua para la irrigación, aunque para el caso del (U.C.), es conveniente mencionarlos con los fenómenos

meteorológicos y factores particulares de los cuales dependen, y éstos son:

- CLIMA:** Temperatura, humedad relativa, vientos, -
latitud, luminosidad y precipitación.
- CULTIVOS:** Especie, variedad, ciclo vegetativo, habi-
tos radiculares.
- SUELO:** Textura, estructura, profundidad del nivel
freático, capacidad de retención de humedad.
Y se debe considerar también la calidad y -
disponibilidad del AGUA PARA RIEGO, así co-
mo las prácticas de riego.

Todos estos factores no actúan de un modo independiente - como se puede apreciar en la lámina 3.2, ya que influyen unos sobre otros y todos reunidos determinan la cantidad de agua que necesitan las plantas para completar su ciclo y rendir su cosecha. Por lo que se puede concluir que el (U.C.), debido a la influencia de estos factores es esencialmente variable y único para cada tipo de cultivo y de lugar.

3.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DEMANDA DE RIEGO.

Son muchos y complejos los factores que de manera directa e indirecta influyen en la cantidad anual de agua que como volumen en m^3/ha o lámina en metros, hay que suministrar en la bocatoma principal de un sistema de riego en operación o en proyecto, con objeto de satisfacer las necesidades de agua para irrigación.

En las láminas 3.1 y 3.2, se muestran los grupos de factores y sus relaciones que guardan entre ellos.

Para visualizar mejor estas relaciones entre las necesidades y las variables que intervienen en la determinación de éstas, en la lámina 3.2, se observa que la cantidad anual de agua, en volumen por Ha o como lámina, a proporcionar en la bocatoma principal de un sistema de riego en general se integra por la acción de cuatro grupos de factores denominados Generadores, los cuales son:

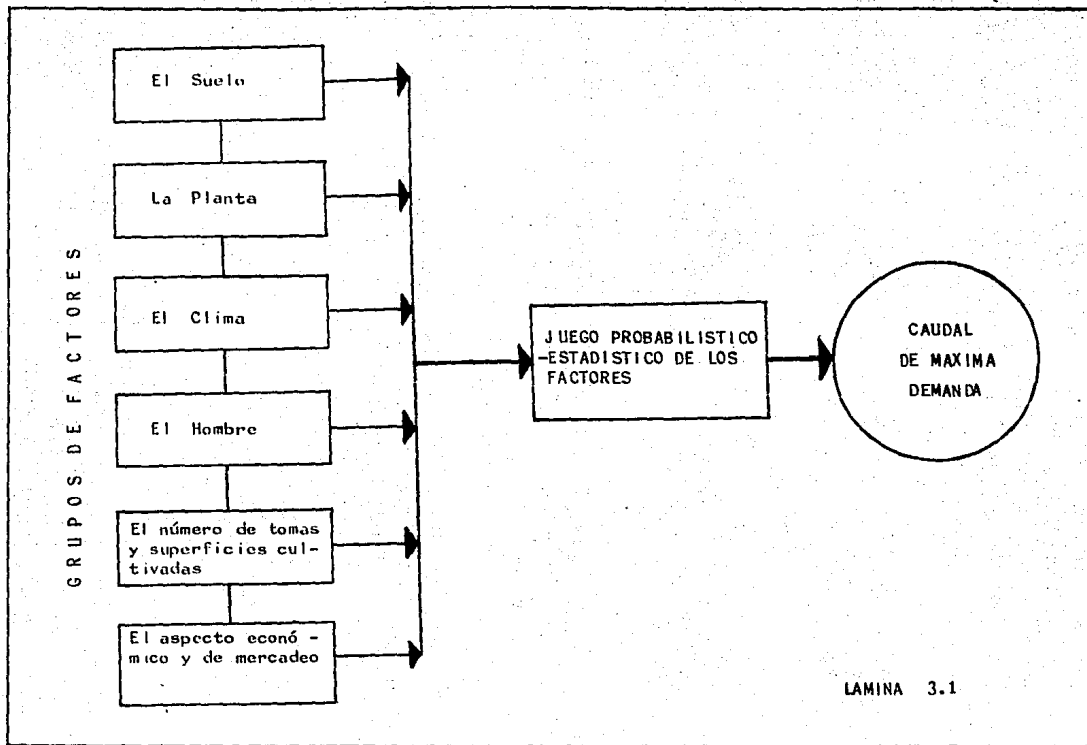
1. La superficie neta total dominada.
2. La repetición anual de cultivos que se tenga en el sistema de riego en operación o que se considere más probable para el futuro sistema.
3. Las necesidades de riego de la superficie realmente bajo cultivo.
4. La eficiencia global estimada para el sistema de riego. Esta eficiencia incluye a todas las

pérdidas y mermas que se tengan o se juzgue que ocurrirán en los canales y parcelas dentro del sistema.

Los grupos de factores generadores dependen a su vez - de otros que se denominan los factores determinantes :

- . CLIMA
- . LA PLANTA O CULTIVO
- . EL SUELO
- . EL HOMBRE
- . LOS ASPECTOS ECONOMICOS Y DE MERCADEO
- . NUMERO DE TOMAS Y SUPERFICIE CULTIVADA

Se observa en la lámina 3.2 que los factores determinantes dependen de un gran número de factores particulares - que intervienen de manera más o menos considerable en la determinación de las Necesidades de Riego (N.R.).



3.3 APLICACION DE LOS USOS CONSUNTIVOS.

Por medio del conocimiento del U.C., se pueden elaborar calendarios teóricos de riego de cultivos; es decir, fijar las láminas o intervalos de riego en función de las eficiencias de riego, a nivel parcelario y de conducción permitirán determinar en los planes de riego, los calendarios de extracción de volúmenes.

Permite estimar las eficiencias de riego a nivel parcelario, las cuales son sumamente útiles en la elaboración de los planes de riego, considerando que:

$$\text{Eficiencia parcelaria} = \frac{\text{U.C.}}{\text{Lámina neta}} \times 100$$

En caso de que el agua para riego tenga altos contenidos de sales en solución, el U.C., permite determinar las láminas de sobreriego necesarias para prevenir problemas de ensalitramiento en los suelos.

En la estimación de volúmenes que serán necesarios para auxiliar a los cultivos en el caso en que las lluvias aporten gran cantidad de requerimientos de agua.

En la determinación de los posibles volúmenes de agua a drenar.

Para seleccionar los cultivos mas adecuados, para zo-

nas de agricultura de temporal.

De manera general permite conocer la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y por lo tanto, planear debidamente el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un distrito de riego.

3.3.1 Métodos para determinar el uso consuntivo.

Varios investigadores han estudiado la medida en que la temperatura, humedad, velocidad del viento, presión de vapor y radiación solar influyen sobre la evapotranspiración entre los que sobresalen el DR. C.W. Thornthwaite, Harry F. Blaney y W.D. Criddle.

En la actualidad para fines prácticos se han dividido en dos grupos los métodos para estimar el (U.C.): Métodos Directos y Métodos Teóricos o Indirectos.

En lo que se refiere a los métodos directos, se han hecho intentos de determinar directamente el U.C., partiendo de mediciones directas, del agua que entra en el suelo donde la siembra vegeta y del agua de salida por diferentes conceptos del suelo, apoyándose en la idea, de que si estas mediciones se hacen correctamente. La diferencia entre las entradas y las salidas sería cantidad de agua utilizada por la cosecha o evaporada desde el suelo en su

superficie, sin posible recuperación. Debiendo considerarse también como entrada el agua contenida en el suelo antes de iniciarse el desarrollo de las plantas, y como salida la cantidad de agua existente en el mismo suelo, - después de levantada la cosecha.

El establecimiento de un balance exacto de las entradas y salidas de agua en una zona determinada, ya sea una finca individual, un distrito de riego, o una cuenca, es sumamente difícil, pues la determinación por medio de aforos de varias de las que pudieran ser llamadas partidas de ese balance, es simplemente imposible y aún su simple estimación, impracticable sin grandes errores.

En general la determinación directa del U.C., ya sea - por estudios de campo o via experimental, son difíciles, costosos y lentos, por ello se han desarrollado métodos - indirectos que permitan estimar el U.C., de las distintas cosechas en función de factores ecológicos y meteorológicos conocidos, de los que no es difícil contar con registros relativamente completos en casi todas las zonas del país.

El factor meteorológico que influye más directamente en el consumo de agua por los cultivos, es la temperatura por una parte, porque estimula el crecimiento de las plantas, hasta cierto límite y por otra parte, reduce la humedad relativa y determina mayor evaporación y transpira- -

ción. Por ésto, los métodos indirectos para estimar el U.C., se basan principalmente en datos de temperatura.

Se hará mención únicamente de los métodos directos que existen para la determinación del U.C., ya que en forma general, cada uno de ellos basa sus estudios en lo mencionado anteriormente.

METODOS DIRECTOS

- Del Lisímetro
- De integración
- De entradas y consumo de agua
- Aerodinámico
- De dalton
- De balance de energía
- Combinados

Entre los métodos teóricos o indirectos están los siguientes:

- Hargreaves
- Lowry-Jhonson
- Penman
- Crassy-Cristensen
- Thornwaite
- Blaney y Criddle
- Método Racional

La mayor parte de estos métodos fueron deducidos bajo condiciones diferentes a las que se presentan en el país y requieren de datos que generalmente no se tienen. Los métodos que pueden ser aplicados a México y que se hecho se aplican actualmente en la SARH son: el método de - - Blaney y Criddle y el método racional.

3.3.2 Obtención del U.C., por el método de Blaney y Criddle.

El método propuesto por Blaney y Criddle, para el cálculo del U.C., es especialmente aplicable a zonas donde no se disponga de observaciones directas experimentales - del consumo del agua por las plantas, pero si de observaciones suficientes de temperatura que permitan relacionar el U.C., de dichas zonas con el de otras donde se cuente con observaciones directas, este método se basa en relacionar la temperatura media del lugar, con la luminocidad y la evapotranspiración total anual de cada mes.

Blaney y Criddle calculan para cada mes lo que llaman factor de U.C., que está dado por:

$$f = \frac{t \times p}{100}$$

donde:

t = temperatura media mensual

p = Porcentaje de las horas de luminocidad o insola
ción anual del mes en cuestión.

El valor de p varía con las diferentes latitudes y por tanto, aunque las temperaturas medias de un mes, sean iguales, en dos regiones distintas, se obtendrán diferentes factores mensuales de U.C., afectados a la vez por la temperatura y por la insolación.

La suma de los valores de f para los distintos meses - del período vegetativo de la planta, cuyo U.C., se quiere conocer, da un valor "F" que será el factor de U.C., en la zona agrícola de que se trate para la cosecha en cuestión. El U.C., según Blaney y Criddle, está dado por la siguiente expresión:

$$U.C. = K F$$

donde:

K = Coeficiente de corrección que depende del cultivo y su época de desarrollo es el promedio de los k - mensuales.

F = Factor de temperatura y luminocidad, suma de f mensuales.

Los llamados coeficientes de uso consuntivo (K), deben ser determinados en cada localidad para cada una de las - especies y variedades vegetales que interesen.

Blaney y Criddle, fijaron límites de variación probable del coeficiente de (U.C.) para las especies más importan-

tes, pero dicho coeficiente es global, es decir el valor medio del ciclo. Los valores de este coeficiente, se encuentran reunidos en la tabla número 3.3 (coeficientes globales de evaporación estacional.)

La expresión para determinar el coeficiente K, está dada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{U.C.}{F}$$

3.3.2.1 Metodología para el cálculo del U.C., según Blaney y Criddle.

1. Se anotan en la parte superior de la tabla 3.4, los datos siguientes:
 - a) Estación climatológica
 - b) Latitud
 - c) Cultivo y ciclo vegetativo
2. En la columna 1 se colocan los meses del año.
3. En la columna 2 se colocan las temperaturas medias en °C obtenidas del registro de la estación, tabla no. 3.5.
4. La columna 3 representa el porcentaje de hora-luz - (p) que necesita cada uno de los cultivos, estos valores se obtienen en base a la latitud y con la tabla no. 3.6 para cada mes del año.

5. Para la columna 4 se calcula la expresión $\frac{t+17.8}{21.8}$ para cada temperatura t o por medio de la tabla no. - 3.7.
6. En seguida se calcula el coeficiente de corrección por temperatura $K_t = 0.3114t + 0.02396$, para cada una de las temperaturas del año da los valores de la columna 5.
7. La columna 6 representa los valores del producto del coeficiente de corrección por temperatura K_t por los valores resultantes de la expresión $(\frac{t+17.8}{21.8})$, - es decir, se multiplica la columna 4 por la 5.
8. En la columna 7 se tienen los valores del factor temperatura - luminosidad (F) y se obtienen de multiplicar la columna 3 por la 6.
9. La columna 8 representa el coeficiente de desarrollo (K_c), obtenido para cada uno de los meses del ciclo vegetativo por medio de la curva 3.1 y la tabla 3.3.

Ejemplo: Si se tiene un cultivo cuyo ciclo vegetativo es de 150 días (5 meses) se ve que el total de días correspondientes al primer mes, son 30 días que es el 20% de los 150 y con este dato se entra a las tablas y así sucesivamente.

COEFICIENTES GLOBALES DE EVAPOTRANSPIRACION ESTACIONAL

TABLA No. 3.3

Cultivo	Periodo vege- tivo	Coefficiente Global Kglobal
Aguacate	Perenne	0.50 - 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	Entre heladas	0.80 - 0.85
	En invierno	0.60
Algodón	6 ó 7 meses	0.60 - 0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00 - 1.20
Cacahuate	5 meses	0.60 - 0.65
Cacao	Perenne	0.75 - 0.80
Café	Perenne	0.75 - 0.80
Camote	5 a 6 meses	0.60
Caña de azucar	Perenne	0.75 - 0.90
Cártamo	5 a 8 meses	0.55 - 0.65
Cítricos	7 a 8 meses	0.50 - 0.65
Chile	3 a 4 meses	0.60
Espárrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Perenne	0.45 - 0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60 - 0.70
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
Girasol	4 meses	0.50 - 0.65
Gladiolo	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60 - 0.70
Maíz	4 meses	0.60 - 0.70
Maíz	4 a 7 meses	0.75 - 0.85

CALCULO DEL USO CONSUNTIVO
 APLICACION DEL METODO DE BLANEY - CRIDDLE

Tabla No. 3.4

M E S (1)	RIO VERDE 14°02'			Kt (5)	CICLO CULTIVO VEGETATIVO		FRIJOL (VERANO) 120 DIAS JUL-OCT	
	T °C (2)	P % (3)	$T+17.8$ 21.8 (4)		F (7)	Kc % (8)	U.C. cm (9)	U.C.A. cm (10)
ENERO	25.32	7.94	1.98	1.03	2.04	16.20		
FEBRERO	26.23	7.36	2.02	1.06	2.14	15.75		
MARZO	26.67	8.43	2.05	1.07	2.19	18.46		
ABRIL	27.89	8.44	2.10	1.11	2.33	19.67		
MAYO	28.68	8.98	2.14	1.13	2.41	21.64		
JUNIO	27.47	8.80	2.08	1.10	2.29	20.15		
JULIO	26.70	8.05	2.04	1.07	2.19	17.63	0.80	14.10
AGOSTO	26.58	8.83	2.05	1.07	2.19	19.34	1.12	21.66
SEPTIEMBRE	26.25	8.28	2.03	1.06	2.15	17.80	0.96	17.09
OCTUBRE	26.16	8.20	2.02	1.05	2.12	17.38	0.60	10.13
NOVIEMBRE	25.89	7.75	2.00	1.05	2.10	16.28		63.28
DICIEMBRE	25.41	7.88	1.98	1.03	2.04	16.08		

CALCULO DEL USO CONSUNTIVO

APLICACION DEL METODO DE BLANEY - CRIDDLE

Tabla No. 3.4

CUENCA LATITUD	RIO VERDE 14°02'		CULTIVO CICLO VEGETATIVO				MAIZ (VERANO) 150 DIAS JUN-OCT		
	T °C	P %	$\frac{T+17.8}{21.8}$	Kt	$\frac{T+17.8}{Kt \cdot 21.8}$	F	Kc %	U.C. cm	U.C.A. cm
M E S (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
ENERO	25.32	7.91	1.98	1.03	2.04	16.20			
FEBRERO	26.23	7.36	2.02	1.06	2.14	15.75			
MARZO	26.67	8.43	2.05	1.07	2.19	18.46			
ABRIL	27.89	8.44	2.10	1.11	2.33	19.67			
MAYO	28.68	8.98	2.14	1.13	2.41	21.64			
JUNIO	27.47	8.80	2.08	1.10	2.29	20.15	0.58	11.69	11.69
JULIO	26.70	8.05	2.01	1.07	2.19	17.63	0.92	27.91	27.91
AGOSTO	26.58	8.83	2.05	1.07	2.19	19.34	1.08	48.80	48.80
SEPTIEMBRE	26.25	8.28	2.03	1.06	2.15	17.80	1.00	66.60	66.60
OCTUBRE	26.16	8.20	2.02	1.05	2.12	17.38	0.86	14.95	81.55
NOVIEMBRE	25.89	7.75	2.00	1.05	2.10	16.28			
DICIEMBRE	25.41	7.88	1.98	1.03	2.04	16.08			

TABLA No. 3.5

TEMPERATURA MEDIA EN °C

ESTACION: PASO DE LA REYNA

ESTADO: OAXACA

LATITUD: 14°02'

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	22.7	22.4	20.8	24.9	27.3	26.1	25.8	26.5	25.3	25.8	24.9	23.9
1962	24.2	25.2	27.3	25.5	28.8	26.7	26.7	26.3	25.7	25.7	24.5	25.0
1963	25.0	24.5	26.8	27.8	29.0	27.8	25.8	26.7	26.0	25.9	25.2	24.7
1964	25.2	25.8	27.3	27.9	28.7	27.0	25.8	26.1	25.7	25.3	25.1	24.3
1965	24.2	25.4	25.4	28.2	29.2	27.4	26.4	26.3	25.4	26.1	26.1	25.7
1966	24.4	25.8	26.4	27.3	28.6	27.0	26.8	26.8	26.4	25.8	24.2	24.3
1967	24.3	25.2	26.6	27.8	28.9	27.0	26.7	26.7	26.0	25.9	24.8	24.7
1968	24.5	24.3	25.6	27.1	27.4	27.1	26.7	26.8	26.3	26.0	25.1	25.1
1969	24.9	26.4	27.6	27.9	29.2	28.5	27.3	25.6	26.2	26.3	27.6	25.1
1970	24.9	25.8	25.6	27.6	28.5	28.0	26.6	26.1	26.1	26.1	24.3	23.4
1971	24.5	24.5	26.2	26.3	27.5	27.5	27.6	26.0	26.2	25.2	25.5	25.6
1972	25.4	25.7	27.1	28.6	29.9	26.9	27.4	26.6	27.2	26.7	27.0	25.1
1973	25.6	26.4	27.6	28.1	28.5	27.0	27.1	26.6	26.4	26.0	26.1	24.1
1974	25.4	26.4	27.5	27.4	26.8	26.8	26.6	26.5	25.8	25.7	25.5	26.1
1975	26.1	26.7	27.2	28.4	28.1	27.1	25.7	26.8	25.5	26.1	26.4	26.0
1976	26.5	24.9	25.9	29.1	30.0	27.5	27.6	27.2	26.8	25.8	26.4	26.1
1977	25.8	27.3	27.5	28.3	28.5	27.5	27.1	27.0	27.4	27.3	27.0	27.2
1978	27.7	28.5	29.1	29.5	28.8	28.0	26.5	26.9	26.5	26.9	27.6	28.6
1979	27.9	28.6	28.7	28.3	29.2	29.2	27.0	26.7	25.4	26.3	26.8	27.6
1980	27.2	27.6	29.0	30.0	30.8	30.8	28.1	27.1	27.5	28.6	28.7	27.2
PROM,	25.32	26.23	26.67	27.89	28.68	27.47	36.70	26.58	26.25	26.16	25.85	25.41

10. En la columna 9 se obtienen los usos consuntivos - multiplicando los valores del factor temperatura - luminocidad (7) de cada mes de ciclo vegetativo y el coeficiente de desarrollo Kc de cada mes de ciclo vegetativo de la planta.
11. Los valores de la columna 10 nos representa el U.C. acumulado (U.C.A.) y se obtiene de ir sumando los - U.C.

El (U.C.A.), nos servirá posteriormente para determinar las láminas teóricas de riego que se les - debe aplicar a cada uno de los diferentes cultivos.

3.3.3 Obtención del U.C. por el método racional.

Este método está basado en el de Blaney y Criddle - con modificaciones que ofrecen algunas ventajas en cuanto a la rapidez del cálculo del U.C., las ventajas estriban en lo siguiente:

- a) Eliminan el cálculo del valor Kt.
- b) En lugar de tener una curva para cada cultivo, se - tiene una curva promedio para todos los cultivos, en la cual se señalan los tramos de esta curva que co-- rresponde a cada una de ellas.

3.3.3.1 Metodología para el cálculo del U.C. (Método Racional).

1. Se coloca en la parte superior de la plantilla de cálculo los datos principales como son:

- . Latitud
 - . Clima
 - . Cultivo
 - . Ciclo vegetativo
2. En la primera columna se tienen los meses del año.
 3. En la segunda columna va la temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$, proporcionada por la estación climatológica - del sitio en proyecto.
 4. La columna 3 se calcula con la fórmula siguiente:

$$\frac{t + 17.8}{21.8}$$
 o por medio de la tabla no. 3.7
 5. En la columna 4 tenemos el valor de la luminocidad - (p) tomando de la tabla no. 3.6 de acuerdo con la la titud del sitio del proyecto.
 6. Para obtener la columna 5 que es el factor de temperatura y luminocidad mensual, se obtiene multiplican do las columnas 4 y 3 y se tiene la columna 5.
 7. En la columna 6 aparecen los valores de K_e estimados de la siguiente manera.

Se localiza sobre la curva no. 3.1 a el punto - que limita o determina la duración del ciclo vegeta tivo del cultivo; de dicho punto se traza una ordena da hasta que toque el eje de las abscisas precisamen te así el tramo correspondiente al desarrollo de di cho cultivo, para luego dividirlo entre los meses -

que forma el ciclo vegetativo. Los K_e correspondientes a cada mes se obtienen calculando el promedio de tres ordenadas que son los mismos valores que se presentan en la columna 6.

8. Los valores de la columna 7 se obtienen multiplicando los K_e , columna 6 por los factores de luminosidad y temperatura f ; calculados para cada mes para así, obtener los usos consuntivos teóricos.
9. El U.C., ajustado representado en la columna 8 se calcula al multiplicar el U.C.T., por el coeficiente de ajuste (c).

El coeficiente (c) se obtiene de la siguiente forma:

- a) Se hace la suma del factor temperatura-luminosidad (F), durante el ciclo vegetativo.
- b) Se obtiene el cosiente de la suma del U.C.T. entre la suma de factores temperatura-luminosidad.

$$F' = \frac{\text{U.C.T.}}{F}$$

- c) En seguida se calcula el coeficiente de ajuste (c).

C = Coeficiente global de desarrollo (K_g), K' .

- d) Se multiplica el coeficiente de ajuste (c) por el U.C.T., de cada mes correspondiente al ciclo vegetativo del cultivo.

10. La columna 9, está representando la lluvia efectiva

o esperada (LLE), tabla no. 3.8. De los registros de la estación climatológica se obtienen las precipitaciones para el ciclo vegetativo y con la tabla no. 3.9, se calcula la lluvia considerada efectiva.

11. La columna 10 representa la demanda a satisfacer y se obtiene de restar la columna 9 a la columna 8 - (U.C.A.) - (LLE).

A continuación se presentan los cálculos de U.C. por el método de Blaney y Criddle para una estación climatológica X, como ejemplo.

1. a) Estación climatológica: Estación X (Nombre de la estación y estado a la que pertenece)
 b) Latitud: 14°02' N
 c) Cultivo: maíz, ciclo vegetativo: 150 días (Junio -Octubre).

$$5. \frac{(t+17.8)}{21.8} : \text{sit} = 25.32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \frac{(25.32 + 17.8)}{21.8} = 1.98$$

6. Coeficiente de corrección por temperatura "Kt"

$$Kt = 0.3114t + 0.2396$$

$$\text{Sit} + 25.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Kt = 0.3114 (25.32) + 0.2396 = 1.03$$

$$7. Kt \frac{(t + 17.8)}{21.8} : (1.03) (1.98) = 2.039$$

3.3.3.2 Cálculo del uso consuntivo por el método racional.

1. Estación climatológica : X
 Latitud : 14°02'

TABLA No. 3.6

PORCIENTO DE HORAS DE SOL DIARIAS

LATIT. N. NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75	7.83
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.88
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.60	7.76
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.90	8.30	8.18	7.53	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.00	8.32	8.09	7.40	7.42
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.31
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	7.07	6.98
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
36	6.99	6.85	8.35	8.85	9.82	9.32	9.99	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.62
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.52	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.58	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.98	10.00	8.46	7.45	6.70	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.52	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.51	7.10	4.31	4.56
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.51	6.98	5.04	4.22

TABLA
No. 3.7

VALORES DE LA EXPRESION $(t + 17.8)$ EN RELACION CON TEMPERATURAS
21.8
MEDIAS EN °C. PARA USARSE EN LA FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.954	0.959	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995
4	1.000	1.005	1.000	1.014	1.018	1.023	1.028	1.032	1.037	1.041
5	1.046	1.051	1.055	1.060	1.064	1.069	1.074	1.078	1.083	1.087
6	1.092	1.097	1.101	1.106	1.110	1.115	1.120	1.124	1.129	1.133
7	1.138	1.143	1.147	1.152	1.156	1.161	1.166	1.170	1.175	1.179
8	1.184	1.189	1.193	1.198	1.202	1.207	1.212	1.216	1.221	1.225
9	1.230	1.235	1.239	1.244	1.248	1.253	1.258	1.262	1.267	1.271
10	1.276	1.281	1.290	1.294	1.299	1.304	1.308	1.313	1.331	1.317
11	1.322	1.327	1.331	1.336	1.340	1.345	1.350	1.354	1.359	1.363
12	1.368	1.373	1.377	1.382	1.286	1.391	1.396	1.400	1.405	1.409
13	1.414	1.419	1.423	1.428	1.432	1.437	1.442	1.446	1.451	1.455
14	1.460	1.465	1.469	1.474	1.478	1.483	1.488	1.492	1.497	1.501
15	1.506	1.511	1.515	1.520	1.524	1.529	1.534	1.538	1.543	1.547
16	1.552	1.557	1.561	1.566	1.570	1.575	1.580	1.584	1.589	1.595
17	1.598	1.603	1.607	1.612	1.616	1.621	1.626	1.630	1.635	1.639
18	1.644	1.649	1.653	1.662	1.667	1.672	1.676	1.681	1.681	1.685
19	1.690	1.695	1.699	1.704	1.708	1.713	1.718	1.722	1.727	1.731
20	1.736	1.741	1.745	1.750	1.759	1.764	1.764	1.768	1.773	1.777
21	1.782	1.787	1.791	1.796	1.800	1.805	1.810	1.814	1.819	1.823
22	1.826	1.833	1.837	1.842	1.846	1.851	1.856	1.860	1.865	1.869
23	1.877	1.879	1.883	1.888	1.892	1.897	1.902	1.906	1.911	1.915
24	1.920	1.925	1.929	1.934	1.938	1.943	1.948	1.952	1.957	1.961
25	1.966	1.971	1.975	1.980	1.984	1.989	1.994	1.998	2.003	2.007
26	2.012	2.017	2.021	2.026	2.030	2.035	2.040	2.044	2.049	2.053
27	2.058	2.063	2.067	2.072	2.076	2.081	2.086	2.090	2.095	2.099
28	2.104	2.109	2.113	2.118	2.122	2.127	2.132	2.136	2.141	2.145
29	2.150	2.155	2.159	2.164	2.168	2.173	2.178	2.182	2.187	2.191
30	2.196	2.201	2.205	2.210	2.214	2.219	2.224	2.228	2.233	2.237
31	2.242	2.247	2.251	2.256	2.260	2.265	2.270	2.274	2.279	2.283
32	2.288	2.293	2.297	2.302	2.306	2.311	2.316	2.320	2.325	2.329
33	2.334	2.339	2.343	2.348	2.352	2.357	2.362	2.366	2.371	2.375
34	2.380	2.385	2.389	2.394	2.398	2.403	2.408	2.412	2.417	2.421
35	2.426	2.431	2.431	2.436	2.440	2.445	2.450	2.454	2.459	2.463

PRECIPITACION MEDIA EN MM

Tabla No. 3.8

ESTACION: PASO DE LA REYNA
ESTADO: OAXACA
LATITUD: 14°02'

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	191.0	268.5	107.6	748.0	84.0	88.5	1.0
1962	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	256.5	104.0	178.0	198.0	155.5	0.0	0.0
1963	0.0	3.5	0.0	0.0	41.0	226.1	308.8	156.5	337.7	71.9	6.8	1.1
1964	0.5	0.0	0.0	0.0	11.0	363.0	292.0	130.8	234.7	86.1	14.3	2.1
1965	0.7	0.0	0.6	0.0	11.	207.8	157.9	146.5	266.8	193.5	1.1	0.0
1966	2.4	0.0	0.0	0.0	20.0	117.0	113.5	297.5	289.0	117.5	23.0	2.0
1967	0.0	3.0	0.0	0.0	21.5	357.9	201.9	96.4	612.3	137.3	0.0	0.0
1968	0.0	0.0	0.0	0.0	216.8	84.7	176.6	196.5	573.7	172.6	20.7	4.5
1969	2.3	0.0	16.8	0.0	13.3	193.5	127.0	268.1	537.9	152.9	0.0	0.0
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	165.3	162.0	146.7	225.5	63.5	11.5	0.0
1971	0.0	0.0	0.0	11.0	32.8	120.8	178.9	190.4	117.5	224.1	51.5	0.0
1972	0.0	0.0	0.0	4.5	55.0	384.0	158.0	327.0	299.5	56.0	0.0	16.0
1973	0.0	0.0	0.0	90.5	34.8	137.5	105.9	171.6	389.9	292.7	0.0	0.0
1974	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1451.0	148.3	213.5	354.8	133.3	37.2	0.0
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	112.3	181.5	232.9	187.5	289.5	158.4	0.0	15.5
1976	0.0	0.0	0.0	6.0	64.0	293.5	25.0	177.9	186.0	252.1	5.5	0.0
1977	32.1	2.0	0.0	0.0	115.1	221.4	96.3	149.3	237.7	116.0	53.4	3.6
1978	0.0	8.7	0.0	2.0	193.8	277.6	218.1	141.4	366.5	191.3	18.6	2.2
1979	8.5	0.0	0.0	0.0	98.0	100.7	280.4	195.4	452.7	64.7	5.3	0.0
1980	32.9	1.8	0.0	28.3	73.9	96.4	232.5	308.3	408.5	51.8	24.0	2.3
PROM:	4.89	0.95	0.83	7.12	56.30	271.31	258.78	179.97	330.61	138.76	17.57	2.35

Tabla No. 3.9

LLUVIA TOTAL OBSERVADA EN PULGADAS	EN MINUTOS	COEFICIENTES APROVECHA- MIENTO	ACUMULADA PULGADAS	TOTAL mm
1	25	0.95	0.95	23.7
2	50	0.90	1.85	46.3
3	75	0.82	2.67	67.0
4	100	0.65	3.32	83.0
5	125	0.45	3.77	94.5
6	150	0.25	4.02	100.5
MAS DE 6	MAS DE 150	0.05		

Cultivo : Maíz

Ciclo vegetativo : 150 días.

4. Obtención del factor temperatura - luminosidad.

$$F = P \frac{(t + 17.8)}{21.8} = 7.94 (1.98) = 15.72$$

7. Valores de K_e (medios) obtenidos de la curva 3.1

$$\text{Junio } \frac{0.2 + 0.207 + 0.49}{3} = 0.299$$

$$\text{Julio } \frac{0.49 + 0.71 + 0.84}{3} = 0.680$$

$$\text{Agosto } \frac{0.84 + 0.97 + 1}{3} = 0.937$$

$$\text{Septiembre } \frac{0.1 + 0.97 + 0.84}{3} = 0.937$$

$$\text{Octubre } \frac{0.84 + 0.607 + 0.84}{3} = 0.642$$

8. (U.C.T.) de multiplicar (K_e) por (F)

$$18.31 \times 0.299 = 5.92$$

$$16.45 \times 0.68 = 12.08$$

$$18.09 \times 0.937 = 18.31$$

$$16.78 \times 0.937 = 16.98$$

$$16.54 \times 0.642 = \underline{11.47}$$

9. (U.C.A.)

$$F = 86.17$$

$$(U.C.T.) = 59.958 \quad K' = \frac{U.C.T.}{F} = \frac{5995.8}{86.17} = 0.696$$

$$C = \frac{K_e}{K'} = \frac{0.75}{0.696} = 1.08$$

$$U.C.A. = (U.C.T.) (c) = 5.48 \times 1.08 = 5.92$$

$$11.186 \times 1.08 = 12.08$$

$$16.95 \times 1.08 = 18.31$$

$$15.723 \times 1.08 = 16.98$$

$$10.619 \times 1.08 = 11.47$$

10. Cálculo de la lluvia esperada o efectiva (LLE) del -
registro de precipitaciones de la estación.

Junio	- - - - -	271.31 m m
Julio	- - - - -	258.78 m m
Agosto	- - - - -	179.97 m m
Septiembre	- - - - -	330.61 m m
Octubre	- - - - -	138.76 m m

Con la tabla no. 3.8 se calcula la lluvia considera-
da efectiva.

Junio	- - - -	271.31	- - -	271.31	(0.05) -	13.05 mm=1.36 cm.
Julio	- - - -	258.78	- - -	258.78	(0.05) =	12.94 mm=1.30 cm.
Agosto	- - -	179.97	- - -	179.97	(0.05) =	9.00 mm=0.90 cm.
Septiembre	- -	330.61	- - -	330.61	(0.05) =	16.57 mm=1.65 cm.
Octubre	- - -	138.76	- - -	(125X0.45)+(13.76X0.25)	=	5.97 cm.

11. Columna 10, demanda a satisfacer (U.C.A.) - (LLE). -
(U.C.A.) - (LLE)

Junio	- - - -	5.92	- - - -	1.36	=	4.56 cm.
Julio	- - - -	12.08	- - - -	1.30	=	11.65 cm.
Agosto	- - -	18.31	- - - -	0.90	=	17.41 cm.
Septiembre	- -	16.98	- - - -	1.68	=	12.58 cm.
Octubre	- - -	11.47	- - - -	5.97	=	5.98 cm.

3.4 COEFICIENTE UNITARIO DE RIEGO.

3.4.1 Lámina teórica de riego.

La lámina teórica de riego, es la cantidad de agua - necesaria para humedecer un suelo en un porcentaje cual - quiera P_s y será igual al producto de dicho porcentaje - por la profundidad y por la densidad del suelo que se pre - tende humedecer.

Este porcentaje dependerá de la humedad aprovechable por el cultivo. La humedad aprovechable dependerá a su - vez de los valores de P_s en condiciones de capacidad de - campo y porcentaje de marchitamiento permanente.

La capacidad de campo, es el contenido de humedad de un suelo expresado en porciento P_s después de un riego, - una vez que se ha eliminado el exceso de agua por acción de la fuerza de gravedad.

El porcentaje de marchitamiento, es el contenido de humedad respecto al peso del suelo seco al punto de mar - chitamiento permanente.

La humedad aprovechable, es la diferencia entre la - capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento.

La densidad aparente, es la relación que existe en - tre el peso del suelo seco y el volumen total del suelo - en estudio.

La profundidad radicular, es el porcentaje de creci - miento de las raíces de los cultivos.

Por lo tanto la lámina máxima se puede aplicar para humedecer un suelo a una profundidad Pr sin desperdiciar agua sera:

$$LT = (P_{Sc} - P_{Spmp}) Da + Pr$$

donde:

P_{Sc} = Porcentaje de humedad, respecto al peso del suelo seco a capacidad de campo.

P_{Spmp} = Porcentaje de humedad, respecto al peso del suelo seco al punto de marchitamiento permanente.

Da = Densidad aparente

Pr = Profundidad radicular

Después de que se ha sembrado un cultivo y empieza a crecer se nota que los indicadores de humedad marcan un descenso hasta del 20% de la humedad aprovechable, es decir, la lámina de agua que se debe aplicar a un cultivo - al regar, se obtiene como sigue:

$$LT = 0.8 (P_{Sc} - P_{Spmp}) Da + Pr$$

tomando como ejemplo nuevamente la estación X y suponiendo algunas características al suelo en el lugar X se procede a lo siguiente:

TIPO DE SUELO

Cultivo - - - - -	Maíz	Limo
Ciclo vegetativo - - -	150 días	$P_{cc} = 22; P_{mp} = 10$
Inicio de siembra - - -	1° Junio	$Da = 1.3; Pr = 1.5$

$$\begin{aligned}
 \text{Lámina teórica} &= 0.8 (\text{Psc} - \text{Pspmp}) \text{ Da} + \text{Pr} \\
 &= 0.8 (22 - 10) 1.3 + 1.5 \\
 \text{LT} &= 13.98
 \end{aligned}$$

Este procedimiento debe ser repetido para cada uno de los cultivos generados en el lugar.

Con las láminas teóricas y los usos consuntivos, se procede a determinar los Intervalos de Riego de cada uno de los cultivos de la siguiente forma:

1. Se llevan a una gráfica los valores del (U.C.A.), -- contra tiempo en días.
2. En la gráfica sobre el eje de los (U.C.A.), se llevan las láminas aplicadas encontrándose los respectivos intervalos, ver gráfica 3.10.
3. Después de los intervalos se procede a programar los cultivos, incluyendo los cultivos de repetición.

Se denomina cultivo de repetición, aquel que de acuerdo con sus fechas de siembra, se pueda volver a sembrar con otros cultivos dentro del mismo ciclo agrícola.

EJEMPLO:	TIPO DE SUELO
Cultivo - - - - - (invierno)	Limos
Ciclo Vegetativo - - - - 150 días	Pcc = 22
Inicio de Siembra - - - - 1° junio	Pmp = 10
	Da = 1.3

$$Pr = 1.5$$

Lámina Teórica

$$LT = 0.8 (22-10) 1.3 + 1.5$$

$$LT = 13.98 \text{ cm}$$

Consumo Medio Diario

$$(0.314, 0.493, 0.583, 0.525, 0.529)$$

Intervalos de Riego

$$I1 = \frac{13.98}{0.314} = 44 \text{ días}$$

$$I2 = \frac{13.98}{0.493} = 28 \text{ días}$$

$$I3 = \frac{13.98}{0.583} = 24 \text{ días}$$

$$I4 = \frac{13.98}{0.525} = 27 \text{ días}$$

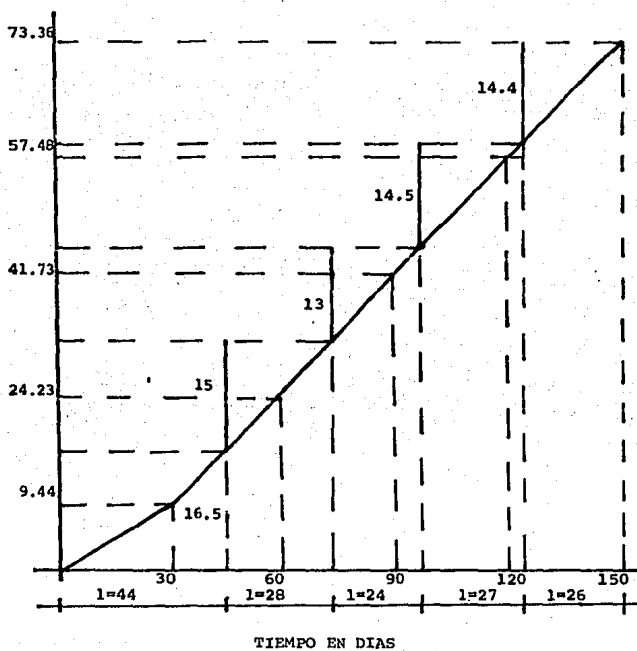
$$I5 = \frac{13.98}{0.529} = 26 \text{ días}$$

CULTIVO: MAIZ (INVIERNO)

Ciclo Vegetativo 150 días

grafica 3.10

LAMINA	16.5	15	13	14.5	14.4
INTERVALO	44	28	24	27	26



3.5 EVAPOTRANSPIRACION

3.5.1 Método de Thornthwaite.

Es indudable que los factores que influyen en la evapotranspiración, son los factores atmosféricos y generalmente con base en ellos se han desarrollado varias fórmulas para estimarla.

La evapotranspiración es el uso del agua de un cultivo que cubre totalmente la superficie del suelo y que nunca tiene deficiencia de humedad.

Con el método que desarrolló el Dr. Thornthwaite, se determina la evapotranspiración empleando datos climatológicos, basándose en la latitud y en la temperatura, demostrando que esta última es un buen índice de la energía en el lugar específico.

$$Et = \frac{16 (10 T)^a}{t}$$

donde:

Et = Evapotranspiración mensual en centímetros.

t = Temperatura media mensual en °C.

a = Constante que depende del lugar y que es la función de eficiencia anual de temperatura (I), cuyo valor es:

$$a = 0.00000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239$$

I = Índice anual de temperatura, es la suma de los índices de las eficiencias mensuales de temperatura.

$$i = \frac{(T)}{5} 1.514$$

3.5.1 Aplicación del método.

1. Se calculan las temperaturas medias mensuales en °C, (T).
2. Se calculan los valores de las eficiencias - - mensuales de la temperatura empleando la siguiente fórmula:

$$i = \frac{(T)}{5} 1.514$$

3. Se determina la eficiencia anual de la temperatura (I) sumando los valores calculados en el punto 2.
4. Se calcula el exponente "a" aplicando la siguiente fórmula:

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239 -$$

5. Se estima la evapotranspiración en cada uno de los meses del año considerados en función de la temperatura media mensual aplicando la siguiente fórmula:

$$Et = \frac{1.6 (10T)^a}{I}$$

De esta forma se calcularán los valores de la evapotranspiración en cada uno de los meses del año del proyecto.

3.6 METODO PARA CUANTIFICAR LA LLUVIA EFECTIVA.

Se han desarrollado diferentes métodos para la determinación de la lluvia efectiva, pero se hará mención únicamente al empleado en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) el cual consiste en lo siguiente:

- 1° Se analiza la lluvia que cae en la región en los últimos años y se registra en la Estación Climatológica más cercana a la zona en estudio. Esta lluvia se agrupa en forma decenal de cada mes, correspondiente a cada año, para mayor aproximación.
- 2° Se suma la lluvia decenal de cada mes, obteniéndose la precipitación mensual, para cada año de observación.
- 3° Se ordenan las lluvias mensuales de mayor a menos precipitación, correspondiente a cada año.
- 4° Para considerar la lluvia efectiva se debe cumplir con el método de Prescott usado normalmente en el Departamento de canales de la SARH.
- 5° El método de Prescott dice que el 80% de la precipitación es mayor o igual a 0.9 de la evapotranspiración a la potencia de 0.75 determinada por el método del Dr. Thornthwaite, es decir:

$$0.8 P \geq 0.9 E^{0.75}$$

donde:

P = precipitación.

E = Evapotranspiración determinada por el método de Thornthwaite.

Para considerar la lluvia efectiva se toma un 50% de la precipitación media de los meses en donde se cumple el método, ésto es:

$$LLE (50\%) = \frac{\text{Precipitación}}{\text{No. Meses}} \text{ cm.}$$

3.7 PLAN DE RIEGO Y LEY DE DEMANDAS.

Para llevar a cabo un plan de riego y ley de demandas es necesario hacer la distribución de las superficies de los diferentes cultivos durante su respectiva época de siembra.

Por medio de la ayuda de una tabla (no. 3.11) se puede llevar a cabo en forma ordenada el plan de riego y ley de demandas que serán requeridas en un distrito de riego. En la tabla se aprecia lo siguiente:

En el 1º renglón, aparece la lluvia efectiva.

En el 2º renglón, la columna, lo encabezan los cultivos así como su superficie respectiva, además de los meses del año y por el lado derecho los cultivos que se repetirán y también su superficie.

Los valores que aparecerán en las columnas correspondientes a los meses del año, representan los volúmenes de

agua a satisfacer y en el renglón de abajo las láminas teóricas de riego, los volúmenes se determinan de la siguiente forma:

Ejemplo:

Cultivo maíz (Invierno)

Láminas teóricas: (16.5, 15.0, 13.0, 14.5 14.4)

en cm.

Superficie = 1669 Has.

$$A = 100 \times 100 = 10,000 \text{ M}^2 = 1 \text{ Ha.}$$

$$AT = 10,000 \times 1669 = 16690000 \text{ M}^2$$

Láminas teóricas en mts. (16.5, 0.150, 0.30, 0.145, 0.144)

$$VT = 16690000 \times 0.165 = \frac{2753850 \text{ M}^3 \times 1\text{M}}{10,000}$$

$$VT = 2.75 \text{ M.M}^3$$

Y de esta misma forma se procedería con cada una de las láminas teóricas de cada uno de los cultivos.

En la tabla no. 3.11 mostrada como ejemplo aparecen tres valores para los cultivos de repetición, el primero corresponde al volumen por satisfacer durante el período normal de crecimiento por riego, el 2° valor corresponde a las láminas teóricas de riego y finalmente el volumen de agua que necesitará el cultivo durante el ciclo de rotación.

El ciclo de rotación es determinado de la siguiente forma:

Ejemplo:

Cultivo maíz, Lt = 17.0 cm. SUP = 1112.6 Has.

LLE = 7.01

$$A = 100 \times 100 = 10,000 \text{ M}^2 = 1 \text{ Ha.}$$

$$AT = 10000 \times 1112.6 + 11126000 \text{ M}^2$$

$$VT = 111260000 \times 0.0701 = \frac{779932.6 \text{ M}^3}{1000000} \times 1 \text{ M}$$

$$= 0.78 \text{ M.M}^3$$

Repetiendo el procedimiento en cada uno de los cultivos.

Para determinar los volúmenes necesarios, basta con sumar en dirección horizontal, los volúmenes de cada cultivo.

Para obtener la corrección de lluvia, se suman los valores en dirección vertical de los cultivos de repetición.

Los volúmenes netos, es la resta de los volúmenes necesarios menos la corrección de lluvia.

Los volúmenes brutos están en función de las eficiencias que se tengan en los canales del sistema de riego, estas eficiencias se consideran en tres formas.

1. Canales de tierra - - - - - 42%
2. Canales revestidos de mampostería - - 45%
3. Canales revestidos de concreto - - - 55%

Ejemplo:

Cultivo maiz (invierno)

Lts = (16.5, 15.0 13.0, 14.5 14.4)

1 Ha = 10000 M²; 1669 Ha = 16690000 M²

$$\frac{16690000}{1000000} = 16.69$$

Volúmenes necesarios:

$$0.165 \times 16.69 = 2.75$$

$$0.150 \times 16.69 = 2.50$$

$$0.130 \times 16.69 = 2.16 \text{ M.M}^3$$

$$0.145 \times 16.69 = 2.42$$

$$0.144 \times 16.69 = 2.40$$

3.8 DETERMINACION DEL COEFICIENTE UNITARIO DE RIEGO.

El coeficiente unitario de riego se determina con base al mes de máxima demanda, los cultivos de este mes con sus áreas y volúmenes correspondientes se ordenan en función de los cultivos que tengan de mayor a menor uso consuntivo diario.

Dividiendo el volumen acumulado correspondiente al mes crítico entre el área acumulada y el tiempo en segundos del mes se obtiene el coeficiente unitario de riego.

El cálculo se facilita por medio de la construcción de una tabla no. 3.12 en la cual:

En la columna no. 1, se tienen todos los cultivos or-

denados en función de mayor a menor uso consuntivo diario y tomando como base el mes de máxima demanda.

La columna No. 2, representa el uso consuntivo ordenado de mayor a menor; estos usos consuntivos se obtienen de sumar las láminas de riego del cultivo durante el mes - mes de máxima demanda dividido entre el número de días del mes (30 días).

La columna No. 3, representa la superficie de cada cultivo.

La columna No. 5, está representando el volumen en $M.M^3$, y se obtiene multiplicando la suma de las láminas - teóricas de riego del mes de máxima demanda y la superficie no acumulada.

La columna No. 6, representa el volumen acumulado en $M.M^3$.

La columna No. 7, representa el coeficiente unitario de riego, teniendo una eficiencia total de distrito de - - 42%.

Las columnas No. 8 y 9, representan el coeficiente unitario de riego teniendo una eficiencia total de distrito de 45% y 55% respectivamente.

Ejemplo:

Coeficiente unitario de riego para el maíz tomando los mismos de ejemplos anteriores.

$$\text{Maiz} = \frac{16.5}{30} = 0.55 \text{ cm/dia.}$$

$$\text{Sup. Ac} = 1112.6 \text{ Has.}$$

$$\text{Vol. Ac} = 1.835 \text{ M.M}^3.$$

$$1. \quad \frac{835 \times 1000000 \text{ M.M}^3}{1 \text{ M}^3} = 1835000 \times 1000 \text{ Hs} \times \text{M}^3$$

$$= 1835000000 \text{ LTS} = \text{VOL. Ac.}$$

$$\text{No. Seg. al mes} = 2592000 \text{ segundos.}$$

$$\frac{1835000}{2592} = 707.95 \text{ Lts/seg/ha.}$$

$$\frac{707.95}{1112.6} = 0.6363 \text{ Lts/seg/ha.}$$

$$\frac{0.6363}{0.42} = 1.5150 \text{ Lts/seg/ha.}$$

$$\frac{0.6363}{0.45} = 1.4140 \text{ Lts/seg/ha.}$$

$$\frac{0.6363}{0.55} = 1.1569 \text{ Lts/seg/ha.}$$

3.9 LAMINA NETA DE DISTRITO

Para obtener la lámina neta de distrito de riego - se consideran los datos que se tienen en la tabla del - - "plan de riego" los cuales son:

Vol. Neto Mensual (Mes Crítico)

Vol. Neto Anual.

Superficie física.

$$\text{Lámina neta de distrito} = \frac{\text{VOL. NETO ANUAL}}{\text{SUPERFICIE}}$$

Se debe tomar en cuenta que las eficiencias ocasionan que se tenga una lámina bruta para el distrito, para cada tipo de canal.

La lámina bruta se determina de la siguiente manera:

$$\text{Lámina Bruta} = \frac{\text{Lámina Neta de Distrito}}{\text{Eficiencias}}$$

Tabla 3.11

PLAN DE RIEGO Y LEY DE DEMANDAS

LLUVIA EFECTIVA	CULTIVOS DE VERANO															
	MES SUP EAS.	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	7.01	7.01	7.01	7.01		
											MES	SUP	HAS.			
MAIZ	1669	2.75	2.5	2.16	2.42	2.40			1.9	1.9	1.7	1.8	1.7			
		16.5	15.0	13.0	14.5	14.4			17.0	17.8	15.0	16.0	15.5			
									0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	112.6		
FRIJOL	1669	2.1	2.1	2.3	2.5						1.7	1.7	1.8	1.8		
		13.02	13.02	14.0	15.59						15	15	16	16		
											0.78	0.78	0.78	0.78	112.6	
		1.05									1.4	1.9	1.2	0.66	1.0	
		9.5									12.5	17.5	11	6	9	
											0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	112.6
VOL. NEC.	43.440	5.900	4.600	4.460	4.920	2.400			2.300	5.500	4.600	4.26	4.5	43.44		
CORR. LLUV.	10.920								1.56	2.34	2.34	2.34	2.34	10.92		
VOL. NETO	32.520	5.900	4.600	4.460	4.920	2.400			0.74	3.16	2.26	1.92	2.16	32.52		
VOL. BRUTO N=42%	77.39	14.04	10.95	10.61	11.71	5.71			1.76	7.52	5.39	4.57	5.14	77.39		
VOL. BRUTO N=45%	72.24	13.11	10.95	9.91	10.93	5.33			1.64	7.02	5.02	4.26	4.80	72.24		
VOL. BRUTO N=55%	59.02	10.72	8.36	8.10	8.94	4.36			1.34	5.74	4.10	3.49	3.92	59.02		

TABLA 3.12

COEFICIENTE UNITARIO DE RIEGO

CULTIVO	CH/DIA	SUP.HAS.	SUP.AC HAS.	VOLUMEN M.M ³	VOL. AC M.M ³	C.U.R. N=0.42	C.U.R. N = 0.45	C.U.R. N = 0.55
MAIZ	16.5 = — 0.550 30	1112.6	1112.6	1.8350	1.8350	1.515	1.414	1.157
FRIJOL	3.02 = — 0.434 30	112.6	2225.2	1.4480	3.2830	1.355	1.265	1.035
ALGODON	9.5=0.316 30	1112.6	3338.0	1.0560	4.3390	1.193	1.114	0.911

C A P I T U L O I V

OBRAS HIDRAULICAS

- 4. CLASIFICACION DE LAS OBRAS HIDRAULICAS.
- 4.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE RIEGO.
- 4.2 OBRAS DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA EL RIEGO.
- 4.2.1 Obras para la captación de aguas superficiales.
- 4.2.1.1 Sistema de distribución.
- 4.2.2 Obras para la extracción de aguas subterráneas.
- 4.2.2.1 Ciclo hidrológico.

4. CLASIFICACION DE LAS OBRAS HIDRAULICAS.

Obras Hidráulicas.	Obras de defensa.	<p>Contra Inundaciones.</p> <p>Contra Azolves.</p>
	Obras de Aprovechamiento.	<ul style="list-style-type: none"> . Abastecimiento de agua. . Riego. . Desarrollo de energía. . Entarquinamiento. . Navegación.

Obras Hidráulicas. Son aquellas que están constituidas por el conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

Obras de Defensa, Las obras de defensa se construyen principalmente contra inundaciones o erosiones provocadas por flujos extraordinarios en los ríos.

Se dividen en cuatro tipos:

- a) Cuando el cauce del río tiene una capacidad reducida y no se puede ampliar.

En este caso se deben regularizar las avenidas - en el cauce superior, mediante presas que se - - construyan para tal efecto.

- b) Cuando el cauce tiene una capacidad reducida pero se puede ampliar.
- c) Cuando se pueden complementar las dos soluciones anteriores.
- d) Cuando es necesario proteger las márgenes del río contra erosiones.

Obras de Aprovechamiento. Este tipo de obras son las que se pueden o podrían ser la justificación de todos los estudios que se realicen sobre los escurrimientos superficiales o subterráneos, para ver de que forma será explotada el agua así como los sistemas y sus estructuras necesarias para brindar los beneficios que las regiones demanden.

4.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE RIEGO.

Los distritos de riego son zonas destinadas a la agricultura a las que se suministran volúmenes controlados de agua que se aplican al terreno con el fin de favorecer el desarrollo y la fructificación de los cultivos.

Comprenden una gran cantidad de estructuras hidráulicas y de ingeniería civil cuya finalidad es la de obtener el agua necesaria, regularizarla, transportarla y distribuirla a los terrenos de cultivo; drenar el agua de desperdicios o sobrantes, así como dar acceso a las parcelas en todo tiempo mediante una red eficiente y segura de comuni-

caciones terrestres. Deben contar también con comunicaciones telefónicas o de radio y estar electrificados.

En general, los proyectos de irrigación se clasifican, de acuerdo con el método de obtener el agua, en proyectos por gravedad o por bombeo o por una combinación de ambos. Los proyectos de gravedad son los más comunes, aún cuando los de bombeo también conducen el agua por medio de canales. Los distritos de riego pueden ser de distintos tamaños, variando desde superficies de unas cuantas hectáreas hasta grandes distritos de más de 200,000 ha. Así mismo, pueden comprender una pequeña presa derivadora y una reducida red de canales y sus estructuras o pueden -- constar de presas de almacenamiento y estructuras hidráulicas de gran envergadura, según el caso.

En seguida se muestra de manera general la clasificación de los sistemas hidráulicos necesarios para el buen funcionamiento de un sistema de riego así como los elementos o construcciones que integran a estos sistemas hidráulicos.

SISTEMAS HIDRAULICOS EN UN SISTEMA DE RIEGO

Captación y Almacenamiento.	Aguas Superficiales.	.Presas de Almacenamiento .Presas de Derivación .Planta de Bombeo .Bocatomas
	Aguas Subterráneas.	.Pozos de aguas freáticas .Pozos de aguas profundas .Galerías filtrantes
Conducción	.Canales	
	.Tuberías	
	.Puente Canal	
	.Ríos	
Distribución	.Canales	
	.Tuberías	
	.Tomas, Represas	
	.Alcantarillas, sifones, etc.	
Drenaje	.Drenes	
	.Alcantarillas	
	.Desfogues	
Obras Complementarias	.Campamentos	
	.Vias de Comunicación	
	.Plantas Experimentales	

Captación y Almacenamiento. Son las obras que nos permitirán la captación y el almacenamiento de agua, estarán previamente definidas en función de la cuenca hidrográfica de un río, de las construcciones que permitan cambiar el régimen natural del escurrimiento al régimen artificial de la demanda de acuerdo a los fines a que se destine.

Aguas Superficiales. Son aquellas aguas que provienen de la precipitación no infiltrada y que ocurre sobre la superficie del suelo.

Aguas Subterráneas. Son aquellas aguas que se encuentran ocupando todos los vacíos de un estrato geológico, es decir es toda aquella agua que se encuentra por debajo del nivel freático.

Conducción. Las obras de conducción tienen como objetivo el llevar el agua desde el punto de derivación hasta el lugar o lugares donde será aprovechada. Las estructuras destinadas para este fin, pueden ser canales abiertos o cerrados.

Distribución. Son las obras que se construyen con un fin específico para el aprovechamiento del agua, por ejemplo los canales para el riego por gravedad, tuberías a presión para plantas hidroeléctricas y poblaciones, etc.

Drenaje. Las obras que están comprendidas para el drenaje, tienen como objetivo el liberar las aguas exedentes en los cultivos provocadas por exceso de lluvia o por demasiado riego.

Obras Complementarias. Este tipo de obras permiten vigilar el buen funcionamiento del sistema de riego en su conjunto, ésto quiere decir que permiten el mantenimiento adecuado y oportuno al sistema de riego si se cuenta con buenas vías de comunicación, campamentos que resguarden las instalaciones, etc.

4.2 OBRAS DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA EL RIEGO.

El objetivo esencial de las obras hidráulicas de aprovechamiento del agua para fines de riego es el de regularizar la humedad del suelo, ya que existen zonas en las cuales si no se riega no se siembra y también se tiene el problema de las inundaciones y erosiones que provocan las lluvias en exceso al no haber las obras necesarias para controlar los escurrimientos.

México es un territorio de 196 millones de hectáreas, de las cuales son laborables 23.5 millones, un 12% y de esos, 2.5 millones no requieren riego, aunque si de obras que eviten inundaciones y 20 millones necesitan urgentemente obras para suprimir la inseguridad de las siembras de temporal.

Hasta la fecha y desde la constitución de la Comisión Nacional de Irrigación, se han realizado obras que permitan el riego seguro para 3,000,000 Ha. Este dato refleja la gravedad para el país ya que se requiere irrigar más terreno, ampliar las zonas de riego y rehabilitar algunas zonas de riego ya obsoletas. Para tal objeto se necesita estudiar cada una de las zonas de riego en potencia obteniendo los datos climatológicos, hidrológicos, socioeconómicos, etc., para poder así proyectar las obras para la captación de las aguas para dichos fines.

Estas obras de captación de aguas para fines de riego pueden ser de dos tipos:

- Obras para la captación de aguas superficiales
- Obras para la extracción de aguas subterráneas

4.2.1 Obras para la captación de aguas superficiales.

Con respecto a este tipo de obras, éstas pueden ser de cuatro tipos:

- a) Sistemas de Almacenamiento
- b) Sistema de Derivación
- c) Aprovechamiento de cauces y vasos naturales
- d) Estaciones de bombeo en ríos

a) Sistemas de Almacenamiento. El Sistema de Almacenamiento tiene por objeto almacenar agua en un vaso o depósito natural formado por un valle que se cierra

mediante una cortina que intercepta el paso del agua. El agua almacenada tiene por objeto regularizar la corriente para disponer del gasto necesario en las épocas de riego, gasto que varía de acuerdo con la demanda.

El sistema de almacenamiento está constituido por tres elementos fundamentales que sirven respectivamente para contener el agua en el vaso, para manejar la extracción del agua y para disponer de las aguas de las avenidas que llegan al vaso; esos tres elementos son los siguientes: la cortina, la obra de toma, y el vertedor de demasías.

Obra de Toma.

Se llama obra de toma, al conjunto de estructuras construídas en una presa; con el objeto de extraer el agua en forma controlada y poder utilizarla con el fin para el cual ha sido proyectado su almacenamiento.

Existen varios tipos de obras de toma de los cuales los principales son:

- con lumbrera
- con torre

Los dos tipos de toma constan de:

Rejilla, un conducto, una compuerta de emergencia, una compuerta de servicio, una caseta de operación, -

una caída y un tanque amortiguador.

Vertedor de Demasías

El vertedor de demasías es la estructura que da salida a las aguas excedentes del almacenamiento, protegiendo la cortina, obra de toma y demás estructuras, al impedir que el agua que ya no puede ser almacenada se desborde sobre la cortina y la destruya.

En cuanto a su operación, los vertedores de demasías, pueden clasificarse en:

- de cresta libre
- con compuertas

Pudiendo ser los primeros de planta recta o curva o sin cimacio, descarga directa al río o hacerlo a través de un canal de descarga. En los segundos pueden utilizarse compuertas radiales o compuertas deslizantes.

Otra clasificación de los vertedores de demasías pueden hacerse, con relación a la posición del canal de descarga, y puede ser:

- a) Vertedor del canal lateral

Si el canal de descarga es paralelo a la cresta vertedora

- b) De cresta recta, con o sin perfil Creager

- c) De abanico, si la cresta es curva
(casi siempre formado por una serie de arcos de círculo) con perfil Creager

Un vertedor en su forma más completa consta de:

1. Canal de acceso
2. Cimacio
3. Tanque amortiguador
4. Sección de control
5. Arcos de abanico
6. Transiciones
7. Canal de descarga
8. Canal de salida
9. Disipadores de energía

b) Sistema de Derivación El agua extraída del vaso de almacenamiento pasa en algunos casos al canal de conducción directamente; pero en otros casos se conduce por el río en un tramo de más o menos longitud hasta un punto donde conviene vaciar el canal de conducción, para lo cual es necesario construir obras que hagan pasar el agua del río al canal. Esto es, lo que constituye el sistema de derivación. El sistema de derivación también es necesario cuando se va a utilizar las aguas permanentes de un río.

El sistema de derivación consta de dos partes fundamentales:

1. La presa de derivación cuyo objeto es elevar el nivel de la superficie del agua a una altura conveniente que haga posible la derivación de un cierto gasto y que esté diseñada para permitir que el agua vierta sobre ella, ver figura 4.2.

Generalmente se utilizan en corrientes de agua de anchura considerable con relación al caudal de escurrimiento; éste se subdivide en pequeños cauces en épocas de estiaje, haciendo imposible recoger el total o la mayor parte del agua que escurre, si no se hace la construcción de la presa de derivación.

2. La bocatoma que sirve para regularizar el paso del agua del río al canal. En algunas ocasiones cuando el nivel del río aún en las épocas en que su caudal es mínimo, es suficiente para efectuar la derivación, no es necesario construir la presa de derivación. Estos casos son poco frecuentes.

Boca Toma

El objeto principal de la boca toma, es el de dar paso al agua del río al canal de conducción, regularizando en toda época el gasto requerido por las demandas de la zona de riego.

Esta parte del sistema de derivación es muy importante por lo cual se hace necesario hacer un diseño eficaz con mecanismos de operación de fácil maniobra y una buena construcción, puesto que una falla de la estructura o del mecanismo de control, puede dar lugar a un exceso de agua en el sistema de canalización, con los peligros consiguientes tanto en los canales como en la zona de riego.

1. Debe quedar localizada en un lugar apropiado para su construcción y la parte superior del canal de conducción, donde no se presentan obras costosas como túneles, cortes profundos o grandes excavaciones en roca.
2. Donde el plano vertical que contiene las compuertas reguladoras, pueda colocarse formando un ángulo recto con el dique vertedor para facilitar la localización del canal de limpia.
3. Cerca de los materiales de construcción necesarios.
4. Donde pueda obtenerse una margen del río o no erosionada.
5. Donde se disponga de un terreno de cimentación resistente, impermeable y poco profundo.
6. En un tramo en que la velocidad del río sea de preferencia menor que la del canal de conducción para que los depósitos se hagan en el río.

7. En el tramo recto del río con velocidad uniforme y sección transversal regular. La mejor localización de la boca toma es colocarla cerca del dique vertedor y junto a los canales desarenadores de modo que los sedimentos depositados frente a ella, puedan ser arrastrados al abrirse las compuertas de limpia.

Desarenador

Las finalidades primordiales del desarenador son las siguientes:

1. Mantener un canal bien definido frente a las compuertas reguladoras de la toma en donde se depositan los sedimentos.
2. Evitar la entrada de materiales gruesos al canal de conducción.
3. Regular el nivel del agua dentro de pequeños límites cuando las variaciones del agua en el río son pequeñas.

Partes de que consta el desarenador: Canal desarenador, compuertas de limpia y canal de arrastre.

Los propósitos principales del canal de arrastre de aguas arriba son las siguientes:

1. Formar un vaso frente a la obra de toma donde las velocidades de escurrimiento sean bajas cuando las compuertas del desarenador están cerradas

y abiertas las de la boca toma.

2. Concentrar y definir el efecto de arrastre de - las altas velocidades ocasionadas al abrirse las compuertas de limpia.

c) Aprovechamiento de Cauces y Vasos Naturales. Para el aprovechamiento de un cauce o un vaso natural, es necesario efectuar los siguientes estudios:

1. Obtener todos los datos Hidrológicos
2. Obtener todos los datos Hidrográficos
3. Obtener los datos Climatológicos
4. Determinar el gasto máximo que puede presentarse

Después de haber efectuado estos estudios, se procederá a proyectar la obra de captación propiamente dicha. Esta obra puede ser un dique con su respectiva boca toma cuando se trate de un vaso natural.

En el caso de un cauce natural, se utilizará una represa con su puente y su obra de toma respectiva.

d) Estaciones de Bombeo en Ríos. Las estaciones de bombeo en ríos tomadas como obras de aprovechamiento del agua para riego, son muy limitadas, ya que solo pueden dar riego a muy pocas hectáreas, siendo su costo por Ha., muy elevado y utilizándose solamente en los cauces de los ríos donde el caudal es permanente todo el año.

Todo ésto, da como resultado el poco uso de estas estaciones en los diferentes ríos de la república. Solo en casos especiales se emplean, - como por ejemplo, cuando se quiere regar una zona más alta que el cauce del río, y es necesario subir el agua hasta un punto en donde el agua - pueda regar por gravedad.

4.2.1.1 Sistema de Distribución.

El sistema de distribución de un proyecto de riego, consta de la serie de canales y sus estructuras que - serán necesarias para llevar el agua a todos los puntos de la zona regable, figura 4.1.

Los canales que forman el sistema de distribución se clasifican de la siguiente manera:

1. Canal principal
2. Canales laterales
3. Canales Sub-laterales
4. Ramales
5. Sub-ramales
6. Regaderas

La siguiente figura muestra la forma en que se realiza la distribución del agua por medio de los conductos ya mencionados. CANAL PRINCIPAL

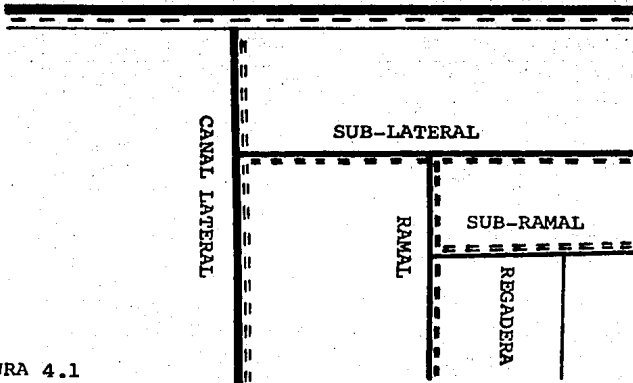


FIGURA 4.1

1. Canal Principal

El canal principal, es el que domina toda el área regable y abastece al sistema de canales laterales, - generalmente se localiza a lo largo de las curvas de nivel, tratando de dominar la mayor superficie posible de tierras, ver figuras 4.1 y 4.2.

2. Canales Laterales

Los canales laterales, forman una red compuesta de - lo siguiente:

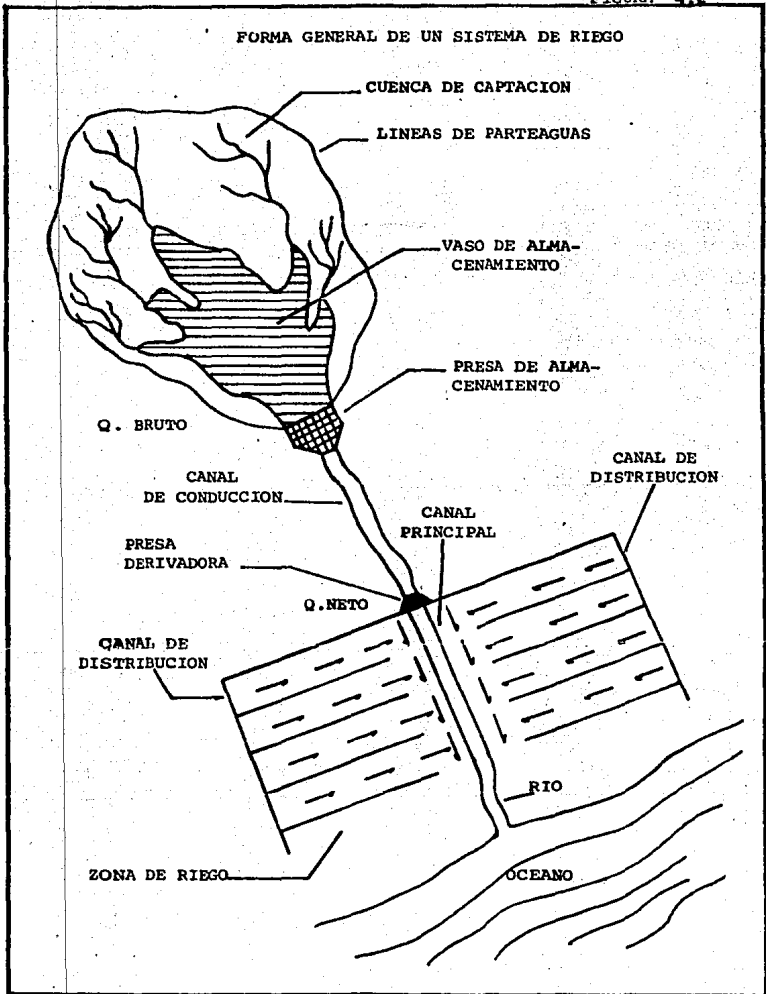
1. Los laterales que son aquellos que dominan las - divisiones principales del área regable y abastecen a los sub-laterales.

3. Canales sub-laterales

Los sub-laterales, cuando es necesario ramificar un lateral en dos o mas canales.

4. Los Ramales

Los ramales que son abastecidos por los sub-laterales y que a su vez abastecen a las regaderas, las cuales constituyen las ramificaciones últimas de la red - de distribución. En algunas zonas de riego aun es necesario subdividir los ramales y en estos casos se - construyen los sub-ramales antes de llegar a las regaderas.



4.2.2 Obras para la extracción de aguas subterráneas.

El agua subterránea, igual que la superficial, se mueve por efecto de gravedad a través de las formaciones permeables y aflora en la superficie del suelo alimentando a ríos y lagos, siempre y cuando su nivel freático sea superior a su plantilla, ver figura 4.4.

Por el contrario cuando el agua subterránea no aflora, ésta tiene que ser extraída por medio de la perforación de pozos con el respectivo equipo de bombeo.

Básicamente, las principales obras, para extraer el agua subterránea son las siguientes:

- Perforación de Pozos
- Estaciones de Bombeo
- Sistema de Derivación
- Sistema de Distribución

Cabe mencionar los factores a considerar para el buen aprovechamiento agrícola de las aguas subterráneas ya que, aunque en nuestro país se prefiere aprovechar las aguas superficiales, no debe dejar de reconocerse la importancia que tienen las aguas subterráneas en el abastecimiento, especialmente en las zonas en donde los veranos secos o las sequías prolongadas originan que el escurrimiento superficial cese

o se agote.

Por consiguiente es necesario tener en cuenta los factores siguientes para el buen aprovechamiento agrícola de las aguas subterráneas:

1. Disponibilidad de recursos hidráulicos.
2. Características geológicas.
3. Sistemas para la construcción o perforación de pozos.
4. Equipo para el bombeo.
5. Características de las cosechas.
6. Estudios económicos de la zona que se proyecta.

Para saber en qué condiciones está el agua en el interior de la tierra, es necesario hacer una descripción del ciclo hidrológico.

4.2.2.2 Ciclo Hidrológico.

La interminable circulación de la humedad y agua en nuestro planeta se llama ciclo hidrológico, y consiste en un gigantesco sistema que funciona en la tierra, sobre ella, en los mares y océanos y en la atmósfera.

En la superficie de los océanos el agua se evapora en la atmósfera para condensarse más tarde y caer sobre la superficie del planeta en forma de precipitación. El agua que cae en el suelo, corre sobre él o

penetra en su interior aumentando el contenido de humedad del suelo o filtrándose a través de él. Al penetrar en el suelo seco, el agua empapa capas sucesivamente más profundas y las que la absorben en toda su capacidad y tras lo cual el agua principia a infiltrarse en el interior de la tierra para entrar después a los manantiales y ríos o bien pasando a aumentar el caudal de las aguas subterráneas en los valles.

El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua del subsuelo y puede evaporarse de aquel, ser absorbida por las raíces de las plantas y luego transpirada, o bien puede percolarse en dirección descendente hasta los depósitos de aguas subterráneas. El agua del suelo en una zona situada entre la superficie de la tierra y los límites inferiores de las formaciones de rocas porosas que la admiten y la cual se designa como zona de fracturación de las rocas. Se subdivide en zona de aereación y zona de saturación.

Zona de Aereación

Esta zona está dividida en tres fajas: (ver figura 4.3

- a) Faja del agua del suelo
- b) Faja intermedia
- c) Faja de agua freática

Las fajas varían en profundidad y no están definidas claramente por las alteraciones o cambios físicos del suelo, sino que generalmente de una faja a otra existe una transición.

La faja superior o del agua del suelo comprende el suelo superficial y el subsuelo, y de esa faja el agua es también devuelta a la atmósfera por evaporación en el mismo suelo o por transpiración de las plantas.

La profundidad de la faja del agua del suelo varía con el tiempo de éste y de la vegetación, y su profundidad puede ser desde unos cuantos decímetros hasta varios metros.

Al pasar a través de la faja del agua del suelo, el agua penetra en la faja intermedia y continua su movimiento descendente, por la acción gravitacional. Sin embargo, en esta faja intermedia, el agua suspendida puede conceptuarse como un almacenamiento muerto ya que no queda disponible para ser usada.

El grosor de la faja intermedia puede variar desde cero hasta varios centenares de metros y ese grosor tiene un efecto muy significativo en el tiempo que el agua necesita para pasar a través de la faja.

La capa de agua freática, está situada inmediatamente debajo de la intermedia y arriba de la zona de

saturación y contiene el agua que es retenida encima de esta zona por la fuerza capilar. La cantidad de agua retenida y el grosor de la faja de franja freática dependen del tipo de material en que esté situada.

CLASIFICACION DE AGUAS

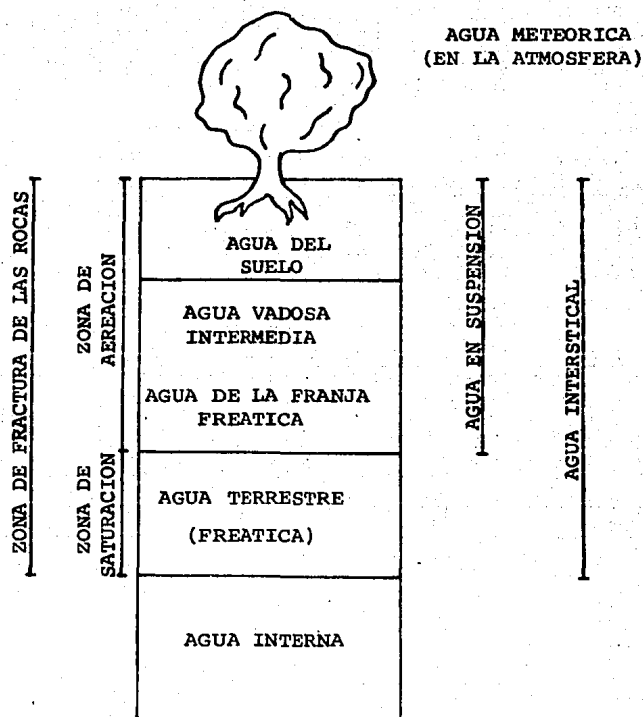


FIGURA 4.3

Sona de Saturación.

La zona de saturación es sumamente importante porque suministra el abastecimiento del agua a todos los pozos y a la corriente normal y relativamente uniforme de los ríos. Funciona de igual manera que en un depósito de agua en la superficie, recibéndola durante los períodos húmedos, lo cual hace subir el nivel freático en la parte superior de la zona conforme el agua se filtra en ella, procedente de arriba.

Las dos fuentes alimentadoras del abastecimiento hidráulico, están interrelacionadas en una forma definitiva y la utilización de una de ellas, puede afectar el agua disponible de la otra.

Las condiciones geológicas definen y marcan el recorrido que sigue el agua, que proviene de la precipitación para llegar a la zona de saturación. Los cauces de las corrientes superficiales que cortan el terreno a través de depósitos aluviales permeables, proporcionan el camino y acceso para que el agua llegue a un acuífero del subsuelo, cuando esa corriente esté situada precisamente arriba del nivel del acuífero.

Acuíferos

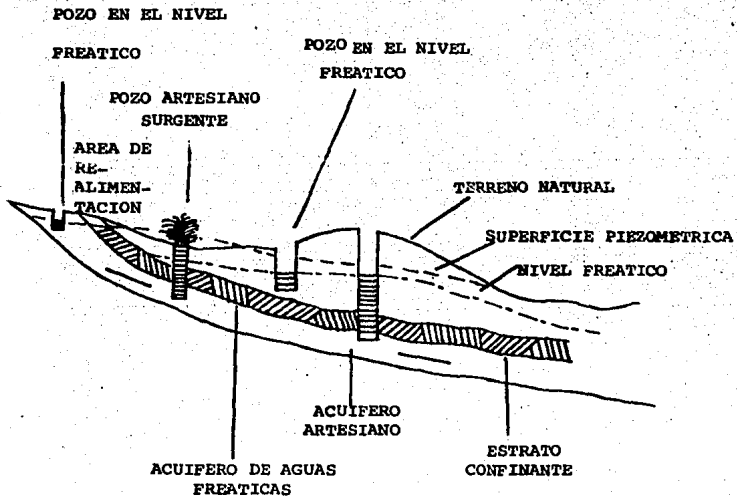
Las formaciones que contienen y transmiten agua - del subsuelo, se conocen con el nombre de acuíferos. La cantidad o volumen del agua del subsuelo que puede obtenerse en una cierta área, depende del carácter - del acuíferos subyacente y de la cantidad y frecuencia de la recarga. La capacidad que tiene una formación para contener agua, se mide por la porosidad o relación entre el volumen de poros y el volumen total de la formación. Una alta porosidad no indica - que un acuífero rendirá o producirá grandes volúmenes de agua a un pozo.

El rendimiento específico es el volumen de agua que se drenará libremente del acuífero. Los acuíferos - más importantes económicamente son los depósitos de arenas y de gravas que tienen un rendimiento específico mas bien alto.

POZO EN EL NIVEL

FREATICO

FIGURA 4.4



C A P I T U L O V

CONSIDERACIONES EN LOS CANALES DE CONDUCCION

- 5.1 LOCALIZACION DEL CANAL DE CONDUCCION Y DE LA RED DE DISTRIBUCION
- 5.2 CARACTER GENERAL DE LA DEMANDA MAXIMA
 - 5.2.1 La demanda Máxima del Caudal
- 5.3 CARACTERISTICAS FISICO-HIDRAULICAS DEL SISTEMA
 - 5.3.1 Generalidades
- 5.4 FACTORES DETERMINANTES DEL CAUDAL
 - 5.4.1 Sección Transversal
 - 5.4.2 Velocidad Media
 - 5.4.2.1 Velocidad Mínima Permissible
 - 5.4.2.2 Canales Abiertos Revestidos
 - 5.4.3 Pendiente Longitudinal de Fondo
- 5.5 FORMULAS DEL CAUDAL
 - 5.5.1 Fórmula de Manning para Canales Abiertos
 - 5.5.2 Fórmula de Manning para Conductos Cerrados que trabajan por Gravedad
 - 5.5.3 Factor de Caudal en Canales Circulares que trabajan Parcialmente llenos
 - 5.5.4 Fórmula de Manning y otras para Conductos Cerrados que trabajan a Presión

5.1 LOCALIZACION DEL CANAL DE CONDUCCION Y DE LA RED DE DISTRIBUCION.

Localización del canal de Conducción.

1.º Cuando el terreno tiene una topografía plana o ligeramente ondulada.

Para la localización en terreno plano o ligeramente ondulado se seguirá el siguiente procedimiento general:

La ruta más conveniente que deberá seguir el canal principal se marcará en los planos topográficos a escala 1:20 000 - suponiéndose, en general, la pendiente máxima que permita disminuir la mayor superficie posible de tierras. Al trazar la ruta del canal principal sobre los planos topográficos, en los cruces con arroyos o accidentes en donde se requiera - construir una estructura, se bajará la plantilla del canal - el desnivel necesario para dar la pérdida de carga que se - prevee para el correcto funcionamiento de la estructura.

Una vez elegida la ruta sobre los planos a escala 1:20 000,- se efectuará el proyecto del trazo definitivo sobre las hojas de plancheta a escala 1:5000, afinando la localización,- fijando sobre las hojas de flexiones en cada vértice, los ra dios de curvatura, la longitud de las tangentes y de las cuvas y, además, se referirán los vértices a los aumentos de la cuadrícula para situarlos en el campo. Es necesario guiarse

en la localización por los datos del estudio geológico para que el canal quede en las mejores condiciones de seguridad. Finalmente, el trazo proyectado sobre las hojas de plancheta se marca materialmente en el terreno estacando cada 20 m., - y se nivela la línea trazada para obtener el perfil del ca - nal.

Para esto también se irán marcando puntos sobre el terreno, - que se localizan con el nivel fijo, de manera que estos pun - tos esten a una elevación abajo de la correspondiente a la - superficie libre del agua en el canal, de acuerdo con las - instrucciones anteriores y teniendo en cuenta la pendiente - que previamente se habrá fijado. Después se ligan todos es - tos puntos por medio de una poligonal llevada con tránsito - y cinta de acero, midiendo las deflexiones en cada vértice - de la poligonal.

Se nivela con cuidado esta poligonal y se configura una faja a lo largo de la misma, ya sea por medio de plancheta, de eg tadia o por secciones transversales. Se dibuja la faja con - figurada y sobre el dibujo se proyecta el trazo definitivo - del canal principal.

2.^a Cuando el canal va por una zona de topografía muy movida

Cuando se presenta con este tipo de problemas es indispensable contar con los planos topográficos a escala 1:5000, 1:20000 ó 1:50000, con objeto de marcar sobre ellos varias rutas generales por donde pueda ser localizado el canal.

Después se hace un reconocimiento de estas rutas generales, marcando con un nivel de mano o con un clísimetro los puntos obligados por donde debe pasar el canal. Los puntos obligados quedan definidos por la topografía del terreno y serán, desde luego, los puertos, los talwegs que sea necesario cruzar y algunos otros sitios, como acantilados, etc. Al hacer el reconocimiento se tendrá en cuenta, además de las condiciones topográficas, las condiciones geológicas del terreno, especialmente por lo que se refiere a la estabilidad de las laderas y su tendencia al deslizamiento, suponiendo el terreno saturado de agua, que es como va a funcionar.

Es muy importante tener en cuenta las condiciones geológicas para estar seguros de proyectar los taludes más convenientes que debe tener el canal.

En algunas ocasiones se ve la necesidad de desecho algunas rutas, ya sea porque el terreno tenga consistencia que amance derrumbes, en el propio canal, o en las laderas o por el costo excesivo de las obras de protección o cualesquiera otras circunstancias.

De esta manera se van eliminando algunas de las rutas escogidas sobre los planos topográficos.

En las rutas que no sean eliminadas se hace un nuevo reconocimiento fijando algunos puntos de control, que serán desde luego, los puntos obligados (puertos, talwegs, cantiles, etc.) y además otros puntos que se escogerán precisamente en donde la línea de la superficie máxima del agua corte el terreno.

Además, en cada una de estas rutas se abrirán pozos de prueba tanto para conocer las condiciones geológicas por lo que respecta a la estabilidad de las laderas y de los taludes, como para tener una clasificación aproximada de las excavaciones y poder formular presupuestos preliminares.

A lo largo de la línea que se escoja como definitiva se abrirán pozos, que deberán profundizarse hasta un pozo abajo de la razante del canal y que estarán poco espaciados entre sí. Deberán hacerse 4 ó 5 pozos por kilómetro como mínimo.

Para tener un apoyo firme y con la debida precisión de las nivelaciones, a medida que se va localizando el canal principal debe irse estableciendo el control de elevaciones mediante la erección de bancos de concreto firmemente construídos, a una distancia de 1 Km., de preferencia frente a las estacas que marcan el kilometraje del canal; después se correrá

una nivelación al milímetro, promediándose los resultados -
de cuando menos 3 recorridos de nivel. La cadena de bancos -
de nivel se irá extendiendo a medida que se tenga en firme -
la localización definitiva del canal.

5.2 CARACTER GENERAL DE LA DEMANDA MAXIMA.

Para cumplir el programa de riegos establecidos en una temporada del ciclo agrícola anual en cualquier sistema de riego, el canal principal y cada uno de los laterales de la red distribuidora necesitan proporcionar durante todos los días de cada riego, el volúmen y el caudal necesarios para dar agua a un determinado número de hectáreas-día. Para esto, cada canal debe tener la capacidad hidráulica adecuada que permita asegurar, con las inherentes variaciones en caudal, la entrega de los volúmenes diarios necesarios a cada una de sus tomas de riego.

En cada una de las conducciones que distribuyen el agua en un sistema de riego, año con año se originan las demandas máximas en caudal el día o días críticos del riego crítico dentro de la temporada crítica del ciclo agrícola.

La experiencia enseña que el riego crítico puede variar de un canal a otro dentro de la red y por tanto, las demandas máximas en caudal para los diversos canales pueden ocurrir en riegos y fechas distintos.

Lo antes expuesto indica que el fenómeno de la demanda en una red de canales es un caso de distribución con demanda variable, en el que se trata de encontrar el valor máximo probable de la demanda para cada uno de los elementos componen-

tes de la red. Estos valores máximos sirven de base para definir las capacidades máximas de diseño (Q_d) y las unitarias correlativas (q).

La demanda máxima en cada canal de la red tiene la característica, entre otras, de estar condicionada por el juego de numerosos factores de muy diversa naturaleza y con una importancia cuantitativa que varía dentro de una amplia gama.

Algunos de los factores están condicionados por el hombre en mayor o menor grado: la actuación, hábitos, nivel económico, social y cultural del agricultor; el personal de operación - conservación y administración del sistema de riego; el servicio de extensionismo agrícola; los aspectos económicos y de mercadeo, etc.

Algunos de los factores físicos, económicos y humanos evolucionan con el tiempo y como consecuencia, también la cuantía del caudal para la demanda máxima en cada canal de la red distribuidora; por tanto, el factor tiempo es un parámetro de importancia.

Instrumento valioso para el cálculo de las probables demandas máximas en los canales son unas gráficas o histogramas - que se designan como: Histogramas de Riego y Caudal. Los primeros expresan la superficie regada en hectárea por día y - los segundos representan el correspondiente caudal medio en 24 hrs. El período total cubierto por los histogramas es un

ciclo agrícola anual y de no ser esto posible cuando menos en la temporada crítica o el mes o meses críticos. Ambos histogramas se dibujan en el mismo eje de tiempo (día) y separados convenientemente para distinguir bien a uno del otro. Son particulares de un canal completo o el tramo del mismo que se desee considerar.

5.2.1 La demanda máxima del caudal

Se considera que la actuación del mecanismo que genera la demanda máxima se concentra en la interacción de los factores agrupados en los cuatro títulos siguientes:

- 1.- El porcentaje máximo de las necesidades de riego (NR) que requiere el ciclo vegetativo de la planta en cierto periodo de tiempo; porcentaje que debe ser conducido oportunamente y durante un lapso adecuado a las tierras cultivadas que dependen del canal. En NR se incluye lo necesario para el control salino del suelo.
- 2.- La cuantía de las pérdidas y los desperdicios de agua en la conducción así como en la parcela.
- 3.- La superficie regada simultáneamente por día, para dar cumplimiento al programa de riegos.
- 4.- El método adoptado para la distribución del agua de riego a las tomas de lote.

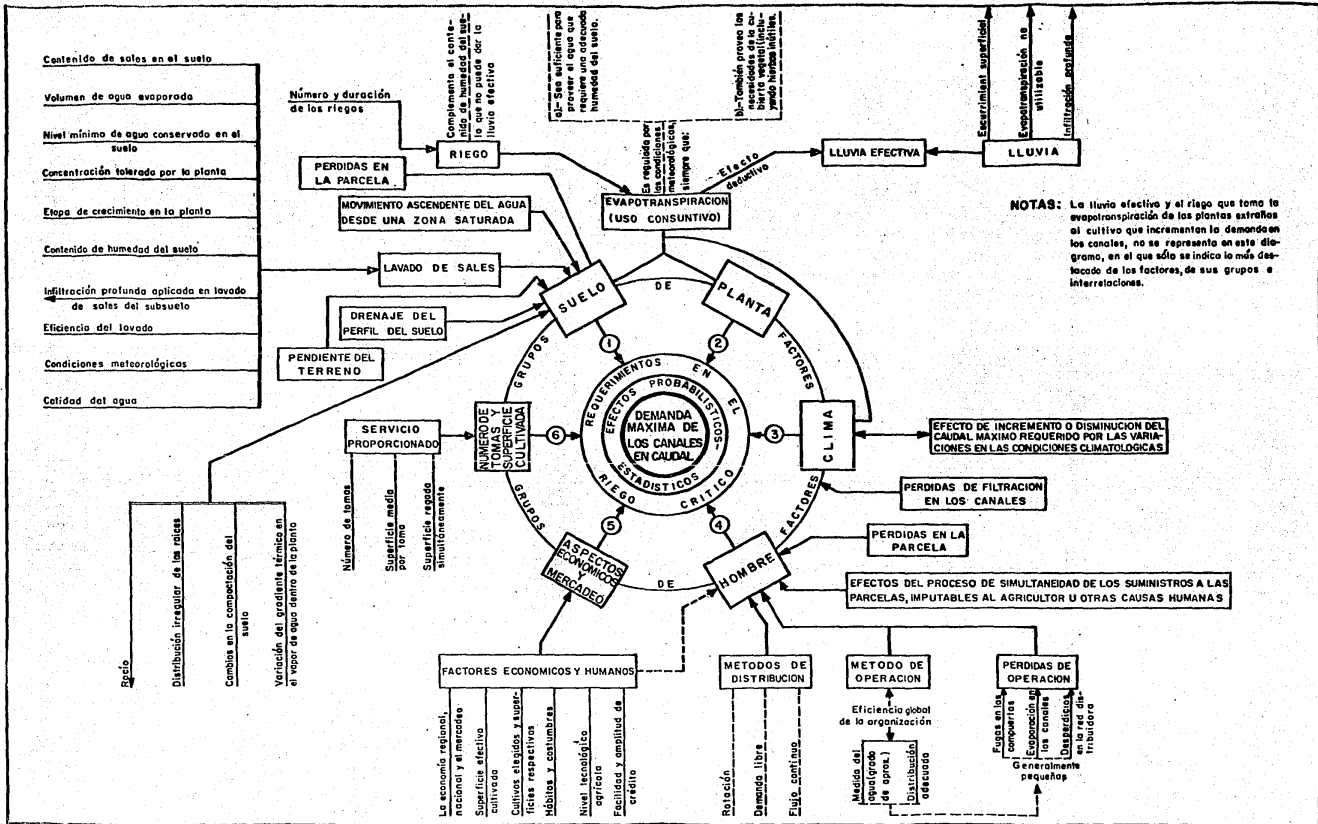
Por otra parte, ocurre que en las regiones áridas, donde generalmente se ubica la mayoría de los sistemas de riego en México, las mayores necesidades de agua se manifiestan cuando:
- 5.- Las temperaturas son altas

6. La humedad ambiente es baja
7. La planta cultivada alcanza su máximo desarrollo.

Factores de la demanda.

Los grupos de factores presentados anteriormente no son los únicos pero si puede considerarse como los más representantes en el mecanismo que genera la demanda máxima de un canal de riego.

La actuación directa o indirecta de estos grupos de factores determina el comportamiento del mecanismo que origina la cuantía de la demanda máxima en caudal, para una conducción de riego cualquiera dentro del sistema de riego.



5.3 CARACTERISTICAS FISICO-HIDRAULICAS DEL SISTEMA

5.3.1 Generalidades

Las normas generales de criterio y diseño para determinar las características físico-hidráulicas de un sistema de riego tienen como finalidad, el de servir de orientación, así como, de ayuda para fijar el criterio a seguir durante el proceso de la formulación de las normas particulares aplicables a una determinada zona de riego, en los aspectos específicos de selección de fórmulas, coeficientes y parámetros que intervienen para dimensionar el canal principal y la red de distribución del mismo.

En todos los casos se adoptará el criterio que facilite los métodos constructivos con objeto de encontrar la solución más conveniente desde el punto de vista hidráulico y económico.

TERMINOLOGIA

Las definiciones y fórmulas dadas a continuación se refieren únicamente a las condiciones de escurrimiento uniforme con régimen subcrítico, caso más frecuente en los sistemas de riego.

CAUDAL O GASTO MEDIO = Q

Es el volumen de agua que pasa en la unidad de tiempo por la sección transversal de un conducto determinado. Es asimismo, el producto del área hidráulica de la sección transversal del conducto por la velocidad media en dicha sección. Se expresa en $M^3/seg.$

AREA HIDRAULICA = A

Es el área de la sección transversal mojada del conducto, normal a la dirección de la corriente y limitada hasta la superficie libre del agua. Se expresa en M.

VELOCIDAD MEDIA = V

Queda definida por la relación entre el caudal del canal y el área hidráulica del mismo, de acuerdo con la ecuación de continuidad en un régimen uniforme. Sus unidades son metros x seg.

PERIMETRO MOJADO = P

Es la longitud del contacto del agua con la conducción, medida en la sección transversal mojada. Sus unidades son metros.

TIRANTE HIDRAULICO = d

Es la distancia de la parte más baja de la sección transversal de un canal. Sus unidades son metros.

ANCHO DE LA PLANTILLA DEL CANAL = b

Es la longitud de la parte más baja de la sección transversal de un canal. Sus unidades son metros.

ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE = T

Es la expresión usada para designar el ancho de la sección transversal en la superficie libre del agua.

PENDIENTE LONGITUDINAL DEL FONDO = S

Es la relación entre el desnivel de dos puntos dados en un tramo de una conducción y la distancia horizontal que los separa. Es un número abstracto.

GRADIENTE DE ENERGIA = Sf

Es la pendiente de la línea de energía, que representa la altura de la carga total del escurrimiento del agua entre dos secciones consideradas de una conducción. Es un número abstracto. La línea de energía o líneas de las cargas totales es el lugar geométrico de los puntos representativos de la energía total en una conducción.

PERDIDA DE CARGA = hf

Es la pérdida de energía del escurrimiento del agua entre dos secciones consideradas de una conducción.

INCLINACION DE LOS TALUDES LATERALES = Z

Es la relación entre la proyección horizontal y vertical, de una longitud dada establecida en la línea del talud, contenida en un plano vertical normal al eje del canal. Esta relación que es abstracta se expresa con dos números separados por dos puntos; el primer número es la proyección horizontal y el segundo la vertical considerando a esta última como unidad. Ejemplo 1:1, 1,5:1.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD = n

Expresa en forma aproximada, la pérdida de energía resultante en vencer la resistencia a la fricción que opone la superficie mojada de una conducción al flujo del agua y la consumida en vencer las resistencias cortantes generadas en el agua, cerca de la superficie confinante del líquido, cuando ésta va escurriendo. - Sus unidades son metros a la potencia un sexto $M^{1/6}$.

DIAMETRO = D

Es la distancia entre dos puntos opuestos de una línea recta que pasa por el centro de una sección circular. En una sección no circular el diámetro es una dimensión convencional a la cual se refieren las propiedades geométricas de la sección transversal. Sus unidades son metros.

5.4 FACTORES DETERMINANTES DEL CANAL

En la determinación del caudal, influyen diversos factores - que están íntimamente relacionados entre sí. Los dos principales que intervienen en la determinación del caudal son:

Sección Transversal

Velocidad Media

5.4.1 Sección Transversal.

Siempre que sea práctico, la forma de la sección transversal debe buscarse que sea la que dé la máxima eficiencia hidráulica; esta sección será la que tenga el radio hidráulico máximo. Sin embargo, en canales abiertos esta sección puede o no ser la que permita obtener el menor costo total de excavación por metro lineal de canal, en efecto, las secciones profundas y angostas son más eficientes hidráulicamente que las anchas y poco profundas, pero al tomar en cuenta los cargos anuales por operación y conservación, más la diferencia que pueda resultar en los costos unitarios de construcción a favor de los canales con menor profundidad, especialmente en los revestidos, bien puede suceder que las secciones hidráulicas más eficientes no resulten ser las más económicas.

En canales abiertos, la sección más eficiente hidráulicamente es el semicírculo. En conducciones cerradas, que trabajan completamente llenas, el círculo es la sección más eficiente.

5.4.2 Velocidad Media.

En los canales sin revestir, la velocidad media máxima, desde el punto de vista erosivo, es aquella hasta la que se puede llegar sin producir un desalojamiento y arrastre de las partículas que constituyen el o los materiales donde se aloja el canal y que confinan el agua que por éste fluye.

La velocidad media máxima, desde el punto de vista funcional, es aquella hasta la que se puede llegar en un canal, sin afectar el correcto funcionamiento hidráulico de sus bocatomas y represas. Esta velocidad es del orden de 1.50 m/seg.

La velocidad media mínima permisible que evita el azolve, es aquella bajo de la cual empieza la sedimentación de las partículas minerales que lleve en suspensión el agua del canal o en la que se detiene el movimiento de las partículas las que fueren desplazándose por el fondo, bajo el efecto del flujo. La más alta de ambas velocidades será la mínima permisible.

A continuación se incluyen varias tablas que contienen valores recomendables de velocidades máximas permisibles en canales abiertos sin revestir.

Valores de la velocidad permisible recomendados por la A.S.C.E. (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) E.U.A.

MATERIAL	VELOCIDAD PERMISIBLE, EN M/SEG.	
	MINIMA	MAXIMA
Arcilla	0.45	0.75
Arena	0.75	1.25
Grava	1.25	2.00

El Boureauof Reclamation, aconseja usar los siguientes valores para canales en condiciones normales:

CANAL EXCAVADO EN TIERRA	VELOCIDAD, EN METROS POR SEGUNDO	
	MINIMA	MAXIMA
Canales laterales pe queños	0.45	0.75
Canales principales	0.60	1.35

Otros autores recomiendan el uso de los siguientes valores - para velocidades máximas no erosivas.

MATERIAL	VELOCIDAD MAXIMA PERMISI BLE EN M/SEG.
Arena fina en condi ciones inestables	0.20 a 0.30
Suelo Arenoso	0.30 a 0.75
Arena Arcillosa	0.75 a 0.90
Tierra Arcillosa	0.85 a 1.10
Arcilla Dura	1.10 a 1.50

Algunos valores de velocidades máximas permisibles dadas por Etcheverry para canales abiertos sin revestir, excavados en roca.

Estas velocidades son recomendables para los tramos de canal excavados en los materiales rocosos que a continuación se indican:

MATERIAL	VELOCIDAD MAXIMA, EN METROS POR SEGUNDO
Conglomerado o grava cementada	2.00 a 2.50
Esquistos y pizarras	2.00 a 2.50
Roca sedimentaria suave	2.00 a 2.50
Roca dura	3.00 a 4.50

5.4.2.1 Velocidad Mínima Permisible

La fórmula más conocida para calcular la velocidad mínima y- que no se produzca sedimentación es la de Kennedy; expresada en - unidades métricas.

$$V_B = 0.652 C d^{0.64}$$

V_B = Velocidad de sedimentación, en metros por seg.

d = Tirante de agua, en metros

C = Coeficiente cuyo valor varía para los diferentes - tipos de sedimento.

Los valores del coeficiente C son los siguientes:

- Para suelo arenoso ligero y fino 0.84
- Para suelo arenoso ligero y grueso 0.92
- Para limo arenoso 1.01
- Para limos arenosos gruesos 1.09

Cuando el agua es clara, excenta de sedimentos, la fórmula - de Kennedy es la siguiente:

$$V_B = 0.552 C d^{0.5}$$

5.4.2.2 Canales Abiertos Revestidos.

Un canal revestido se puede definir, como un canal abierto - excavado en tierra o roca, con la sección recubierta con un capa de material impermeable o tratada convenientemente. En suelos muy permeables, el objeto principal de revestir un canal es el de reducir apreciablemente la pérdida de agua por filtración, además - de que al aumentar la velocidad máxima permisible se obtiene una sección más económica, un gradiente hidráulico mayor y se reducen los costos anuales de operación y conservación.

Velocidades máximas permisibles

Las velocidades máximas permisibles dependen, por lo tanto, - del tipo de revestimiento utilizado, pudiendo tener los siguien - tes valores generales

<u>MATERIAL</u>	<u>VELOCIDAD MEDIA MAXIMA PERMISIBLE EN M/SEG.</u>
Arcilla compactada	0.60 a 1.25
Losetas asfálticas	1.00 a 1.50
Concreto reforzado	1.00 a 3.75
Concreto simple	menor a 0.7 en tra- mo muerto de cana- les principales y sin exceder a 2.50 m/s., para evitar levantamientos del revestimiento.

Velocidad mínima permisible

Para evitar el fenómeno de sedimentación y para fines de proyecto económico se considera una velocidad mínima de 1 m/seg.

El criterio de velocidades límites que se sigue para conducciones cerradas que trabajan por gravedad es el mismo que para canales abiertos revestidos, excepto en aquellos con condiciones especiales.

Para una conducción cerrada que trabaje a presión la velocidad es de 0.80 m/seg., como velocidad mínima y de 3 a 4 m/seg., como velocidades máximas.

5.4.3. PENDIENTE LONGITUDINAL DE FONDO

La pendiente longitudinal de fondo de un canal, depende principalmente, de la pendiente longitudinal del terreno en donde va a estar alojado el canal, del uso a que se va a destinar dicho canal y de la necesidad de que su sección permanezca en equilibrio durante la vida útil del mismo. Así, los canales utilizados para conducir el agua de una elevación a otra inferior, en una distancia corta, se diseñan con el criterio de la pendiente máxima y los canales usados para riego o producción de energía hidroeléctrica, en los cuales es necesario conservar la carga, deben diseñarse con el criterio de la pendiente mínima.

Cuando la pendiente natural del terreno es mayor que la máxima permisible en el canal, la carga sobrante debe anularse mediante caídas o rápidas, espaciadas a intervalos estudiados convenientemente a lo largo de la conducción, para evitar la erosión y el desgaste del hecho y los taludes del canal.

Pendiente longitudinal máxima y mínima

La clasificación de la pendiente longitudinal de fondo de un canal depende de la rugosidad, del gasto y de la magnitud de la pendiente en sí.

En un canal se define como pendiente suave aquella en que la diferencia entre la presión hidrostática en la vertical y la normal al fondo del canal es muy pequeña; se adopta un límite superior de 0.10 porque en esos casos la diferencia mencionada ya es significativa.

Pendiente longitudinal crítica

En un canal la pendiente longitudinal de fondo, que para un gasto dado origina un tirante crítico, se denomina pendiente crítica.

Cuando en un canal se conoce el caudal y la rugosidad, se puede calcular la pendiente normal que corresponde al flujo uniforme y a un tirante normal. Variando esta pendiente, hasta cierto valor, es posible cambiar el tirante normal y hacer que el régimen uniforme se transforme en un régimen crítico; esta penden-

te de fondo se llama pendiente crítica y el tirante correspondiente se llama tirante crítico. Por otra parte, se llama pendiente - límite a la mínima pendiente crítica obtenida para un caudal de - terminado.

Pendiente longitudinal recomendable

En los canales de riego, es difícil fijar con exactitud los límites mínimo y máximo que debe tener la pendiente longitudinal de fondo, a menos que existan condiciones especiales, de índole - topográficas, geológicas, agrológicas o de operación, que definan una pendiente determinada.

Como un ejemplo para orientar el criterio general en la selección de la pendiente de un canal de riego se dan los valores - que para el caudal, radio hidráulico y la pendiente longitudinal de fondo indicados, a la ASCE ha encontrado en canales grandes re vestidos de concreto ya construídos en operación.

CAUDAL MAXIMA DE DISEÑO EN METROS CUBICOS POR-- SEGUNDO	RADIO HIDRAULI CO EN METROS	PENDIENTE LONGITUDI NAL DE - FONDO
375	3.44	0.00061
275	4.11	0.00010
130	3.41	0.00005
130	3.17	0.00010
115	3.02	0.00010
63	1.92	0.00040
37	1.58	0.00039
37	1.25	0.00130
28	1.49	0.00030
24	1.19	0.00070
20	1.22	0.00035

Criterios para la selección de la pendiente longitudinal de fondo

Para seleccionar el valor de la pendiente longitudinal de fondo que conviene adoptar para el diseño de un canal de riego, el proyectista debe tener en cuenta las condiciones de calidad, operación y conservación que intervienen directamente en su funcionamiento hidráulico, y que con el transcurso del tiempo modifican a los factores propios de las características del canal y de su escurrimiento tales como: radio hidráulico, coeficiente de rugosidad y velocidad.

§.5 FORMULAS DEL CAUDAL

Criterio General

Se han ideado muchas fórmulas para calcular la velocidad media que lleva el agua en una conducción; en general todas son fórmulas empíricas basadas en mediciones efectuadas en el campo y en el laboratorio e incluyen factores que involucran la rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica; solo unas pocas incluyen otros factores tales como la viscosidad.

Para fines prácticos, en problemas de irrigación se han generalizado las siguientes cuatro fórmulas que tienen la misma estructura y en las que solo varían los coeficientes:

En todas estas fórmulas la nomenclatura es la misma.

$V =$ Velocidad media del caudal, en metros por seg.

$r =$ Radio hidráulico, en metros.

$Sh =$ Pendiente hidráulica que representa la pérdida de carga debida a la fricción. En los canales con régimen uniforme esa pendiente es igual a la de fondo del canal.

$C =$ Coeficiente de rugocidad en la fórmula de Chezy.

$n =$ Coeficiente de rugocidad en la fórmula de Manning.

$m =$ Coeficiente de rugocidad en la fórmula de Bazin.

La fórmula de Manning, es la única de las de tipo empírico, aún empleada extensamente y se cuenta con amplios resultados de pruebas hechas para determinar el valor de n . Como incluye el radio hidráulico, puede utilizarse en conductos de cualquier forma pero solamente puede aplicarse en el caso de que el agua este a la temperatura normal.

En la práctica de la ingeniería de riego, la fórmula de Manning da resultados tan buenos como los obtenidos con la ley de Darcy Weisbach.

5.5.1 Fórmula de Manning para canales abiertos

Con flujo uniforme

Las fórmulas del caudal que se presentan a continuación son aplicables al caso de un escurrimiento uniforme o sea aquél en que las características a lo largo de la conducción permanecen constantes.

No existe un método único para diseñar un canal, ya que el juicio y la experiencia de cada proyectista influye en la selección de determinada fórmula.

Por su simplicidad de forma y resultados satisfactorios, la fórmula de Manning ha llegado a ser la más adecuada para el cálculo de canales abiertos con escurrimiento permanente y uniforme, en estas normas se ha adoptado como la más práctica y conveniente.

A continuación se presenta la fórmula de Manning en varias formas, propia cada una para un cierto tipo de problemas y de acuerdo con la sección transversal del canal.

Para determinar la velocidad media, se emplea en su forma original:

$$V = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

La pérdida de carga por metro debido a la fricción, en función de la velocidad es:

$$S = \frac{n^2 v^2}{r^{4/3}}$$

La pérdida de carga total en un tramo de longitud L es:

$$h = \frac{n^2 v^2}{r^{4/3}}$$

Para los canales de cualquier sección transversal el caudal - se determina por la fórmula:

$$Q = \frac{1}{n} A r^{2/3} s^{1/2}$$

Con flujo no uniforme

Para el caso de escurrimiento no uniforme, aquél en que las velocidades en dos secciones sucesivas de una conducción, no son iguales, se aplica el principio de la conservación de la energía expresado por la conocida como ecuación de la energía o de Bernoulli. En este caso el escurrimiento se considera como variado, pudiendo ser, gradual o rápidamente variado.

Un ejemplo de escurrimiento rápidamente variado, en un canal abierto, es el del flujo a la velocidad crítica, que se tiene cuando la energía específica, igual a:

$$d + \frac{v^2}{2g}, \text{ alcanza un valor mínimo}$$

Otro ejemplo es el del salto hidráulico, tan útil cuando se desea disipar la energía del agua y tan perjudicial cuando, por mal diseño hidráulico, se forma donde no es deseable.

5.5.2 Fórmula de Manning para conductos cerrados que trabajan por gravedad.

Para que las conducciones cerradas trabajen por gravedad es necesario que el conducto trabaje parcialmente lleno, cuando lleve el caudal máximo asignado, pero sin generar una carga hidráulica en la clave del conducto. Generalmente, el caudal máximo del conducto ocurre para un valor de 0.94 D y para garantizar que el flujo sea uniforme, se considera una buena práctica de ingeniería diseñar para un valor de 0.82 D.

Los conductos cerrados sin presión hidráulica interior, pueden tener diversas formas de sección transversal: circulares, de herradura, semi-elípticas y otras. Cuando en estas condiciones el escurrimiento es permanente y uniforme, el caudal u otros elementos hidráulicos, se calculan con las mismas fórmulas aplicables a canales abiertos.

En el caso de la fórmula de Manning, puede escribirse así:

$$Q = \frac{1}{n} A r^{2/3} S^{1/2}$$

5.5.3 Factor de Caudal en canales circulares que trabajan Parcialmente llenos.

Como la sección circular es la más utilizada de las conducciones cerradas que se emplean en los sistemas de riego, a continuación se define el factor de caudal correspondiente.

El factor de caudal K depende de la relación $X = d/D$ y de la posición que en la sección circular tenga el nivel del agua. Dicha posición queda definida por el ángulo ϕ comprendido entre los radios que subtienden la superficie del agua.

$$K = \frac{\left(\frac{360^\circ - \phi}{360} \frac{\pi}{4} + \frac{1}{8} \operatorname{sen} \phi \right)^{5/3}}{X^{8/3} \left(\frac{360^\circ - \phi}{360} \pi \right)^{2/3}}$$

Como el ángulo ϕ a su vez depende de $X = d/D$ resulta que en la fórmula, el factor K es función únicamente de d/D .

5.5.4 Fórmula de Manning y otras para conductos cerrados que trabajan a presión.

El escurrimiento del agua u otro fluido en una tubería, puede ser laminar o turbulento, con una zona de transición entre ambos tipos. Además, en el régimen laminar existe una zona o frontera llamada Capa límite laminar y en el régimen turbulento existen dos tipos de frontera llamados: frontera lisa, donde la rugosidad no tiene influencia en las turbulencias y frontera rugosa donde si la tiene. Las tres zonas, en términos generales, pueden identificarse con el criterio del número de Reynolds como lo indica la tabla siguiente:

TIPO DE ESCURRIMIENTO	VALORES PARA EL NUMERO DE REYNOLDS
Laminar	Menor de 600
Zona crítica y de transición	600 a 1200
Completa turbulencia	Mayor de 4000

El número de Reynolds para tubos circulares que trabajan llenos, se expresa así:

$$R = \frac{Dv}{\nu}$$

R = Número de Reynolds, número abstracto.

D = Diámetro interior del tubo, en metros

v = Velocidad media, en metros por segundo

V = Viscosidad cinemática, en metros cuadrados por segundo.

En los proyectos de regadío, lo normal es trabajar con tuberías u otro tipo de conducciones cerradas cuyo flujo es turbulento.

Las leyes que gobiernan el escurrimiento de los fluidos, en tubos que trabajan llenos y a presión, fueron expresadas en forma satisfactoria mediante la fórmula de Darcy-Weisbach, que puede escribirse en la forma siguiente:

$$h = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

h = Pérdida de carga en metros a lo largo de un tramo de conducción de longitud l.

f = Coeficiente de rugosidad, número abstracto.

l = Longitud de la conducción, en metros.

D = Diámetro interior de la tubería, en metros.

v = Velocidad media, en metros por segundo.

g = Aceleración debida a la gravedad, en metros por segundo.

La fórmula de Manning, desarrollada posteriormente a la de Darcy Weisbach, es aplicable a conducciones cerradas que trabajan llenas y a presión, en régimen turbulento.

Entre las dos fórmulas, hay una relación precisa para los valores de "n" y "f".

$$n = \frac{f}{8g} r^{1/6}$$

en la que n, f, g, y r tienen las acepciones y unidades que antes se han dado.

En el caso de tubos, la fórmula de Manning queda expresada de la siguiente forma:

$$V = \frac{0.397}{n} d^{2/3} S^{1/2}$$

La fórmula de Hazen-Williams para conducciones cerradas trabajando a presión su forma es:

$$W = 0.85 C r^{0.63} S^{0.54}$$

C = Coeficiente de rugosidad en la fórmula de Chezy

r = Radio hidráulico, en metros.

S = Pendiente, número abstracto.

V = Velocidad media, en metros por segundo.

CAPITULO VI

DRENAJE

- 6.1 GENERALIDADES.
- 6.2 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DRENAJE
 - 6.2.1 Estudios previos.
 - 6.2.2 Estudios necesarios o específicos del drenaje.
- 6.3 ANALISIS DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE.
- 6.4 JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE Y APLICACION DE NORMAS CORRECTIVAS.
 - 6.4.1 Control de fuentes superficiales.
 - 6.4.2 Control de fuentes internas.
- 6.5 OBRAS DE DRENAJE.
 - 6.5.1 Por su construcción.
 - 6.5.1.1 Drenes por canales abiertos.
 - 6.5.1.2 Drenes por conductos subterráneos.
 - 6.5.2 Drenes de acuerdo a su funcionamiento.
 - 6.5.3 Drenes de acuerdo a su disposición en planta.
- 6.6 CONSERVACION DE DRENES.
 - 6.6.1 Trabajos de conservación.
 - 6.6.2 Desasolve.
 - 6.6.3 Estructuras.

6.6.4 Protecciones.**6.7 TORMENTAS.****6.7.1 Tormenta de diseño.****6.7.2 Determinación y selección de la tormenta de diseño.****6.8 CAUDALES DE DISEÑO.****6.8.1 Métodos para calcular los caudales máximos.****6.8.1.1 Métodos empíricos.****6.8.1.2 Método basado en el hidrograma unitario.****6.8.1.3 Métodos estadísticos.****6.9 OBTENCION DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS DE DRENAJE.**

6. DRENAJE

6.1 GENERALIDADES

Drenaje Agrícola.- Se entiende por drenaje agrícola, el conjunto de acciones realizadas por el hombre, con el fin de eliminar los excedentes de humedad del suelo donde se verifica el desarrollo radicular de las plantas.

Su objetivo es, retirar el exceso de agua a fin de mantener la aereación y actividad biológica, que son indispensables en los procesos fisiológicos de los cultivos; así como, también la remoción y lixiviación de altos contenidos de sales.

Se distinguen dos tipos de drenaje: Superficial e Interno.

El primero drena los escurrimientos superficiales y el segundo todos los excesos de humedad subsuperficial.

Cuando interviene la mano del hombre para auxiliar la evacuación de dichos excedentes, se dice que el drenaje es artificial.

Si el terreno tiene capacidad para eliminar todos los sobrantes, no importando la cuantía de la fuente (lluvia, sobre riegos, etc.) se dice que el drenaje es natural.

Drenaje de Zonas Húmedas.- Donde las condiciones climatológicas presentan una participación mayor que la evapotranspiración es probable que se produzcan excesos de agua, que si van aunados a una topografía desfavorable y a una baja capacidad de transmisión, originan logicamente problemas de drenaje.

En cambio, el exceso de precipitación casi siempre garantiza el mantenimiento del balance salino, razón por la que en esas zonas el drenaje tiene como objetivo asegurar a los cultivos, un espesor radicular suficientemente aerado. No obstante, conviene mantener el manto freático a una profundidad adecuada, cuando las aguas no tienen altos contenidos salinos, para aprovechar parte de la humedad en la evapotranspiración.

Drenaje de Zonas Áridas.- En condiciones naturales, excepcionales se presentan problemas de drenaje por tener una precipitación menor que la evapotranspiración.

Al convertirse en zona de riego, la frecuencia e intensidad de las aplicaciones del agua cambian el régimen de humedad a causa de que la magnitud de los volúmenes aportados es mayor que la de los consumidos. Por otra parte, aun en proyectos que han sido diseñados, construídos y operados cuidadosamente, es difícil lograr eficiencias mayores del 60%, lo que significa que casi la mitad del agua de riego no sea utilizada por las plantas, se infiltre y ocasione que en los estratos transmisores que no sean lo suficientemente capaces para desalojarla con la rapidez necesaria, se provoque un aumento de carga y en consecuencia, una elevación del manto freático, y si el agua presenta fuertes contenidos de sales, también se elevan y causan problemas salinos.

En este caso, el drenaje tiene como principal objetivo, abatir -

los niveles freáticos y eliminar la salinidad del perfil donde se desarrolla el sistema radicular.

Estudios sobre el Drenaje Agrícola.- Cuando en una zona se advierten problemas de drenaje, empantanamientos, mantos freáticos que invaden la zona radicular de los cultivos, fuertes encharcamientos o afectaciones salinas, etc., que son condiciones que se pueden presentar cuando hay excesos de lluvias, cuando el manto freático está muy cercano a la superficie, o en casos en que se realizan lavados de suelos con salinidad, casi siempre se requiere de un sistema de drenaje complementario,

Sin embargo, como las soluciones de los problemas de drenaje en un área de riego o próxima a ser irrigada, no se logran proponiendo correcciones sin base técnica, que solamente pueden ocasionar erogaciones costosas e inútiles, es necesario realizar estudios que revelen las condiciones reales del problema y las causas que las provocan, para sugerir los trabajos que deban efectuarse para su corrección o control. Por tal motivo, se ha establecido una secuela o metodología que abarca la solución de los siguientes aspectos, que son los que se consideran más importantes:

I.- Determinación de las condiciones actuales del drenaje.

II.- Análisis de las causas y factores que determinan el problema.

III.- Jerarquización por su importancia, para establecer el -
Orden de la Aplicación de Normas Correctivas o de Pre -
vención.

IV.- Aplicación de Métodos Correctivos o Preventivos.

6.2 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DRENAJE.

El proceso de investigación está basado en los resultados que se obtienen de la realización e interpretación de los estudios siguientes:

- Estudios Previos
- Estudios necesarios o específicos del Drenaje

6.2.1 Estudios Previos

Llamados así porque generalmente su realización es necesaria para otros trabajos:

- a) Estudios Topográficos
- b) Estudios Agrológicos de los suelos
- c) Estudios Geohidrológicos
- d) Estudios de Salinidad

a) Estudios Topográficos

Es necesario contar con la configuración de la zona de estudio para tener representación real de todos los accidentes naturales de importancia que faciliten o impidan el drenaje natural.

El plano topográfico constituye un auxilio importante en la planeación de los trabajos, en el diseño de los drenes y en el proyecto de las obras que se requieran para el drenaje del área.

Conviene fijar con todo cuidado los cauces de los ríos o arroyos, así como, también las alturas o depresiones que constituyan la orografía de la zona y marcar, si existen, los recorridos de las redes de distribución de aguas de riego y de drenaje.

b) Estudios Agrológicos

Los estudios agrológicos, presentan la localización de los diferentes perfiles que forman los suelos de la zona, su extensión y las características edafológicas de los diversos estratos que los constituyen.

Con ayuda del estudio de los perfiles, se puede evaluar el movimiento del agua, así como, la probable capacidad de drenaje en cada uno de los estratos que los forman, calificándolos como de drenaje rápido, retardado o difícil, así como, también de permeabilidad lenta o rápida.

c) Estudios Geohidrológicos

Es indispensable determinar la profundidad del estrato impermeable, por la utilidad que tiene en el cálculo de la separación de los drenes parcelarios.

En caso de acuíferos confinados, la descripción de las características de los distintos estratos, señala la posibilidad de flujos verticales hacia la superficie.

d) Estudios de Salinidad

En los terrenos de las zonas áridas con riego de gravedad, existe gran correlación entre los altos contenidos de sales y las áreas de drenaje deficiente. La mayor parte de las representaciones salinas en los planos, son también áreas con problemas de drenaje.

6.2.2 Estudios Necesarios o Específicos del Drenaje.

Considerados como específicos para diagnosticar y analizar las causas y factores que influyan directa o indirectamente en el drenaje. Su formación y análisis son elementos básicos para precisar las condiciones actuales del grado de afectación y su cuantificación, siendo los más importantes los siguientes:

- a) Estudios de los Mantos Freáticos
- b) Estudios sobre la Profundidad de la Barrera Impermeable.

a) Estudios de los Mantos Freáticos

El estudio de los mantos freáticos, comprende el aspecto más importante para conocer la naturaleza y magnitud de los problemas de drenaje, ya que a través de dicho se obtiene gran parte de la información necesaria para estimar sus condiciones.

La posición del manto freático en el perfil del suelo tanto en el tiempo como en duración, ya que en dicho perfil se desarrolla el sistema radicular de las plantas, este, está íntimamente relacionado con el régimen de humedad y aereación resultante, por lo que la profundidad a que se haya de conservar, deberá ser controlada mediante la existencia y el funcionamiento de un drenaje eficiente.

En primer lugar, se requiere distinguir si los niveles freáticos son producto de mantos estabilizados o de mantos

confinados, para aplicar los métodos de estudios específicos en cada caso.

El primero, exige abrir una serie de pozos de observación, con una profundidad de 3 a 5 metros, en la que debe estar comprendida la zona saturada para que el nivel freático resultante sea el producto del equilibrio de los diferentes mantos que cubren la excavación.

En el segundo, por tratarse de mantos confinados sujetos a presión, se instalará una red de piezómetros a diferentes profundidades, para determinar a través de los valores de los niveles, el comportamiento piezométrico.

b) Estudios sobre la Profundidad y Espesor del Manto Freático

Para tener una representación gráfica de los perfiles de transmisores del agua hacia los drenes, es necesario abrir perforaciones que cubran las siguientes condiciones:

Profundidad de Perforación

Conviene construirlos de la siguiente forma:

De 3 a 5 m - 80% del total

De 5 a 10 m - 15% del total

Mayor de 10 m - 5% del total

Diámetro de Perforación

De 10 a 15 cm., con barrena tipo postera para pozos de perforación sin presión artesisiana; de 3/8 a 1/2 pulgada, los de instalación de piezómetros.

Intensidad de las Perforaciones

El número de las perforaciones dependerá del grado de exactitud que requiera el estudio, de la gravedad de los problemas por detectar, y de la variación de los gradientes hidráulicos que se registren.

Se acostumbra iniciar la ubicación de los pozos con una separación de 2 Km., distribuyéndolos en cuadrícula, para definir con ellos las zonas con distintas profundidades de niveles freáticos.

Medida del Nivel Freático

Se lleva a efecto sin alterar el nivel del agua, haciendo uso de una cinta metálica con un dispositivo en la parte inferior que suene al alcanzar el agua o con una manguera rígida delgada, a la que al irse introduciendo, se le inyecta aire, para detectar el momento de hacer contacto.

6.3 ANALISIS DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE

Deben precisarse y valorarse los aspectos que contribuyen a la recarga de los mantos freáticos, así como, aquellos que interfieren la descarga, utilizando para ello el siguiente procedimiento:

1. A través del balance hidrológico, se puede obtener la magnitud de la recarga y descarga mediante el uso de la siguiente igualdad:

$$dpt + dse = dss + dca - ET_n + Ads = 0 \quad \text{---- (1)}$$

Cuyos términos representan a los siguientes datos:

dpt = Percolación profunda = $dr + P + dca - ET - Ad$

dr = Agua de riego aplicada

p = Precipitación

dca = Aporte capilar de la freática

dse = Agua subterránea que entra en el área

ET = Evaporación del período de "n" días

$$Et = Et$$

d = Cambio de contenido de humedad del suelo

dss = Agua subterránea que sale del área

ET_n = Avapotranspiración de la vegetación natural

ds = Variación del almacenamiento de agua en la zona de saturación

Varios de los parámetros que intervienen en el balance de la humedad son difíciles de estimar tanto por la falta de estudios geohidrológicos como por la interacción entre ellos; no obstante, se debe ejecutar su cálculo aun cuando este no sea lo suficientemente preciso, dada la importancia que tiene en los problemas de empantanamiento y ensalitramiento.

2. Por otra parte, con los planos de Isobatas (planos de niveles freáticos) que definen las áreas con afectación freática y las gráficas de áreas tiempo, se estima la influencia que ejercen los volúmenes aplicados en el riego y/o la precipitación pluvial, en la recarga hidráulica.

Del plano de Isohypsas (curvas de igual nivel freático) y con la profundidad del hidroapoyo se obtiene el espesor de estratos saturados, los cuales aunados con los valores de transmisibilidad, permiten estimar los volúmenes de agua que deben ser drenados.

Los estudios piezométricos proporcionarán las áreas con manto freático sujetas a presión y su importancia en superficie y magnitud dentro de ella, así como, las fuentes que las producen y la capacidad de aportación de ellas.

Al tratarse de áreas con riego en operación, es necesario tener en cuenta la estimación de las aportaciones a la recarga por las pérdidas del agua que proceden de la red de distribu

ción, así como, los excedentes de aplicación del riego a nivel parcelario.

Consecuentemente, también se deben valorar los conceptos que auxilian a la eliminación de los volúmenes o aquellos que favorecen los excesos de humedad que no han sido considerados en el balance hidrológico, como es el caso de la estimación de la influencia o grado de funcionamiento de la red de drenaje existente, desde el punto de vista de su buena o defectuosa localización interceptora, así como, del estado de conservación en que opera.

6.4 JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE Y APLICACION DE NORMAS CORRECTIVAS.

Hay que tener en cuenta un gran número de factores antes de elegir las "medidas correctivas" que deberán aplicarse para detener o controlar las fuentes que provocan el problema de drenaje, y una vez determinadas, se jerarquizarán en atención, siguiendo generalmente el orden técnico que se menciona a continuación:

6.4.1 Control de Fuentes Superficiales.

- a) Formación de bordos y canales protectores de inundación en causas de ríos o arroyos.
- b) Construcción de drenes interceptores y red colectora para conducir los volúmenes superficiales, producidos por las precipitaciones pluviales.
- c) Redes colectoras que recojan los exedentes superficiales de riego.

6.4.2 Control de Fuentes Internas.

- a) Revestimiento de los tramos de los canales que son fuertemente aportadores de aguas por filtraciones.
- b) Redes de drenaje para interceptar las correctivas internas.

- c) Colectores de la red de apoyo
- d) Redes de drenes interceptores de tipo parcelario (drenaje horizontal)
- e) Baterías de pozos con función de drenaje vertical, específicos en los casos de existir sub-alimentación a presión.

6.5 OBRAS DE DRENAJE

Sobre la superficie de las áreas regadas y dentro de la masa del suelo, se acumulan durante las lluvias o durante los períodos de riego intenso (sobre-riego) grandes cantidades de agua que perjudican al suelo y a la agricultura.

La única forma efectiva y eficaz de evitar los daños causados por la acumulación superficial de las aguas, la elevación excesiva del agua freática y la acumulación de sales solubles en la zona superficial de los suelos (de las regiones áridas principalmente), es mediante las obras de drenaje con las cuales puede darse curso a los excesos de agua hasta más allá de la parte más baja de zona de riego.

Como es lógico suponer, ningún lugar de la zona regada puede tener una solución particular a su problema de drenaje (a menos que se encuentre localizado a inmediaciones de un curso libre de drenaje) por más perfectos que sean las obras respectivas, si no se cuenta con una salida libre para las aguas drenadas. En otras palabras no podría haber efectividad en una obra de drenaje si no se cuenta con la seguridad de que las aguas drenadas tengan salida segura, y total, sea en forma de escurrimiento libre y natural hacia un depósito con nivel siempre inferior al punto más bajo de la zona por drenar o mediante dispositivos de bombeo, cuando el depósito de descarga se encuentre a un nivel superior o cuando menos igual al que las aguas alcanzan en el punto más bajo de la red.

El drenaje de las tierras se lleva a cabo mediante conductos de drenaje que pueden clasificarse por su conducción por su funcionamiento y por su disposición en planta.

6.5.1 Por su Construcción

- a) Drenes abiertos (zanjas con taludes de 0.5 a 1)
- b) Drenes subterráneos adomados con rocas prensadas con materia seca de productos agrícolas (trigo, linaza, arroz, etc.).

6.5.1.1 Drenes por Canales Abiertos

En los distritos de riego en funcionamiento no se sabe que se utilice en la actualidad más que en el sistema de canales abiertos. El sistema de conductos subterráneos seguramente se utiliza en forma muy restringida y excepcional. En general los canales de drenaje actualmente construidos partiendo del punto o de los puntos de descarga (puntos más bajos), siguen hacia tierra arriba los cursos de los bajos y depresiones naturales del terreno rectificando el curso de las corrientes naturales para que no ofrescan obstáculos y permitan el libre escurrimiento de las aguas. Aunque excepcionalmente, existen casos, sin embargo en que estos canales se excavan fuera de estos cauces ya sea para aumentar la pendiente de los mismos uniendo diferentes puntos del propio cauce o para acortar la longitud de un coleg

tor ya muy cerca de su salida o desembocadura. Existen casos también en los que se hace necesario prolongar tierra arriba un cauce natural para darle salida por el a las partes más altas hacia las más bajas, los canales de drenaje disminuyen esta capacidad en sentido inverso, es decir, a medida que descenden aumentan la capacidad o viceversa.

Los canales de drenaje como los de riego cuentan también con algunas obras auxiliares que pueden subdividirse con obras de admisión y obras de cruce. Las obras de admisión son estructuras mediante las cuales los extremos de las regaderas o canales en general se unen a los de drenaje vaciando a éstos los sobrantes de agua de riego que conduzcan. En esta forma también se vacian los elementos de la red tributaria unos en otros, hasta alcanzar el gran colector o dren principal.

Estas obras de admisión son rampas revestidas convenientemente para evitar la erosión de los taludes de los drenes.

También, con frecuencia las obras de desfogue de los canales descargan en los canales de drenaje, así como, también los aliviaderos en general.

6.5.1.2 Drenes por Conductos Subterráneos.

En general puede decirse que estos dispositivos se destinan para realizar el drenaje de pequeñas áreas, como propiedades o conjunto de propiedades con características de drenaje similares. Estos sistemas tienen que descargar sus aguas dentro de los canales abiertos, lo que en términos generales quiere decir que antes de que pueda intentarse el drenaje de estas áreas debe encontrarse ya en funcionamiento los canales abiertos.

En el futuro tendrá que generalizarse el uso de los conductos enterrados para la finalidad indicada cuando se vea que el sistema de simples canales abiertos o simples colectores que ahora se construyen, no es lo que se necesita pues apenas el primer paso para poder realizar el drenaje total y completo. En la actualidad muchos drenes que funcionan abiertos podrían ser substituidos por conductos enterrados, para aprovechar en la agricultura las amplias zonas que ahora ocupan y disminuir los costos de conservación y hacer más eficaz su funcionamiento.

Los conductos enterrados pueden ser simples conductos perforados dentro del suelo con herramientas especiales, zanjitas rellenas de piedras, conductos adomados con ladrillos sin juntar y tubos de diferentes materiales (fierro, con creto, barro, etc.).

6.5.2 Drenes de Acuerdo a su Funcionamiento.

Los drenes de acuerdo a su funcionamiento se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a) Drenes de flujo horizontal
- b) Drenes de bombeo de acción vertical

a) Los drenes de flujo horizontal se clasifican en:

Interceptores o Perfectos: Cuando se colocan perpendicularmente en las líneas de corriente y descansan sobre un estrato impermeable.

De Alivio o Suspendidos: Cuando se colocan arriba de un estrato impermeable.

b) Drenes de Bombeo: Pozos profundos o pozos someros para eliminar la recarga.

6.5.3 Drenes de Acuerdo a su Disposición en Planta.

Este tipo de drenes se clasifican en:

- Drenaje libre (al azar)
- Espiga de pescado
- Paralelos o emparrillados a 30° , 60° y 90°

El drenaje libre (al azar) no se sujeta a una localización geométrica rígida, es el que más se usa especialmente en drenes abiertos; generalmente lo único que gobierna su trazo en el terreno es el estudio topográfico y los linderos de las parcelas.

Los demás tipos de disposición se usan más frecuentemente cerrados y en su trazo influye fuertemente el estudio freamétrico.

6.6 CONSERVACION DE DRENES.

Por la importancia que tiene la red de canales de drenaje en la eliminación de las aguas sobrantes tanto superficiales como del subsuelo, la conservación de esta red en buenas condiciones de funcionamiento es de importancia capital, tanto para realizar una eficiente distribución de las aguas, sobrantes - lentamente produce condiciones desfavorables en los suelos que inexorablemente llegan a eliminarlos definitivamente del cultivo, ya sea por salinidad o por saturación o por ambas cosas a la vez.

Inmediatamente después de que se ha realizado la construcción de los canales de drenaje y al iniciarse el funcionamiento, especialmente en las zonas en que se tiene un nivel freático muy elevado o acumulaciones frecuentes de aguas superficiales, por la misma acción del drenaje o sea la entrada de las aguas a través de los taludes, éstos comienzan a deslizarse hacia el fondo produciendo el azolve de los mismos. Este proceso de autoazolvamiento da como resultado la elevación de las rasantes originales, provocándose a la vez, contra pendientes que paulatinamente van nulificando el funcionamiento de los drenes.

Por la misma acumulación de azolves, y por el encharcamiento de las aguas freáticas y superficiales dentro de los drenes, se facilita el medio para el desarrollo de vegetación

tanto en el fondo de los canales como en los taludes y bordos de los mismos, contribuyendo la vegetación acuática (tules, litios, etc.) en forma muy efectiva a impedir el escurrimiento libre de las aguas. Este proceso en un tiempo más o menos largo, nulifica el funcionamiento de los canales y provoca la elevación de los niveles freáticos en las zonas adyacentes. Además, toda la zona de los canales se cubre de exuberante vegetación.

6.6.1 Trabajos de Conservación.

Las labores de conservación de la red de drenaje comprenden entonces, como en los otros dos sistemas de las obras de riego (obras de almacenamiento, derivación y distribución y red de caminos), la limpia de vegetación y los desazolves en general con el propósito de conservar las secciones transversales y las velocidades con las que fueron proyectados los canales originales, así como, también los trabajos relativos a evitar la erosión de los taludes, sea por los estrechamientos producidos por estructuras, o debidos a obstáculos locales que producen velocidades excesivas con la siguiente erosión. Además, de estas labores fundamentales deben mencionarse las correspondientes a las protecciones en los puntos de descarga final de los colectores principales a las fuentes exteriores de eliminación. Como en otros casos, se recomienda

que las labores de limpieza y desyerbes abarquen no solamente los taludes del lado mojado sino la corona de los bordos y taludes exteriores, hasta el límite de los derechos de vía establecidos. Es de recomendarse también el establecimiento de caminos sobre los bordos de los canales de drenaje, tanto con la finalidad de establecer la vigilancia necesaria, cuanto para facilitar el traslado oportuno del equipo de conservación necesario.

6.6.2 Desazolve.

Los trabajos de desazolves tienen que realizarse así, siempre con dragas que caminen sobre los bordos del canal respectivo, pues ningún otro sistema, ni ningún otro equipo, puede realizar un trabajo satisfactorio. Debe hacerse hincapié en que al principio del funcionamiento de la red de drenaje, debe darse importancia especial a estos trabajos porque en esta etapa de funcionamiento el proceso de azolvamiento es muy rápido y si se atendiera debidamente, en poco tiempo se lograría la estabilización de los taludes o el control de los azolves al llegar a estabilizarse también a un nivel determinado, según la influencia de cada dren, los niveles freáticos adyacentes; las correspondientes labores de desazolves llegarían a producirse a proporciones ordinarias a la vez que se lograría un funcionamiento eficaz. Se insiste en que estas labores de desazolves deben recibir tanto o mayor importancia como las correspondientes a los canales de riego.

Desafortunadamente, en la generalidad de los sistemas de riego, la limpieza y desasolve de los canales de drenaje se postergan indefinidamente y cuando se intenta realizarlos, tanto la vegetación acuática y terrestre como los azolves han crecido a tal grado, que los trabajos resultan tan costosos que muchas veces se busca la posibilidad de abrir canales completamente nuevos.

En general, los canales de drenaje se construyen siguiendo las líneas naturales de drenaje superficial, es decir, los cauces naturales de las corrientes que comunican lagunas y depresiones en general.

En estas condiciones es frecuente que los canales de drenaje se encuentren cruzados por las diversas rutas de la red general de caminos del sistema, pero es poco frecuente que se encuentren cruzados por canales de riego aunque hay casos en los que es imprescindible efectuar este tipo de cruzamientos.

6.6.3 Estructuras.

Existen casos en que por falta de conservación de los drenes se exponen a fuertes deterioros o a la falla total las estructuras de cruce al grado de que resulta más barato y eficaz hacer la sustitución total y aún la modificación de la localización del camino correspondiente. Lo mismo cabe decir de las estructuras especiales de los cruces con canales, aunque por lo general éstos se realizan mediante sifones pero aún por mala conserva

ción de los drenes llegan a sufrir asentamientos y desalojamientos. Por todas estas razones y muchas otras que ya se mencionaron, es necesario atender con diligencia la conservación de drenes (desyerbes y desazolves).

En general se recomienda que los cruces de caminos con los drenes se hagan siempre mediante puentes que dejen totalmente libre la sección hidráulica del canal con la finalidad de que puedan dejar pasar sin dificultad los máximos escurrimientos que se presenten especialmente en la época de lluvias. Es decir, es de recomendarse que no se construyan estructuras de cruce que de una u otra manera estrechen o taponen la sección del canal porque esto contribuye grandemente a la acumulación de azolves y al flaqueo de las estructuras de cruce y en los casos en que por estricta necesidad tenga que utilizarse este tipo de obras, deberá proporcionarse a la mayor área posible y establecerse la mas estrecha vigilancia.

Es frecuente que en las zonas donde se construyen los canales de drenaje, se cuente con una pendiente topográfica muy pequeña y se construyan estos con pendientes también pequeñas pero debido a la facilidad con la que se azolvan estos canales, la pendiente del fondo muy pronto queda nulificada.

La práctica general es dar pendientes de alrededor de 25 cm., por Km., pero se juzga que estas pendientes son insuficientes y que debe tenderse, por todos los medios que sean posibles, a propor -

cionar pendientes más elevadas como auxiliar de la conservación de estas obras, ya que el medio más eficaz para eliminar azolves y evitar el desarrollo de vegetación acuática, es el de obtener una velocidad del agua drenada capaz de arrastrar los azolves que se vayan acumulando sin causar naturalmente, erosiones excesivas de los taludes y bordos. Se considera que más bien las pendientes de los drenes deben ser cuando menos de 50 cm. por Km., aún cuando en algunos tramos se puedan presentar velocidades peligrosas - especialmente en las épocas de escurrimientos pluviales.

En estos casos puede ser más fácil y más barato detener las erosiones mediante enrocamientos y revestimientos en general que hacer la conservación a base de costosos desazolves.

6.6.4 Protección

En los puntos en que desaguan a los drenes las "colas" de canales y regaderas deben ajustarse obras que protejan debidamente los taludes del canal de drenaje. Por lo general estos desagües se realizan mediante rampas de concreto reforzado o empedrados o zampeados y algunas veces mediante líneas de tubos de concreto. Estas estructuras deben ser proyectadas cuidadosamente pues es frecuente que se calculen con muy baja capacidad produciéndose desbordamientos de los desagües, flaqueo general de la estructura y erosión de la parte correspondiente de los bordos del dren. Estos mismos efectos son producidos por dentellones poco profun-

dos que permiten el paso de las filtraciones con velocidades excesivas debajo de la estructura. El resultado final es la destrucción total de la obra, la erosión del bordo del canal de drenaje y el azolve de este mismo.

En el fondo de los canales de drenaje al pie de las rampas de descarga, se presentan casos en que no se construyen colchones y protecciones adecuadas, dando como resultado erosiones destructivas. Para evitar estos deterioros y conservar debidamente tanto las estructuras de descarga como la eficacia de los desagües de los canales, es necesario vigilar constantemente las estructuras respectivas para proceder a realizar las reparaciones con toda oportunidad ya que el retraso de estas se traduce casi siempre en trabajos complicados y de elevado costo.

Las estructuras de entrada que se han mencionado arriba son las que por lo general se encuentran construídas en la red de canales de drenaje, pero se considera que la mejor forma de realizar estas descargas es la de hacer que las aguas escurran no por los taludes de los canales, sino que caigan directamente en el centro de los mismos, encauzándolas mediante tubos o canales apoyados en caballetes.

Por lo general los canales de drenaje tributarios salen a los colectores al mismo nivel que éstos, pero existen casos en que dichos tributarios desembocan a un nivel superior al de la razante de los colectores principales. En estos casos si no se construyen

las protecciones adecuadas, se producen socavaciones y grandes zonas erosionadas. Por esto se recomienda darle la debida atención a los trabajos de protección en estos lugares.

Finalmente, los colectores generales o canales principales descargan casi siempre a depósitos como el mas o grandes lagunas, cuyos niveles de aguas se encuentran a igual altura que la razante del canal de drenaje o muy ligeramente abajo de dicha razante.

En estas condiciones se establecen corrientes contrarias que obstruyen la salida de las aguas de drenaje y nulifican el funcionamiento del sistema. Para evitar estos inconvenientes deben hacerse todos los esfuerzos posibles para lograr que las razantes de los canales de drenaje lleguen a las fuentes de descarga final a niveles superiores a los máximos alcanzados por las aguas de los mencionados depósitos. En los casos en los que el depósito de desagüe general tenga temporales y favorables descensos de nivel, la solución puede ser el establecimiento de compuertas de tipo reversible en el punto de descarga, a efecto de que las aguas de drenaje tengan curso libre cuando los niveles de los depósitos de descarga lo permitan, pero cuando éstas lleguen a ser superiores y amenacen el retroceso de las aguas de drenaje, las compuertas se cierran automáticamente e impidan el flujo contrario. Este sistema podrá complementarse con plantas de bombeo que eliminen las aguas de drenaje cuando el flujo contrario sea de tan larga duración que los canales de drenaje no puedan contener los desagües -

correspondientes . Las plantas de bombeo deberán utilizarse permanentemente, por más elevados que sean los costos de instalación y conservación, cuando no sea posible ninguna solución y el punto final del sistema de drenaje se encuentre constantemente abajo del nivel del depósito de eliminación.

6.7 TORMENTAS

Generalidades

Tormenta es la lluvia ocasionada por una perturbación meteorológica bien definida y que puede durar desde unos minutos hasta varias horas o días. La tormenta se define por su intensidad, duración y frecuencia.

Para determinar un caudal con que se proyecta en un sistema de riego, cada uno de los elementos constitutivos de la red de drenaje superficial, entre otra información básica, es necesario precisar la tormenta de diseño.

Para un canal de drenaje o un cause natural, la tormenta de diseño será aquella que ubicada en la posición adecuada y con la extensión de la cuenca tributaria para una frecuencia convenientemente elegida, dará en ese punto el máximo escurrimiento superficial.

Las características que intervienen en la determinación de la tormenta de diseño son principalmente de origen climatológico, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

- a) Tipo de precipitación pluvial
- b) Intensidad
- c) Duración
- d) Frecuencia
- e) Distribución en superficie y tiempo

- f) Trayectoria
- g) Condiciones climatológicas previas
- h) Evaporación
- i) Transpiración
- j) Localización geográfica
- k) Otras condiciones climáticas

En cuanto a la lluvia se distinguen tres tipos según su origen:

- a) Convectiva
- b) Orográfica
- c) Ciclónica

6.7.1 Tormenta de Diseño

En la red de drenaje superficial, uno de cuyos objetos es proteger al sistema de riego contra las inundaciones provocadas por una o varias lluvias en sucesión cuando se emprende el diseño hidráulico de la misma, un dato que interesa conocer es la tormenta de gran intensidad y poca duración o de la amplia duración y poca intensidad que puede causar la posible inundación y los daños correspondientes, al sistema de riego en proyecto.

Para conocer las características de las tormentas se utilizan principalmente los datos pluviométricos de las estaciones climatológicas que se encuentran dentro o proximas al sistema de riego.

La frecuencia " F " de cualquier tormenta o lluvia puede ser obtenida por medio de la ecuación siguiente:

$$F = \frac{t}{m} \quad \text{en años}$$

Donde:

t = Número total de años de registro

m = Número de orden de la lluvia cuya frecuencia se trata de obtener

6.7.2 Determinación y Selección de la Tormenta de Diseño

Para determinar la capacidad de la red de drenaje superficial de un sistema de riego en proyecto es recomendable que la frecuencia de la tormenta de diseño sea de 20 años.

En el caso muy poco probable que se cuente con registros de precipitaciones máximas para periodos del orden de 50 años, es posible hacer el estudio de las tormentas de diseño por procedimientos estadísticos y probabilísticos.

Además de la fórmula para determinar la frecuencia también puede usarse la expresión siguiente:

$$F = \frac{m}{m - 1/2}$$

Donde:

F = Frecuencia en años

n = Número de años de registro

m = Número de orden de cada evento cuando estos se ordenan en forma decreciente.

6.8 CAUDALES DE DISEÑO

En los sistemas de riego en proyecto una práctica conveniente y económica, consiste en aprovechar la disposición general de la red hidrográfica de la región en que se localiza dicho sistema para alojar los canales principales de drenaje.

La función primordial que desempeña esta red consiste en alojar y conducir los caudales de escurrimiento superficial, provenientes de las tormentas que se abaten en la cuenca hidrológica del sistema de riego en proyecto.

Además, aunque de menor cuantía, consistentes en la necesidad de desalojar en un tiempo perentorio el agua proveniente de las lluvias que caen en la misma zona de riego, así como, en ocasiones, abatir en las zonas bajas los niveles freáticos, desalojar los desfogues de la red distribuidora y el exceso de agua que originan las malas prácticas de riego o las contingencias, para evitar que vayan a perjudicar los suelos y dañar los cultivos; por último alejar las aguas excedentes del riego.

Como consecuencia de las diversas funciones que desempeña la red de drenaje es fácil comprender que sea encargada de proteger la zona de riego contra las probables inundaciones causadas por las avenidas; y al mismo tiempo, evitar que cuando éstas ocurren, ocasionen daños a las diversas estructuras hidráulicas que componen el sistema y perjuicios a las tierras de regadío.

En la determinación de los caudales máximos de escurrimiento

superficial, que se adoptan para el diseño de la red de canales - principales de drenaje, intervienen preponderantemente diversos - factores climáticos y las características hidrológicas de las - cuencas de las corrientes o cauces naturales que existan en la región, donde se localiza el sistema de riego en proyecto.

6.8.1. Métodos para Cálcular los Caudales Máximos

Un método para determinar los probables caudales que pueden escurrir por la red de cauces naturales de una cuenca en estudio debe reunir las siguientes características principales, para que sea considerado como completamente aceptable:

- Que permita hacer un mejor uso de los datos disponibles de los conocimientos actuales sobre la hidrología.
- Que permita hacer las predicciones sobre los caudales máximos y que indique los grados de confianza para los valores obtenidos.
- Que sea sencillo y de fácil aplicación para cualquier ingeniero no especializado en hidrología.

Los métodos para determinar la avenida máxima se pueden dividir en los siguientes grupos:

- a) Métodos empíricos
- b) Métodos basados en el hidrograma unitario
- c) Métodos basados en en datos estadísticos

6.8.1.1 Métodos Empíricos

Estos métodos debido a su sencillez, tienen gran difusión, pero también pueden involucrar grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento es mucho más complejo como para resumirlo en una fórmula de tipo directo, en el cual solo interviene el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento. Tales métodos proporcionan unicamente el gasto máximo instantaneo.

Las fórmulas usadas son las siguientes:

- 1.- Envolventes de caudales máximos
- 2.- Fórmula racional $Q = KCiA$
- 3.- Fórmula de Gregory y Arnold

La SARH, para el trazado de las curvas envolventes ha usado datos de aforo de las estaciones hidrométricas que se están operando desde hace tiempo en las diferentes corrientes.

Las ecuaciones de las curvas envolventes son dadas por William P. Creager y Robert C. Lowry y son las siguientes:

$$\text{CREAGER: } C = \frac{q}{0.5033 + 0.386A \frac{0.894}{(0.368A)^{0.048}} - 1}$$

$$\text{LOWRY: } C = q (A + 259)^{0.8}$$

Siendo:

$$q = \text{Gasto en m}^3/\text{seg/Km}^2 = \frac{Q}{A}$$

$$A = \text{Area de la cuenca en Km}^2$$

C = Coeficiente que depende de las características de la cuenca que para el mundo en general es igual a 100 en la fórmula de Creager y 3512 para la envolvente de Texas en la ecuación de Lowry.

Con el valor de C obtenido se determinan los diferentes valores de q para determinadas áreas de tal forma que los puntos se obtengan sean envolventes de todos los puntos correspondientes a las estaciones propuestas.

Fórmula racional

$$Q = KCiA$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto en m}^3/\text{seg.}$$

$$A = \text{Area en Km}^2$$

$$i = \frac{h}{d} \text{ en mm/hora}$$

C = Coeficiente que depende de las características de la cuenca.

$$K = \text{Constante de proporcionalidad} = 0.227$$

Fórmula de Gregory y Arnold

Usada para lugares donde existen afloros

$$Q = 0.2086 (CAR_H FB)$$

Donde:

Q = Gasto en m³/segC = Coeficiente de escurrimiento (correspondiente a -
avenidas)

A = Area de la cuenca en hectáreas

$$R_H = \frac{X}{H} = \text{Intensidad media de la lluvia en cm/hora para un tiempo H}$$
H = Tiempo considerado para el cálculo expresado en -
horas.X = Lluvia máxima total en cm., para el tiempo de H ho-
ras.F = Factor que depende de la forma de la cuenca y del
modo de concentración del agua en ella para su de-
terminación se encuentra primerio la relación L/W
donde, L = longitud en mts., que el agua recorre -
desde el punto más lejano de la cuenca hasta el si-
tio del proyecto; W se determina por la fórmula:

$$* \quad W = \frac{10000}{L} \quad A$$

S = Caida por cada 100 mts del cauce principal (se toma de las elevaciones de la carta o plano topográfico de la cuenca empleado).

* El valor L/W se encuentra en las formas típicas de cuencas y su modo de concentración así como, las gráficas de Gregory y Arnold

(Proyecto de zonas de Riego, SARH, pág. 103)

6.8.1.2 Método Basado en el Hidrograma Unitario

Este método es el que más datos requiere ya que necesita que existan registros continuos de los escurrimientos y de la precipitación en la cuenca.

Debido a que este método es bastante laborioso se dan a continuación las suposiciones bajo las que trabaja, así como, los parámetros a seguir:

Suposiciones Implícitas

- 1.- La lluvia se distribuye en forma uniforme en toda su duración o periodo de tiempo seleccionado.
- 2.- La lluvia se distribuye en forma uniforme en toda la superficie de la cuenca.
- 3.- La base o tiempo de duración del hidrograma del escurrimiento, debido a una cierta lluvia de duración unitaria es constante.
- 4.- Las ordenadas de los hidrógrafos, con una base común son directamente proporcionales a la cantidad total de escurrimiento representada por cada hidrograma.
- 5.- Para una cuenca dada, el hidrograma del escurrimiento debido a un periodo dado de lluvia refleja todas las características de la cuenca.

Para poder aplicar este método se requiere procesar los datos de lluvia y escurrimiento en la forma siguiente:

- 1.- Cálculo de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia y la curva de altura de precipitación-área-duración.
- 2.- Determinación del coeficiente de infiltración para cada avenida registrada y trazo de una gráfica de variación de capacidad de infiltración respecto al tiempo.
- 3.- Obtención de hidrogramas unitarios para diferentes duraciones de lluvia en exceso.

6.8.1.3 Métodos Estadísticos

Se basan en considerar que el gasto máximo anual es una variable aleatoria que tiene una cierta distribución. Para poderlos aplicar deben conocerse los gastos máximos anuales.

Estos métodos permiten conocer únicamente el gasto máximo. Dentro de estos métodos se consideran el de Lebediev y el de Gumbel.

Para el método de Lebediev el gasto máximo es:

$$Q_d = Q_{\max} + Q$$

Donde: $Q_{\max} = Q_m (K_{C_v} + 1)$

$$AQ = \frac{A \cdot E_r \cdot Q_{\max}}{N}$$

Q_d = Gasto total de diseño en $m^3 / \text{seg.}$

Q_{\max} = Gasto máximo probable obtenido para una frecuencia determinada.

AQ = Intervalo de confianza, en $m^3 / \text{seg.}$, indica la fluctuación de Q_{\max} .

Q_m = Gasto medio, en $m^3 / \text{seg.}$, el cual se calcula con la ecuación siguiente:

$$Q_m = \frac{Q_i}{N}$$

C_v = Coeficiente de variación que se obtiene de la siguiente expresión:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1 \right)^2}{N}}$$

Donde:

Q_i = Gastos máximos anuales observados, en m^3/seg .

N = Años de observación

K = Coeficiente que depende de la probabilidad "P".

$P = \frac{1}{T_r}$; se expresa el porcentaje de probabilidad de que se repita el gasto de diseño y del coeficiente de asimetría C_s , (su valor es por tablas).

C_s = Coeficiente de asimetría, el cual, dado el número de observaciones es mayor de 40 años.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1 \right)^3}{N C_v^3}$$

Para pocos años de registro se toman los siguientes valores:

$C_s = 2C_v$ Para corrientes por deshielo

$C_s = 3C_v$ Para corrientes por tormentas

$C_s = 5C_v$ Para corrientes por tormentas en cuencas ciclónicas

Entre estos valores y el obtenido por la ecuación anterior - se escoge el mayor.

A = Coeficiente que varia de 0.7 a 1.5 dependiendo del número de años de registro.

* Er = Coeficiente que depende de los valores de C_v y de la probabilidad P.

* Gráfica de Levediev. Distritos de Riego. SARH

Criterio de Gumbel

Permite obtener el gasto máximo para un determinado periodo de retorno y su intervalo de confianza a partir de un registro de gastos máximos anuales. Supone que la distribución de probabilidad de los datos tiene el tipo de distribución por él propuesto.

La distribución de probabilidad extrema se representa por la siguiente ecuación:

$$Y = \bar{Y} - \frac{\sqrt{Y}}{\sqrt{N}} (Y - \log Tr)$$

Siendo

$$Y = \sqrt{\frac{Y_1^2 - N (\bar{Y})^2}{N}}$$

Donde:

$N =$ Número de gastos máximos anuales registrados

$Tr =$ Periodo de retorno

$Y =$ Valor del gasto máximo para un Tr dado

$\bar{Y} =$ Valor medio de los gastos máximos anuales registrados

$Y_1 =$ Gastos máximos anuales registrados

$Y_N, \sqrt{N} =$ Constantes función de N , según tablas

\sqrt{Y} = Desviación estandar de los gastos máximos anuales

Según Gumbel

$Tr = \frac{n}{P}$ n = Número de años de vida útil de la obra

P = Probabilidad de que ocurra una avenida igual o mayor que la obtenida para ese periodo de retorno

Para el cálculo del intervalo de confianza, (aquel dentro del cual puede variar Y dependiendo del tamaño del registro N)

Si $\phi = 1 - 1/Tr$ varia entre 0.2 y 0.8

el intervalo se calcula como:

$$\Delta Y = \pm \sqrt{N} \text{ a } \sqrt{M} \frac{Y}{\sqrt{N} \sqrt{N}}$$

Donde:

Es función de ϕ , por tablas

Es función de N, por tablas

De acuerdo con la fórmula anterior

Si $\phi > 0.9$

el intervalo se calcula como:

$$\Delta Y = \pm \frac{1.41 \sqrt{Y}}{\sqrt{N}}$$

6.8 OBTENCION DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS DE DRENAJE

Con el gasto máximo calculado por cualquiera de los métodos mencionados, se determina el Coeficiente Unitario de Drenaje, el cual resulta de dividir dicho gasto, entre la superficie en hectáreas por drenar.

C A P I T U L O VII

ADMINISTRACION Y OPERACION

7.1 DISTRIBUCION DEL AGUA PARA RIEGO.

7.2 METODOS DE DISTRIBUCION DEL AGUA.

7.3 SUBDIVISIONES OPERACIONALES DE LOS DISTRITOS DE RIEGO.

7.4 DISTRIBUCION Y ENTREGA DEL AGUA AL USUARIO.

7.1 DISTRIBUCION DEL AGUA PARA RIEGO.

Para llevar el agua desde la fuente de abastecimiento a la parcela del usuario, es necesario conducirla por un sistema de canales y obras de control, que permite su distribución entre las diferentes unidades, zonas y secciones de riego, hasta llegar a cada una de las parcelas que requieren el riego.

En un distrito de riego que a veces comprende varios millares de hectáreas, el problema principal es entregar a los usuarios oportunamente el riego, preferentemente en el momento que el cultivo lo necesite. Por otra parte, cuando el agua es escasa y por lo mismo su costo de oportunidad alto, es conveniente que la distribución sea eficiente, es decir, con mínimas pérdidas de conducción. Por tanto, el mejoramiento en el manejo del agua en el sistema de distribución, implica mejorar la oportunidad en la entrega del agua al usuario, lo cual desde luego no siempre depende por completo del personal del distrito de riego, sino también implica mejorar la eficiencia de conducción lo que si depende, casi en exclusiva del sistema de riego.

Sin embargo, a veces no se pueden satisfacer simultáneamente ambos requisitos, es decir, por mejorar la eficiencia de conducción, suele descuidarse la entrega oportuna del agua al cultivo o la inversa también es cierta. Por tanto, es conveniente recordar que la entrega del agua al cultivo es la principal fina-

lidad del distrito de riego por lo que, la oportunidad del riego es fundamental en la mejora de los rendimientos de los cultivos; aunque cuando el agua es muy escasa a veces debido al método de distribución empleado, no es posible lograr la entrega oportuna a todos los usuarios.

En el proceso de la distribución del agua se consideran dos etapas que están íntimamente relacionadas, estas son:

- a) La estimación de la extracción del agua y programación del riego
- b) La distribución y entrega

La primera depende de cómo se hace la segunda; por lo que a continuación se describirán brevemente los métodos de distribución y entrega más comunes.

7.2 METODOS DE DISTRIBUCION DEL AGUA.

Generalmente se consideran cuatro métodos de distribución y estos son:

- a) Distribución continua
- b) Distribución al pedido libre o demanda libre
- c) Distribución al pedido programado o demanda controlada
- d) Distribución por rotación turno o tanteo

Los dos primeros métodos son de poco interés por lo que solo se hará énfasis en los dos últimos, sin embargo, a continuación se hace una breve descripción de los primeros.

- a - La distribución continua se efectúa a fincas muy grandes o para uso industrial o doméstico del agua. En la mayoría de los distritos de riego del país se distribuye una pequeña parte del agua en esta forma, que consiste en entregar un gasto más o menos fijo en forma continua durante todo el ciclo de operación o durante gran parte de este.
- b - La distribución al pedido libre o demanda libre, prácticamente no existe en ningún distrito del país. Solo en zonas donde hay agua en abundancia, capacidad excesiva de canales y la demanda de riego no es muy grande, puede establecerse este método. Sin embargo, en sistemas que tienen red de distribución por tubería a presión, el me-

todo funciona en forma óptima. El usuario simplemente abre su toma para derivar la cantidad de agua que necesite en el momento que lo desee. Este método cuenta con un sistema automático de bombeo (que consiste en una serie de bombas) abastece tanques elevados que mantienen la presión en el sistema de distribución. Como cada usuario tiene su aforador en la descarga, que es del tipo volumétrico acumulativo, no necesita solicitar el agua con anticipación, sino que la toma cuando la requiere y periódicamente los empleados del distrito toman lecturas del aforador para cargar a su cuenta el volumen de agua usada.

Los otros métodos de distribución del agua, son los que comunmente se emplean en la mayoría de los distritos de riego del país, estos son: el pedido programado y el tanteo.

Con ambos métodos se tiene el problema de que el riego no siempre se entrega oportunamente; sin embargo, cuando el pedido es programado puede llegar a entregarse el agua más oportunamente que cuando se usa el tanteo.

- c- En el método por pedido programado o demanda controlada, consiste en programar la extracción de agua de la fuente de abastecimiento de acuerdo a los pedidos de los usua -

rios en un periodo dado; por tanto, la extracción y en consecuencia el caudal conducido por la red de distribución tiene que ajustarse en cada periodo, con fines de mejorar la eficiencia de conducción conviene que el periodo sea de varios días; sin embargo, a más largo periodo de programación, menos oportunamente puede entregarse el agua a los usuarios, a menos que éstos se coordinen muy bien con los operarios del distrito de riego.

d- En el método de riego por turno o tanteo, el agua se entrega al usuario con cierta periodicidad y de acuerdo con un calendario de riegos que se elabora para todo el distrito. En este caso, el usuario tiene que ajustarse a dar el riego en las fechas que el distrito lo programe. Considerando la variabilidad de suelos que pueden haber en un distrito, se deduce que muchos usuarios regarán fuera de la oportunidad debida, de acuerdo al requerimiento óptimo del cultivo. Por otra parte, también es obvio que este método de tanteo solo puede aplicarse en distritos que tienen muy pocos cultivos establecidos, los cuales deben coincidir en los intervalos de riego requeridos. Luego a mayor variedad de suelos y cultivos, menos apropiado será este método.

Sin embargo, dentro de un distrito, cuando se tienen pro

blemas por capacidad de canales, falta de agua en ciertas épocas, u otros problemas de distribución, puede establecerse el método de tanteo en aquellas secciones de riego que tengan un solo cultivo dominante o preferentemente, sean monocultivadoras en el periodo considerado, siempre que no haya mucha variabilidad en los suelos.

En conclusión se puede decir, que de los dos métodos de distribución que son más usuales en los distritos de riego del país, el método por tanteo tiene serias restricciones en su uso, por lo que solo en unos cuantos distritos se utiliza. De aquí se deduce que el método más general de entrega, es el de pedido programado o demanda controlada.

7.3 SUBDIVISIONES OPERACIONALES DE LOS DISTRITOS DE RIEGO.

Cuando los distritos de riego son bastante grandes, es decir con áreas bajo riego de varias decenas de miles de hectáreas suelen dividirse en unidades operacionales que casi funcionan como distritos separados, a veces con sus propios canales principales y tomas de derivación diferentes. En estos casos, cada unidad tiene un responsable que tiene funciones similares a los de un jefe de distrito o gerente de operación sin embargo, está bajo el control del jefe de todo el distrito y tiene que trabajar coordinadamente con los otros jefes de unidad.

Desde luego la coordinación es realizada por el jefe del distrito o gerente de operación.

Los distritos o unidades de riego se dividen con fines de distribución de aguas en zonas de acuerdo a la topografía, red de canales, red de drenaje y caminos existentes; a su vez las zonas se subdividen en secciones de riego, para lo cual, además de considerar los factores mencionados, debe tomarse en consideración el número de lotes o predios que se servirán. Generalmente la sección de riego es atendida por un canalero, el cual por una parte, se encarga de recoger los pedidos de agua de los usuarios y por otra de entregar los riegos reportando el aforo a la entrega en el predio o conjunto de predios por servir cuando estos son muy pequeños.

7.4 DISTRIBUCION Y ENTREGA DEL AGUA AL USUARIO.

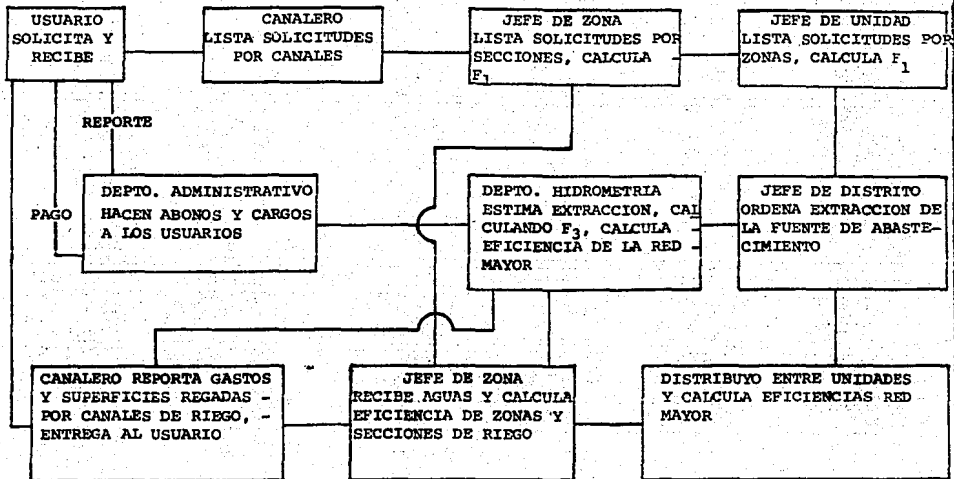
De acuerdo al programa de extracciones, se ajustan las válvulas de las tomas de la fuente de abastecimiento y las compuertas en los canales principales y tomas laterales, para entregar a cada jefe de unidad o de zona los caudales solicitados, verificando mediante aforos dichos ajustes. A su vez, los jefes de zona entregan los volúmenes solicitados por los canaeros para que éstos los distribuyan entre los predios que van a regar, apegados al orden en que se solicitó o de acuerdo a la posición de los lotes a lo largo de un canal, tomando en cuenta que por lo general, se distribuye el agua llevándola primero a la toma más alejada del canal, para que al hacer los cortes se aproveche más eficientemente el agua almacenada en la cubeta del canal, o como se dice, en los distritos de riego, se distribuye el agua de aguas abajo hacia aguas arriba.

El canaero encargado de entregar el agua a nivel de toma parcelaria (que puede servir a más de un lote), de ser posible afora el caudal entregado o por lo menos lo estima y también estima el área que se regó durante el periodo anterior (por ejemplo 24 hrs.), tomando nota de esta información, que se utilizará posteriormente para los registros que se utilizarán en la elaboración de los informes de distribución mensuales (los cuales son muy útiles para la evaluación de la operación del distrito y para la planeación del riego futuro).

Dos problemas de mucha importancia, en la operación del distrito, suelen presentarse durante la distribución y entrega del agua al usuario en la parcela. Uno de ellos es que la capacidad de los canales sea insuficiente para conducir toda el agua solicitada. Esto se puede deber a varias causas, por ejemplo; una lluvia general en el distrito que iguale la humedad en la mayoría de las parcelas de riego, puede causar a los pocos días una demanda de riego simultánea en el distrito. Otra causa frecuente es que los canales fueron mal diseñados o no se consideró determinado tipo de cultivos, que tienen una alta demanda de agua, durante el diseño y planeación del distrito. También el mal estado de los canales puede producir este tipo de problemas.

El otro problema frecuente, es que el caudal entregado a los usuarios no es constante. En parte esto es otra falla en la programación pero la causa principal es que las estructuras de control en la gran mayoría de los canales de los distritos de riego no fueron diseñadas para garantizar una carga más o menos constante sobre las tomas laterales de los canales.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PROGRAMACION DE DISTRIBUCION DEL RIEGO



F_n = FACTOR DE PERDIDAS ENECIMO

C A P I T U L O VIII

DISTRITO DE RIEGO No. 41 RIO YAQUI, SONORA

- . RESEÑA HISTORICA SOBRE EL DESARROYO DEL VALLE DEL YAQUI
- . LOCALIZACION
- . ALTITUD Y CLIMA
- . COMUNICACIONES
- . TENENCIA DE LA TIERRA
- . CULTIVOS
- . PRECIPITACION
- . TEMPERATURA
- . EVAPORACION
- . HIDROGRAFIA
- . OBRAS HIDRAULICAS DE APROVECHAMIENTO PARA EL DISTRITO DE RIEGO
No. 41 EN EL VALLE DEL YAQUI
- . VASOS DE ALMACENAMIENTO
- . CONDUCCION
- . RED DE DRENES Y COLECTORES
- . DISTRIBUCION Y VENTA DEL AGUA
- . LA SECCION DE RIEGO
- . COMITE DIRECTIVO AGRICOLA DEL VALLE DEL YAQUI
- . INDUSTRIAS DE LA REGION

RESEÑA HISTORICA SOBRE EL DESARROLLO DEL VALLE DEL YAQUI

Se cuenta que Diego de Guzmán alcanzó estas comarcas el 4 de octubre de 1533, a las que denominó "Yaquimi".

Un siglo más tarde, los padres Jesuitas lograron penetrar los dominios de la tribu yaqui, iniciando su evangelización. En 1623, fundaron los ochos pueblos de Vícam, Tórim, Potam, Rahum, Hurribis y Belem en la margen derecha y Bácum, Cocorit en la margen izquierda del Río Yaqui.

Por lo demás, la Tribu Yaqui permaneció sin ser sometida a lo largo de la época colonial y aún después en el México independiente, viviendo en su propio territorio, regido por sus propias leyes, bajo sus tradiciones y costumbres y hablando su lengua nativa, el Caíta.

Este territorio que fue reduciéndose bajo la presión de blancos y mestizos, que lo invadían al amparo de las bayonetas, ocupó la mayor parte de la actual zona de cultivo, teniendo como frontera hacia el Sureste, el arroyo de Cocoraque, situado a media distancia entre los Ríos Yaqui y Mayo. Esta frontera natural había sido fijada de común acuerdo con la tribu Mayo. Por el Norte, este territorio se extendía por lo que se conoce como Sierra del Ba_ucatete.

Durante todo ese tiempo, la actual zona de cultivo permanece en estado virgen, cubierta de monte formado por mezquites, guamúchiles, jitos, breas, palo-fierro y otros árboles y arbustos y poblada con abundante caza, especialmente venado.

Hace 100 años (noviembre de 1983) se inició la llegada de gentes llamadas "de razón" al poblado de Cocórit, y no fue sino hasta fines del siglo pasado que se dieron los primeros pasos para aprovechar en riego las aguas del Río Yaqui.

En 1904, la compañía americana que después se llamó "Constructora Richardson, S.A.". adquirió la concesión de aguas que el Gobierno Federal había otorgado con anterioridad, de éste modo se inició la explotación con una cuantas miles de hectáreas.

Alrededor de las instalaciones de la compañía fueron levantando sus casas gentes que encontraron allí un refugio para las incursiones periodísticas de los Yaquis. De este modo nació el poblado de Esperanza con una población de 5,000 habitantes y constituyentes como Comisaría de Policía de Municipio de Cajeme.

Años después surgió lo que hoy es Ciudad Obregón, la Ciudad del Valle del Yaqui y una de las principales del Estado de Sonora.

Con los empeños y afanes del General Obregón, la Ciudad se desarrolló desde 1925 fecha en que se inicia su crecimiento en forma planeada hasta llegar a tener en la actualidad una población aproximada de 100,000 habitantes.

En 1928, el control de las aguas pasa a la administración del Banco Nacional de Crédito Agrícola y Ganadero, el Canal Principal Bajo recibió ampliaciones, así como, la construcción de presas La Angostura y Alvaro Obregón, lo cual trajo consigo ampliaciones sucesivas al área de Riego.

Así en el año 1928, el área bajo riego era de 40,000 hectáreas y para 1941, el área había ascendido a 60,000 Has. El año de 1946, el área regada era de 121,000 Has., cifra que aumentó con la construcción del Canal Principal Alto.

Para realizar los trabajos técnicos y científicos para aumentar la explotación del Valle del Yaqui se cuenta actualmente con el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) dependiente de la SARE.

LOCALIZACION

El Valle del Yaqui; una de las regiones más importantes de México, físicamente es un área agrícola de 220,000 Has., regadas con las aguas del Río Yaqui que le da su nombre y cuya producción siempre ascendente, sobrepasó los 1,000 millones de pesos para el ciclo 1967 - 1968 debido en gran parte a sus características geográficas y climáticas y al racional manejo y aprovechamiento de agua y de su suelo.

El Distrito de Riego No. 41 del Valle del Yaqui en la parte sur del Estado de Sonora es una planicie costera de suelos color café, emergida del fondo marino del golfo de Cortés, y está ubicada a los 27° 29' 35'' y 109° 56' 00'' longitud oeste (Coordenadas de Cd. Obregón); los límites del Valle son los siguientes:

Al Norte, El Río Yaqui

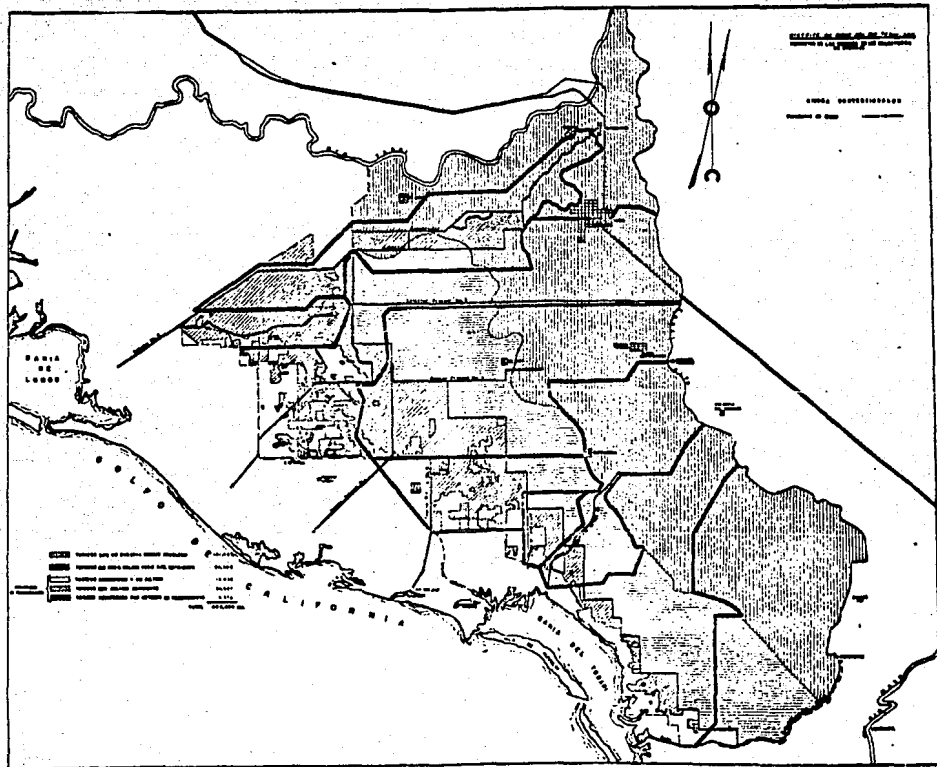
Al Sur, el Arroyo de los Mayas y Distrito de Riego No. 38 -
Río Maya

Al Oeste, el Golfo de California

Al Este, el Canal principal Alto

Comprende terrenos de los Municipios de Guaymas, Bacum, Cajeme, Navojoa, Etchojoa. (ver croquis 8.1 y 8.2)

CROQUIS 8.2



ALTITUD Y CLIMA

La altitud de los terrenos agrícolas dentro del Distrito de Riego, varia de 5 a 50 metros sobre el nivel del mar. La altitud media en la parte central del Distrito es de 30 metros.

El clima dominante de acuerdo con la clasificación Thornth - wite, es: Sub-humedo, Mezotermal con humedad deficiente en verano e invierno y uniforme en temperatura.

Este mismo clima, pero aceptando las modificaciones del Ing. Alfonso Contreras Arias, se clasifica como: Semi-seco, Semi-cálido con invierno benigno y con humedad deficiente en verano e invierno.

COMUNICACIONES

Bordeando la parte Norte y Noreste de la zona de cultivo del Valle del Yaqui; cruzan la región el Ferrocarril del Pacífico y la carretera Internacionl Nogales-Guadalajara.

Entroncando con esta última existe una red de caminos vecinales costruídos a lo largo de los Paralelos y Meridianos que, con espaciamiento de 2 kilómetros entre paralelo y paralelo y entre meridiano y meridiano, forman la cuadrícula del Valle del Yaqui.

Esta red tiene una extensión aproximada de 1400 kilómetros - de los cuales unos 270 Kms., corresponden a caminos pavimentados.

TENENCIA DE LA TIERRA

De las 220,000 Has., que forman el Distrito de Riego No. 41 del Valle del Yaqui, actualmente hay en cultivo 205,178 has., de las cuales el 35.7% pertenecen a 4,238 ejidatarios con una parcela media de 17.3 has., y el 64.3% pertenece a 3,417 pequeños propietarios con una parcela media de 38.6 has.

CULTIVOS

Los principales cultivos practicados en el Valle del Yaqui y la importancia que los mismos tienen en lo que se refiere a sus superficies sembradas y rendimientos por hectáreas y valor de la cosecha se puede apreciar en la siguiente tabla 8.4, el cual corresponde al ciclo 1967 - 1968.

PRECIPITACION

El régimen pluviométrico de la cuenca está perfectamente delimitado a dos estaciones: una, que corresponde a los meses de julio y septiembre, en la que tienen lugar las precipitaciones máximas, y la otra, la de lluvias de invierno, conocidas con el nombre regional de "equipatas", que es de corta duración y en algunos años no se registra.

En raras ocasiones estas lluvias de invierno han sido extraordinariamente abundantes, originando las mayores crecientes de que se tiene noticia. El periodo de estiaje comienza en el mes de

TABLA 8.1

SUPERFICIE, PRODUCCION Y VALOR DE LAS COSECHAS EN EL CICLO AGRICOLA
1967-1968 EN EL "VALLE DEL YAQUI, SON"

CULTIVOS	Superficie Sembroada Ha.	Superficie Cosechada Ha.	Rendimiento Medio Ton./Ha.	Producción Ton.	Precio Medio Rural \$/Ton.	Valor de la Cosecha S
IRIEGO:						
Ajonjolí	9,087	9,087	0.722	6,565	2,796.10	18'356,388.63
Alfalfa Achicolada	2,529	1,752	12,576	22,033	350.00	7'711,550.00
Algodón	73,641	73,641	2,644	194,670	2,539.92	494'446,150.73
Alpiste	68	68	1,500	102	2,500.00	255,000.00
Cártamo	7,255	5,155	0.835	4,303	1,618.37	6'963,835.59
Cebuda	301	301	2,100	632	915.14	578,371.50
Chicharo	92	92	0.750	69	990.67	68,356.00
Frijol	45	45	1,511	68	2,477.94	168,500.00
Soya	74,365	74,365	2,122	157,819	1,503.37	237'260,360.03
Frutales	360	142				2'464,455.00
Garbanzo	503	503	1,541	775	1,957.78	1'517,283.22
Hortalizas	49	49				196,000.00
Jitomate	43	43	3,000	129	2,800.00	361,200.00
Linaza	1,133	1,133	1,543	1,748	1,808.36	3'161,016.73
Maíz	21,887	21,887	2,647	57,927	818.53	47'423,039.34
Papa	160	160	16,112	2,578	950.43	2,460,202.00
Pastos	185	185				925,000.00
Sandía	208	208	30,000	6,240	675.00	4'212,000.00
Sorgo	7,471	7,471	4,376	32,690	615.03	20'105,490.76
Sorgo Forraje	234	234	17,504	4,096	249.97	1'023,875.00
Trigo	108,930	108,930	2,610	284,310	800.00	227'447,582.40
Zacate Sudán	155	155	18,000	2,790	250.00	697,500.00
Varios	760	760				1'530,963.00
Total Riego	309,461	306,366				1'079'324,119.94
TOTAL GENERAL	309,461	306,366				1'079,324,119.94

Nota: Tomado del Informe Estadístico # 43 de la Dirección General de Distritos de Riego.
Dirección de Estadística y Estudios Económicos.

abril y se prolonga hasta mediados de julio, con sequías extremas a fines de junio.

La precipitación media anual, observada en diferentes puntos de la cuenca del río yaqui, varía entre 240 y 1050 mm., siendo mínima en lugares cercanos a la costa y máxima en la parte montañosa del Estado de Chihuahua lugar de donde proviene la mayor aportación de aguas.

TEMPERATURA

La temperatura presenta variaciones fuertes durante el año, siendo la media anual de 24°C registrada en un periodo de 30 años.

La mínima observada en la Estación de Ciudad Obregón corresponde a + 1.0°C, no así en el centro del Distrito cuyo dato fue de - 5.5°C, aunque por una sola vez.

Se presenta una tabla donde se muestran las temperaturas y precipitaciones medias mensuales en las estaciones climatológicas del Valle del Yaqui.

EVAPORACION

La evaporación media anual, observada en algunos puntos, es la siguiente: (ver tabla 8.2 y gráfica 8.1)

La junta	1818 mm.
La angostura	2574 mm.
El Aguila	2597 mm.
Técori	2907 mm.
Ciudad Obregón	2382 mm.

HIDROGRAFIA

La región en estudio está situada entre los antiguos deltas de los ríos Yaqui y Mayo, en la cuenca del primero.

El río Yaqui es el más importante del Estado de Sonora y se forma de la unión de los ríos Bavispe y Papigóchic o Aros. A partir de la confluencia de estos dos ríos, la corriente recibe el nombre de río yaqui. Después de este punto en el río Yaqui confluyen por la margen izquierda el río Sahuaripa y por la margen derecha el río Moctezuma. Desde el último lugar continúa hasta el sur donde existen las presas " El Novillo " y la "Alvaro Obregón", esta última tiene una capacidad de $2,988 \times 10^6 \text{ m}^3$, y una cuenca de captación de $70,845 \text{ Km}^2$.

Hacia aguas abajo de la presa Alvaro Obregón, a la altura de Esperanza, el río cambia su curso hacia el oeste para desembocar en el Golfo de California en el estero de Santo Domingo.

El área de cuenca total hasta su desembocadura es de $73,820 \text{ km}^2$. En la zona de estudio existen estaciones hidrométricas solamente en los canales principales, ya que las que se encontraban en Oviachic y Chiculi, fueron clausuradas en 1952 y 1955 respectivamente.

En la región comprendida entre los ríos Yaqui y Mayo, existen numerosos arroyos de caracter torrencial que drenan cuencas de extensión limitada, de los cuales el único de una cierta importancia es el arroyo Cocoraque, que desemboca al Golfo de California.

en la Bahía de Tobari, frente a la isla de Huivulai.

OBRAS HIDRULICAS DE APROVECHAMIENTO PARA EL DISTRITO DE RIEGO No.
41 EN EL VALLE DEL YAQUI

Recursos Hidráulicos

La corriente principal del Distrito es el Río Yaqui, con desembocadura en el Golfo de California, formado por los afluentes Bavispe, Moctezuma y Aros. La cuenca hidrográfica del mismo comprende una superficie de 75,000 Kms², ocupando parte de los Estados de Sonora y Chihuahua y una porción muy pequeña estimada en 4,000 Kms² de los Estados de Arizona y Nuevo México de la Nación Norteamericana.

El escurrimiento medio anual del Río Yaqui cuyo registro se observa desde el año de 1928 en la Estación Hidrométrica del Técnico primeramente y después en la correspondiente a la Presa Alvaro Obregón es de 2,800 millones de m³.

El gasto máximo registrado durante el mismo periodo, aforado en la Estación el Aguila, corresponde a 5,265 m³/seg., y ocurrió el día 5 de Enero de 1949.

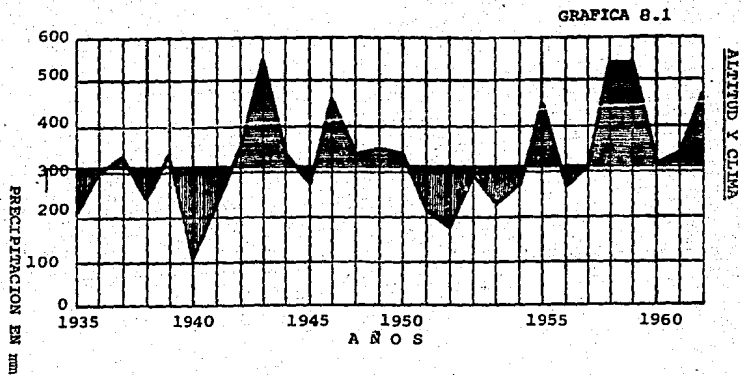
VASOS DE ALMACENAMIENTO

Son dos las obras de almacenamiento, la primera conocida con el nombre de Presa La Angostura, localizada sobre el Río Bavispe afluente del Río Yaqui a una distancia de 410 Kms., aguas arriba del segundo vaso conocido con el nombre de Presa Alvaro Obregón, - cuya distancia con relación a la Ciudad del mismo nombre es de - 40 Kms.

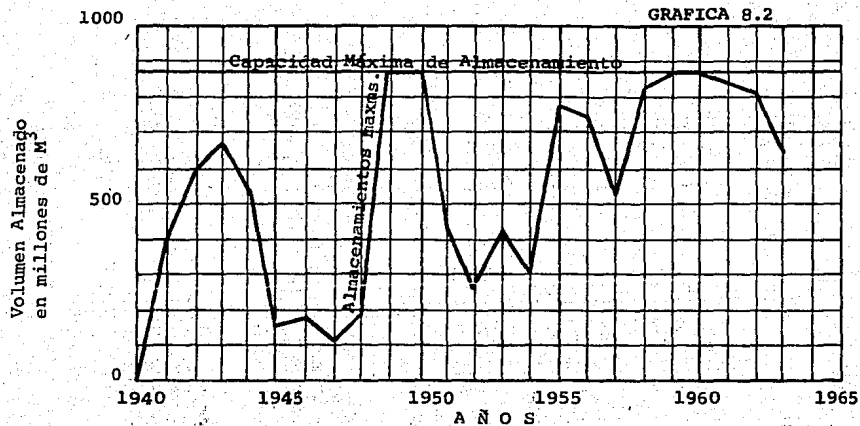
Las características principales de la presa La Angostura construída entre los años 1937 - 1941 son las siguientes: Cortina de concreto en arco con capacidad de almacenamiento de 865 millones de M^3 .

La presa Alvaro Obregón cuya construcción se inició en el año de 1947 y se concluyó el año de 1952, esta formada por una cortina de materiales graduados con capacidad de almacenamiento de 3,000 millones de M^3 . La extracción en la Toma Baja de esta obra es aprovechada por la C.F.E., en la generación de energía mediante una hidroeléctrica con capacidad de 20,000 Kw. (ver gráfica 8.2 y 9.3)

PRECIPITACION ANUAL EN EL DISTRITO DE RIEGO RIO YAQUI
ESTACION CD. OBREGON, DURANTE 1935-1962



PRESA ANGOSTURA
 ALMACENAMIENTO UTIL 860 000 000 M³



	104 M ³ /seg	el día 18 feb 1949
Derrames Máximos	57 M ³ /seg	el día 4 ago 1950
en los años	63 M ³ /seg	el día 2 sep 1959
	155 M ³ /seg	el día 15 ene 1960

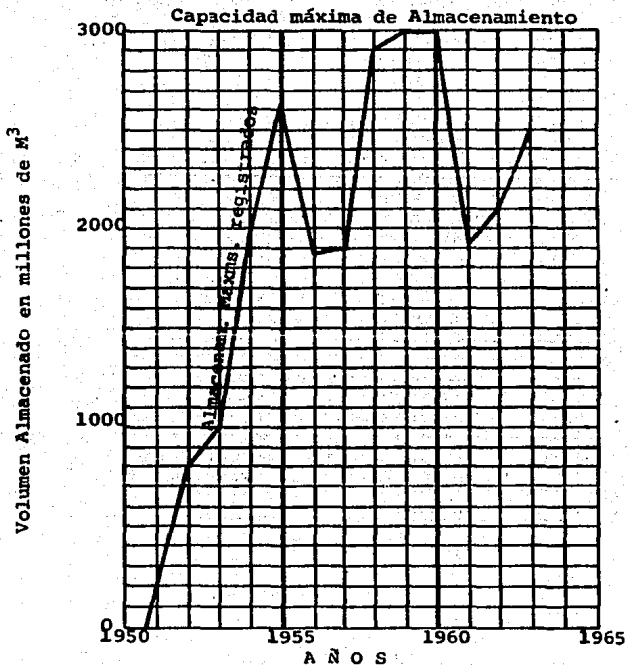
TABLA 8.2

PRECIPITACION Y TEMPERATURA MEDIAS MENSUALES EN LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS DEL VALLE DEL YAQUI, SON.

ESTACION	MEDIDA	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
La Dura 1946-1968	Precipitación	40.5	22.3	9.9	3.3	1.3	37.0	145.0	142.7	63.9	30.2	8.6	32.6	537.3
	Temperatura	16.9	18.3	20.2	24.6	27.6	31.5	30.8	30.8	29.9	27.0	21.2	17.7	24.7
Quitrlego 1941-1968	Precipitación	30.4	13.0	8.5	4.0	1.4	31.2	176.4	187.7	98.2	47.5	11.2	30.9	640.0
	Temperatura	16.4	17.7	19.8	22.9	26.0	30.3	31.1	30.4	30.1	26.3	20.9	17.2	24.0
Tres Hermanos 1942-1968	Precipitación	29.4	10.5	5.5	1.5	0.9	23.1	152.9	74.1	68.3	61.8	6.4	28.8	463.2
	Temperatura	18.3	19.7	21.5	24.4	27.4	31.1	31.1	30.3	30.4	27.6	22.7	19.5	25.3
Tasia 1951-1960	Precipitación	29.4	4.2	9.8	2.9	0.1	5.8	103.9	164.8	52.4	57.7	6.7	22.0	459.7
	Temperatura	19.7	20.3	22.4	25.3	28.1	38.8	33.8	32.8	32.8	29.2	23.9	20.4	26.7
Batevito 1950-1960	Precipitación	9.7	0.6	2.0	0.6	1.7	0.0	25.7	22.8	20.9	25.7	1.5	6.7	117.4
	Temperatura	18.4	18.9	19.8	21.5	24.2	24.5	29.5	27.6	28.5	25.3	23.6	19.8	23.4
Calle 1200 con Canal Bajo 1933-1950	Precipitación	21.3	9.7	3.1	0.4	0.0	4.7	51.1	73.8	40.5	31.3	5.5	23.9	265.3
	Temperatura	15.6	16.1	18.3	21.2	24.5	27.7	30.5	30.8	29.6	26.4	21.3	16.6	23.1
Cd. Obregón 1955-1968	Precipitación	18.2	8.5	7.6	1.0	0.0	9.8	96.0	97.9	65.5	27.7	8.7	33.6	374.0
	Temperatura	16.9	17.8	20.1	23.8	27.0	30.0	31.9	31.4	30.4	27.4	22.0	17.9	24.7

PRESA ALVARO OBREGON
CAPACIDAD UTIL 2500 MILLONES

Fechas de derrames .2 sep. 1959 con
Q max. 1375 M³/seg
.15 ene.1960 con
Q max. 1375 M³/seg



GRAFICA 8.3

CONDUCCION

La conducción de las aguas de la Presa Alvaro Obregón, hacia las zonas de riego se efectúa por medio de dos canales localizadas, el denominado Canal Bajo en el extremo derecho de la presa - y el denominado Alto en el extremo izquierdo de la misma.

El primero de ellos parte de una toma localizada a 13 kilómetros aguas abajo de la antes citada presa en el sitio en el cual se encuentra construída la Presa Derivadora llamada de Hornos, - utilizando durante el trayecto de esos 13 Kms., el Río, como Canal de Conducción. Tiene una longitud de 96.0 Kms., y una capacidad de 120 m³/seg.

El Canal Alto se inicia desde la misma Presa faldeando una serie de elevaciones rocosas en sus primeros 42.5 kilómetros, por lo cual hubo necesidad de revestirlos de concreto siendo su longitud total de 120 Kms., y su capacidad de 110 m³/seg.

Estos canales alimentan cada uno de ellos a su red de distribución teniendo ambos una longitud total de 2,198 kms., de canales primarios, secundarios y terciarios.

Como complemento de estas obras de conducción y para evitar el ensalinamiento de los terrenos de riego, se construyó hasta el año de 1970 la siguiente red de drenes y colectores.

RED DE DRENES Y COLECTORES

Drenes Colectores	414.80 Kms.
Drenes Primarios	513.70 Kms.
Drenes Secundarios	<u>990.58 Kms.</u>
LONGITUD TOTAL DE DRENES	1,919.08 Kms.

Metros de Dren por hectárea 8.7 metros.

DISTRIBUCION Y VENTA DEL AGUA

En el Valle del Yaqui, es en el único Distrito de Riego en el país que entrega el agua a las organizaciones de agricultores para que estos a su vez la entreguen a cada uno de los usuarios.

En realidad aunque existen 7655 usuarios en el Valle del Yaqui, la Secretaría de Recursos Hidráulicos solo mide y entrega el agua a 95 secciones de riegos, en las bocatomas de los canales laterales con los canales principales correspondientes.

De los canales principales el agua pasa a las laterales, de aquí a los sublaterales y a los ramales, etc., hasta la parcela de cada uno de los usuarios. Recursos Hidráulicos mide y vende el agua en las compuertas del Canal principal a las secciones de riego, mientras que las secciones miden y venden el agua a la entrada de cada parcela.

LA SECCION DE RIEGO

La Sección de Riego, es una agrupación de agricultores cuyos terrenos forman un área determinada y continua, que varía de 1,000 a 9,000 hectáreas que se reúnen para cooperar en el manejo del agua de riego que les entrega y vende la Secretaría de Recursos Hidráulicos en las bocatomas de los canales principales.

Como ya se indicó, Recursos Hidráulicos vende a las secciones de riego el agua a un precio menor que estas a los usuarios, la razón del incremento es para compensar las pérdidas de conducción

y evaporación más los gastos de conservación de la red de distribución de la Sección, así como, sus gastos de administración.

La inversión que el Gobierno Federal hizo para construir las Presas de La Angostura y La Alvaro Obregón y La Red de Distribución, se amortiza en un término de 25 años con una cuota anual de \$ 69.96 por hectárea para el Canal Alto y de \$ 39.76 anuales, por un periodo de 15 años para el Canal Bajo. (ver tabla 8.3)

COMITE DIRECTIVO AGRICOLA DEL VALLE DEL YAQUI

Los Comités Directivos Agrícolas, creados por el Decreto Presidencial del 2 de enero de 1953 tiene por objeto coordinar, dentro de los Distritos de Riego, la acción de las Secretarías de Recursos Hidráulicos y de Agricultura y Ganadería, de los Bancos Semi-Oficiales de los Bancos Privados y de los diversos grupos de agricultores y usuarios con el objeto de que los planes de riego se ajusten de acuerdo al requerimiento regional del Plan Agrícola Nacional, los almacenamientos de agua disponibles y los deseos de los agricultores. Está integrado por un vocal Ejecutivo que es el Gerente del Distrito de Riego, un vocal Secretario que es el Agente General de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y los demás vocales, representantes del Banco Nacional de Crédito Ejidal, del Banco Nacional de Crédito Agrícola, de los representantes de los usuarios, de los sectores ejidales, colonos y pequeños propietarios con derecho a voto y un número indeterminado de asesores - solo con derecho a voz.

SUPERFICIE, LAMINAS Y NUMERO DE RIEGOS PROPORCIONA-
DOS A LOS DIFERENTES CULTIVOS EN EL CICLO AGRICOLA 68-69
EN EL VALLE DEL YAQUI, SON.

Cultivo	Sup. Ffsica	Lam. Bruta	Lam. neta	No. de Riegos	
Maíz	11,000	83.7	47.3	4.5	Ciclo 68-69 para auxiliar en 69-70
Trigo	132,000	74.6	51.7	4.3	
Cártamo	5,500	50.3	35.4	3	Invierno 69 - 70
Linaza	1,000	88.0	60.0	5	programado
Cebada	100	97.7	62.2	5	
Sorgo	8,852	96.9	65.1	4.6	
Algodón	49,070	110.1	75.6	5.8	Primavera 69
Ajonjolí	954	64.0	42.8	2.4	realizado
Varios	446	115.2	76.9	4.1	
Soya derecha	3,296	109.8	73.6	5.6	Verano 69
Varios	315	66.8	42.9	2.4	
Alfalfa	2,381	158.2	105.8	6.8	Perenes
Frutales	420	76.1	49.5	3.9	

Nota: Datos proporcionados por la S.R.H.

TABLA B.3

INDUSTRIAS DE LA REGION

Las Industrias establecidas en el Valle del Yaqui se dedican a la transformación primaria de los productos agrícolas, como por ejemplo: Molinos de Harina, Despepitadoras, Molinos de Aceite, Fábricas de Alimentos para aves y ganado y una importante cervecera, suficientes para surtir la demanda regional y en ciertos casos inclusive para remitir parte de su producción a los mercados del interior, pero la mayor parte de los productos agrícolas todavía salen como materia prima a beneficiarse cerca de los centros de consumo.

Algunas industrias metálicas dedicadas a la producción de cierto tipo de refacciones para los implementos agrícolas y numerosos talleres mecánicos dan el servicio necesario para el mantenimiento de la maquinaria agrícola.

Varias de las principales marcas de maquinaria agrícola tienen en Ciudad Obregón los concesionarios y distribuidores más importantes del País.

ACTIVIDAD INDUSTRIAL EN EL MUNICIPIO DE CAJEME.

M I L L A R E S D E P E S O S						
Número de establecim.	Personal ocupado - remunerado	Sueldos y salarios - pagados.	Capital invertido.	Ingresos brutos totales	Valor - total - insumos	Valor - agregado censal.
660	1679	15837	79247	76021	26912	49109

NOTA:

Únicamente una parte de los municipios de Navajoa, Etchojoa y Guaymas, pertenecen a la zona.

Los datos relativos a la porción de estos municipios que entran en el área, no aparecen en la tabla, ya que no se poseen datos parciales.

CONCLUSIONES

En la investigación realizada durante el desarrollo de este tema se han mostrado las partes importantes que cumplen con la planeación de los sistemas de riego, más sin embargo, no siempre es factible que los proyectos sean encaminados de acuerdo a lo planeado, y en nuestro país esto no es posible en ocasiones debido a situaciones de índole política, (como por ejemplo, los problemas que se tienen en la tenencia de la tierra) y económica, aunque de realizarse, el presente trabajo cumpliría con su objetivo ya que proporcionaría una guía de como llevarse a cabo dicha planeación.

Por otro lado, la importancia que se le da a la planeación para los sistemas de riego en este trabajo, está fundamentada en el ejemplo que se tiene de aquellos que actualmente funcionan con altos porcentajes de producción y que en la actualidad están abocados a efectuar un mantenimiento periódico a su red de canales y caminos, así como de llevar a cabo una programación de riegos de acuerdo al agua de que disponen en función de sus cultivos, es decir, cumplen con una organización bien definida por lo que pueden salvar con mayores ventajas los problemas que se pueden presentar por fenómenos hidrometeorológicos a diferencia de aquellos sistemas de riego no planeados adecuadamente.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- ANGULO, Bojorquez Alberto. Tesis: Sistema de Riego para el Valle localizado sobre la margen izquierda del Río Sinaloa.
- 2.- ALMONACI, Nava Julian. Planeación General del Distrito de Riego No.38 del Río Mayo en Navojoa Sonora. Memorandum Técnico No. 386, 1966.
- 3.- CAMACHO, Aldama Bonifacio. Estudio Agrológico Especial de Salinidad y Drenaje Agrícola Especial de Salinidad Agrícola del Distrito de Riego No24. Memorandum Técnico No. 3662, SARH.
- 4.- DOMINGUEZ, Garcia F. El Riego. Su implantación y su técnica. Ed. Dossat, S.A.
- 5.- ESPINOSA, Vicente Enrique. Los Distritos de Riego su Administración Operación y Conservación. Ed. C.E.C.S.A., 1964, 623p.
- 6.- ESPINOSA, Meneses Andres. Tesis: Tratado de Zonas de Riego. 1983, 864p.
- 7.- JOSEF, D. Zimmerman. El Riego. Ed. C.E.C.S.A.
- 8.- PEÑA, Ildelfonso de la. Metodología Establecida para la Determinación y Solución de los problemas de Drenaje en los Distritos de Riego de la Rep. Mexicana.
- 9.- ROBINSON, A.R. Clases de Canales o Tuberías para Riego. Memorandum Técnico, SARH.

- 10.- RAY, K. Linsley. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. Ed. C.E.C.S.A., 1982, 791p.
- 11.- SALMON, Colmenares Jesús. Tesis: Proyecto del Sistema de Riego de Chinitos y Pocitos en el Mpio. de Angostura, Sinaloa. Describiendolo en forma general y proyectando su sistema de derivación. 1965.
- 12.- S.A.R.H., Subsecretaría de Construcción Dirección General de Grande Irrigación, Dirección de Proyectos: Sistemas de Riego, Normas Generales de Diseño. México, 1971, V.II-1.
- 13.- S.A.R.H., Seminario Latino Americano de Irrigación, Río Yaqui. México, 1964.
- 14.- S.A.R.H., Congreso Internacional de Riego y Drenaje. México, D.F., 1969.
- 15.- S.A.R.H., Estudio Geohidrológico del Valle del Yaqui Sonora. (Distrito de Riego No.41)
- 16.- S.A.R.H., Prácticas para el control de malezas y empleo de herbicidas químicos para complementar la conservación de los drenes del Distrito del Río Yaqui Sonora. México, D.F., 1º nov./1965.
- 17.- S.A.R.H., Comisión Nacional de Irrigación. Estudio sobre las obras necesarias para el aprovechamiento en riego de las aguas del Río Yaqui Sonora. México, D.F., 1945.
- 18.- S.A.R.H., Memorandum Técnico No.3848.

- 19.- S.A.R.H., Memorandum Técnico No.3695.
- 20.- S.A.R.H., Memorandum Técnico No.227.
- 21.- S.A.R.H. Distrito de Riego No.41 Río Yaqui. Memorandum Técnico No.172.
- 22.- S.A.R.H. Distrito de Riego No.41 Río Yaqui. Memorandum Técnico No.63.
- 23.- S.A.R.H. Distrito de Riego No.41 Río Yaqui. Memorandum Técnico No.186.
- 24.- S.A.R.H. Proyectos de Zonas de Riego. Dirección de Proyectos de irrigación. Departamento de Canales. 1973. 713p.
- 25.- S.A.R.H. Una aportación para el proyecto y construcción de Zonas de Riego, Interpretación Selección y Elaboración de Especificaciones. Dirección de Proyectos de Irrigación y Control de Ríos, Depto. de Canales.
- 26.- S.A.R.H. Instructivo para Riego por Superficie. Irrigación y Control de Ríos, Dirección de Pequeña Irrigación. México,D.F., 1970.
- 27.- S.A.R.H. Manual para proyectos de Pequeñas Obras Hidráulicas para Riego y Abrevadero. Instructivo de campo, Instructivo de Gabinete. Colegio de Postgraduados, Chapingo,México, 1977.

- 28.- S.A.R.H. Guía para la Operación de Distritos de Riego.
Memorandum Técnico No.367.
- 29.- S.A.R.H. Subsecretaria de Operación. Metodología Establecida para la Determinación de los Distritos de Riego.
- 30.- S.A.R.H. Río Yaqui Sonora. Memorandum Técnico No.3856
- 31.- TORRES, Herrera T. Obras Hidráulicas. Ed. Limusa, 1980
276p.