



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo del 50% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el período de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

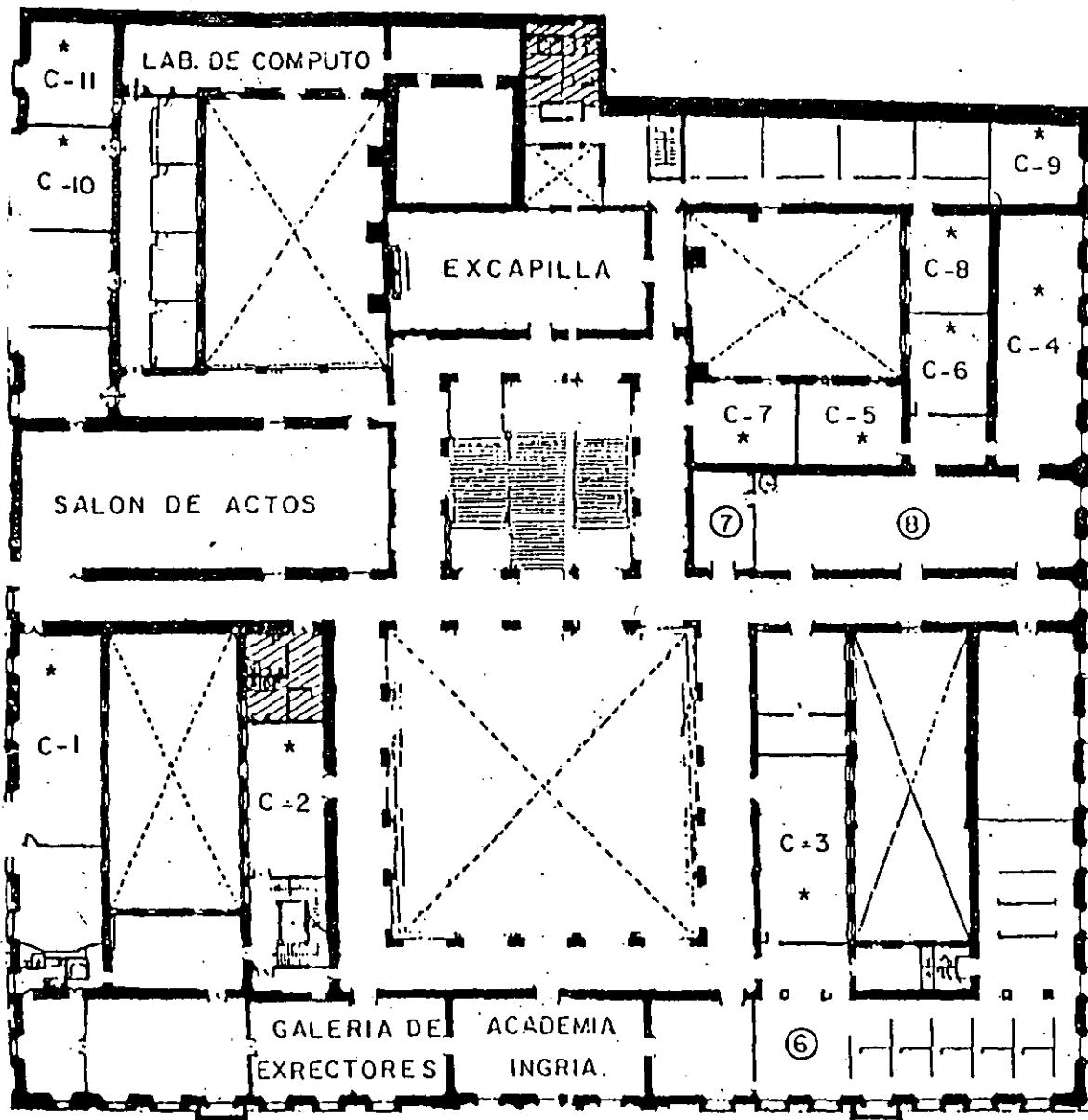
Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**¡ GRACIAS !**



## GUIA DE LOCALIZACION

- 1 - ACCESO
- 2 - BIBLIOTECA HISTORICA
- 3 - LIBRERIA U N A M
- 4 - CENTRO DE INFORMACION Y DOCUMENTACION "ING. BRUNO MASCANZONI"
- 5 - PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACION
- \* AULAS
- 6 - OFICINAS GENERALES
- 7 - ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA.
- 8 - SALA DE DESCANSO
- ▨ SANITARIOS

**1er. PISO**

VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MODULO 3

10 AL 14 DE OCTUBRE DE 1994

DIA	HORA	TEMA	PROFESOR
LUNES 10	9:00 A 11:00	GENERALIDADES SOBRE MODELOS MATEMATICOS	ING. RUBEN CHAVEZ GUILLEN
	11:00 A 14:00	TEORIA	ING. FEDERICO MEIXUEIRO
	16:00 A 19:00	INTRODUCCION A LAS MICROCOMPUTADORAS	
MARTES 11	9:00 A 14:00	MODELO DE FLUJO PLASM	ING. DAVID GLEZ. POSADAS
	16:00 A 19:00	MODELOS EN GEOHIDROLOGIA	ING. RAUL MEJIA
MIERCOLES 12			
JUEVES 13	9:00 A 14:00	MODELO DE FLUJO	ING. GUILLERMO HERNANDEZ
	14:00 A 19:00	MODFLOW	ING. RODRIGO MEDINA
VIERNES 14	9:00 A 11:00	MODELOS GEOFISICOS	ING. ALFONSO ALVAREZ M.
	11:00 A 14:00	MODELOS DE TRANSPORTE	ING. JUAN M. LESSER ILLADES
	14:00 A 19:00	MESA REDONDA	

## EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: Módulo III: Modelos en Geohidrología y Contaminación de Acuíferos  
 FECHA: Del 10 al 14 de octubre de 1994.

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
Ing. Rubén Chávez Guillén				
Ing. Federico Meixueiro				
Ing. David González Posadas				
Ing. Raúl Mejía				
Ing. Guillermo Hernández				
Ing. Rodrigo Medina				
Ing. Alfonso Alvarez M.				
Ing. Juan M. Lesser Illades				

### EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

ORGANIZACION Y DESARROLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL CURSO	
ACTUALIZACION DEL CURSO	
APLICACION PRACTICA DEL CURSO	

### EVALUACION DEL CURSO

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

1.- ¿LE AGRADO SU ESTANCIA EN LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA?

SI	NO
----	----

SI INDICA QUE "NO" DIGA PORQUE.

2.- MEDIO A TRAVES DEL CUAL SE ENTERO DEL CURSO:

PERIODICO EXCELSIOR		FOLLETO ANUAL		GACETA UNAM		OTRO MEDIO	
PERIODICO EL UNIVERSAL		FOLLETO DEL CURSO		REVISTAS TECNICAS			

3.- ¿QUE CAMBIOS SUGERIRIA AL CURSO PARA MEJORARLO?

---

---

4.- ¿RECOMENDARIA EL CURSO A OTRA(S) PERSONA(S)?

SI		NO	
----	--	----	--

5.- ¿QUE CURSOS LE SERVIRIA QUE PROGRAMARA LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA.

---

---

6.- OTRAS SUGERENCIAS:

---

---



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO III: MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**MODELOS MATEMATICOS**

**ING. OSCAR A. ESCOLERO FUENTES**

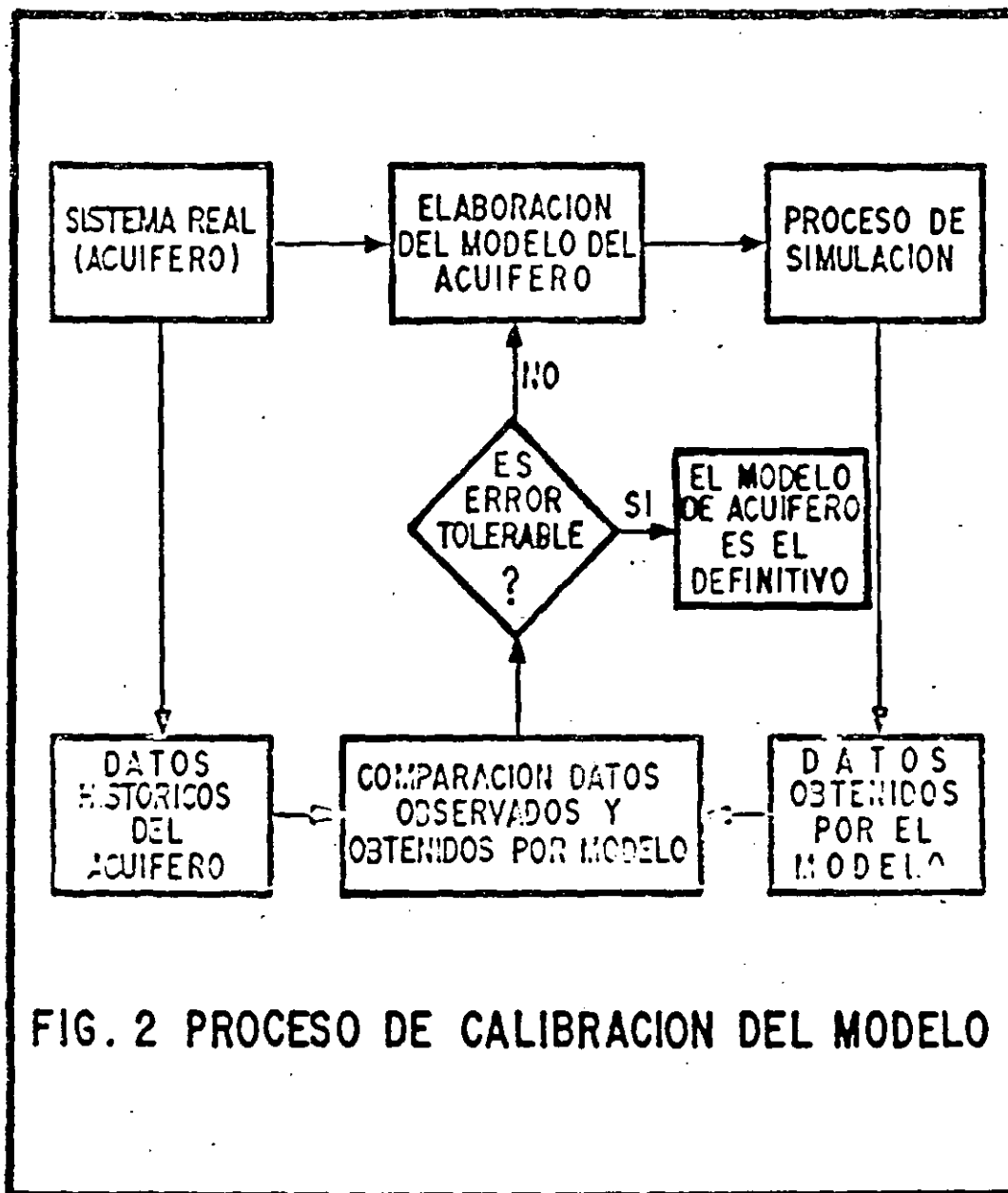


FIG. 2 PROCESO DE CALIBRACION DEL MODELO

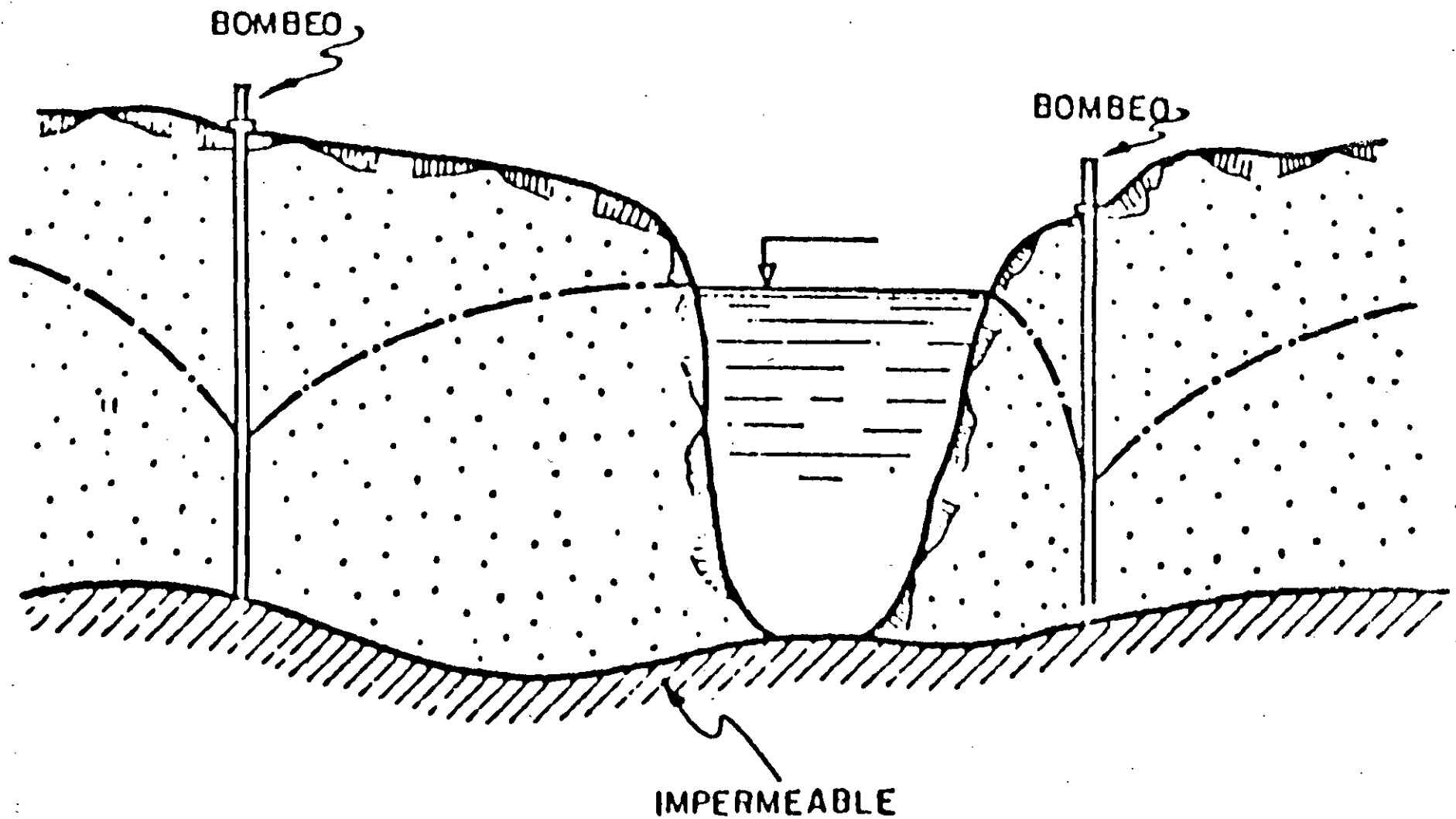


Fig. 2.6. — Efecto producido por un borde de nivel constante totalmente penetrante y con conexión hidráulica perfecta.



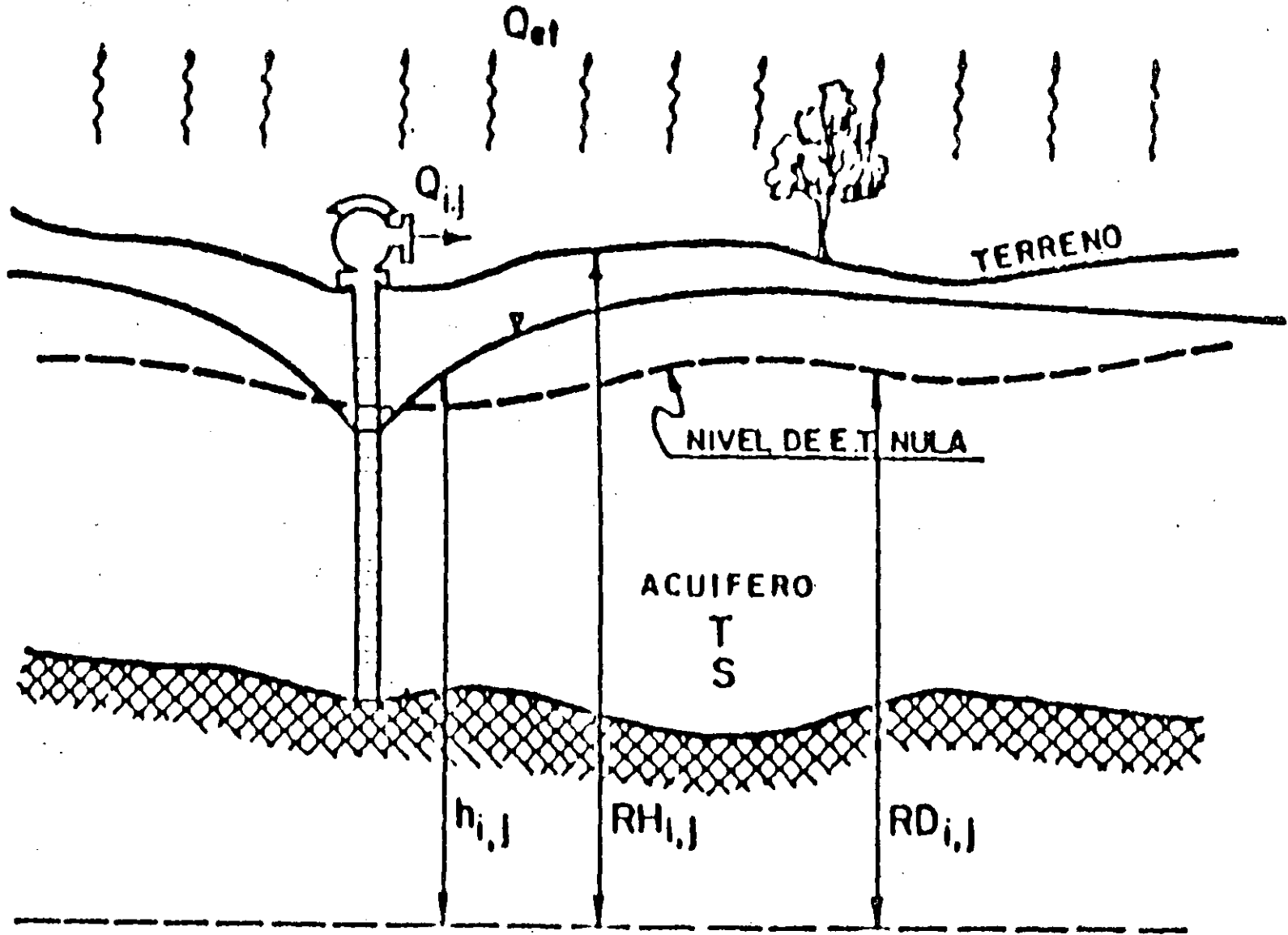
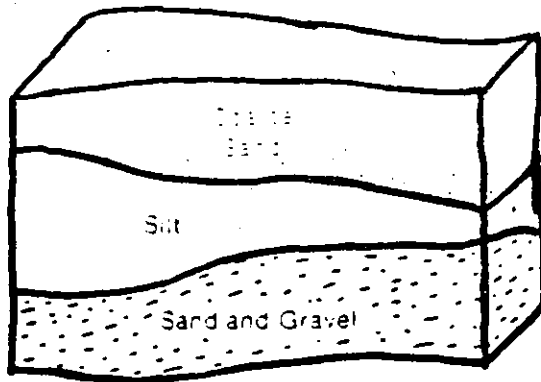
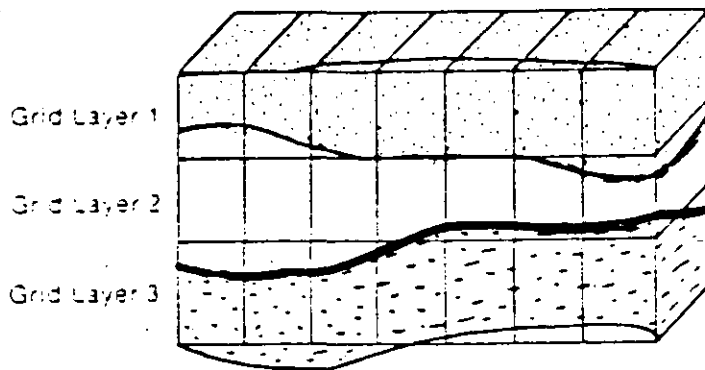


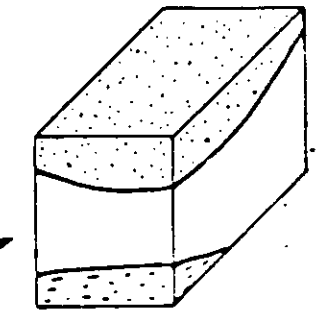
Fig. 4.5. — Esquema de acuífero con evapotranspiración (según Prickett y Lonngquist, 1971).



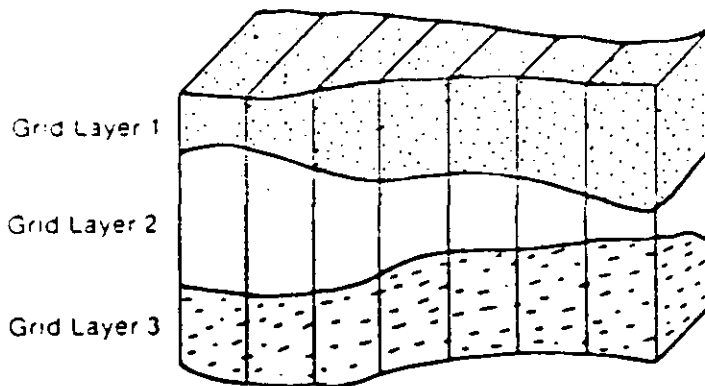
(a) Aquifer Cross Section



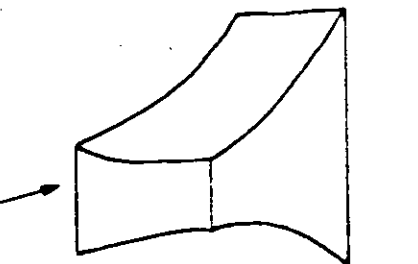
(b) Aquifer Cross Section With Rectilinear Grid Superimposed



Cell Contains Material from Three Stratigraphic Units. All Faces Are Rectangles

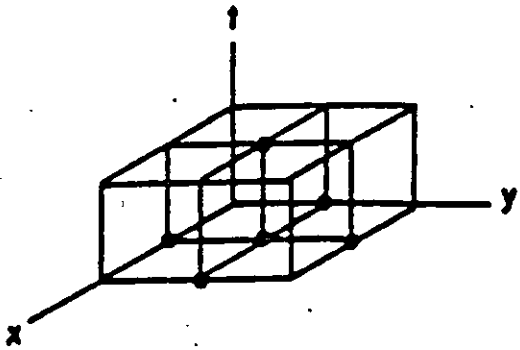


(c) Aquifer Cross Section With Deformed Grid Superimposed

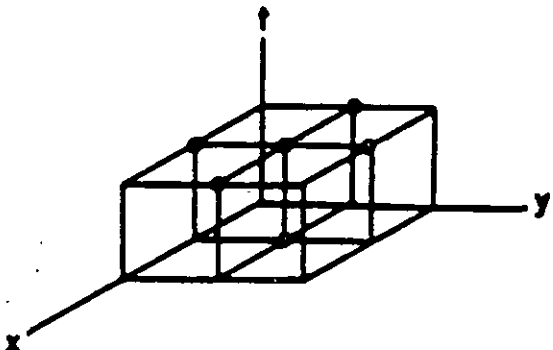


Cell Contains Material from Only One Stratigraphic Unit. Faces Are Not Rectangles

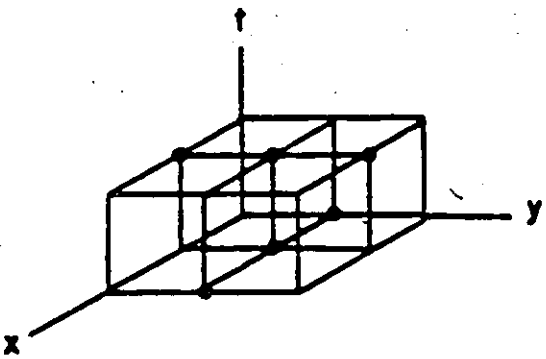
Figure 9.—Schemes of vertical discretization.



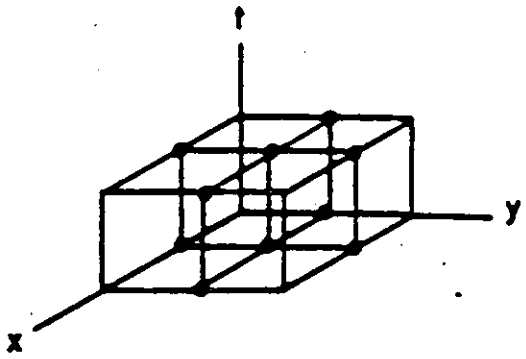
Forward Difference Explicit



Backward Difference Implicit.



Alternating Direction Implicit



Crank-Nicolson Implicit

Figure 18. Various time-integration schemes.

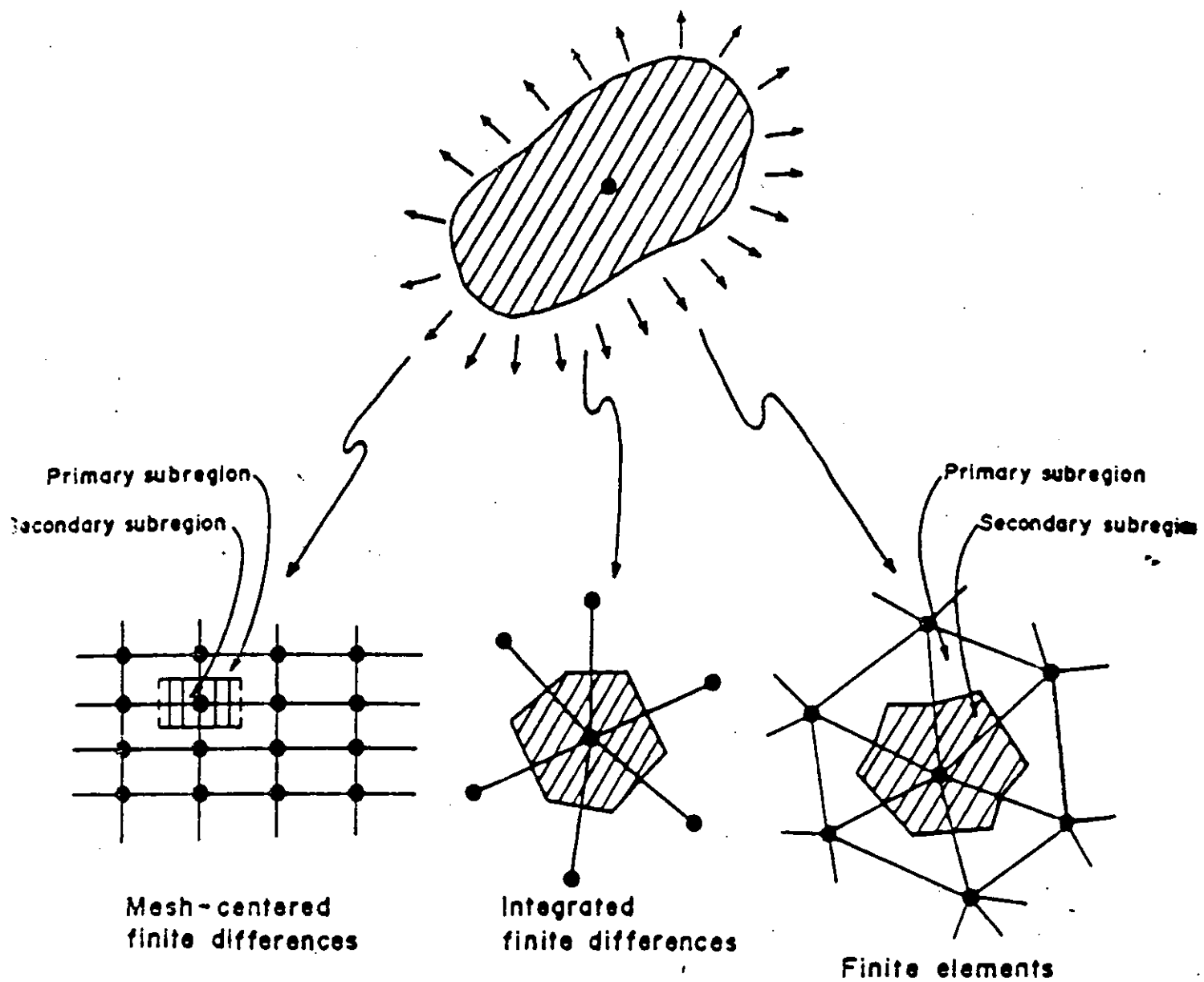


Figure 13. Primary and secondary subregions for three numerical schemes. (Modified after Narasimhan, 1977.)

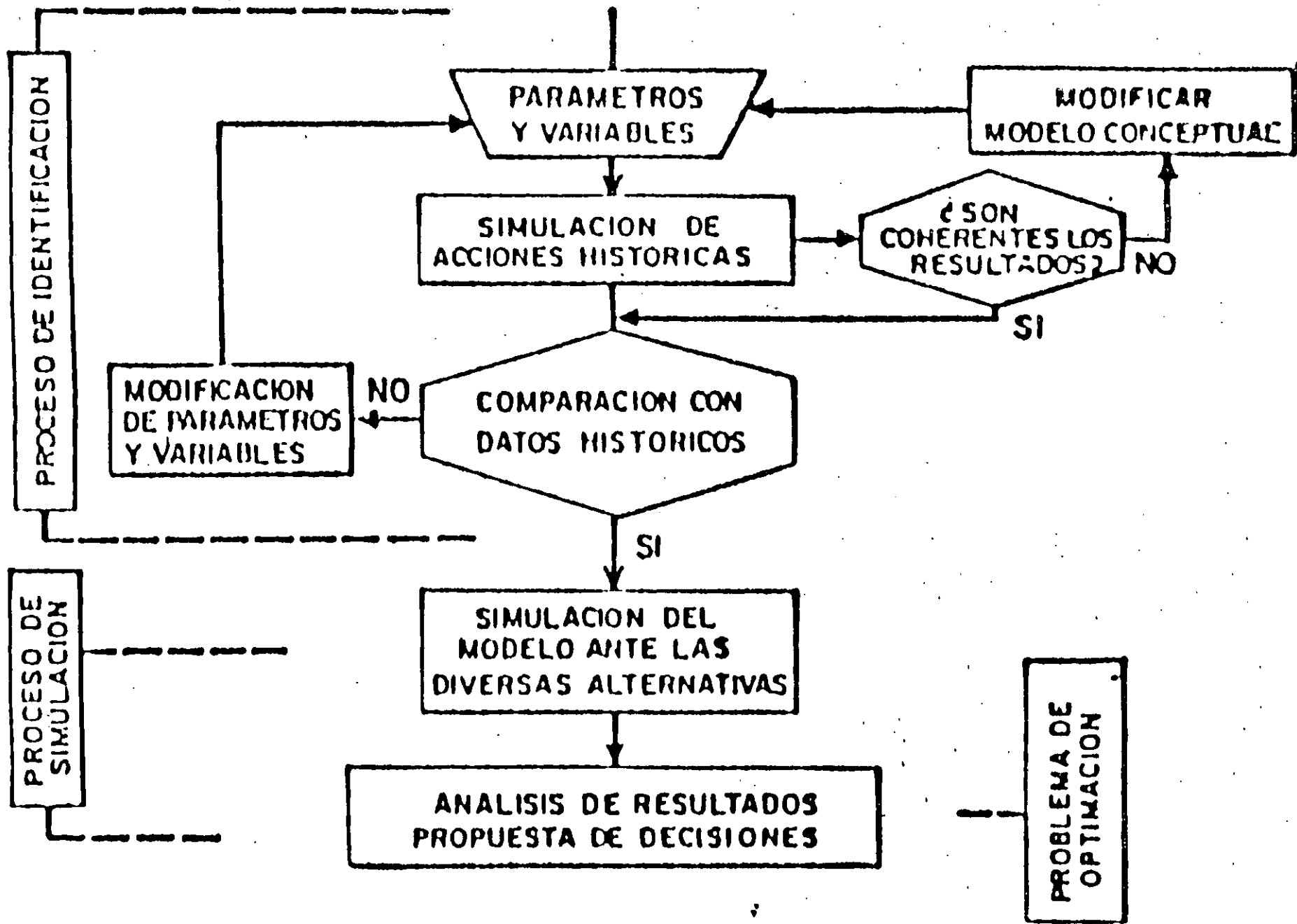


Fig. 4. — procesos de calibración y simulación.

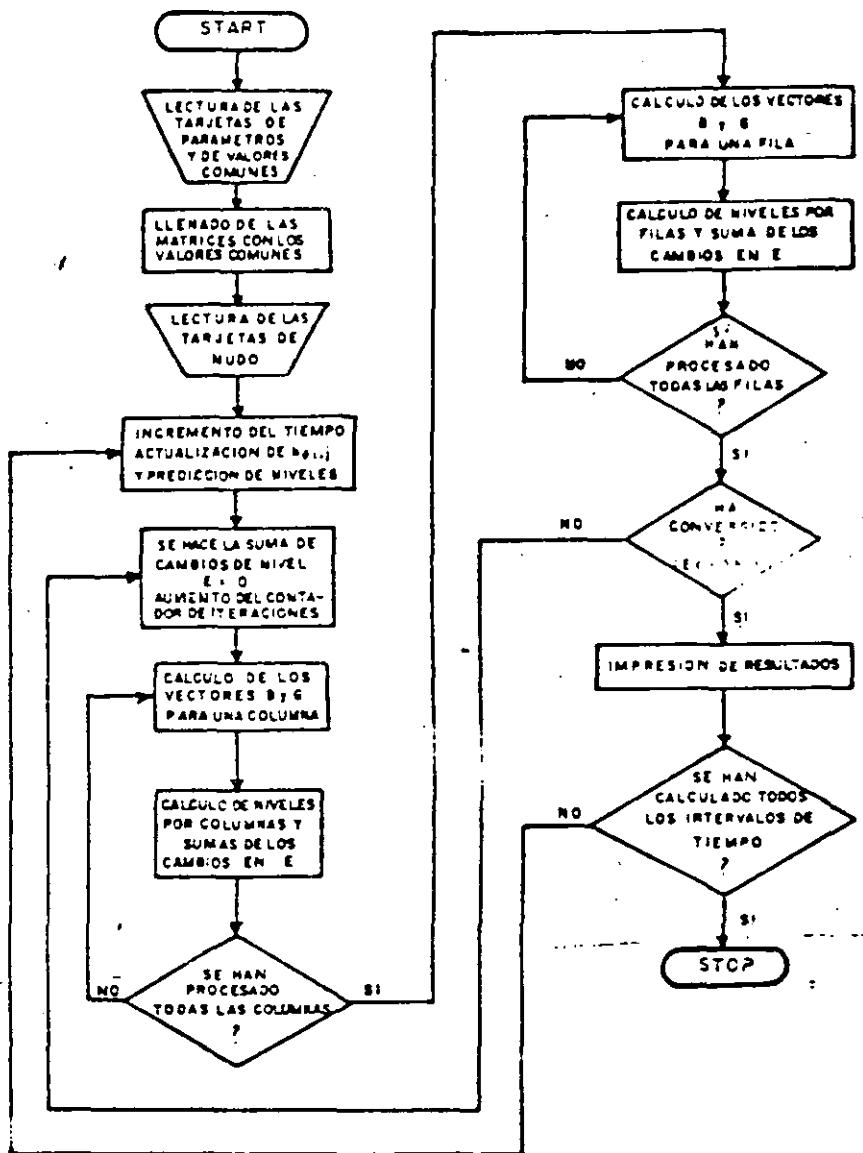


Fig. 10.—Organigrama del programa básico de simulación.  
DE DIFERENCIAS FINITAS

**TABLA — Datos necesarios para un modelo**

<b>GEOMETRÍA DEL SISTEMA</b> (para construcción)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cotas de la base y del techo.</li> <li>Situación de los límites.</li> </ul>
<b>CARACTERÍSTICAS</b> <b>HIDRÁULICAS</b> (para construcción)	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>k</math>, permeabilidad. A veces <math>T</math>, transmitividad.</li> <li><math>k_h/k_v</math>, anisotropía.</li> <li><math>m</math>, porosidad eficaz.</li> <li><math>S</math>, coeficiente de almacenamiento.</li> <li><math>B</math>, factor de goteo; <math>c</math>, resistencia.</li> <li>Inf., capacidad de infiltración.</li> </ul>
<b>FUNCIONAMIENTO</b> <b>HIDRÁULICO</b> (para construcción y ajuste)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Áreas de recarga y descarga.</li> <li>Relaciones } entre acuíferos.</li> <li>                  } con aguas superficiales.</li> <li>Condiciones en los límites.</li> </ul>
<b>ACCIONES SOBRE EL SISTEMA</b> (en período de ajuste)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infiltración lluvia (1). Balances generales.</li> <li>Pérdidas por evapotranspiración.</li> <li>Infiltración excedente de riego.</li> <li>Recarga } cursos de agua <math>Q</math> o <math>h</math>.</li> <li>          } masas de agua <math>Q</math> o <math>h</math>.</li> <li>          } puntos de agua <math>Q</math>.</li> <li>          } otros acuíferos <math>Q</math> o <math>h</math>.</li> </ul>
<b>RESPUESTA A LAS ACCIONES</b> (en período de ajuste)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superficies piezométricas (1).</li> <li>Hidrogramas.</li> </ul>
<b>LEYES HIDROLÓGICAS</b> (para explotación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evolución bombeos y recargas.</li> <li>Evolución infiltración lluvia.</li> <li>Evolución infiltración excedentes de riego.</li> <li>Evolución ríos y canales (<math>Q</math>, <math>h</math>, <math>\\$/m^2</math>, <math>\\$/P</math>).</li> <li>Evolución masas de agua.</li> <li>Evolución acuíferos vecinos.</li> </ul>

(1) En el tiempo y en el espacio.  
 $Q$  = caudales;  $h$  = alturas.

TABLA 5.2. — *Obtención de datos para un modelo*

INVENTARIO	}	<p>Prepararlo.          Buscar en archivos.          Obtener datos en campo y en encuestas.          Interpretar los datos y filtrarlos.          Sintetizar los datos.</p>
INVENTARIO DE:		
<p>pozos          fuentes          manantiales          galerías.</p> <p>aforos          caudales          niveles de agua superficial          niveles de agua subterránea          recargas en pozos y piezómetros</p>	<p>geología          informes          topografía          topometría</p>	<p>pluviometría          escurritia          evaporación          meteorología</p> <p>composición química del agua          explotación          vertidos          planes de ordenación.</p>
DATOS COMPLEMENTARIOS	}	<p>Sondeos.          Pozos experimentales.          Periodo de observación.          Estaciones de aforo e hidrometeorológicas.          Etcétera.</p>

NOTAS:

- El inventario ahorra mucho tiempo y dinero.
- El inventario es la única fuente de datos históricos.
- No encargar el inventario a inexpertos o a desiduosos.



TABLA 5.3. — Métodos de obtención de datos para un modelo.

		Costa	Representatividad
GEOMETRÍA	Sondeos.		
	Cartografía geológica e hidrogeológica (complementaria con la geofísica).		
	Observación de superficies piezométricas.		
	Deducciones ensayos de bombes e hidrogramas.		
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS	Ensayos de bombeo ( $k, k_h/k_v, S, m, B$ ).	Caros	Buena
	Ensayos de descenso ( $k$ ).	Baratos	Regular
	Ensayos en piezómetros ( $k, k_h/k_v$ ).	Baratos	Regular
	Permeímetros ( $k (k_h/k_v)$ ).	Baratos	Pobre
	Granulometría ( $k, (m?)$ ).	Baratos	Pobre
	Trazadores ( $m, k$ ).	Caros	Buena
	Balances ( $m$ ).	Baratos	Buena
	Neutrónicos ( $m, humedad$ ).	Baratos	Buena
	Eficiencia a la marea barométrica ( $S$ ).	Baratos	Buena
	Métodos ambientales con tritio, radiocarbono, isótopos del H y O, análisis ( $k, B (m), Inf$ ).	Baratos	Regular
FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO	Superficies piezométricas.		
	Hidrogramas.		
	Trazadores.		
	Métodos geohidroquímicos y ambientales.		
ACCIONES	Medidas hidrometeorológicas. (Cuidado con balances.)		
	Medidas foronómicas.		
	Medidas químicas.		
	Medidas piezométricas.		
	Análisis estadístico y cálculo.		
RESPUESTAS	Piezometría.		
	Aforos.		
	(Cuidado con el tipo del piezómetro.)		

**TABLA 5.4. — Presentación de los datos para un modelo**

<b>GEOMÉTRICOS</b>	Mapas con curvas de nivel y cortes complementarios.
<b>FÍSICOS</b>	Mapas con isolíneas (con cotas); indicar la validez y representatividad.
<b>ACCIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>{ Planos de aportaciones distribuidas.</li> <li>{ Planos de situación de puntos.</li> <li>{ Listas de extracciones en cada punto.</li> <li>{ Hidrogramas complementarios.</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">Dar un dato por cada intervalo de ajuste.</p>
<b>RESPUESTA A LAS ACCIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>{ Planos de isoplezas (uno por intervalo).</li> <li>{ Hidrogramas complementarios.</li> </ul>
<b>LEYES GENERALES</b>	Similar a los anteriores en lo que sea necesario o con fórmulas.

**NOTAS:**

- Procurar que los datos sean directamente utilizables.
- Señalar la confianza de los datos.
- Los datos geométricos y de niveles no se reglan ni se modifican. ¡Cuidado con los errores topográficos!
- Los planos de isolíneas permiten expresar mejor los conocimientos del hidrólogo.
- No dibujar líneas a estima y después deducir de ellas conclusiones, como si fuesen exactas.



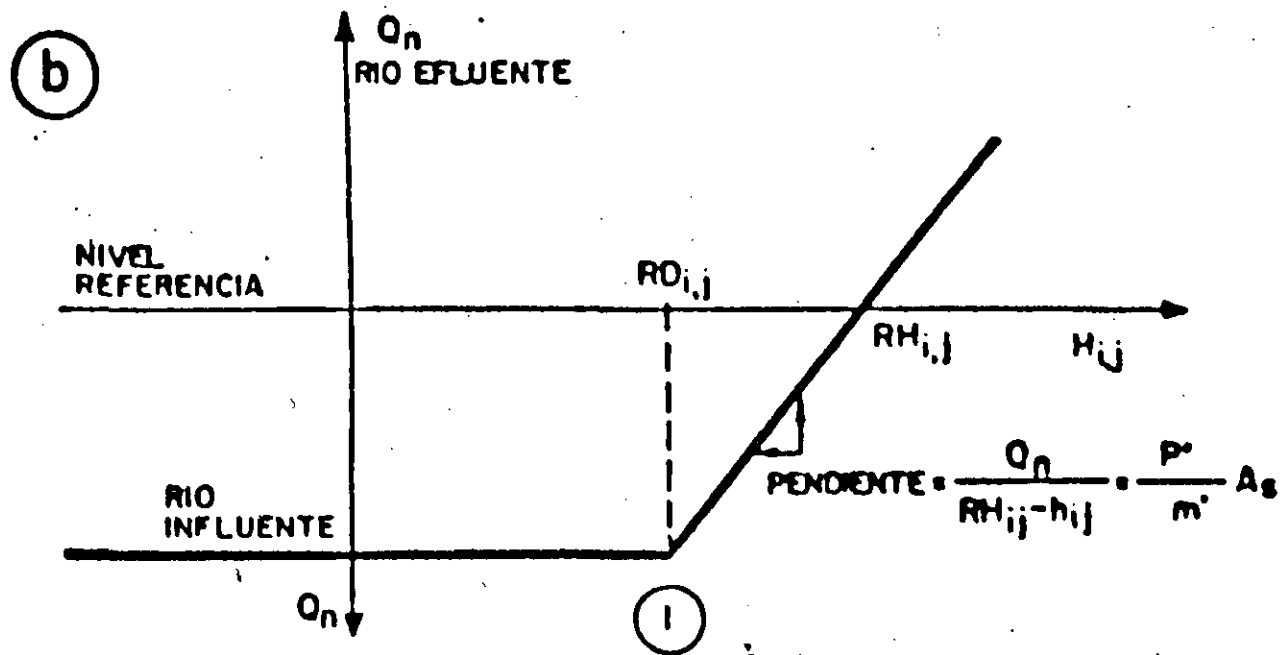
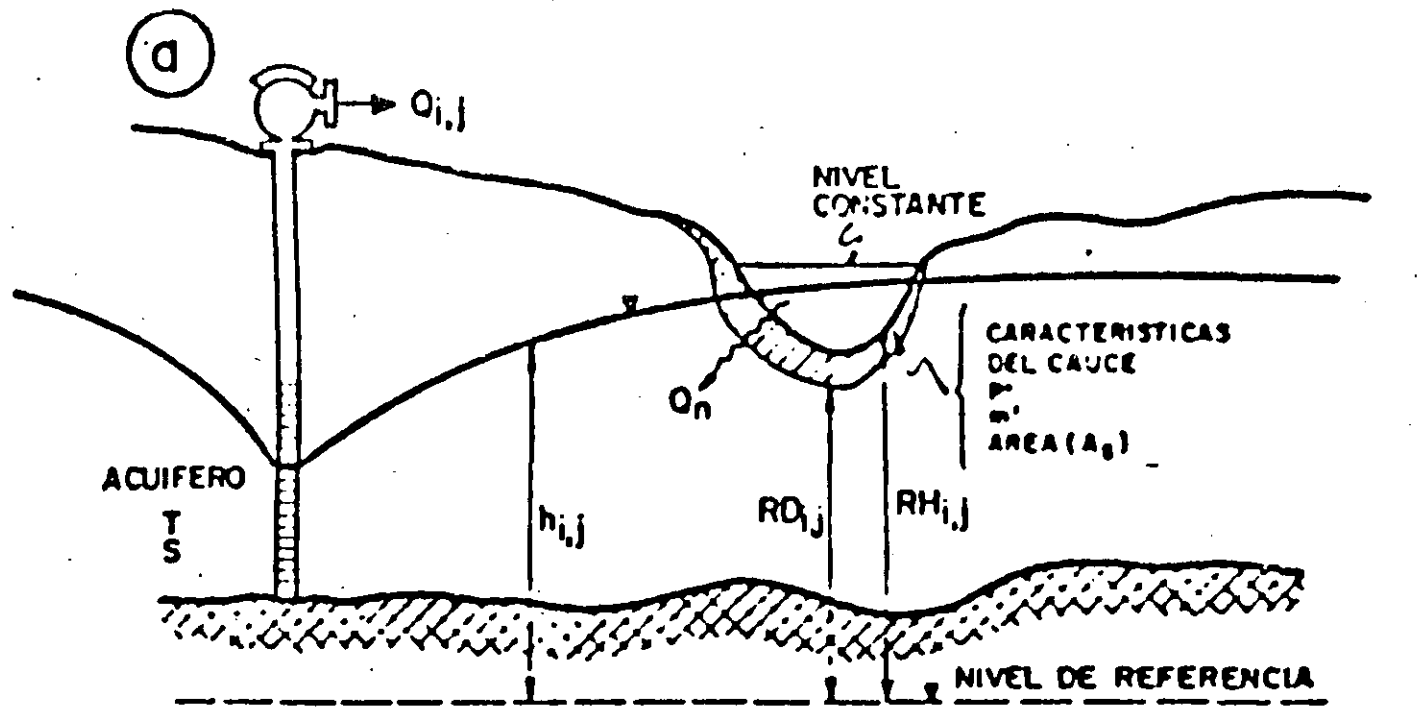
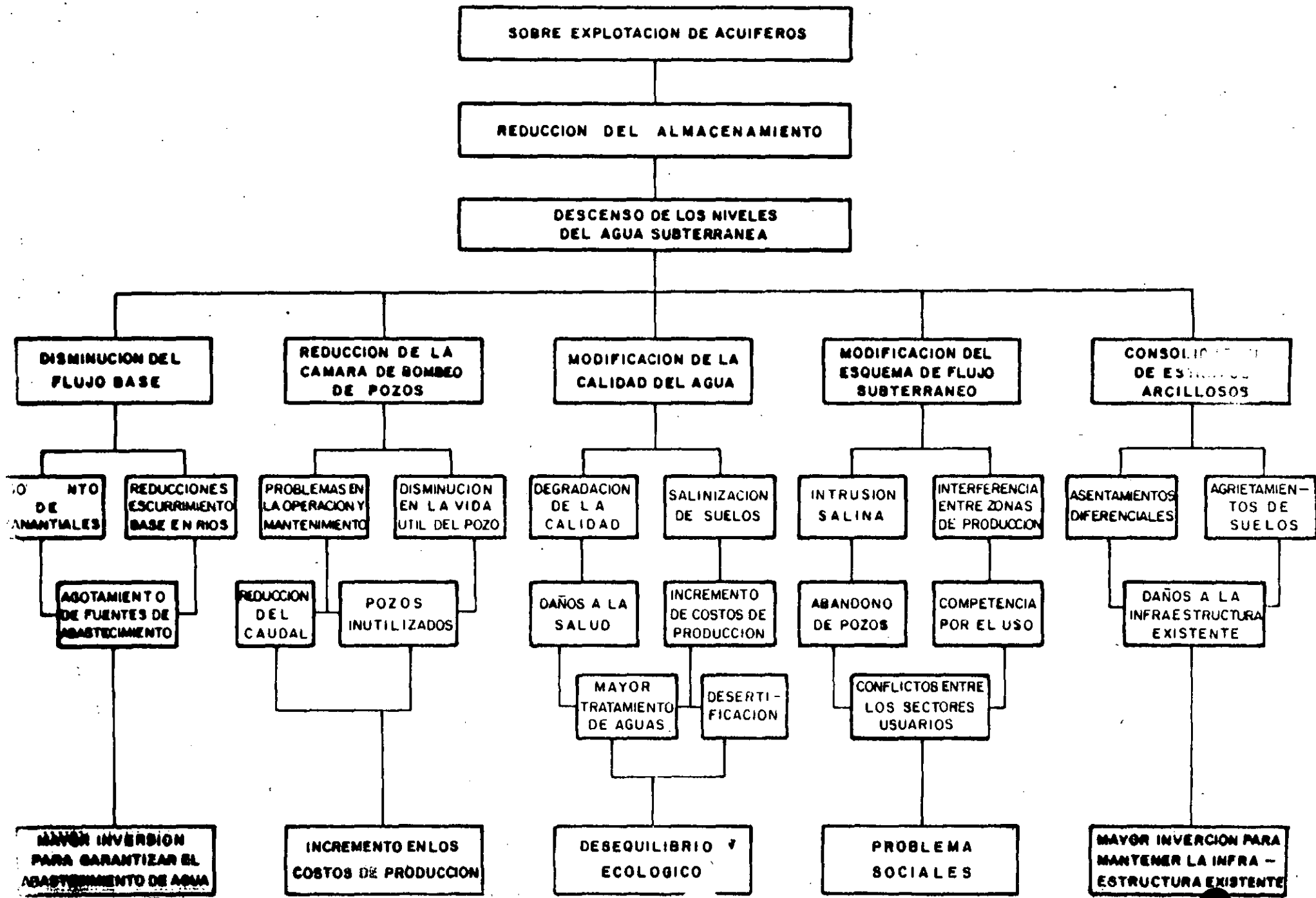


Fig. 4.2. — Esquema del acuífero con infiltración inducida (a) y caudal infiltrado en función del nivel (b) (según Prickett y Lonquist, 1971).

FIGURA - 3



### 5.3 LEY DE DARCY EN FORMA VECTORIAL

La componente del vector velocidad ( $v$ ) en el sistema de coordenadas  $x, y, z$  son  $V_x, V_y, V_z$ . En un punto particular del dominio de flujo la ley de Darcy aparece como:

$$V_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{xy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{xz} \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$V_y = -K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{yz} \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$V_z = -K_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{zy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}$$

Es en forma matricial

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\partial h / \partial x \\ -\partial h / \partial y \\ -\partial h / \partial z \end{bmatrix}$$

A la matriz se le conoce como tensor de conductividad hidráulica, y es simétrica debido a que  $K_{xy} = K_{yx}$ ,  $K_{xz} = K_{zx}$  y  $K_{yz} = K_{zy}$ .

Existe un conjunto de coordenadas en que los términos fuera de la diagonal se vuelven cero. A estas coordenadas se les llama "Coordenadas Principales", y en la práctica las coordenadas  $x, y, z$ , se orientan a lo largo de las coordenadas principales.

Así, en términos de las coordenadas principales:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\partial h / \partial x \\ -\partial h / \partial y \\ -\partial h / \partial z \end{bmatrix}$$

$$V_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$V_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$V_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

## VI. ECUACIONES DE FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA.

A continuación se derivarán las ecuaciones de flujo de agua subterránea, reconociendo primeramente la existencia de dos regímenes de flujo: el estado estacionario y el estado transitorio.

### 6.1 ESTADO ESTACIONARIO.

Consideremos un volumen de medio poroso tal como el que se muestra en la figura 8. A tal elemento se le conoce como "Volumen elemento de control". La ley de la conservación de masa para el flujo en el estado estacionario através de un medio poroso saturado estipula que la rapidez de flujo de masa del fluido que entra a cualquier volumen de control sea igual a la rapidez de flujo de masa del fluido que sale de este volumen.

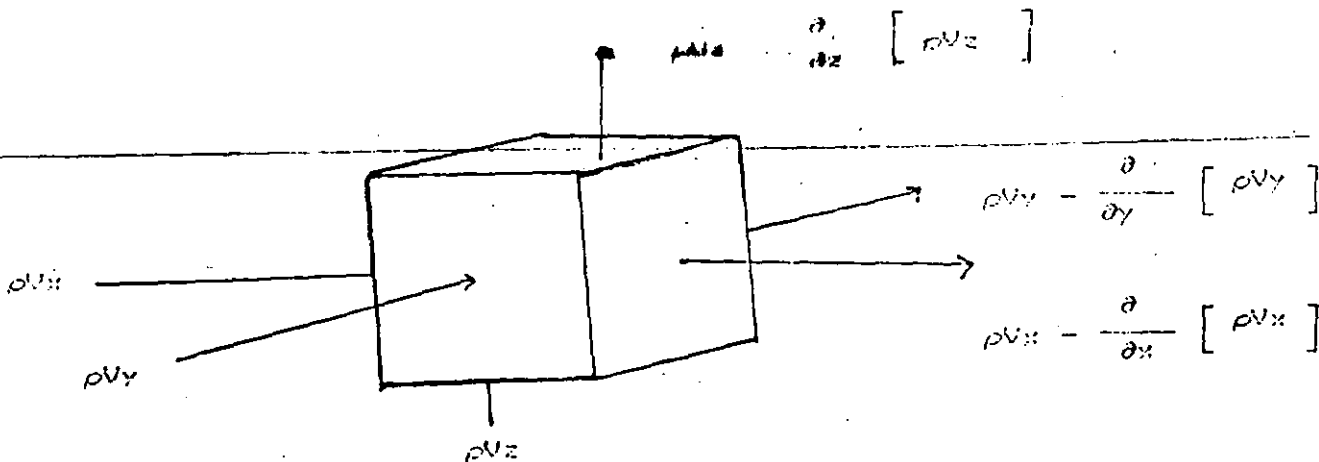


figura No.8

La expresión matemática de esta ley viene a ser "La ecuación de continuidad", que con referencia a la figura 8 establece:

$$\frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0$$

En donde:  $\rho$  = densidad del fluido  
 $V_x$  = descarga específica en la dirección x  
 $V_y$  = descarga específica en la dirección y  
 $V_z$  = descarga específica en la dirección z

Si el fluido es incompresible,  $\rho = \text{constante}$  y las  $\rho$  se pueden eliminar, la ecuación se simplifica a:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

Sustituyendo en esta expresión las descargas  $V_x$ ,  $V_y$  y  $V_z$  de acuerdo con la ley de Darcy, se obtiene la ecuación de flujo en estado estacionario a través de un medio poroso anisótropo y saturado.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right] = 0$$

En un medio isótropo,  $K_x=K_y=K_z=K$ , y si el medio es también homogéneo, entonces  $K(x,y,z) = \text{constante}$ . La ecuación se reduce entonces a la ecuación de flujo en estado estacionario a través de un medio isótropo y homogéneo.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Conocida también como la "Ecuación de Laplace". La solución de esta ecuación es una función  $h(x,y,z)$  que describe el valor de la carga hidráulica en todo punto de un campo de flujo tridimensional. En un campo de flujo bidimensional, digamos en el plano x-y, el tercer término de la ecuación se elimina, y la solución será una función  $h(x,y)$ .

## 6.2 ESTADO TRANSITORIO

La ley de conservación de masa para el flujo en estado transitorio en un medio poroso saturado estipula que la rapidez neta de flujo de masa de fluido hacia el volumen elemental de control sea igual a la rapidez de cambio del almacenamiento de masa de fluido dentro del elemento. Con referencia a la figura 8, la ecuación de continuidad toma la forma.

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_z) = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

En donde  $S_s$  es el almacenamiento específico del medio saturado. ~~Considerando el fluido incompresible e insertando la ley de Darcy~~ obtenemos:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right] = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Esta es la ecuación de flujo transitorio a través de un medio poroso anisótropo y saturado. Si el medio es homogéneo e isótropo, la ecuación se reduce a:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

En 1935, C.V. Theis presentó una solución de la ecuación anterior, con la ayuda de C.I. Lubin, quien desarrolló la ecuación para el caso de una fuente puntual continua en los problemas de conducción de calor.



Siendo la ecuación de Theis la siguiente:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \int_0^{\omega} \left[ \frac{e^{-u}}{u} \right] du$$

En donde:

a: abatimiento =  $h_2 - h_1$

Q: caudal de bombeo permanente

T: transmisividad

r: distancia desde el pozo de bombeo al punto donde se observa el abatimiento a.

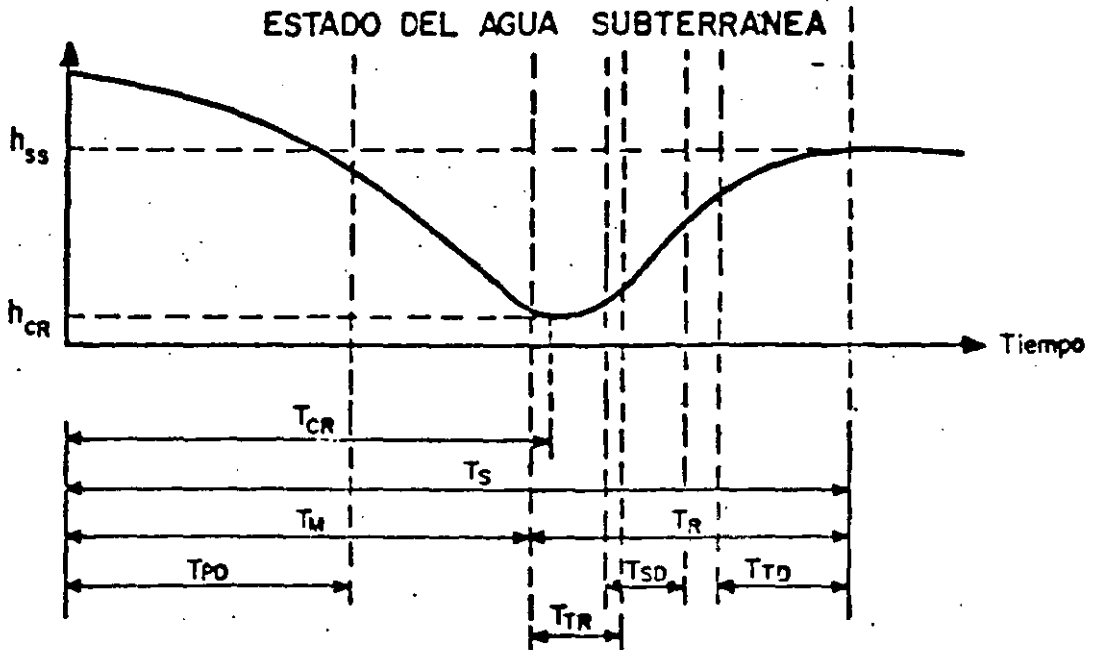
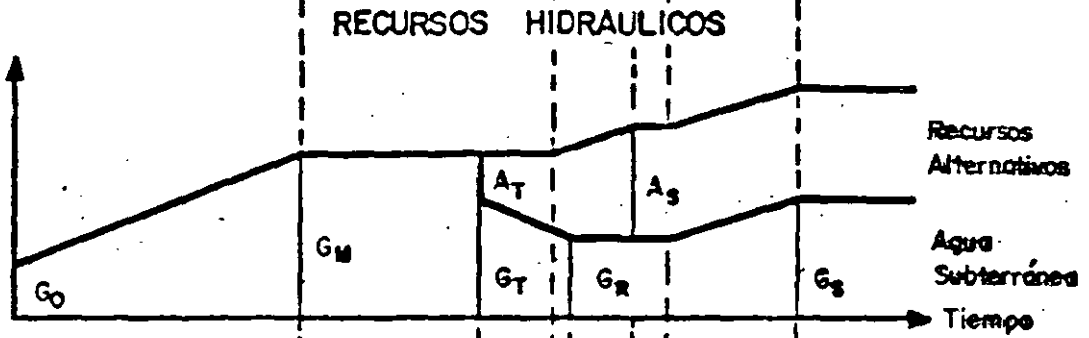
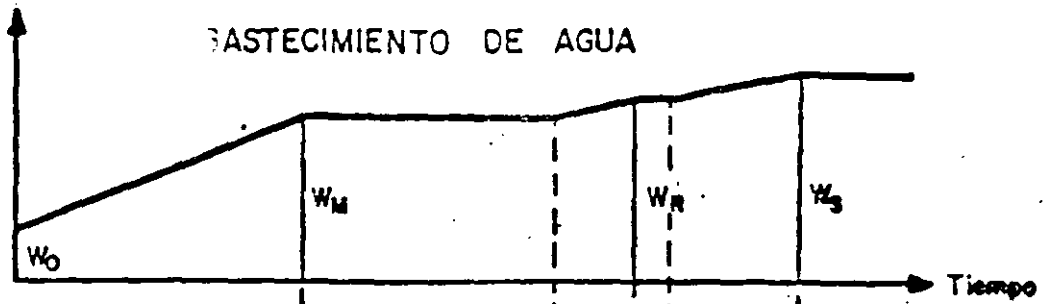
S: coeficiente de almacenamiento.

t: tiempo desde el comienzo de bombeo.

$$u: \text{variable de integración} = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

La ecuación anterior no puede integrarse directamente, pero el valor de a puede obtenerse de la serie infinita.

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \dots \right]$$



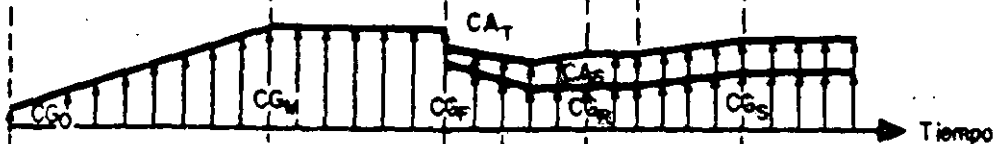
ETAPAS	SOBREEXPLOTACION		RECUPERACION		ESTABILIDAD
ABASTECIMIENTO DE AGUA	DESARROLLO PRIMARIO		DESARROLLO SECUN-DARIO	DESARROLLO TERCARIO	
EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA.	TRANSICION A RENDIMIENTO DE SOBREEXPLOTACION	RENDIMIENTO DE SOBREEXPLOTACION	TRANSICION A RENDI-MIENTO SEGURO	TRANSICION A RENDI-MIENTO SEGURO	RENDIMIENTO SEGURO
RECURSOS ALTERNATIVOS	PLANEACION	CONSTRUCCION	MANU-TENCION	OPERACION	

LAMINA 15 . ETAPAS DE UN PROYECTO DE DESARROLLO DEL AGUA SUBTERRANEA

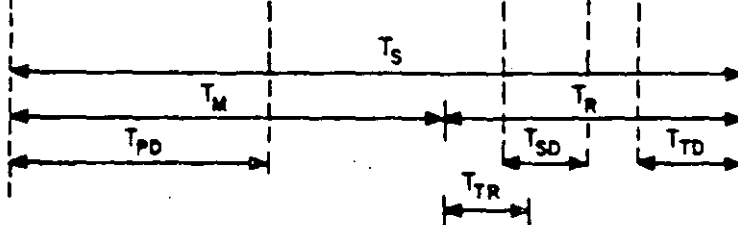
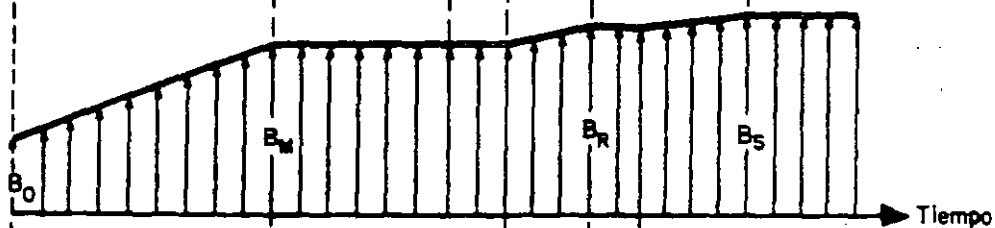
A- COSTOS DE INVERSION



B- COSTOS DE OPERACION



C- BENEFICIOS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA



ETAPAS	SOBREEXPLOTACION		RECUPERACION		ESTABILIDAD
PROVISION DE AGUA	DESARROLLO PRIMARIO		DESARROLLO SECUNDARIO	DESARROLLO TERCARIO	
EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA	TRANSICION A RENDIMIENTO DE SOBREEXPLOTACION	RENDIMIENTO DE SOBREEXPLOTACION	TRANSICION A RECUPERACION	TRANSICION A REND. SEGURO	RENDIMIENTO SEGURO
RECURSOS ALTERNATIVOS	PLANEACION	CONSTRUCCION	MADURACION		

LAMINA 16 . DIAGRAMAS DE FLUJO DEL EFECTIVO DE UN PROYECTO DE DESARROLLO DE AGUA SUBTERRANEA



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO III: MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

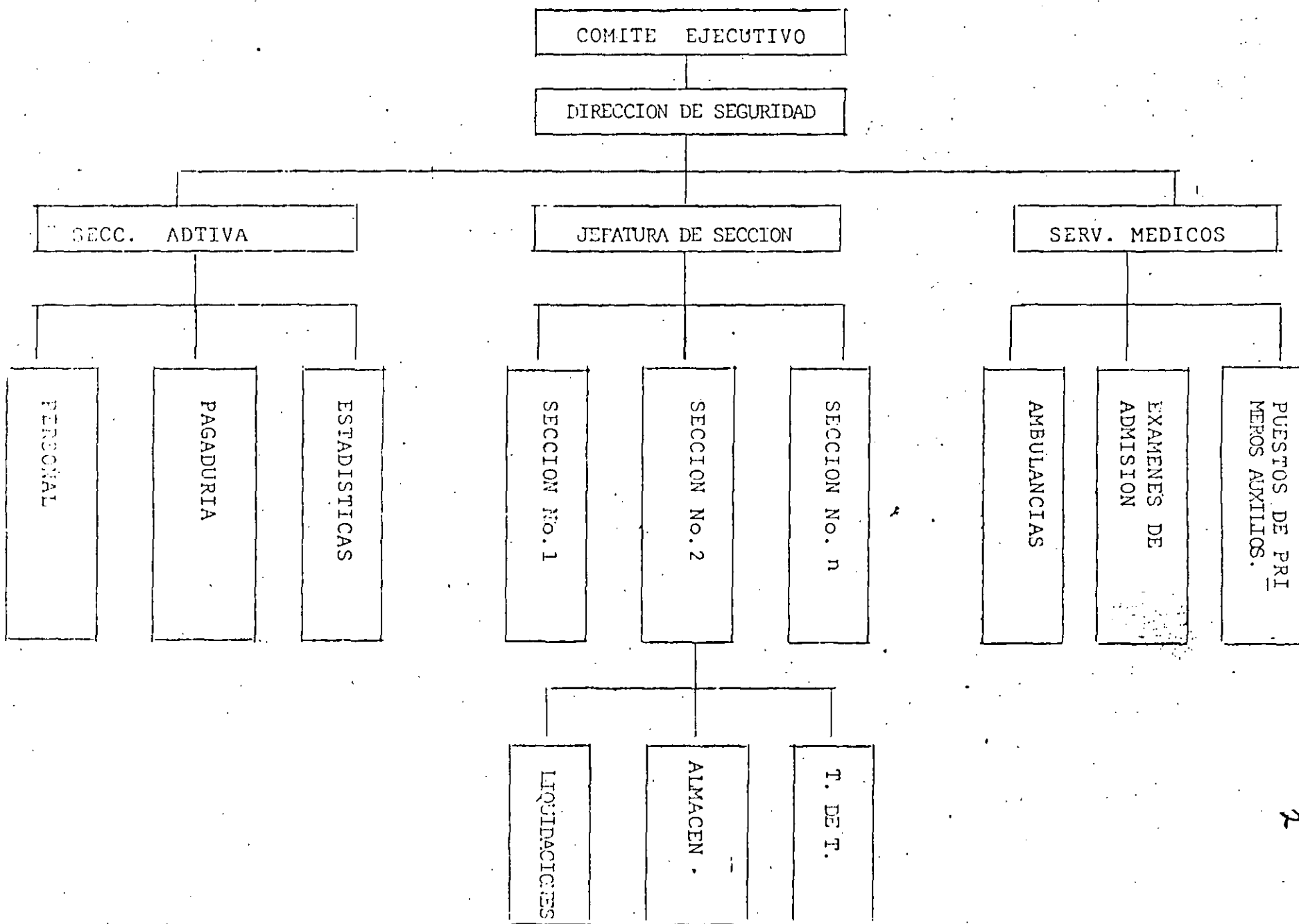
**DIRECCION DE SEGURIDAD**

EN LOS PAISES DESARROLLADOS TANTO ORIENTALES COMO OCCIDENTALES, -  
LA SEGURIDAD FORMA PARTE DEL GRUPO QUE TOMA DECISIONES EJECUTI -  
VAS E INTERVIENE PREPONDERANTEMENTE EN ELLAS, POR LO QUE SIEMPRE  
ESTÁ PRESENTE EN LOS COMITÉS EJECUTIVOS .

DIRECCIÓN DE  
SEGURIDAD

- PLANTEAMIENTO DE LA OBRA QUE SE VA A -  
EJECUTAR
- ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
- ELECCIÓN DE LOS ANTEPROYECTOS  
PROYECTO
- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN
- EQUIPOS QUE SE DEBAN UTILIZAR
- PERSONAL IDONEO
- FACILIDADES DE COMUNICACIÓN
- CAMPAMENTOS.

DIRECCION DE SEGURIDAD  
ORGANIGRAMA



LISTA DE ACTIVIDADES QUE FORMAN EL PROGRAMA DE SEGURIDAD EN LAS OBRAS

DEPARTAMENTO  
DE  
SEGURIDAD

Nombramiento Ing. Jefe de Seguridad  
 Personal Depto. de Seguridad  
 Recorrido frentes de trabajo  
 Ante proyecto programa de Seguridad  
 Elaboración reglamentación interna  
 Asesoría, quejas e información  
 Cursos básicos de Seguridad  
 Elaboración de papelería, publicaciones  
 Datos estadísticos, cálculo de índices, frecuencia y gravedad  
 Análisis de costos y presupuestos  
 Análisis de accidentes de los reportes de obras  
 Registro actas dependencias oficiales, STPS, DOF, IMSS  
 Informes a gerencia  
 Intercambio de experiencias con compañías, instituciones públicas y privadas  
 Campañas de Seguridad e higiene, incentivos, sanciones, concursos  
 Integración de comisiones central y auxiliares  
 Instrucción a comisiones sobre responsabilidades  
 Estudios especiales con la maquinaria, equipo y procedimientos de construcción  
 Normas políticas, relaciones humanas y Seguridad

Ing. auxiliar comisión central  
 Jefe administrativo  
 Calculista datos estadísticos  
 Jefe taller Seguridad  
 Almacenistas Seguridad Explosivos

Personal técnico  
 Personal supervisión  
 Personal trabajadores especializados  
 Personal comisionado

COMISION CENTRAL  
DE  
SEGURIDAD

Integración Acta 1<sup>a</sup>  
Juntas de Seguridad mensuales con comisiones  
Inspecciones de Seguridad mensuales con comisiones  
Investigación de reportes de accidentes  
Asesoría en materia de Seguridad  
Organización conferencias de Seguridad  
Creación departamentos médicos ó primeros auxilios  
Adiestramiento equipo de protección  
Adiestramientos en maquinaria, herramientas, explosivos  
Supervisión de comisiones auxiliares y coordinación  
Vigilancia cumplimiento reglamentos de Seguridad



COMISIONES AUXILIARES  
DE SEGURIDAD EN  
LAS OBRAS O FRENTES

Integración con acta 1<sup>a</sup>  
Juntas mensuales acta 2<sup>a</sup> con comisionados  
Inspecciones mensuales acta 3<sup>a</sup> recorrido en toda el  
área de obra  
Reportes de accidentes a Depto. de Seguridad e IMSS  
Reportes de hrs. hombre laboradas  
Organización cursos de Seguridad  
en obra  
Organización de simulacros  
Organización exhibición pelícu-  
las de Seguridad  
Difusión en obra normas Depto. -  
de Seguridad  
Análisis de Seguridad en las ope-  
raciones  
Integración de brigadas de traba-  
jo en obra  
Construcción comedores, dormito-  
rios, sanitarios  
Construcción de protecciones, ca-  
cesos, escaleras, etc.  
Vigilancia de sub-contratistas  
Libro diario de maquinaria Art. 331

Incendios  
Salvamento  
Campañas

Folletos, avisos,  
carteles, propa~~ga~~  
das

Limpieza Seguridad  
o Higiene, bomberos  
vigilancia, uso de  
explosivos

**TALLER DE SEGURIDAD**

Diseño y construcción de equipos de Seguridad  
Diseño y construcción de dispositivos de Seguridad  
Diseño y construcción de protecciones en maquinaria  
Diseño y construcción de avisos, letreros, cartelones  
Diseño y construcción de andamios, escaleras, accesos  
Reparación de equipo de Seguridad, extinguidores, cascos, escaleras, etc.  
Reparación de Herramientas de mano, portátiles, eléctricas, etc.  
Reparaciones mayores

**ALMACEN Y BODEGA DE SEGURIDAD**

Estudios equipos de Seguridad  
Compra equipo de Seguridad  
Resguardo equipo de Seguridad  
Resguardo herramientas de Seguridad  
Reparaciones menores de herramientas  
Reparaciones menores de equipos de protección  
Reparaciones en cables, poleas, bandas, transportadores, etc.

Protección personal, respiratorios, cinturones de Seguridad, extinguidores, etc.

**ALMACENES**

Explosivos  
Detonantes  
Combustibles y lubricantes  
Oxígeno acetileno y gas

# REVISIÓN DE SEGURIDAD

OBRA: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

- 1 Limpieza en áreas de trabajo.
- 2 Iluminación en áreas de trabajo.
- 3 Equipo de protección personal.
- 4 Accesos seguros a áreas de trabajo.
- 5 Supervisión en equipo e instalaciones de trabajo.
- 6 Protección por contaminación atmosférica.
- 7 Supervisión en el manejo de maquinaria.
- 8 Prot. de huecos, registros, bocanals, cepas, etc.
- 9 Impedir trabajos peligrosos sin protección.
- 10 Asegurar troqueles, e impedir montarse en ellos.
- 11 Prevención de incendios y explosiones.
- 12 Confinar áreas de trabajo.
- 1 Pasos seguros para peatones.
- 2 Limpieza en zonas de circulación pública.
- 3 Iluminación en zonas afectadas.
- 4 Señalización en zonas de peligro.
- 5 Vigilancia en zonas de cruce.
- 6 Protección de huecos, registros, fosos etc.
- 7 Instalación y servicio de sanitarios.
- 8 Botiquín de curaciones y primeros auxilios.
- 9 Presentación de las instalaciones de seguridad.
- 10 Reporte de Accidente.
- 11 Reporte Semanal para el Cálculo de Índices.
- 12 Reporte Mensual de Atenciones en Botiquín.

Localización del Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	S	P	PP	A	B	C
A																									
B																									
C																									
D																									
E																									
F																									
G																									
H																									
I																									
J																									
K																									
L																									
M																									
N																									
O																									
P																									
Q																									
R																									
S																									
T																									

DETERMINACION DEL AREA	



### REPORTE SEMANAL PARA EL CALCULO DE INDICES DE SEGURIDAD

Semana No. \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 19\_\_\_\_

PERSONAL POR ADMINISTRACION

Horas-hombre laboradas =

PERSONAL SUB-CONTRATISTA

Horas-hombre laboradas =

### RELACION DE ACCIDENTES OCURRIDOS EN LA SEMANA

Se anexan Reportes de cada uno. \*

Nombre del lesionado	Dias de incapacidad	Nombre del lesionado	Dias de incapacidad

### RELACION DE INCAPACIDADES RECIBIDAS EN LA SEMANA

Nombre del lesionado	Dias de incapacidad	Nombre del lesionado	Dias de incapacidad

Informe de las incapacidades parciales, permanentes o totales

Reportó a la Dirección de Seguridad: Nombre \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_





# Reporte de Accidente

En Obra \_\_\_\_\_ 9

Nombre del lesionado \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_ Ocupación \_\_\_\_\_  
 S \_\_\_\_\_ SUFRIO UN ACCIDENTE EL \_\_\_\_\_ A LAS \_\_\_\_\_ Hs. \_\_\_\_\_  
 Sueldo Diario \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 LESIONANDOSE \_\_\_\_\_ RESULTANDO UNA INCAPACIDAD (Marque con una x)

MOMENTANEA	<input type="checkbox"/>
PARCIAL TEMPORAL	<input type="checkbox"/>
PARCIAL PERMANENTE	<input type="checkbox"/>
TOTAL	<input type="checkbox"/>

Parte del Cuerpo \_\_\_\_\_  
 EL LESIONADO ES PERSONAL (Marque con una x)

DE LA COMPAÑIA	<input type="checkbox"/>
DE SUB-CONTRATISTA	<input type="checkbox"/>
O DESTAJISTA	<input type="checkbox"/>

¿Qué operación o trabajo realizaba antes de lesionarse?

¿Con qué máquinas, herramientas

y/o materiales estaba en contacto antes de lesionarse?

¿CUANTAS PERSONAS INTERVENIAN EN LA

OPERACION QUE SE REALIZABA? \_\_\_\_\_ ¿LES AFECTO EL ACCIDENTE? \_\_\_\_\_  
 (Marque con una x)

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

¿COMO?

¿Cómo se presentó el accidente

desde antes de lesionarse, hasta haberse proporcionado los

auxilios necesarios?

¿Con qué se lesionó?

¿Qué daño sufrió la Maquinaria,

A QUE ALTURA O

Equipo, Material o Instalaciones?

NIVEL SE TRABAJABA? \_\_\_\_\_

¿SUFRIO CAIDA? \_\_\_\_\_  
 (Marque con una x)

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

DE \_\_\_\_\_ ¿USABA EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL? \_\_\_\_\_  
 Metros (Marque con una x)

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

¿CUAL?

COMENTARIOS QUE CONSIDERE ACLARATORIOS DEL ACCIDENTE:

REPORTO EL ACCIDENTE A LA  
 DIRECCION DE SEGURIDAD METRO

Nombre \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_



## ESTADÍSTICA

## Índice de Frecuencia

	1	2	3	II	II	III
	Núm. Acc.	Hrs. Hombre	I.F.	Núm. Acc.	Hrs. Hombre Acumulada	Índ. Frec.
ABRIL 1971	55	501,351	110	55	501,851	109
MAYO	193	979,951	197	248	1,450,902	175
JUNIO	238	897,023	265	456	2,377,925	204
JULIO	344	1,234,109	278	850	3,662,054	236
AGOSTO	217	1,122,763	193	1047	4,764,797	219
SEPTIEMBRE	204	1,149,992	177	1251	5,934,769	211
OCTUBRE	265	1,471,460	180	1516	7,406,249	205
NOVIEMBRE	209	1,189,537	175	1725	8,595,586	201
DICIEMBRE	221	1,123,017	197	1946	9,717,603	200
ENERO 1972	216	1,689,126	128	2162	11,406,729	190
FEBRERO	166	1,360,900	106	2328	12,967,629	180
MARZO	187	1,651,759	113	2515	14,619,388	172
ABRIL	256	2,125,060	120	2771	16,744,448	165
MAYO	290	1,725,934	163	3961	18,470,382	215
JUNIO	209	1,880,230	111	3270	20,350,562	161
JULIO	188	1,947,060	96	3458	22,297,722	155
AGOSTO	232	2,029,770	114	3690	24,327,492	172
SEPTIEMBRE	153	2,610,000	51	3823	26,937,492	141
OCTUBRE	239	2,029,815	144	4112	28,967,307	141
NOVIEMBRE	164	2,437,955	68	4276	31,495,272	158
DICIEMBRE	165	1,890,090	87	4441	33,295,362	153
ENERO 1973	269	1,883,475	143	4710	35,178,837	153
FEBRERO	306	1,915,390	151	5016	37,094,217	455
MARZO	379	1,534,275	201	5395	38,978,492	159
ABRIL	289	1,939,455	143	5684	40,917,947	153
MAYO	486	2,535,355	192	6170	43,451,312	149
JUNIO	434	2,056,740	208	6604	40,541,552	145
JULIO	441	1,882,440	234	7045	47,423,992	145
AGOSTO	325	2,310,660	146	7330	49,734,552	147
SEPTIEMBRE	287	1,753,325	152	7617	51,493,477	147
OCTUBRE	273	1,967,660	138	7390	53,461,137	147
NOVIEMBRE	238	1,456,926	163	8128	54,918,057	145
DICIEMBRE	201	1,417,470	139	8329	56,365,527	149
ENERO 1974	207	1,739,470	116	8536	58,145,997	147
FEBRERO	220	1,529,055	144	8756	59,075,052	147
MARZO	202	1,561,140	129	8958	61,234,192	145
ABRIL	225	1,392,430	119	9183	63,153,621	140
MAYO	255	1,525,325	163	9433	64,644,447	145
JUNIO	228	1,857,735	122	9666	66,542,132	145
JULIO	231	1,933,705	125	9897	63,355,837	141
AGOSTO	169	1,453,755	115	10066	69,144,412	115
SEPTIEMBRE	187	1,444,410	129	10253	71,249,532	115
OCTUBRE	163	1,401,916	116	10416	72,653,934	115

ESTADISTICA

Indice de Frecuencia

	I	II	III	I	II	III
	Num. Acc.	Hrs. Hombre	I.F.	Num. Acc.	Hrs. Hombre Acumulada	Ind. Frec.
NOVIEMBRE	147	1,576,950	93	10563	74,227,962	112
DICIEMBRE	105	1,175,310	85	19666	75,403,272	146
ENERO 1975	103	1,056,255	94	10771	76,489,527	141
FEBRERO	73	1,695,936	37	10341	77,535,457	140
MARZO	72	1,073,430	97	10916	76,658,887	142
ABRIL	89	1,073,353	96	11019	79,757,492	138
MAYO	53	801,675	66	11063	80,558,967	138

NOTA: Total de accidentes mortales ocurridos en el interior del tunel y en las lumbreras fue 87 por lo que el I.F. de accidentes de este tipo fue de 1.09 por cada millon de horas trabajadas.

## DANGEROUS NOISE LEVELS

Following are various noise levels and decibels (db) for each:

	db
Busy street traffic at about 100 feet	60
Office tabulating machines (electric typewriter, etc.)	80
20 feet from subway	90
Pneumatic diesel air compressor	90
Diesel shovel (idling)	90
Automatic screw machines	98 to 105
Wire rope stranding machine	102 to 108
Header	103 to 108
Circular saw	105 to 116
Pin routers	107 to 116
Quarry floor (in general)	108
Drills, shovels & trucks operating	108
Can manufacturing plant	110
Weaving room	110
Between two compressors	110
Trip hammer	110 to 115
Drop hammer (depending on size)	110 to 135
Punch press	112
Sandblasting	112
Pneumatic chippers	112
Between two drills—20 feet apart	117
Impact on pile driver	120
Operators station—1 track drill in rock	120
4 feet from large pneumatic riveter	122
Operators station—1 track drill breaking through steel	125
5 feet from pneumatic press	130
Riveting steel tank	132
40 feet from jet engine	138
59 feet from rocket engine or jet with afterburner on	150



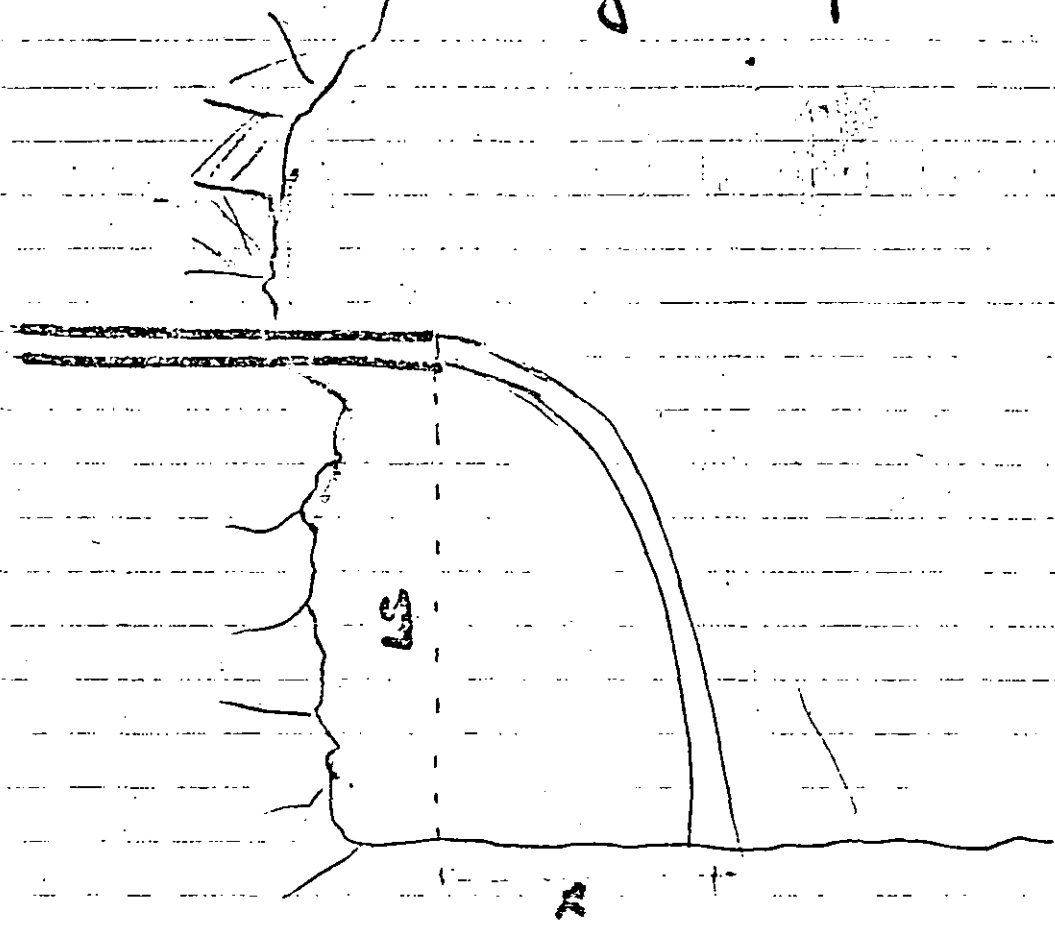
12a

## DANGEROUS NOISE LEVELS

Following are various noise levels and decibels (db) for each:

	db
Busy street traffic at about 100 feet .....	60
Office tabulating machines (electric typewriter, etc.) .....	80
20 feet from subway .....	90
Pneumatic diesel air compressor .....	90
Diesel shovel (idling) .....	90
Automatic screw machines .....	98 to 105
Wire rope stranding machine .....	102 to 108
Header .....	103 to 108
Circular saw .....	105 to 116
Pin routers .....	107 to 116
Quarry floor (in general) .....	108
Drills, shovels & trucks operating .....	108
Can manufacturing plant .....	110
Weaving room .....	110
Between two compressors .....	110
Trip hammer .....	110 to 115
Drop hammer (depending on size) .....	110 to 135
Punch press .....	112
Sandblasting .....	112
Pneumatic chippers .....	112
Between two drills—20 feet apart .....	117
Impact on pile driver .....	120
Operators station—1 track drill in rock ..	120
4 feet from large pneumatic riveter .....	122
Operators station—1 track drill breaking through steel .....	125
5 feet from pneumatic press .....	130
Riveting steel tank .....	132
40 feet from jet engine .....	138
59 feet from rocket engine or jet with afterburner on .....	150

# Formula gasto filtracion



Formula para determinar el gasto que abre una filtracion

$$x = vt \quad ; \quad t = \frac{x}{v}$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v^2}$$

$$v^2 = \frac{g x^2}{2y}$$

$$v = x \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

$$= x \sqrt{\frac{9.81}{2y}}$$

$$= 2.193 \sqrt{\frac{x^3}{y}}$$

$$Q = Av$$

CALCULO DE PERDIDAS DE PRESION EN UNA TUBERIA DE VENTILACION DENTRO DE UN TUNEL.

---

1o. RECOMENDACIONES PRACTICAS.

- a) EL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE VENTILACION DEBE SER DE 1/7 DEL DIAMETRO DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL CONSIDERANDOLA CIRCULAR.
- b) EL AREA DE LA TUBERIA DE VENTILACION DEBE SER DE 1/50 DEL AREA DEL TUNEL.

2o. PERDIDAS DE PRESION.

- POR FRICCION
- POR CAMBIOS DE SECCION
- POR CURVAS
- POR FUCAS

- 3o. LA PERDIDA POR FRICCION ES LA MAS IMPORTANTE, YA QUE LAS OTRAS CAUSAS SE CONVIERTEN EN FACTORES DE LONGITUD DE TUBO.
- 4o. UNIVERSALMENTE SE USA LA FORMULA DE MONNIER PARA EL CALCULO DE LA PERDIDA DE PRESION DEBIDA A LA FRICCION Y ES LA SIGUIENTE:

$$h_f = k \frac{Q^n}{D^m}$$

LOS EXPONENTES "n" Y "m" VARIAN SEGUN EL MATERIAL DE QUE ESTE HECHO LA TUBERIA, PARA EL CASO DE LAMINA NEGRA CON UNIONES DE ABRAZADERA "n" = 2 ; "m" = 5 .

EL COEFICIENTE "k" PARA TUBERIA DE LAMINA ES DE 0.00205 y "n" = 2 Y "m" = 5.

PARA TUBERIA DE TELA AHULADA "k" = 0.0021 Y "n" = 1.7 Y "m" = 5.

SIENDO LO MAS COMUN EL USO DE TUBERIA DE LAMINA, YA QUE CON ELLA -  
PUEDE INVERTIRSE EL SENTIDO DEL AIRE SIN COMPLICACIONES, SE PUEDE  
SIMPLIFICAR LA FORMULA DE MONNIER EN LA FORMA SIGUIENTE:

$$\text{HACIENDO QUE } Q = AV \quad \text{Y} \quad f = \frac{\pi D^2}{16}$$

SUBSTITUYENDO ESTOS VALORES EN LA FORMULA QUEDARIA:

$$h_f = \frac{k \frac{\pi^2}{16} v^2}{D}$$

AHORA BIEN SI HACEMOS:  $k' = k \frac{\pi^2}{16}$  LA FORMULA SE PUEDE

EXPRESAR ASI:

$$h_f = k' \frac{v^2}{D}$$

EL RESULTADO SE OBTIENE EN MILIMETROS POR METRO LINEAL DE TUBERIA.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO III: MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**MODELOS MATEMATICOS Y COMPUTACION  
APLICADA A LA GEOHIDROLOGIA**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**

GROUND WATER SOFTWARE  
PART ONE  
DATABASES AND UTILITIES

**USER'S MANUAL**



**United Nations**  
**Department of Technical Co-operation for Development**  
**Division of Natural Resources and Energy**  
**Water Resources Branch**

**Version 1.0, December 1989**

**Copyright©: United Nations Department of Technical Co-operation for  
Development, Water Resources Branch**

**Software written by: Dr.J.Karanjac and Dr. D.Braticevic**

**Manual written by: Dr. J.Karanjac**

**Typesetting and Graphical Layout: Zorana Stanojkovic**

**This book may be reproduced or transmitted in any form without specific  
permission in writing from the UN/DTCD provided that proper acknow-  
ledgment is given to the United Nations as the owner and to authors of the  
software.**

## Updating notes

Since December 1990, many of the programmes have been corrected, and improved. The latest corrections were made in June 1991. The following are notes on features that have been added or changed in the programs after the manual was printed.

### 1. DOS Versions

The GW programs now work under DOS.3, DOS.4 and the new DOS.5. In the revised DEFCNF utility that can also be called by SETUP, you have to tell the program what DOS version you are using. If you were working with DOS3.X and upgraded your system to DOS.50 do not forget to run SETUP to tell the GW program that the DOS has been changed.

### 2. Set Up and Super VGA Drivers

You can set up the GW program in your computer by typing SETUP or as mentioned in the manual by typing DEFCNF. Two high resolution VGA drivers were added. You can use the 800 x 600 resolution only if your computer is equipped with a VGA card that is based on Tseng Laboratories chips, and if you have a super VGA color monitor. The higher resolution of 1024 x 756 may or may not work even if you have the right super VGA card and monitor. More details on these two new drivers appear on the screen during the setup procedure.

### 3. Text Editor

A text editor DAVE is included in the GW Software. It was written by Dr. Robert B.K. Dewar, a professor of Computer Science at New York University, who kindly allowed the UN to use the Text Editor in the GW software.

The DAVE Text Editor is very easy to use. Once you have correctly installed the GW Software in your computer, type DAVE [file name], and the first screen appears. To learn the Editor function, type ALT-H, and the help menu appears.

GW6 (well logs) program is set up to call the DAVE Editor automatically for preparing a new well log file or to edit an existing one. To save a file press ALT-F1. There is, however, one deficiency in this Text Editor. It does not allow lines longer than 80 characters. This may not be enough for all the comments that one may have in a well log. To overcome it, replace the DAVE editor by another editor which can work within the GW6 program such as Norton editor, QEDIT etc... Modify the file GW6.GEN in the GW directory and in the data directory accordingly. Another way to solve this problem is to use DAVE editor as it is and later edit



the file created by the GW6 program with another text editor/word processor, and add the additional comments. With DAVE Editor you can increase the comments line to 150 characters by typing DAVE/L [file name].

#### 4. Sample Files

Sample data files are included with the GW Software. Data files for GW2, GW3, GW5, GW6 and GW11 are found in a subdirectory GWD. It is on diskette No.4 of the 5 1/4" 1.2MB diskettes, on diskette No.8 of the 5 1/4" 360MB diskettes and on diskette No.6 of the 3 1/2" 720MB diskettes.

The data files for GW2 - hydrochemistry is Vietnam and Nepal; the data file for GW3 - pumping test is named India, that for GW5 - hydrographs is Sample. You call the data files for GW6 - hydrographs by \*.lth. The data files for GW11 - mapping, appear on the screen automatically.

The data files for the modeling programs GW7, GW8, GW9 and GW10 are always in separated subdirectories GW7D, GW8D, GW9D and GW10D.

#### 5. Monographic (Hercules) Users

In GW6 on the graphic screen for digitizing the cross section line with the mouse, the text message on how to use the mouse is garbled. Instead of the text you will see horizontal dotted lines in the upper part of the monitor. The garbled text is as follows:

TO DIGITIZE CROSS SECTION:

1. Move cursor to the first point,
2. Press left button,
3. Move cursor to the last point,
4. Press left button.

Esc=Exit

You can digitize the line on the screen. The dots will not appear in the printed cross section.

6. If your computer uses diskettes of another format than you received, and you do not have the means to copy the GW software to your format, please return the diskettes and indicate what format you need, and we will send it to you.

GROUND WATER SOFTWARE, PART ONE  
DATA BASES AND GROUND WATER UTILITIES**TABLE OF CONTENTS****INTRODUCTION****1**

1. Acknowledgment . . . . .	1
2. Disclaimer . . . . .	2
3. List of Programs . . . . .	2
4. Program Files . . . . .	4
5. Hardware Requirements . . . . .	5
6. Software Requirements . . . . .	7
7. Units . . . . .	7
8. General Hints . . . . .	8
9. Graphics Routines . . . . .	9
10. Summary . . . . .	10
11. Future Improvements . . . . .	10
12. Run the GW Program . . . . .	11

**CHAPTER 1. GW1 PERMEABILITY CALCULATIONS AND CONVERSIONS****15**

1.1. General . . . . .	15
1.2. Program Overview . . . . .	15
1.3. Conversions . . . . .	16
1.4. Calculation From Grain Size . . . . .	16
1.5. Average Values In Layered Media . . . . .	17
1.6. Permeameter Tests . . . . .	19
1.7. Permeabilities from Pumping Tests . . . . .	20
1.8. Tables . . . . .	20

**CHAPTER 2. GW2 GROUND WATER CHEMISTRY****21**

2.1. General . . . . .	21
2.2. Creating Ground Water Quality Data Base . . . . .	21
2.3. Procedure to Create a New Data File (Data Base) . . . . .	23
2.4. Available Program Functions . . . . .	24
2.5. Application Programs . . . . .	26
2.6. Reporting . . . . .	29

2.7. ASCII File . . . . .	30
2.8. Tables . . . . .	30

## CHAPTER 3. GW3 PUMPING TEST DATA BASE AND ANALYSIS

31

3.1. General . . . . .	31
3.2. Program Overview . . . . .	31
3.3. Running Program . . . . .	32
3.4. Data Input, Editing, Screen Display, Deleting Analysis, etc. . . . .	33
3.5. Test Analysis . . . . .	39
3.6. Method of Analysis . . . . .	40
3.7. Pumping Tests Reported In Literature . . . . .	48

## CHAPTER 4. GW4 WELL HYDRAULICS AND WELL CONSTRUCTION

51

4.1. General . . . . .	51
4.2. Program Overview . . . . .	51
4.3. Well Functions . . . . .	53
4.4. Pumping Tests . . . . .	58
4.5. Well Construction . . . . .	63

## CHAPTER 5. GW5 HYDROGRAPHS

69

5.1. General . . . . .	69
5.2. Running the Program . . . . .	69
5.3. Data Input . . . . .	71
5.4. Editing Data, Writing to and Reading from ASCII File, Deleting Data . . . . .	75
5.5. Analysis . . . . .	76
5.6. Example . . . . .	77

## CHAPTER 6. GW6 WELL LOGS AND LITHOLOGICAL CROSS-SECTIONS

79

6.1. Program Overview . . . . .	79
6.2. General Program Files . . . . .	80
6.3. Running the Program . . . . .	82
6.4. Example . . . . .	84
6.5. Create Data File . . . . .	94

---

● Appendix A. Creation of Lithological Symbols	96
● Appendix B. Error Messages	104

---

## CHAPTER 7. GRAPHICS

107

---

7.1. General	107
7.2. Coordinate System	107
7.3. Composite Drawings	110
7.4. Printing or Plotting	112
7.5. Warnings	113

---

- Appendix A. Creation of Lithological Symbols ..... 96
- Appendix B. Error Messages ..... 104

---

## CHAPTER 7. GRAPHICS

107

---

- 7.1. General ..... 107
- 7.2. Coordinate System ..... 107
- 7.3. Composite Drawings ..... 110
- 7.4. Printing or Plotting ..... 112
- 7.5. Warnings ..... 113

# INTRODUCTION

## 1. Acknowledgment

This series of ground water programs has been developed by the United Nations Department of Technical Co-operation for Development, Natural Resources and Energy Division, Water Resources Branch, New York. The programming is an outcome of a sub-contract within the UN/DTCD project in Bermuda, BER/86/001, "Advanced Modelling and Ground Water Software Development". The co-operation of the Bermuda Government is highly appreciated. Likewise, acknowledgment is extended to the UNDP office in Kingston, Jamaica, notably to former Resident Representative Dr. Brenda McSwinney, and to Mr. Norman Thomas, former Director of Public Works Department of the Government of Bermuda, for their interest and support of the project. A portion of the programming work was also supported by the UN/DTCD project in Nepal, NEP/86/025, "Shallow Ground Water Investigations in Terai". The authors of programs in this series are Dr. Jasminko Karanjac, UN/DTCD Consultant Hydrogeologist and Modelling Specialist in BER/86/001 and NEP/86/025, and Dr. Dusan Braticcevic, who designed the system of windows and the user interface. Dr. Braticcevic also programmed all graphical routines and displays.

The authors wish to acknowledge the role of Mr. Uri Golani, Special Technical Adviser in the Water Resources Branch, for masterminding the whole project, supporting and advising the authors, and providing useful hints for improving the whole package. Without his active involvement this Ground Water Series would not have been produced.

The programs are the property of the United Nations Department of Technical Co-operation for Development, Water Resources Branch, but users are encouraged to freely use and distribute the programs, with proper credit given to the owner and authors.

All inquiries concerning this Manual and/or software, including recommendations for corrections and improvements, may be directed to:

**The Chief, Water Resources Branch**  
**Natural Resources and Energy Division**  
**Department of Technical Co-operation for Development**  
**United Nations, New York, N.Y. 10017**  
**Cable: UNATIONS NEW YORK**  
**Fax: 212-9638542**

All inquiries with respect to technical matters, program deficiencies, suggestions for program improvements, and the like, should be addressed to Dr. J. Karanjac, J. Gagarina 185, 11070 Belgrade, Yugoslavia. Inquiries related to the distribution of program diskettes and user manuals should be directed to Mr. Uri Golani, One UN Plaza, room 764, New York, NY 10017, U.S.A.

## 2. Disclaimer

---

The United Nations Department of Technical Co-operation for Development assumes no responsibility and shall have no liability, consequential or otherwise, of any kind arising from the use of this program material.

The programmers have used their best knowledge and judgment in making the programs. Any suggestions for program improvement and/or correction shall be gratefully appreciated.

## 3. List of Programs

---

The Ground Water Software package (Part One: Data Base and Utilities) consists of the following programs:

- GW1. Hydraulic Conductivity*
- GW2. Ground Water Chemistry*
- GW3. Pumping Tests*
- GW4. Well Hydraulics and Well Construction*
- GW5. Water Level Data Base and Hydrographs*
- GW6. Well Logs and Lithological Cross-sections*
- GW11. Graphics*

The major features of each program are briefly described below.

### *GW1. Permeability Calculations and Conversions*

This is a utility program consisting of the following components:

- Conversions
- Calculations from grain sizes using empirical formulas (Hazen, USBR, Slichter, Kozeny, Zamarin, Terzaghi)
- Average values in layered media (horizontal and vertical flow)
- Permeameter tests (constant head, falling head, no discharge)
- Pumping tests (steady state)
- Tables

### *GW2. Ground Water Chemistry*

This is a data base program, with several retrieval (applications) options and a report printing capability. The following options are available:

- Select input for data base
- Input data
- Edit data
- Browse
- Delete
- Stiff diagram (screen display and printout)
- Piper diagram (screen display, printout, plot)
- Wilcox diagram (screen display, printout, plot)
- Reporting
- ASCII file for reporting

### ***GW3. Pumping Tests***

This is a data base program, with data analysis and presentation capabilities (screen graphics, printout). It is made up of the following components:

- Define units
- Data input and editing, etc.
- Test analysis (Jacob, Theis, Hammish, recovery, dug wells; screen graphics, printing, plotting)

### ***GW4. Well Hydraulics and Well Construction***

This is a utility program with the following major components:

- Define units
- Well functions (standard "Theis" well function, leaky well function, Bessel functions, error function)
- Pump tests (step drawdown test with second and nth power well loss, orifice weir, flowing well discharge, etc.)
- Well construction (recommended well diameter, optimum screen length, etc.)

### ***GW5. Water Level Data Base and Hydrographs***

This is a data base program which creates a water level data base, displays results on the screen, print or plots a hydrograph. The user controls what is to be edited, input, displayed, or printed (depth to water versus absolute water level elevation, whole hydrograph or only a selected time interval, individual data connected by a line or left as scattered points, etc.).

The program has the following components:

- Define units
- Data input, editing, deleting, etc.
- Data analysis (display, print, plot)
- Working time interval
- Change depth for altitude and vice versa
- Select connecting interval in days, hours, minutes

### ***GW6. Well Logs and Lithological Cross-sections***

This is a data base program which is used to create a drilling data base; update and edit it; create, display, print or plot well construction and lithological log; display, print or plot lithological cross sections in any direction and length as selected by the user. The user inputs and edits data using his/her favorite word processor from inside the program. The program has about 30 built-in lithological symbols, but the user can create almost any additional symbol. This manual offers guidelines for creating additional symbols.

This program has the following components:

- Edit data
- Well log
- Select files
- New file
- Delete a file
- Cross sections (calculation, display, print, plot)
- Edit general data
- Produce a table with data summary
- Percentage of permeable versus impermeable layers



## GW11. Graphics

This is a utility program which is used by GW6 (Lithology) to create maps with wells, boundaries, river roads, etc. It is made of the following components:

- Create or edit a coordinate system
- Display, print or plot a graphics content
- Add lines, points, text, and contours to the coordinate system
- Create contour lines

In this package, the contouring portion of the program cannot be used.

## 4. Program Files

To run this software package you must create a directory GW branching from the root directory (that is \GW). Each of the program modules is comprised of at least four files: one, with extension EXE, is executable file; three files are with extensions MST, CMN and WND.

The following files must be copied from distribution diskettes to the \GW directory on the hard disk.

GW.EXE  
 GWA1.EXE  
 GWB1.EXE  
 UN.MST  
 UN.CMN  
 UN.WND  
 DEFCNF.EXE  
 DVIRX120.EXE (driver for 9-pin printer),  
 DVILQ180.EXE (driver for 24-pin printer).  
 DVISCR.EXE  
 DVIHPGLF.EXE (driver for Hewlett-Packard compatible plotter)  
 CGA.DRV, EGA.DRV, VGA.DRV, ATTD.RV, WYSE.DRV, HGC.DRV  
 GW1.EXE, UN1.WND, UN1.CMN, UN1.MST  
 GW2.EXE, UN2.WND, UN2.CMN, UN2.MST  
 GW3.EXE, UN3.WND, UN3.CMN, UN3.MST  
 GW4.EXE, UN4.WND, UN4.CMN, UN4.MST  
 GW5.EXE, UN5.WND, UN5.CMN, UN5.MST  
 GW6.EXE, UN6.WND, UN6.CMN, UN6.MST, GW6.DLT, GW6CF.EXE, GW6.STM,  
 DIGXSC.EXE  
 GW11.EXE, UN11.WND, UN11.CMN, UN11.MST  
 PLTCSY.EXE, PLTLIN.EXE, PLTPTS.EXE, PLTTXTEXE, PLTCNTEXE

The main program, GW.EXE, which ties all of the others together, requires the files GW.EXE, GWA1.EXE, and GWB1.EXE to run, plus the files UN.MST, UN.CMN, UN.WND to establish communications with the user. "MST" stands for "menu structure", "CMN" stands for "communication", "WND" stands for "windows".

In order to display graphics on the screen one of the screen graphics drivers (one of the files with a .DRV extension, such as CGA.DRV) must be present in the \GW directory. The screen driver executable file, DVISCR.EXE, program must also be present. If you wish to save space on your hard disk, you can remove all of the .DRV files from the GW directory except the one that you need for your computer.

Also, to print any of printouts one of the two printer drivers must be copied to the \GW directory: DVIRX120.EXE (for 9-pin EPSON-compatible printer), DVILQ180.EXE (for 24-pin EPSON-compatible printer). To plot graphics on a Hewlett-Packard compatible plotter, the executable file DVIHPGLF.EXE is

used: It plots directly to the plotter or creates an ASCII file. Such an ASCII file can be edited and/or used later on when a plotter becomes available.

Prior to running the program you must create a configuration file, CONFIG.CFG. You can create this file in either of two ways:

- (1) Execute the file DEFCNF.EXE by typing DEFCNF, and provide answers to three prompts: (a) Screen driver, (b) Printer driver, (c) Color monitor [Y/N].
- (2) Use a text processor or the DOS "COPY CON CONFIG.CFG" command, and create the file CONFIG.CFG. The first line of this file contains the name of the screen graphics driver you will use; the second line contains the name of the printer driver you will use; and the third line contains a Y or N, depending on whether your computer has a color monitor. The CONFIG.CFG file may look as follows:

```
EGA.DRV
DVILQ180.EXE
Y
```

**CAUTION:** If you attempt to run the program GW without first creating a CONFIG.CFG file in the GW directory, you will be prompted by the program to answer three questions and as a result a CONFIG.CFG file will be created, but the program will terminate abnormally and the computer will hang. You will have to reboot the system.

All files in the GW software package occupy about 3 MB of hard disk space. However, each of the six programs plus the seventh, graphics, can run independently. For that you need only four program-dependent files (GWx.EXE, UNx.MST, UNx.CMN, UNx.WND), plus DVISCR.EXE and one of screen drivers, one of printer drivers, and a plotter driver. Only the GW6 program (Well Logs and Lithology) needs also the files GW6.DLT and GW6.STM for the program to run correctly.

For more instructions on individual program modules check chapters 1 through 7 of this manual.

## 5. Hardware Requirements

The GW programs are written for personal computers running under the PC-DOS or MS-DOS operating system. This section describes the hardware requirements for running the programs.

**Mathematical Co-processor.** Although you can run any of the programs without a math co-processor, some of programs will run very slowly if the system is not equipped with a co-processor. For example, the pumping tests program (GW3) may take about one hour to process a pumping test with 99 test points (time-drawdown pairs) using the Hantush leaky method if a co-processor is not used. By comparison, the same test completes in several minutes with a co-processor. Likewise, the GW6 (Lithology) program involves extensive calculation in rasterizing drawings for screen display or printout. Writing the textual part of a graphics screen can also be very slow unless a co-processor is installed.

**Mathematical co-processor is strongly recommended.**

**Memory Requirement.** Some of programs require all available memory accessed by DOS Version 3 or 4. The executable files (those with extension of .EXE, such as GW1.EXE) are distributed in compressed form; the minimum memory required for running each program is normally equal to the actual size of its executable file. However, the screen driver demands an additional 140 KB of memory, and the printer driver about the same. Both drivers share the same memory space, and are never engaged at the same time. If you run this program through the GW shell, an additional 16 KB of memory is used in keeping the track of all modules.

With the exception of the GW1 and GW4 modules, which do not have presently graphics routines, the programs are very memory-intensive. It is almost mandatory that these programs run from a computer equipped with 640 KB of RAM (random access memory).

The following instructions should normally be observed:

- (a) Run the program GW in a computer with at least 640 KB memory.
- (b) Remove all memory-resident programs.
- (c) Modify your CONFIG.SYS file and reduce Buffers and Files to a small number. The maximum number of open files (by DOS and the program) is 10 (for the GW6 program). Buffers could be 5. Remember that each file and buffer uses about 500 bytes. The "shortage" of several kilobytes of memory may be critical in running the GW6 program.

**WARNING. Memory problems may appear in GW6 program. If printout fails or appears incomplete, you have a memory problem! GW6 will not run on a computer equipped with less than 640 KB RAM.**

**Hard disk.** Although all programs except GW6 can be run from a floppy disk, it is highly recommended that all programs be installed on a hard disk. Some of programs write some scratch files to disk, and erase them later. The capacity of a floppy (except high density 3.5-in 1.4 MB drive, or 5.25-in 1.2 MB drive) may not be sufficient to hold this additional information. One megabyte free space on hard disk is normally sufficient to hold scratch and output files.

**Mouse.** The programs GW2, GW3, GW5, GW6, and GW11 have graphics routines which may be enhanced by using the mouse. The programs have been tested with a Microsoft Mouse, a Logitech Mouse, and a Genius Mouse. The mouse is very useful in zooming the Piper trilinear diagram (GW2), and in zooming the lithological log and/or cross section in GW6. Its primary importance is in selecting a lithological cross section line directly from the map of wells in GW6. However, all program can run without the mouse, so its use is optional, although strongly recommended.

**Video Display Adapter.** The following video adapters are supported by the programs: color graphics adapter (CGA), color enhanced graphics adapter (EGA), Hercules, a special SGA for AT&T 6300 or Olivetti computers, VGA, the high-resolution WYSE adapter. To run the programs with a Hercules graphics adapter you must have the command "HGC full" in your AUTOEXEC.BAT file, or you should execute that command prior to running the GW software. Note: the WYSE driver is not completely correct in the mixed alphanumeric and graphics mode. Also, the CGA display card on a color monitor will produce black and white graphs. This is explained by the fact that to have the resolution of 620x200 CGA mode 1 is used which is two-color mode, that is black and white.

The programs will run without video display adapters, but you will not be able to see any graphics display on the screen. Nevertheless, you will be able to process most of the information and print it (pumping tests, hydrographs, etc.). Each program first looks for a file CONFIG.CFG in the \GW directory. This is the file which contains the information on the type of video adapter you have selected to work with.

**Printer.** Programs GW2, GW3, GW5, GW6, GW11 can direct their output to a printer. 9-pin and 24-pin EPSON-compatible printers are supported. With some other printers it was noted that there was double line spacing due to the printer and program both issuing a carriage return and line feed. If you have a printer which is not EPSON-compatible, try to eliminate printer-generated line feed if possible by setting a switch on your printer.

**Plotter.** Each graph can be either displayed, printed or plotted. Only the Hewlett-Packard plotters using the HPGL (Hewlett-Packard Graphical Language) or emulating it, are supported. The output is directed to COM1 serial port, which should be configured with DOS command MODE as follows:

```
MODE COM1:9600,N,8,1
```

If you sometime experience dropouts in data, you might reduce the baud rate (instead of 9600 try 2400) and try sending the data again. You may also try the mode command as

```
MODE COM1:9600,N,7,1
```

## 6. Software Requirements

DOS 2.11 or higher is required. In your CONFIG.SYS file there must be a line "DEVICE=ANSI.SYS". The device (file) affects cursor movement, erases specific areas of the screen and sets the graphics mode.

If there is a CONFIG.SYS file on your disk or diskette, which is read during booting the system, you must modify it by adding the above line "DEVICE=ANSI.SYS", provided your ANSI.SYS file is in root directory. If it is in a subdirectory, for example the DOS subdirectory, modify the line by establishing the path, such as:

```
DEVICE=\DOS\ANSI.SYS
```

If CONFIG.SYS does not exist on your disk, create a new one. The modification and/or creation can be done using the COPY CON routine in the following way (COPY CON is a standard DOS routine which is used to create small files by typing lines directly from the keyboard):

- a) First check whether you have the file CONFIG.SYS on your DOS disk directory by typing DIR. If CONFIG.SYS does exist, view its contents by typing TYPE CONFIG.SYS (and RETURN). Write down the contents of the CONFIG.SYS file or memorize its contents. Use the DOS routine COPY CON to rewrite the CONFIG.SYS file by typing:

```
COPY CON CONFIG.SYS (RETURN)
```

Retype all existing lines in your CONFIG.SYS file and add the following:

```
DEVICE=ANSI.SYS
```

followed by RETURN. You will terminate this file by typing either Ctrl Z (which means End-of-File) or by pressing F6 (which means the same), followed by RETURN.

- b) If the CONFIG.SYS file does not exist, create one by typing:

```
COPY CON CONFIG.SYS (RETURN)
```

and enter only one line of text: DEVICE=ANSI.SYS, followed by RETURN, F6 and RETURN. At the end, your CONFIG.SYS file will most probably look like this:

```
FILES=10
BUFFERS=10
DEVICE=ANSI.SYS
DEVICE=MOUSE.SYS
```

or simply DEVICE=ANSI.SYS

You can view the contents of the file by typing TYPE CONFIG.SYS.

As mentioned earlier, the GW software needs the "configuration" file, CONFIG.CFG, to identify the video adapter, type of printer, and whether you are using a color or monochrome monitor.

Add the subdirectory \GW to the DOS PATH command in your AUTOEXEC.BAT file. This line may read as follows:

```
PATH=C:\;C:\DOS;C:\UTIL;C:\GW;C:\NORTON
```

## 7. Units

Most of the programs offer you a choice of units for distance, time, pumping rates, and transmissivity. When you select a unit, you are expected to use the same unit throughout the program, unless directly instructed by the program to differently. Each of categories of units has a provision for user-defined units. This makes the program more flexible. However, you will be prompted for two additional parameters, should you decide to use your own units: (1) unit notation, (2) scaling factor, which is the conversion from your unit to the program's built-in default units, which are metric.

The program has several built-in units for each category. For example, the distance can be input as meters and/or feet. Any other choice requires a conversion. If you select inches as the basic input unit, you must provide the scaling factor of 0.0254, which is the number of meters per inch. The conversions from some other popular units are given here below.

Transmissivity:	1 feet <sup>2</sup> /day	= 0.0931098 m <sup>2</sup> /day
	1 m <sup>2</sup> /sec	= 86400 m <sup>2</sup> /day
Pumping rate:	1 l/sec	= 86.4 m <sup>3</sup> /day
	1 m <sup>3</sup> /hr	= 24 m <sup>3</sup> /day
	1 f <sup>3</sup> /sec	= 2446.78 m <sup>3</sup> /day
	1 cm <sup>3</sup> /sec	= 0.0364 m <sup>3</sup> /day

The program built-in units are the following:

distance:	m, feet
time:	day, hr, min
pumping capacity:	m <sup>3</sup> /day, gpm
transmissivity:	m <sup>2</sup> /day, gpd/ft

## 8. General Hints

- (a) First of all back up programs. This is to say that before you install the programs, make back-up copies of all the programs on the distribution diskettes.
- (b) Back up data files. It is highly recommended that you keep a back-up copy of your data files. Data bases for programs such as GW2, GW3, GW5, and GW6 especially need to be backed up.
- (c) All programs have a full-screen user interface. Normally, the bottom two lines are reserved for messages and instructions to you. All programs are designed to be user-friendly; that is there is enough instruction on the screen to guide you without too much need for a manual. Likewise, most of the programs are transparent to you; that is, you are informed what the program is doing at any given moment. In all but the GW1 program, there is a list of options on the right side of the screen. Each option is activated by pressing a single key. The program branches to a subroutine depending on the key you press.
- (d) Restore control with ALT -F10 key sequence. If, while you are running any of the programs, the screen appears corrupted, or some messages are printed at the very bottom of the screen below the message line, simultaneously press the ALT and F10 keys. In most cases the screen will return to the correct form. This works only when the program is waiting for your input. If the program is running and computation is in progress, you will have to wait until it stops.
- (e) Use the ESC key to back up. The ESC key is normally used to back one step, or to clear the current window and return to the previous window. The CTRL-F3 key sequence normally deletes all characters after the cursor (to the end of field). The Page Up and Page Down keys are used in the normal way, the same as Home and End. In some programs Ctrl Home moves the cursor to the first line in the data file, and Ctrl End moves the cursor to the bottom line.
- (f) You may delete any files in your subdirectories which have the form FORTx, where x is any number. You may view the contents of these files, since they are ASCII files, but the contents will be meaningless to you. (These files are generated by a routine which programmers used to follow the performance of programs, but which has not yet been removed from the code.) The same applies to files GRAF.AGR, which is a graphics scratch file, and some other scratch files.
- (g) If, after starting a program, you see some characters at the screen bottom, such as [2J or any combination of letters and numbers with [, you must have forgotten to add the line DEVICE=ANSISYS into your CONFIG.SYS file. Or, the file ANSISYS was not properly located. If it resides in the DOS subdirectory, the command should be DEVICE=\DOS\ANSISYS.

- (h) All ASCII (or DOS) files can be viewed with the routine SHOW, the use of which was made possible by kind permission of Summit Information System Inc.
- (i) It is advisable to have a memory mapping utility (file) installed on your computer to tell you how much memory is available for user programs. This is especially important when running the GW6 program, which requires almost 590 KB of memory when used with a screen and/or a printer driver. One such utility is MAPMEM ("map memory") by TurboPower Software.
- (j) You must create the directory GW directly from the root directory. If this is done on the hard disk partition which is in the same time the boot drive, there is already COMMAND.COM file in the root directory. However, if you decide to install the software in D:\GW directory, and D drive is not the boot drive, you must copy COMMAND.COM into the root directory of the D drive.
- (k) It is recommended that you keep your data files and/or examples separate from the \GW directory. For example, if you are working with a lithological data base for a district called "DISTRICT", you are advised to create a subdirectory DISTRICT, create your data files in or copy them into that directory. Before running the GW6 program, log in to the directory DISTRICT (you must also have the GW6.GEN file in that directory; see Chapter 6), and type GW or GW6.
- (l) Check for Non-ASCII characters in data files. The final hint is probably the most important. In some programs you may use your favorite text editor to create ASCII files, which are then input into the program. For example, this is an option in GW3 (pumping tests), GW5 (hydrographs), and GW6 (lithology). However, some text editors, such as WordStar, do not automatically produce an ASCII file, whether you use a Nondocument or Document option. You may notice some strange characters (above ASCII code 128), which you must remove by editing the file or by converting the file to an ASCII file. To check whether such characters are present, use the utility SHOW supplied with this package. The command is "SHOW filename". In the case of WordStar, you must print the file, selecting for the printer ASCII, and renaming the WordStar-created ASCII WS file to something that is meaningful to you. For further explanation see Chapter 6, Section 6.5.1.

### Report Problems to Authors

The programmers attempted to provide you with the full control over program termination. Ideally the program should always warn or inform you that something went wrong. Much less ideal is when the computer hangs and you have to reset it. This may happen in some instances which the programmers were not aware of. Any such case should be brought to our attention either directly, or via UN/DTCD, Water Resources Branch, New York.

The most problems were experienced in the pumping test program, GW3. The Hantush, and sometimes the Theis method will cause the program to abort. This will happen in rare occasions when there is either underflow or overflow (too large or too small exponent, negative logarithm, etc.). You are advised to check pumping test raw data and eliminate suspicious data, such as fluctuations of level, or zero decline of level near the end of test. Chances are that even such a test will provide useful results using the Theis and/or Hantush method.

## 9. Graphics Routines

The following graphics routines are available in this version of the Ground Water Software package:

<i>GW2. Chemistry</i>	Piper and Wilcox diagrams
<i>GW3. Pumping Tests</i>	Screen display of raw data; data fitting with Jacob, Theis, Hantush, recovery methods, Rushton & Singh dug well matching method
<i>GW5. Hydrographs</i>	Water level graphs
<i>GW6. Lithology</i>	Well log, map of wells, lithological cross sections
<i>GW11. Graphics</i>	Coordinate system, superimposed boundaries, rivers, roads and other lines; points such as wells; text; contours (not used in this package).

Each of the graphics screens allows the zooming a detail using a mouse. Zooming can be repeated several times.

## 10. Summary

To use this Ground Water Software package to its greatest potential you need an MS-DOS compatible computer with 640 KBytes of memory, a fixed disk with at least 10 megabytes of storage capacity, a high-resolution monitor (monochrome or color), a video display adapter card, and a mouse.

The following table shows the memory requirements for individual program modules. In order to conserve disk space, each EXE file is distributed in a compressed form. However the minimum memory requirement is controlled by its normal or uncompressed size.

	Memory in KB		Co-processor	Disk	Video
	Actual	Compres.			
GW1	235	152	Not required	Floppy/hard	Not required
GW2	292	208	Recommended	Floppy/hard	Recommended
GW3	427	314	Recommended	Hard rec'd	Highly rec'd
GW4	298	222	Not required	Floppy/hard	Not required
GW5	400	281	Highly rec'd	Hard rec'd	Highly rec'd
GW6	447	227	Highly rec'd	Hard mand.	Highly rec'd
GW11	230	156	Highly rec'd	Hard rec'd	Highly rec'd

Abbreviations: "Compres" - compressed, "rec'd" - recommended  
 "req'd" - required, "mand." - mandatory

## 11. Future Improvements

The improvements will be in two directions: (a) hardware/software, (b) program universality and additional routines.

In the first group come various additional screen drivers (notably super VGA); printer drivers (notably a laser driver); plus various fonts to make printout more attractive and usable. More plotter drivers could be included.

The chemical program, GW2, may have more retrieval routines, such as bar diagrams plotted directly onto the map; the data base may include coordinates, land surface elevations, and some other well construction parameters, which will make contouring of random data possible; and a contouring routine (gridding from random data) may be added.

The pumping test may include corrections for partial penetration, improved handling of Hantush and/or Theis method in the case of unexpected input. Programs could also detect the presence of a recharge or impermeable boundary during pumping test, etc. Especially in pumping test program, GW3, improvements are needed.

The well hydraulics and construction program, GW4, may add the design of gravel pack on the basis of aquifer grain-size analysis. Cost of pumping and energy requirements could make the program more versatile. The step-drawdown test should be visible on the screen.

The hydrographs program, GW5, needs a better control over printout, such as title of drawing in different fonts and sizes, format larger than A4, etc.

Well logs could be made user-defined as far as their content is concerned. Likewise, lithological symbols could be edited on the screen.

Plotter output, which was added at the last moment, is not yet fully tested. You are advised to read additional comments on the plotter use. These will be found at the end of this Introduction.

## 12. Running the GW Program

To start this software, you should log to a directory in which you keep your data files (GW2, GW3, GW5, GW6). For GW1 and GW4, which are the utility programs, it is not important in which directory you may be. You may log to the \GW directory as well.

Type GW. After few seconds the screen as shown in Fig. A will be displayed. This is the program's Main Logo, with the software package title, United Nations, and authors.

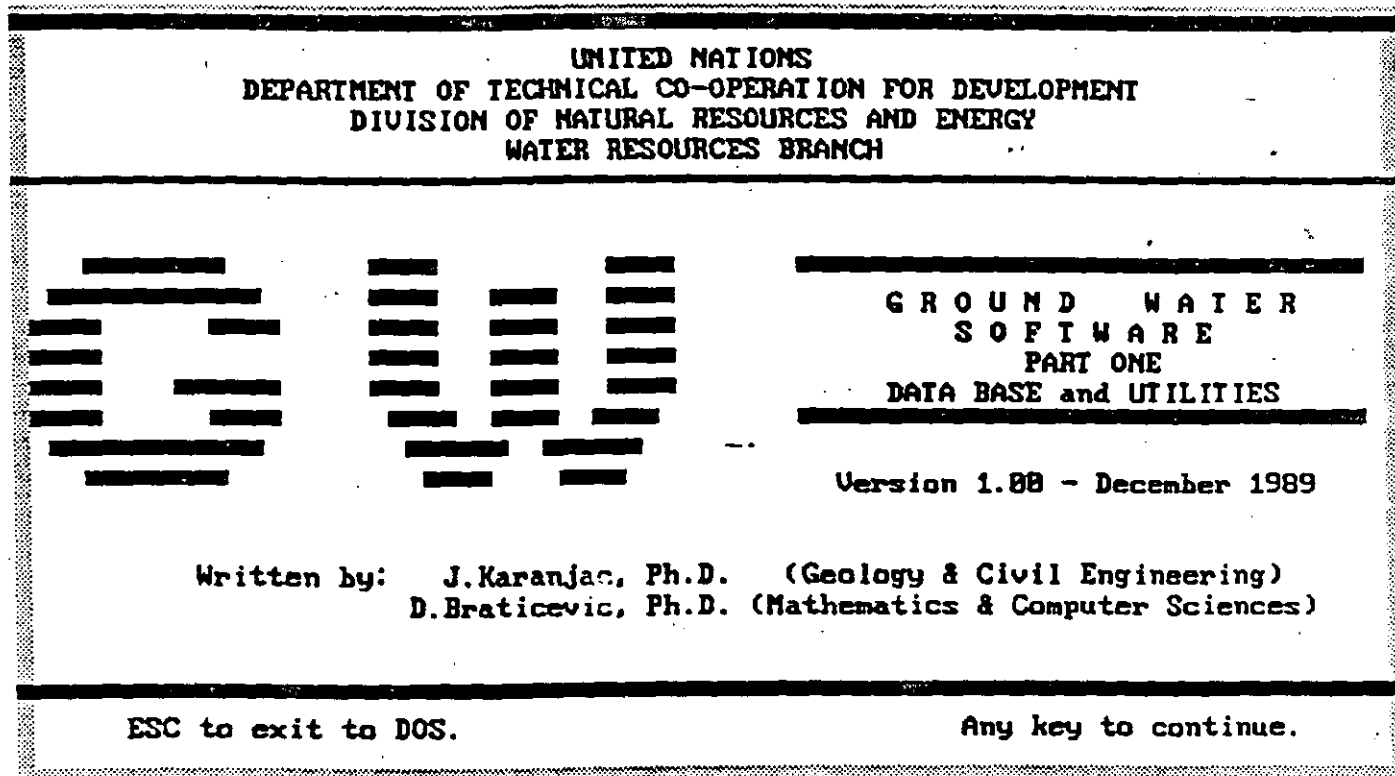


Fig. A

Press any key to see the second screen, Fig. B, which is the copyright notice and instructions on whom to contact if you have problems or need assistance with the software.

Press any key. The program comes to the Main Program Selection Menu, Fig. C. From here the program branches to one of 6 working modules or the graphics utility.



**COPYRIGHT NOTICE**

These ground water programs were prepared by the Water Resources Branch, Division of Natural Resources and Energy, Department of Technical Co-operation for Development, United Nations, New York. The programs were developed under the UNDP's and Government of Bermuda project "Advanced Mathematical Modelling and Software Development" (NEP/86/881), and were tested and improved during their intensive use in a similar project in Nepal "Shallow Aquifer Investigations in the Terai" (NEP/86/825).

The programs are the property of the United Nations, but users are encouraged to freely use and distribute them, with proper credit given to the United Nations and the authors.

The United Nations Department of Technical Co-operation for Development assumes no responsibility and shall have no liability, consequential or otherwise, of any kind arising from the use of this program material.

**NOTES.** (1) All correspondence related to technical program matters should be addressed to J. Karanjac, J. Caparina 185, 11878 Belgrade, Yugoslavia.  
(2) Correspondence related to program diskettes and User's Manual distribution should be addressed to Uri Golani, Special Technical Advisor, UN, DTCD, One UN Plaza, room 764, New York, NY 10017.

Press any key to continue.

ESC to quit.

**Fig. B**

**UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE**  
**PROGRAM SELECTION**

Version 1.00  
December 1989

1. Hydraulic Conductivity
2. Ground Water Chemistry
3. Pumping Tests
4. Well Hydraulics & Construction
5. Hydrographs
6. Lithology
11. Graphics

**FUNCTIONS :**  
X=Exit to DOS

Use cursor keys and [Enter] to select program module.

**Fig. C**

### 13. Additional Comments

The plotter output is not yet fully tested. Almost every graphics screen can be either directly plotted to the COM1 (serial) port, or an ASCII plot file can be created for later editing. The following should be observed:

- . Use A3 (ISO) or B (ANSI) format of paper. (Some programs may be plotted to A4 or A format) but you must edit the ASCII.plt file by adding the HPGL command RO90 after the initial two HPGL commands, IN;DF;.)
- . Modify, if you wish, the pen selection numbers. When viewing the ASCII.plt file you will notice the HPGL command SP 1, SP 2, or like. This is interpreted by the plotter as Select Pen.
- . Well logs can be plotted only in the default size, that is the A4 format (21 cm horizontal by 29 cm vertical; or 8.5 by 11 inch).
- . Only graphical characters will be plotted. Thus, some lettering that may appear on the screen, will not be plotted if the characters are from the ASCII alphanumeric set.
- . You will have to press the key R every time the plotter changes the pen. There will be a message displayed:

**Write fault error writing device COM1  
Abort, Retry, Ignore, Fail?**

Answer with R and wait until another halt. This will be fixed in the second release.

For your reference, the HPGL standard commands most often used in this program package are:

IN .. a command to initialize plotter

DF .. a command to return the plotter to a predefined (default) state

PA .. sets absolute plotting

PU .. raises the pen

PD .. lowers the pen

RO90 .. rotates the coordinate system 90 degrees. --

# Permeability Calculations and Conversions

## 1.1. General

This is primarily a utility program for calculating permeability values (hydraulic conductivity) from grain-size analysis (grain-size distribution curves) and for converting permeability values from one system of units to another, etc.

Since there are no graphics routines in this program, a video adapter is not required. A mathematical co-processor is not required. To run this program, you must have copied the following files to the \GW directory: GW1.EXE, UN1.CMN, UN1.MST, UN1.WND. You may log to any subdirectory, provided you have a path to the GW directory in your AUTOEXEC.BAT file (see the Introduction). Alternatively, you may run this program by typing GW1 and RETURN. The total disk space occupied by the four required files is 247,884 bytes. The memory requirement for the GW1.EXE program is 235 KB; the program comes in a compressed version occupying 155,476 bytes.

## 1.2. Program Overview

The GW1 program consists of 6 parts (see Fig. 1.1):

- Conversions
- Calculation from grain sizes
- Average values in layered media
- Permeameter tests
- Permeability from pumping tests
- Tables

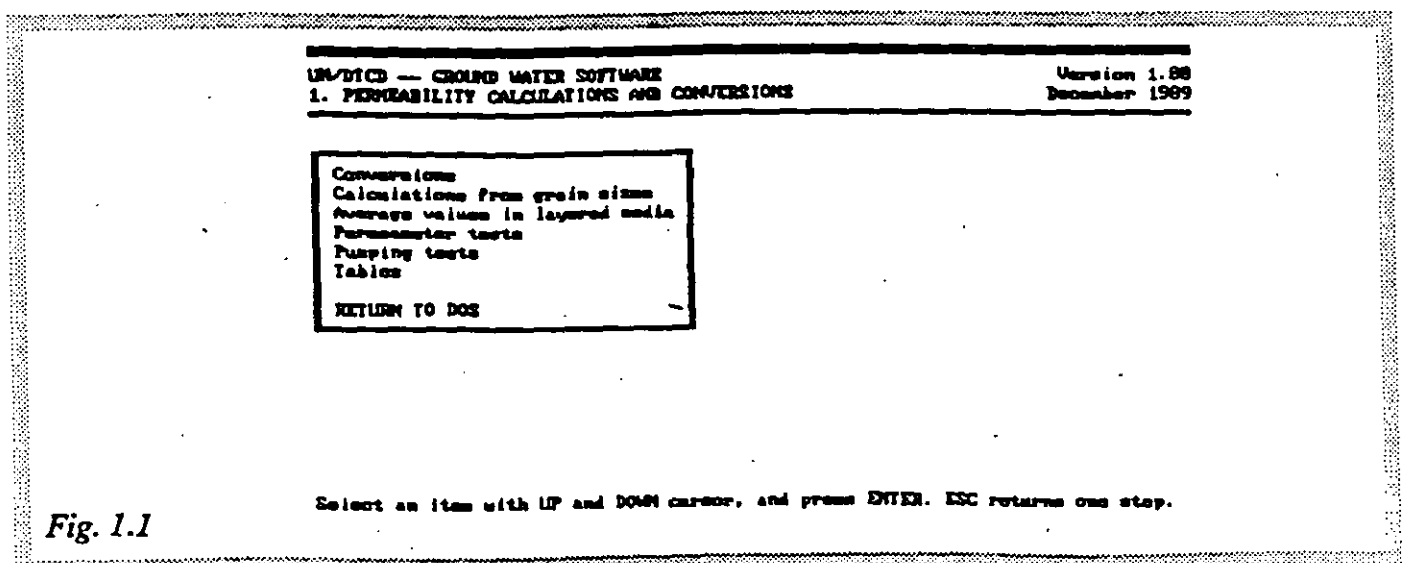


Fig. 1.1

### 1.3. Conversions

The first part converts permeability values (hydraulic conductivity) from one system of units to another system. The options are: US gpd/ft<sup>2</sup>, Imp gpd/ft<sup>2</sup>, m/day, cm/s. Press ESC to terminate this part of the program. Place the cursor on the top line (Conversions) and press RETURN (ENTER). The window titled FROM appears offering the choice of units to convert from. Select a unit using cursor up and down keys. Press RETURN. The right part of the window titled TO, as shown in Fig.1.2, is displayed offering you the choice of units to convert to. Select a unit and press RETURN. The cursor shall come to Input data. Type a value and you will see the converted result. In this example, 1000 US gpd/ft<sup>2</sup> is equal to 40.74140 m/day.

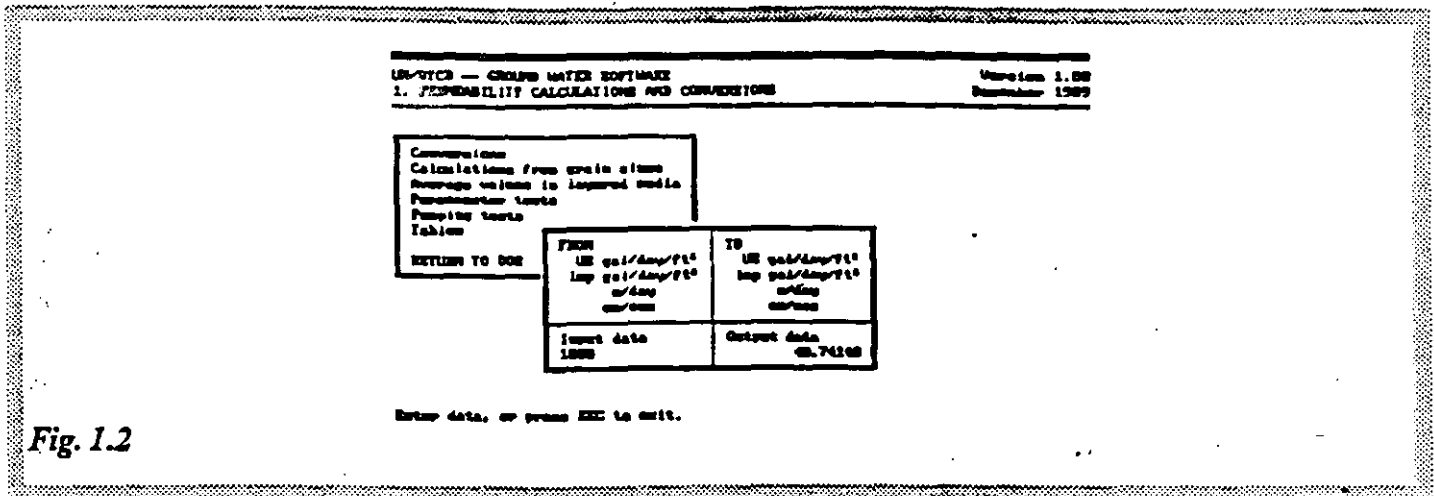


Fig. 1.2

### 1.4. Calculation From Grain Size

The second part calculates the permeability coefficient (hydraulic conductivity) using one of six available empiric formulas:

HAZEN	ZAMARIN
CREAGER, JUSTIN, HINDS (U.S.B.R. formula)	KOZENY
SLICHTER	TERZAGHI

Each calculation requires some or all of the following input parameters: (a) effective grain diameter ( $d_{10}$  or  $d_{20}$ ), or the total grain-size distribution; (b) temperature of water in aquifer formation (due to viscosity dependence on temperature); (c) empirical coefficient which distinguishes between smooth and clean sand on one side and angular and clayey sand on the other side; (d) total porosity of sand. When in doubt as to what to accept for formation water temperature, type 10. (The corrections are probably not important; the empirical formulas produce only a correct order of magnitude considering the way in which formation samples are usually collected.)

You run this portion of the program by moving the cursor one line down to Calculations from grain size and pressing RETURN. You will be given 6 options. Select one with cursor keys (up/down) and press RETURN.

The HAZEN formula applies to sands and gravels with effective grain diameter between 0.1 and 3.0 mm and uniformity coefficient  $d_{60}/d_{10}$  less than 5. To select the empirical coefficient which takes care of grain uniformity, sorting, and cleanness, have in mind that typical values are as follows:

0.4 - 0.8 for clayey and nonuniform sand  
 0.8 - 1.2 for clean and uniform sand

The more uniform sand, the higher the coefficient. An example is shown in Fig. 1.3.

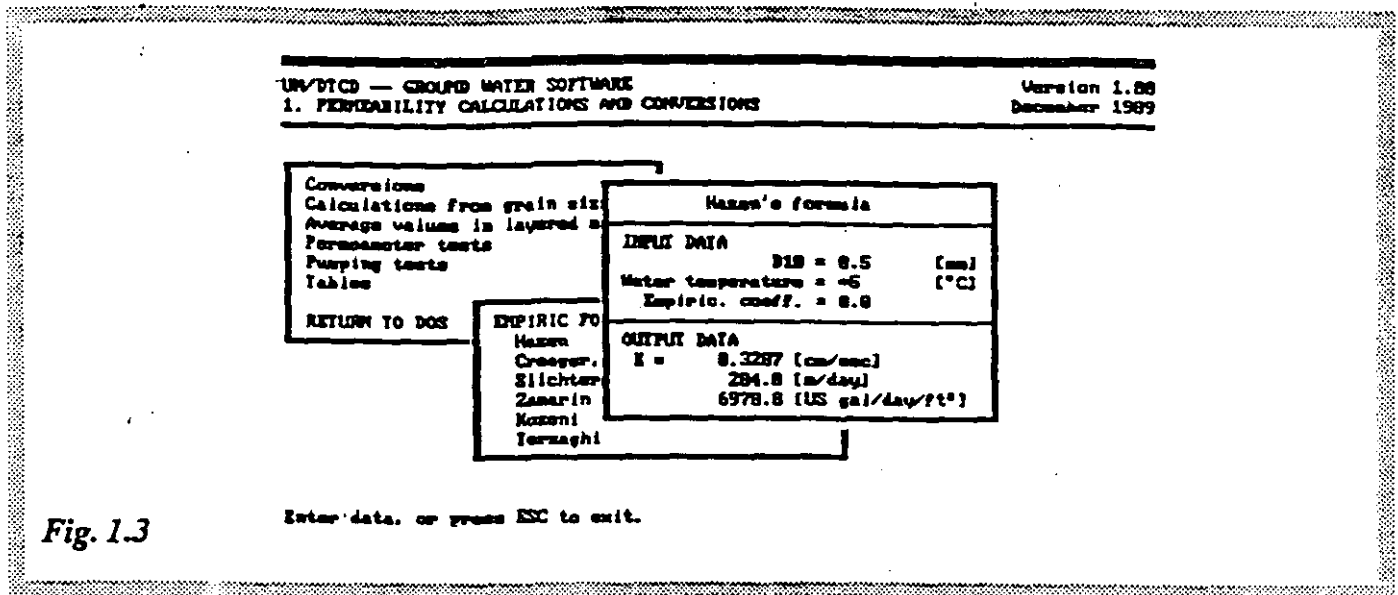


Fig. 1.3

The U.S.B.R. formula (due to Creager, Justin and Hinds) requires the  $d_{20}$  as the effective grain diameter (in mm), without any corrections (temperature, empiric coefficient).

The Slichter formula applies to sands and gravels with effective grain diameter between 0.1 and 3.0 mm and uniformity coefficient  $d_{60}/d_{10}$  less than 5. The formula requires the knowledge of total sand porosity, and there is also a correction for formation water temperature. With the Slichter formula, the porosity (total) must be typed as a fraction of 1.0, temperature in °C, and  $d_{10}$  in mm (screen diameter of 10% of the total sample retained on the screen).

The Zamarin formula requires the input of the whole grain-size curve in the following ranges:

less than 0.01 mm (288.60)	0.50–1.00 mm (1.38)
0.01–0.05 mm (40.25)	1.00–2.00 mm (0.69)
0.05–0.10 mm (13.80)	2.00–3.00 mm (0.27)
0.10–0.15 mm (8.05)	3.00–5.00 mm (0.25)
0.15–0.25 mm (6.07)	5.00–7.00 mm (0.17)
0.25–0.50 mm (2.76)	7.00–10.0 mm (0.11)

Each fraction of sample analysis (typed as, e.g., 0.12 if 12% of the whole sample falls within the interval) is multiplied by a corresponding weighting factor which assigns a greater importance to finer than to coarser fractions. These factors are shown in the above table in brackets. The effective diameter is obtained as one over the sum of the products of weighting factors and fractions of each interval. The temperature correction is also introduced in the same way as in the Slichter formula.

The Kozeny formula requires the following input: total porosity as a fraction of one, effective diameter ( $d_{10}$ ) in mm, and the formation water temperature.

The Terzaghi formula, which applies mostly to coarse-grained sand and gravel, needs the input values of  $d_{10}$ , porosity as a fraction of one, and temperature. There is also a correction coefficient which takes into account two categories of sand grains: smooth and angular.

## 1.5. Average Values In Layered Media

This section of the program calculates an average permeability coefficient for horizontally stratified terrain. The flow may be either parallel or perpendicular to the layers of different permeabilities.

*(1) Flow parallel to layers*

layer 1	$K_1, H_1$	} $K_i$ and $H_i$ are hydraulic conductivities and thicknesses of individual layers, respectively
layer 2	$K_2, H_2$	
layer 3	$K_3, H_3$	

From the continuity-of-flow consideration, the specific flow through each layer is equal to:

$$q_1 = K_1 H_1 i \quad q_2 = K_2 H_2 i \quad q_3 = K_3 H_3 i$$

where  $i$  is the gradient of flow. The total flow through all layers is equal to

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad \text{or} \quad q = (K_1 H_1 + K_2 H_2 + K_3 H_3 + \dots + K_n H_n)$$

The same total flow can be expressed in terms of an average hydraulic conductivity,  $K_{av}$ , as

$$q = K_{av} H i$$

where  $H$  is the sum of all individual thicknesses ( $H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n$ ). Equating the two expressions the following is obtained:

$$K_{av} = (K_1 H_1 + K_2 H_2 + K_3 H_3 + \dots + K_n H_n) / (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n)$$

The GW1 program prompts for (a) the number of layers, (b) hydraulic conductivity of each layer, (c) thickness of each individual layer.

*(2) Flow perpendicular to layers*

layer 1	$K_1, H_1$
layer 2	$K_2, H_2$
layer 3	$K_3, H_3$

In a similar way one obtains the following expression for the average hydraulic conductivity when the flow is perpendicular to the stratification:

$$K_{av} = (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n) / (H_1/K_1 + H_2/K_2 + H_3/K_3 + \dots + H_n/K_n)$$

The input is prompted for from the screen in the same way as in the flow parallel to stratification. An example is shown in Fig. 1.4.

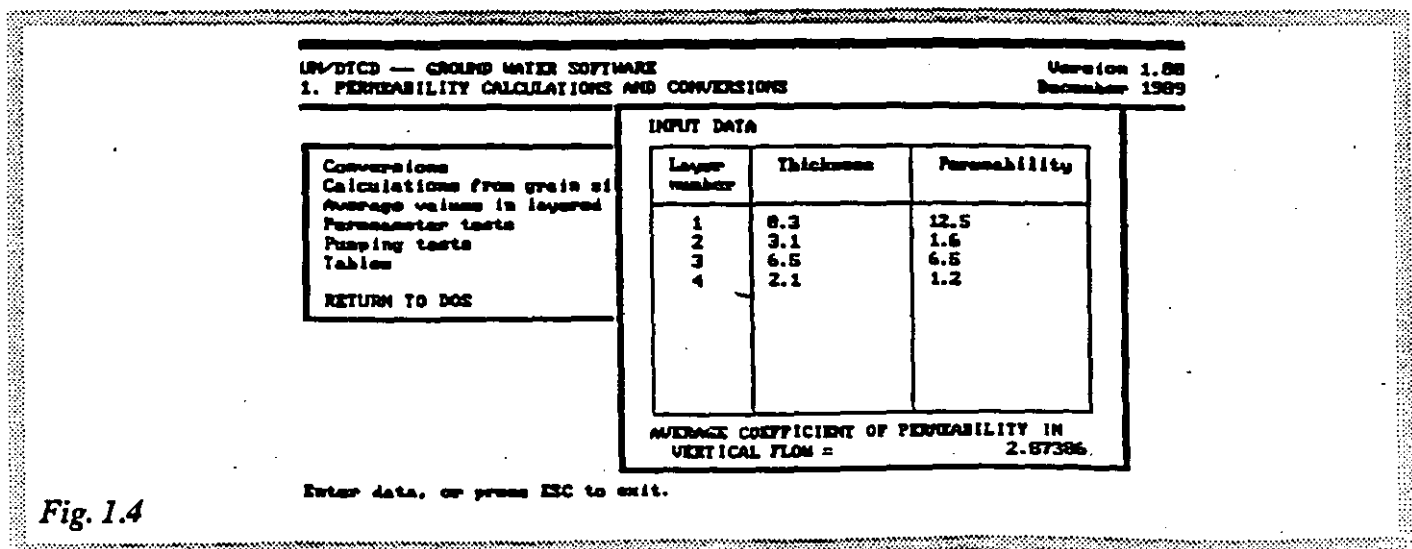


Fig. 1.4

## 1.6. Permeameter Tests

Permeameters are used for laboratory determinations of permeability from small samples of permeable materials. Several types have been developed, such as constant-head, falling-head, and nondischarging permeameters. The first submenu that appears when you select "Permeameter tests" from the main menu prompts for the system of units; the options are American units (US gallon, foot, second) and metric units ( $\text{cm}^3, \text{cm}^2, \text{sec}$ ). The next window prompts for the type of permeameter. Three types can be handled by the program: (a) constant head, (b) falling head, (c) nondischarging permeameter.

The *constant-head permeameter* is used to measure permeabilities of consolidated or unconsolidated formations under low heads. The parameters needed for calculation are the following:  $V$  is the flow volume in time  $t$ ,  $L$  is the length of sample,  $A$  is the horizontal area of sample,  $h$  is the water level difference between two cylinders. You are prompted to input all these values in units you have selected two windows before.

In the *falling-head permeameter*, water is added to the tall column, flows upward through the medium cylinder and is collected as overflow. Both consolidated and unconsolidated samples can be tested in this manner. The permeability coefficient is calculated from the following parameters:  $d_c$ , the sample cylinder diameter;  $d_t$ , the water tube diameter;  $L$ , the vertical length of sample;  $t$ , the time in which water level drops in the tall water tube from initial  $h_0$  to end value  $h$ . One example is shown below and in Fig. 1.5.

Sample cylinder diameter = 4.8 [cm]  
 Water tube diameter = 1.3 [cm]  
 Vertical length of sample = 7.9 [cm]  
 Initial water head = 11.3 [cm]  
 Water head at end of test = 7.3 [cm]  
 Test duration = 12.7 [cm]

PERMEABILITY = 0.01994 [cm/sec]  
 = 17.2 [m/day]

The third type of permeameter, the *nondischarging permeameter*, is used for measuring permeability of unconsolidated formations under very low head. The parameters to define the permeability coefficient are the following:  $A$ , the area of supply and discharge reservoirs;  $L$ , the total length of the "U" tube;  $a$ , the area of the sample in the "U" tube;  $t$ , the time at which the difference of levels between supply and discharging reservoirs becomes equal to  $h$ , starting from some initial head difference  $h_0$  at  $t=0$ .

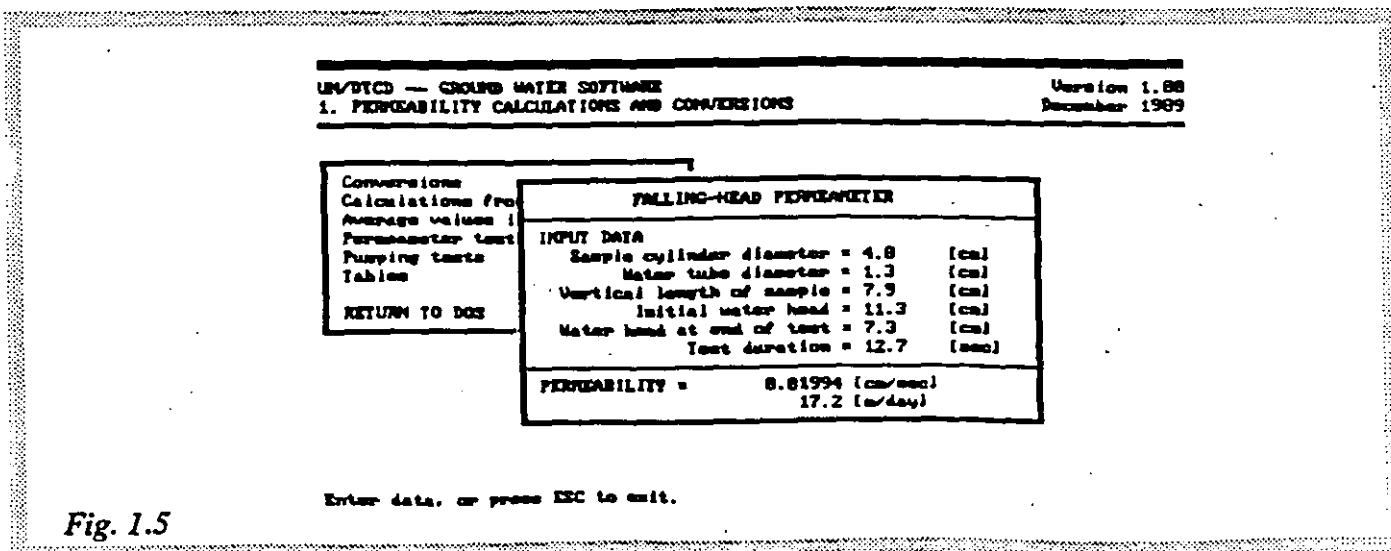


Fig. 1.5

## 1.7. Permeability from Pumping Tests

In this section the permeability coefficient is calculated from pumping tests in steady radial flow to a well, under both confined and water table conditions. The first window that appears when you select "Pumping tests" is selected from the main menu, prompts you to select pumping rate units. Five options are built into the program: (a) gpm, (b) gpd, (c) l/sec, (d) m<sup>3</sup>/day, (e) m<sup>3</sup>/hr. The second window prompts you to select the type of aquifer, confined or unconfined (water table).

If you select "confined aquifer", you are expected to supply the following data:

(a) pumping rate, (b) aquifer thickness, (c) distance to first observation well, (d) distance to second observation well, (e) head in first observation well, (f) head in second observation well. If only one observation well is used during the pumping test, the distance to the first observation well becomes the pumped well diameter.

The coefficient of permeability K is calculated from the "equilibrium" or Thiem formula.

In the case of "unconfined" or water-table aquifer, the information supplied is the same except there is no prompt for aquifer thickness, which does not appear in the equation for pumping rate or permeability. An example is shown in Fig. 1.6.

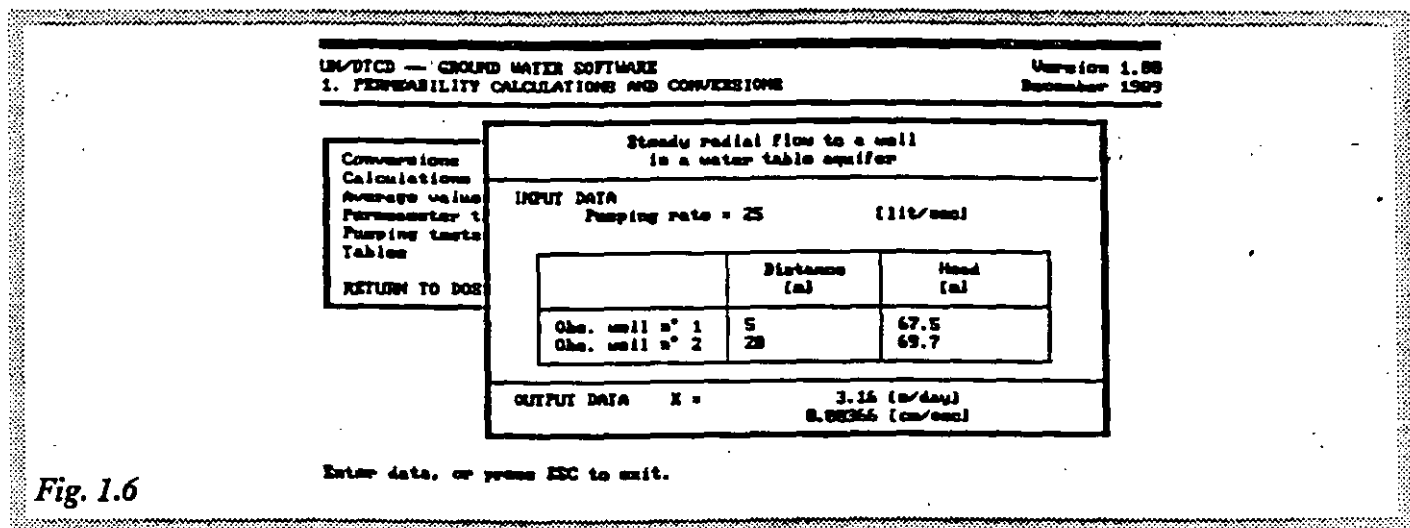


Fig. 1.6

## 1.8. Tables

Several tables are included in the GW1 program for your reference. The selection window for the tables looks as follows:

### SELECT TABLE

*Average values of permeability*

*Average values of k and K*

*Representative values of k and K*

*Units for length, area and flow rate*

*Conversion factors*



# Ground Water Chemistry

## 2.1. General

---

This is a utility program that allows you to create, manage, and display or print reports for a ground water quality data base.

The program requires about 300,000 bytes of memory. A video display adapter is required (see Introduction) for viewing the Piper and Wilcox diagrams. The Stiff diagram printing program uses only ASCII characters and can be used with any dot matrix or daisy-wheel printer. The Piper and Wilcox graphics programs require a dot matrix printer with graphics capabilities. Plotter is optional for plotting Piper and Wilcox diagrams. A mathematical co-processor is not absolutely necessary, but it speeds up the writing of textual part on graphics screens. A mouse is not required, but is useful for zooming in on details in the Piper diagram.

In order to run the GW2 program you must copy the following files to the \GW directory: GW2.EXE, UN2.CMN, UN2.MST, UN2.WND. The executable program, GW2.EXE, comes in a compressed form, occupying about 213,000 bytes. As an option you may copy TABLE.EXE plus six TABLEx files (x is 1,2,3,4,5,6) to any subdirectory in which you wish to keep your chemical data base. (TABLE.EXE is independent from the GW2 program.)

You can start the GW2 program either by typing GW2 at the DOS prompt, or by selecting GW2 from the main menu of the GW program.

The following keys have special functions:

The F2 function key erases the data field completely

The F3 function key erases the data field from current cursor position to the end of the field

The ALT-F10 key, pressed simultaneously, "fix" the screen if it appears corrupt

PgDn ("Page down") and PgUp ("Page up"), display on the screen one page down or up, respectively, provided the data base has more than 14 samples

The HOME key positions the cursor to the top of the screen

The END key positions the cursor to the bottom of the current screen

The CTRL+HOME key sequence brings up sample number one

The CTRL+END key sequence brings up the last sample in the data base

## 2.2. Creating Ground Water Quality Data Base

---

The creation of a ground water quality data base is the most important portion of this program. The program starts with an Opening Screen (Fig. 2.1) prompting you to type the name of a Chemistry Data File. Here, you are given two alternatives.

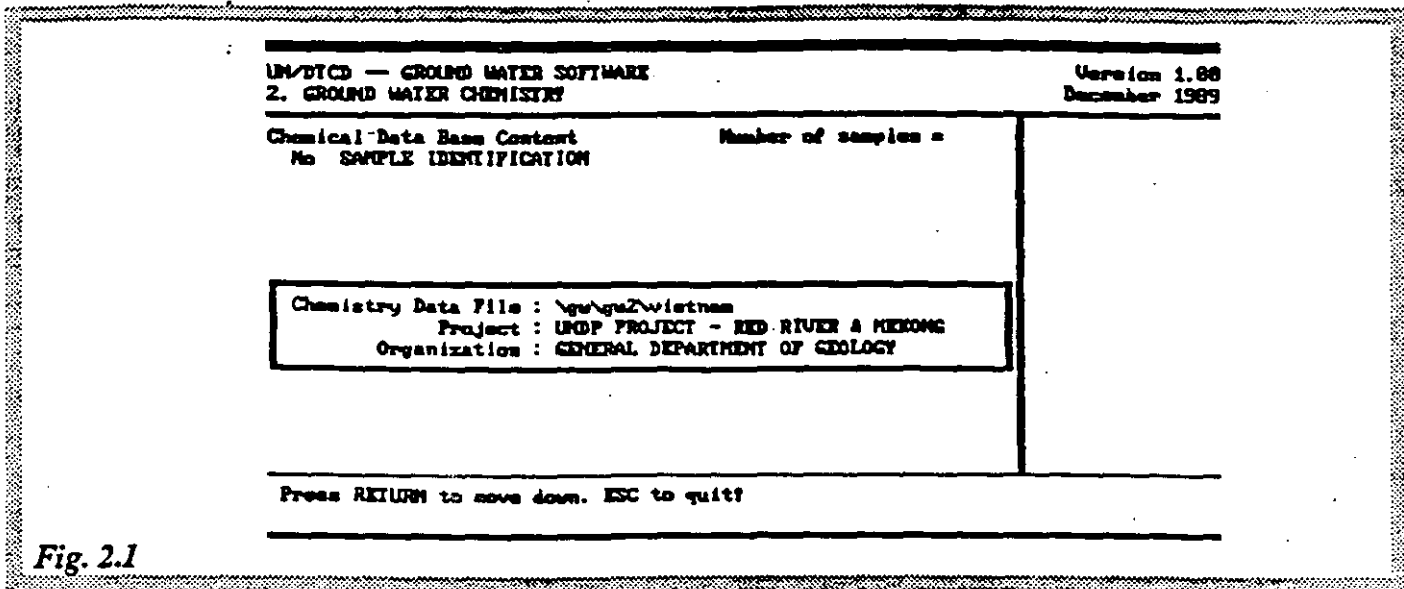


Fig. 2.1

- (1) If this is the first time a Chemistry Data File is being created, i.e. if such a file had not been created before and does not exist on the disk, there will be a message displayed at the bottom of the screen, after the name of the file is typed:  
 This file does not exist.  
 Press C to create new file or Esc to exit.
- (2) If the file exists on the disk, the program displays two lines identifying the file (Project and Organization), and the cursor moves to the second line (Project:). You may modify the title of the project and then press RETURN. The cursor then moves to the third line (Organization:) which can also be edited. When you press RETURN, the screen displays another window with the total number of samples in the data base shown at the top of the screen (Number of samples =), and lists the first 14 samples (sequential number and identification), as shown in Fig. 2.2.

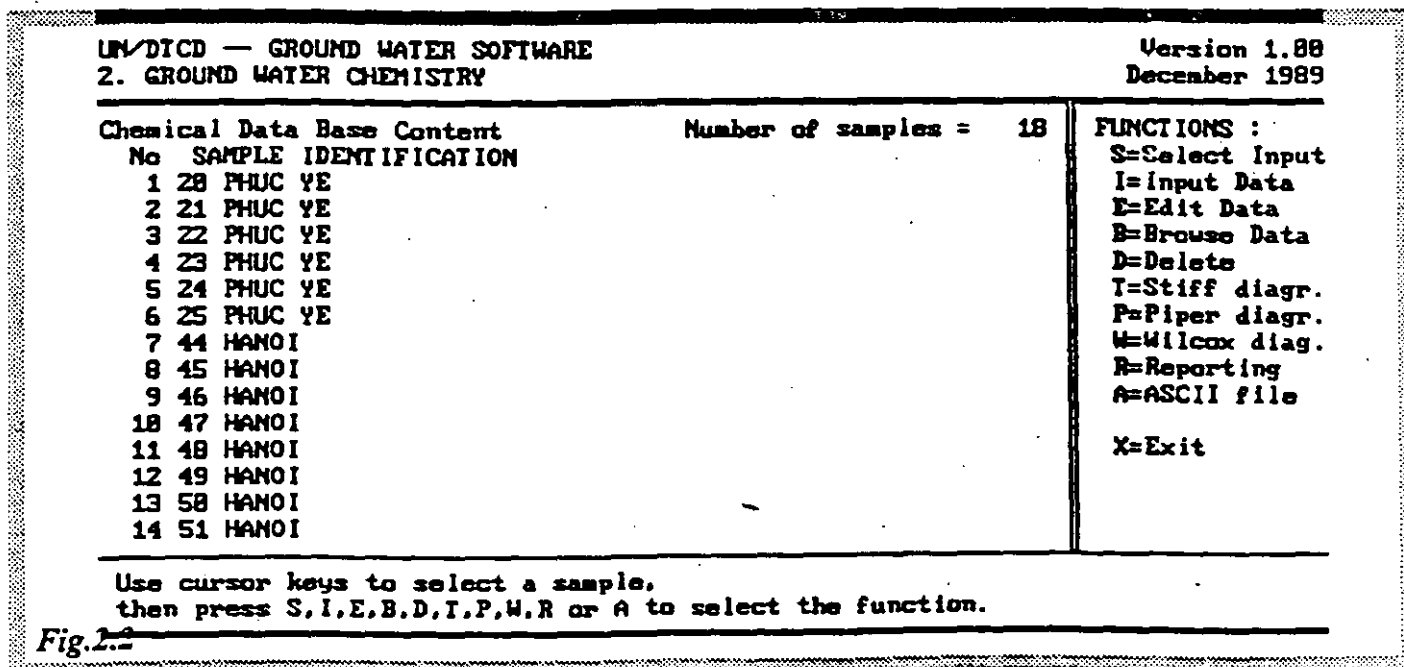


Fig. 2.2

```

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE
2. GROUND WATER CHEMISTRY
Version 1.00
December 1989
    
```

SELECT ANALYSIS CONSTITUENTS AND/OR PARAMETERS		
CATIONS:	ANIONS:	OTHERS:
Ca	HCO3	SiO2
Mg	CO3	TDS
Na	SO4	Hardness
K	Cl	Alkalinity
Fe	NO3	Conductivity
Mn	PO4	pH
	F	
	B	

Press F to select this item as input to data base. Press any key to skip.

Fig. 2.3

### 2.3. Procedure to Create a New Data File (Data Base)

After you enter the name of the new file and press the C key to create the file, you are prompted to fill in the "Project" and "Organization" fields.

The screen then displays the choice of constituents (parameters) that may be entered into the ground water chemistry data base (Fig. 2.3). The table is divided into three columns. The first column, cations, contains Ca, Mg, Na, K, Fe, and Mn. The second column, anions, contains HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, F, and B. The third column, others, contains SiO<sub>2</sub>, TDS, Hardness, Alkalinity, Conductivity, pH. A total of 20 parameters can be entered into the data base.

Since not all of these constituents and/or parameters are analyzed and/or collected in all projects, the program enables you to select the parameters you wish to enter into the data file. You may select parameters by moving the cursor and pressing Y whenever you wish to add a parameter to the data base list. Pressing any other key will skip the current line. The data base will contain internally all 20 fields, regardless of the selection you make. This means that the data base can be updated with new samples by changing the contents, i.e. by adding new parameters to the data base. This selection is programmed to make input of data easier, that is, to allow you to input only the data which have some positive value.

After you select the data parameters you are given two options: (1) you can reselect the parameters by typing "S". (2) you can begin to input data input by typing "I". The first option returns you to the beginning of the parameter selection procedure described above. The second option allows you to enter your actual data from field notes or laboratory forms into the computerized data base. After you type "I", the screen displays the following (Fig. 2.4): Sample No appears in the upper right corner, the Identification field in the second line,

```

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE
2. GROUND WATER CHEMISTRY
Version 1.00
December 1989
    
```

Chemical No	INPUT DATA	Sample #
1		19
2	Identification :	
3		
4	Ca =	TDS =
5	Mg =	Hardness =
6	Na =	Conduct'y =
7	Fe =	pH =
8	HCO3 =	
9	SO4 =	
10	Cl =	
11	NO3 =	
12		
13	Enter sample identification: press RETURN	
14	Esc/Finish input/edit	

Fig. 2.4

followed by the list of parameters that you have selected. The program enters the sample number for you, starting with the number 1 for a new data base. The cursor moves to the second line - Identification, and the following message appears at the bottom of the screen: "Enter sample identification". The sample identification can be up to 46 characters long. It is used by the program only to identify a sample. You may type the number, laboratory sample number, locality, name, depth of a well, date of sampling, etc. Any combination of ASCII characters is permitted. After the identification is entered, the cursor moves to the first of the selected parameters (normally it will be Ca). Type the values, one by one, using the back arrow key to erase errors. After the last parameter is input (normally pH value), the screen displays Sample N° 2, and the cursor moves to the new identification field. (Any error can be corrected later in EDIT mode.)

Once you have entered the initial data for your data base, the remaining procedures are identical to those for already created data bases; these are described below.

## 2.4. Available Program Functions

As mentioned above, if the data file had been created before and exists on the disk (directory), the Project and Organization which are associated with the file will be shown automatically. After you press the RETURN twice, the total number of samples contained in the data file will be shown in the right corner of the first line, and the identification of the first 14 samples is displayed sequentially.

The right portion of the screen displays the list of available functions. The following functions can be selected (see Fig.2.2):

- S - select input
- I - input data
- E - edit
- B - browse
- D - delete
- T - Stiff diagram
- P - Piper diagram
- W - Wilcox diagram
- R - Reporting
- A - ASCII file

The role of the "S" - select input function was explained before. Likewise the "I" - input data function was used to start creating a new data file. The "T" function can be used in an existing file to continue with the input of new samples. For example, if an existing data file contains already 20 samples, by pressing "I" the Sample N° 21 will be displayed in the first line and the cursor will be at the Identification field. The parameter fields shall be blank waiting for you to input data.

The "E" - edit function allows you to make corrections and modifications to be made in data files. Before pressing the E key, first move the cursor to the sample number that you want to edit. The screen looks as shown in Fig. 2.5. The sample number is displayed, its identification shown and data values reproduced as

EDIT INFO	Sample #	S
Ca = 41.0		
Mg = 12.0		
Fe = 2.0		
HCO3 = 22.0		
SO4 = 2.0		
Cl = 0.0		
NH3 = 0.0		

Enter sample identification: please RETURN

Fig. 2.5

input into the data base. Any parameter can be changed by pressing RETURN and moving down the data analysis form. The previous value can be erased either by using DEL key or the F2 and F3 function keys.

The "B" - browse function permits you to view the contents of the data base. Pressing the up/down arrow keys displays one sample at a time either toward the beginning or end of the data base. Likewise, HOME and END keys display the first or last sample in the data base, respectively. Browsing is shown in Fig. 2.6.

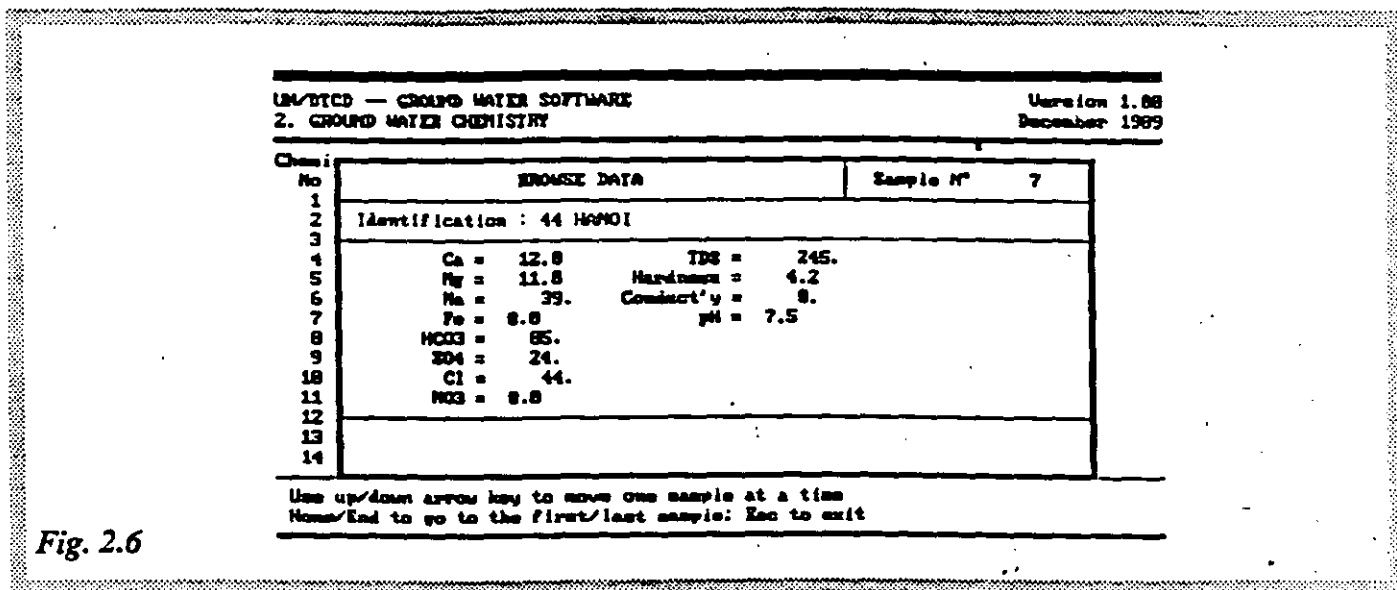


Fig. 2.6

The "T" - STIFF diagram key starts one of retrieval programs, that of displaying/printing the STIFF diagram. The STIFF diagram is shown in Fig. 2.7. Before you press the key "T" you must place the cursor on the line with the sample for which the STIFF diagram is required. The STIFF diagram processing will be explained later.

The "P" - PIPER diagram key is used to view on the screen, or to plot on the printer/plotter, the PIPER diagram. The PIPER diagram processing will be explained later.

The "W" - WILCOX diagram key is used to view or to print/plot the WILCOX diagram. The WILCOX diagram processing will be explained later.

The "R" key is used to activate the reporting subroutine.

The "A" key is used to make a copy of the data base in ASCII format. Such a file may then be used as input file to other retrieval programs, or it may be edited by a text processor.

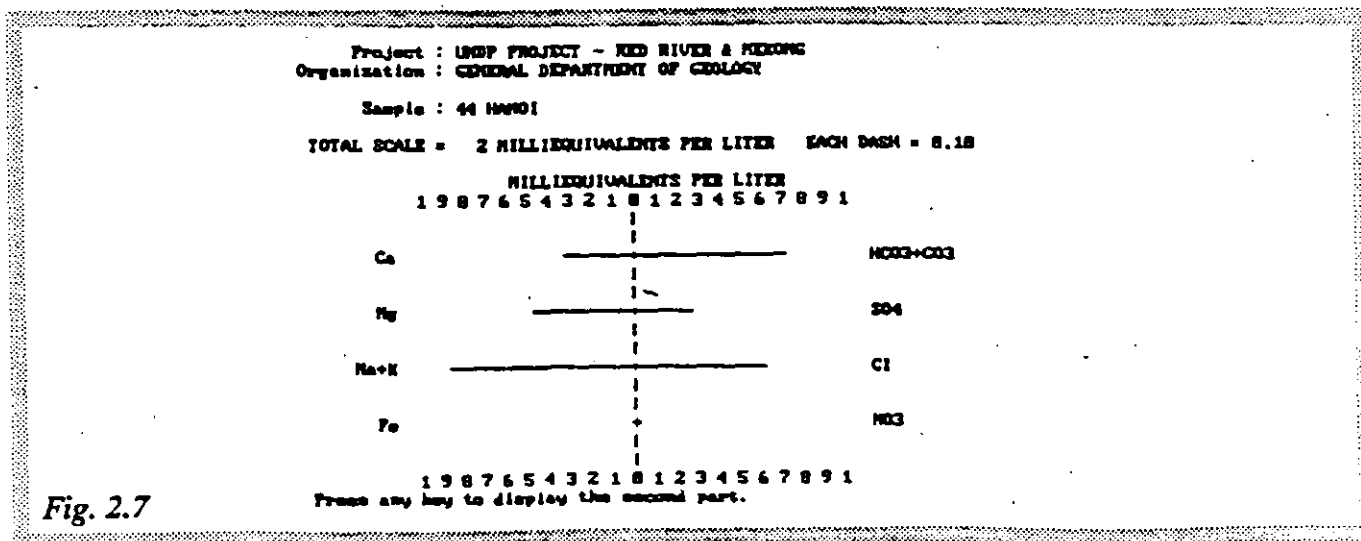


Fig. 2.7

## 5. Application Programs

**STIFF Diagram.** Named after H.A. Stiff, Jr. (*STIFF, H.A., Jr., 1951. The Interpretation of Chemical Water Analysis by means of Patterns, J. Petrol. Tech. pt. 15.*) the STIFF graphical method plots four major cations (Ca, Mg, Na+K, Fe) on the left side, and four major anions ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$ ) on the right side. The original STIFF plot connects the points on the diagram and produces a pattern which, when compared to another analysis, can be useful in making comparisons of waters. This program presents a modified STIFF diagram in which the length of each line defines the concentration of a particular cation and anion. Concentrations on the diagram are expressed in equivalents per million (milliequivalents per liter). One example is shown in Fig. 2.7. Since iron and nitrates are normally present in insignificant concentrations, most natural waters can be represented as solutions of three major cations (calcium, magnesium, sodium with or without potassium) and three major anions (bicarbonate plus carbonate, sulfate, chloride). If any of these is missing, the program declares such analysis as incomplete.

After a sample is highlighted (selected) from the list of all samples in a data base, and the key "T" pressed, you will have several options where to direct the output - to screen ("D" for display), to printer ("P" for printer), and to an output disk file ("W" for write) for later editing and/or printing.

Provided that the analysis is complete (at least Ca, Mg, Na or K,  $\text{HCO}_3$  or  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl present with nonzero positive values) and the analysis is balanced (the sum of anions matches the sum of cations within 5%, or within any other tolerance specified by you), the output, composed of two parts, will be generated. The first part is a graphical presentation of the analysis in the form of the modified STIFF diagram. The second part contains all important parameters and/or constituents, such as total dissolved solids (TDS), type of water (defined by the dominant cation and dominant anion), all major cations and anions (expressed in ppm and epm), and other parameters if available (hardness, electrical conductivity, pH, alkalinity, etc.). The program also calculates and prints the SAR value (sodium adsorption ratio).

If an analysis is incomplete, the program displays the message "Analysis incomplete" and shows the constituents which are missing or zero. Nothing else will be displayed in the case of an incomplete analysis.

If an analysis is not balanced, which in the context of this program means that the sums of anions and cations expressed in epm differ by more than 5% (or anything specified by you), the message "CATIONS AND ANIONS DO NOT BALANCE" is displayed, followed by the sums of cations and anions and percentage error. The error is expressed as twice the absolute difference of cations and anions divided by the sum of cations and anions, all in equivalents per million, multiplied by 100. The diagram will not be shown, but the rest of information (constituents, type of water, SAR, etc.) will be printed and/or displayed.

**PIPER Diagram.** Named after A.M. Piper (*PIPER, A.M., 1953. "A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis," U.S. Geol. Surv. Ground Water Note 12.*), the trilinear diagram (see Fig. 2.8) presents graphically a group of analyses on the same plot. The text that explains the structure of the PIPER diagram is taken from Walton (*"Groundwater Resource Evaluation", McGraw-Hill, 1970*).

*"Piper (1953) developed a form of the trilinear diagram which is an effective tool in segregating analysis data for critical study with respect to sources of the dissolved constituents in groundwaters, modifications in the character of a water as it passes through an area, and related geochemical problems. For the PIPER trilinear diagram, groundwater is treated substantially as though it contained three cation constituents (Mg, Na, and Ca) and three anion constituents (Cl,  $\text{SO}_4$ , and  $\text{HCO}_3$ )..."*

*The PIPER trilinear diagram combines three distinct fields of plotting, two triangular fields at the lower left and lower right, respectively, and an intervening diamond-shaped field. All three fields have scales reading in 100 parts. In the triangular field at the lower left, the percentage reacting values of the three cation groups (Ca, Mg, Na) are plotted as a single point according to conventional trilinear coordinates. The three anion groups ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl) are plotted likewise in the triangular field at the lower right. Thus, two points on the diagram, one in each of the two triangular fields, indicate the relative concentrations of the several dissolved constituents of a groundwater... The central diamond-shaped field is used to show the overall chemical character of the groundwater by a third single-point plotting, which is at the intersection of rays projected from the plottings of cations and anions. The position of this plotting indicates the relative composition of a groundwater in terms of the cation-anion pairs that correspond to the four vertices of the field. The three trilinear plottings will show the essential chemical character of a groundwater according to the relative concentration of its constituents, but not according to the absolute concentrations".*

When you press the "P" key, the message Enter drawing identification appears on the screen. Type an identifying title for the Piper plot. The identification will be centered on the 80-column wide paper (standard A4 format, width 210 mm). One may type e.g. PIPER TRILINEAR PLOT, or the name of the project, district,

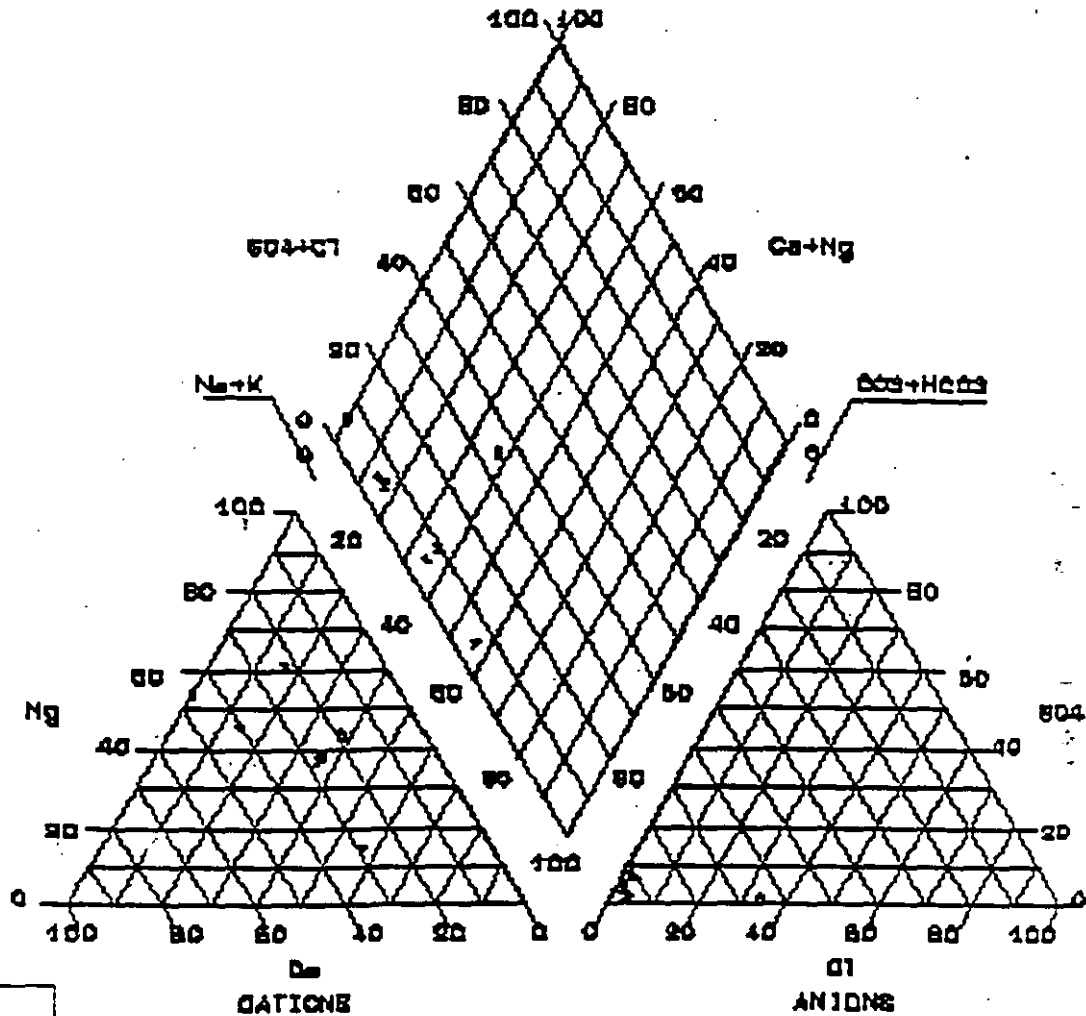


Fig. 2.8

etc. After the plot is identified, you are prompted to select water sample analyses to be plotted on the PIPER diagram. This is one of major advantages of the program – you are able to select analyses to be shown on a PIPER plot. Thus, you may create a rather large data base, and retrieve on one PIPER plot only samples that belong to the same project, or the same area, or that were taken at a certain date. You may use the cursor keys, or CTRL+HOME (to move the pointer to the beginning of the file), or CTRL+END (to move the pointer to the end of the file), or PgDn (PgUp) keys. When you have selected a sample to be plotted press "P", move the cursor to another sample, and repeat the operation of sample selection. When the last sample is selected, press "X" to start the plot.

After pressing the "X" key, you will have four options: (1) to print the graph (press P), (2) to view the graph on the screen (press D), (3) to send the graph directly to the plotter through COM1 serial port (press H), (4) to create an ASCII plot file to be used on another plotter or in another application (press A). Normally you will want to see the graph first. Press D. After the graph is shown you may enlarge some detail by zooming a rectangle. For this you will need a mouse. Read the message on the right side of the screen. If you select P to print the graph, provided that there is paper in printer and printer is switched on, a table identifying all samples

to be plotted will be printed first. The programmers decided to convert all small numbers and identifications to one character only. This is for the sake of readability of the plot in the case of many samples with similar chemical content. However, this limits the number of samples that can be shown on one PIPER diagram to 59 (numbers 1 through 9, capital letters A through Z, small letters a through z). Yet, it is believed that one PIPER diagram should not contain more than, say, 20 to 30 samples for the diagram to be conclusive. Before and after the first table identifying samples is printed, the program pauses giving you the chance to replace or realign the paper. Samples are located on the Piper diagram in the center of the respective character (letter, number).

You may plot the graph on a plotter using or emulating the Hewlett-Packard Graphical Language (HPGL). You must have configured your COM1 serial port according to instructions in your plotters' manual, or following the instructions in Introduction. The plot shall not display the table. Only the graphical screen shall be reproduced in the plot.

**Wilcox Diagram.** A diagram for use in studying the suitability of ground water for irrigation purposes, named after Wilcox (Wilcox, L.V., 1955. "Classification and Use of Irrigation Water," U.S. Dept. of Agr. Circular 969), is based on the sodium adsorption ratio (SAR) and conductivity of water expressed in micromhos/cm at 25 degrees Centigrade. The SAR value is defined by

$$\text{SAR} = \{ \text{Na} / [0.5 \times (\text{Ca} + \text{Mg})] \}^{0.5}$$

High content of exchangeable sodium is highly undesirable for agriculture, and likewise is the high total dissolved solids content, expressed as conductivity of water. An example of the Wilcox diagram is shown in Fig. 2.9.

The processing of the Wilcox diagram is very similar to the routine used in creating the Piper diagram. After selecting the function W (for Wilcox), you have to choose which samples to include in the diagram. This is

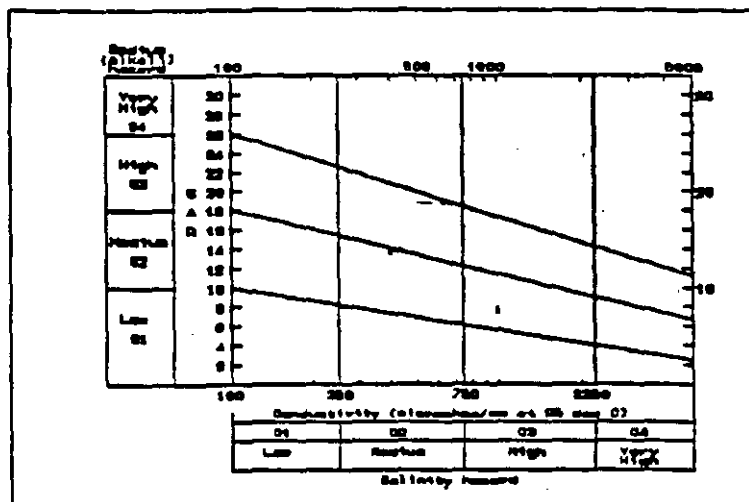


Fig. 2.9

done, as instructed on the bottom line of the screen, by moving the cursor up and down and pressing the key P for each sample to be included. The program checks instantly whether both SAR and conductivity are nonzero positive values. If either of the two is missing and/or zero, there will be a message

Not enough data for Wilcox diagram

Press any key to continue

In either case, continue with the selection of other samples. After selecting the last sample press X to process the Wilcox diagram. The rest of the processing is very similar to the Piper diagram subroutine.



## 2.6. Reporting

With the "R" key you can print a report on your chemical data base. When you type R, a window entitled "Select Output Items" pops down, showing all output items that are currently included into the data base. As shown in the example from Nepal, Fig. 2.10, there is a total of 20 items currently in the data base. In addition

UN/DICD - GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.68	
2. GROUND WATER CHEMISTRY		December 1989	
Chem No	Select Output Items	Selected Items	
1	Vert. line Cl(ppm)	Vert. line	pH
2	Seq. No. Cl(ppm)	Seq. No.	SAR
3	Sample Id. TDS(ppm)	Vert. line	Vert. line
4	Ca(ppm)	Sample Id.	
5	Ca(ppm) Cations	Vert. line	
6	Mg(ppm) Anions	Ca(ppm)	
7	Mg(ppm) SAR	Mg(ppm)	
8	Na(ppm)	Na(ppm)	
9	Na(ppm)	Vert. line	
10	HCO3(ppm)	HCO3(ppm)	
11	HCO3(ppm)	SO4(ppm)	
12	SO4(ppm)	Cl(ppm)	
13	SO4(ppm)	Vert. line	
14		TDS(ppm)	
Use cursor keys to select an item, then press RETURN to include it in the report. Esc=end of selection.		Total Report Width 88 columns	

to major cations and anions, which were manually input in ppm, the program calculated ppm values of cations and anions, the SAR value, and sums of cations and anions in ppm. In some other cases, there may be more input parameters, e.g. conductivity, alkalinity, boron, manganese, etc.

Table 2.1. Example of Reporting

Seq. No.	Identification	Ca	Mg	Na	HCO3	SO4	Cl	C	A	TDS	pH	SAR
1	267-SEMARI	26	22	39	276	6	5	4.80	4.79	206	8.30	1.36
2	268-SARAHAWA	20	33	17	258	9	3	4.45	4.50	226	8.20	0.54
3	269-ASNIYA	35	31	56	374	23	5	6.73	6.75	398	8.30	1.66
4	270-GULARIA	30	21	12	216	6	3	3.75	3.75	280	8.10	0.41
5	271-CHIVPURWA	38	27		212	4	5	4.12	3.70	242	8.10	
6	272-BAIDULI	26	37	61	278	5	84	6.99	7.03	200	8.40	1.80
7	273-CHAVNAR TO	26	8	59	265	5	5	4.52	4.59	360	8.20	2.60
8	274-S.P.OFFICE	80	6	7	270	13	4	4.79	4.81	340	8.20	0.20
9	275-DHARMANAGA	20	27	34	278	2	4	4.70	4.71	248	8.30	1.17
10	276-BELAHTYA	30	23	25	264	2	4	4.48	4.48	260	8.10	0.84
11	277-DUMRAHA	26	23	32	270	4	2	4.58	4.56	240	8.00	1.10
12	278-AMUWA	23	30		188	2	4	3.61	3.24	280	8.00	
13	279-PACHHEDAWA	16	28	22	234	6	4	4.06	4.07	210	7.90	0.77
14	280-SONBRASA	24	33		180	5	5	3.91	3.20	210	8.00	

C - Cations

A - Anions

Each of the parameters to be reported, excluding the Sample identification, has a default column width. All cations and anions in ppm are 6 characters wide (including blanks between two parameters) and all cations and anions in epm are 7 characters wide. The TDS is also 6 characters wide (with separating blanks), the SAR and pH values are each 7 characters wide. You may decide on (1) content of report, (2) width of report, (3) number and place of vertical lines to separate parameters.

Each vertical line occupies 2 characters (one for line, one for blank), the Sequential number (1,2,3...) occupies 5 characters, and Sample identification 14 characters by default. This may be altered as prompted by the program. Table 2.1 is an example of a report form for the data base from Nepal. Included are the following: Sequential number, sample identification, major cations and anions in ppm, sums of cations and anions in epm, TDS, pH, SAR. Several vertical lines separate groups of items. The total width of the report is 112 columns. After you select all the items to be included in the report, the program prompts first for Report title, then for Number of lines per page, and finally for Left margin. If the width of the report is limited to 80 or less characters, the whole data base may have to be printed in more than one page. Thus, identifications can remain the same on two-page report, with constituents reported in ppm on one page, and epm on another page. TDS, SAR, pH, alkalinity, conductivity, hardness, etc. can be reported on either of the two pages. Alternatively, the whole report can be condensed on a standard A4 format by instructing the printer to print in condensed mode (15 or 17 characters per inch - cpi). For this you can use any of available routines (printer's Escape codes, PC-PRINT or similar utility, SIDEWAYS, and so forth).

## 2.7. ASCII File

---

You can copy your data base file to an ASCII disk file by pressing the "A" key. You have the option to select items from the data base to transfer to an ASCII file. The procedure is similar to selecting items for reporting, except that the output goes to a disk file from which you can retrieve it by any of available DOS routines (TYPE, for example), third-party utilities (e.g., SHOW), or text processors. You can use the ASCII file as input file for other ground-water quality retrieving programs that are not contained on this diskette.

## 2.8. TABLES

---

The program TABLE.EXE can be used to display several water-quality related tables:

1. *Conversion factors (PPM to EPM)*
2. *Maximum permissible concentrations of radio-nuclides in ground water*
3. *Standards - U.S. Public Health Service 1962*
4. *Boron in irrigation water*
5. *List of inorganic constituents*
6. *List of organic constituents*

You execute the program by typing the following command at the DOS prompt: TABLE.

The menu with options for 6 tables appears on the screen and you may select any one of these. Since all 6 tables are written in ASCII format in disk files TABLE1, TABLE2, ..., etc., they can be viewed with the utility SHOW, or typed with DOS utility TYPE TABLE& > LPT1, where & is any number from 1 through 6. You can edit these tables just like any ASCII file. (WORDSTAR was used to create the tables.)

# Pumping Test Data Base and Analysis

## 3.1. General

---

This is a data base program, with data analysis and presentation capabilities (screen graphics, print, plot). Although this program will run on computers without a mathematical co-processor, absence of a co-processor seriously impairs processing speed. This is especially noticeable in the Hantush leaky theory analysis, which works in iterative cycles and requires a large number of floating-point calculations. Because there are several screen-display graphics routines a video display adapter is highly desirable, although not mandatory.

The program's output to printer was tested on EPSON LQ800/1000 printers. Although not tested, any matrix printer with graphics capability emulating the EPSON Escape Sequence code should be sufficient. The data base editor is independent of the printer, and so are all procedures excluding printing out results. In other words, the program can be used and results obtained without a printer. All data contained in the data base can be shown on the screen in either alphanumeric mode (time, drawdowns, levels, pumping rates, calculated parameters, etc.), or in graphics mode (time-drawdown diagrams). Pumping test graphs can also be plotted on a Hewlett-Packard (HPGL) compatible plotter.

The distribution program comes with several examples. These are contained in files INDIA.PT1, INDIA.PT2. The examples are from a current UN/DTCDC project in India. The pumping test data base is prepared by this program in such a way that two files are created, with extensions PT1 and PT2, respectively. One contains general information about wells (location, aquifer, static water level, pumping rate, type of aquifer, type of well, etc.), while the other contains pumping test data (pairs of water levels or drawdowns versus time).

At certain places during program execution the program may appear slow. Either edited data are being written to the disk file, a scratch file is being created, or calculations are being performed. Depending on the main processor clock rate, and the availability of a mathematical co-processor, this time lag may be from several seconds to a minute or two. Please be patient. If the program is not running correctly a message will be displayed on the screen. In some cases, though rarely, the program will terminate without producing results. Moreover, the termination might be abnormal, and you might need to reset the computer. This will be corrected in the second release.

In order to run the GW3 program you must copy the following files to the \GW directory: GW3.EXE, UN3.CMN, UN3.MST, UN3.WND. With the GW3.EXE file in a compressed version occupying itself 317,216 bytes, these four files occupy about 369,000 bytes. The memory required for running this program is 437,000 bytes for the program without graphics screen and/or printer support. For the maximum memory see Introduction. While running the program it is advisable that you prepare your example or actual data base files in a directory other than the \GW directory. You may log into that directory and type GW to start the ground water software. Then select "3. Pumping Tests" with cursor and press ENTER.

## 3.2. Program Overview

---

The program creates a pumping test data base. Once data are transferred into the computer, several methods of analysis should be attempted, and standard deviation of the fit recorded. The method which produces the least standard deviation should be accepted as being most representative, provided this agrees with the local hydrogeological situation.

The test data file is limited to 100 time-drawdown or time-level pairs.

The methods selected for analysis are the classical THEIS, JACOB and HANTUSH type-curve matching or semilogarithmic approximations, plus the recovery method and large-diameter dug well pumping test method. Only corrections for water-table aquifer are incorporated in the program. There is no correction for partial penetration, neither for boundary effects nor for variable pumping rates. The dug-well test routine differs from the others. While in the classical theory the program fits the data with assumed values of transmissivity and storage coefficient, in dug-well test you should supply "guess values" of transmissivity and storage coefficient. The program fits test values (levels) with guessed values and generates a drawdown curve which is plotted along with test drawdown curve. You select the pair of coefficients with the best fit.

### 3.3. Running Program

The program starts by displaying the screen as shown in Fig. 3.1; you are prompted to type the name of a pumping tests file. The cursor is at "Pumping Tests File". Such file, whether existing or about to be created, may contain one or many pumping test data. This file may contain up to 200 pumping tests from any number of different wells. The idea is to group all pumping tests from a project or an area into one data base.

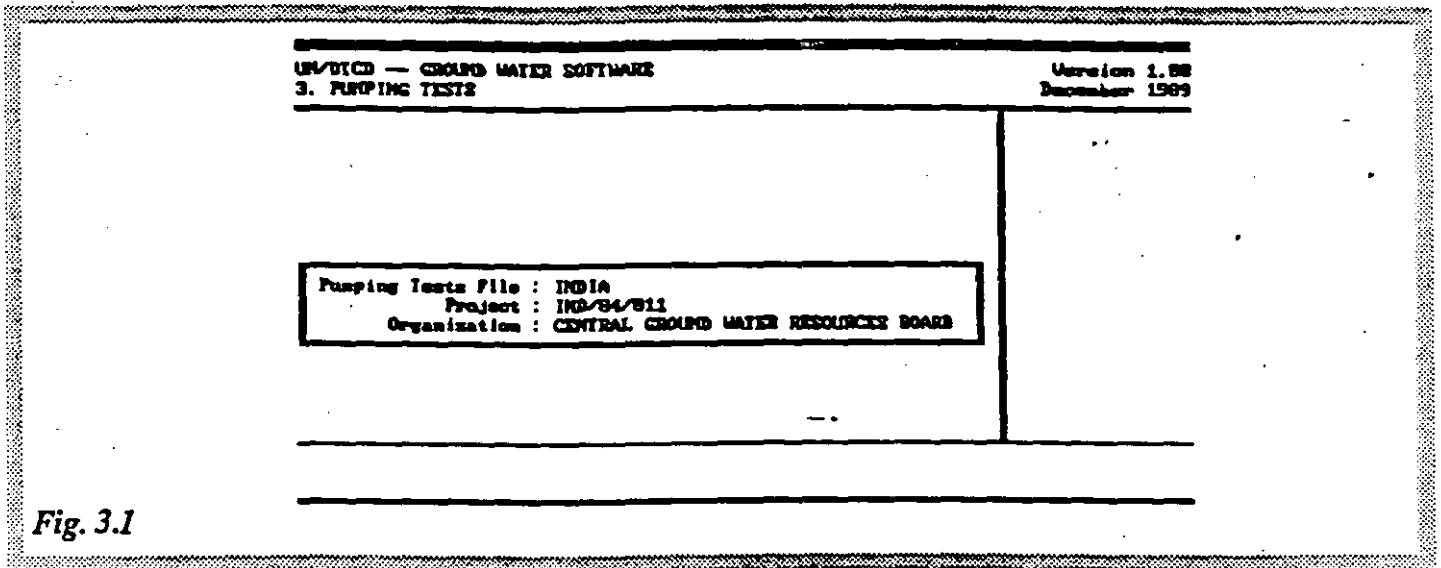


Fig. 3.1

Type in the name of a pumping test file without extension. After you type the data file name the program checks whether such a file exists in the directory that you have specified. If it exists the cursor moves to the second field: Project, and then to the third: Organization. You may type anything that will identify your project and/or organization, or you may press RETURN on both prompts. However, if the program discovers that your data file name is incorrect or nonexistent, there will be a message at the bottom of the screen (message window):

This file does not exist.

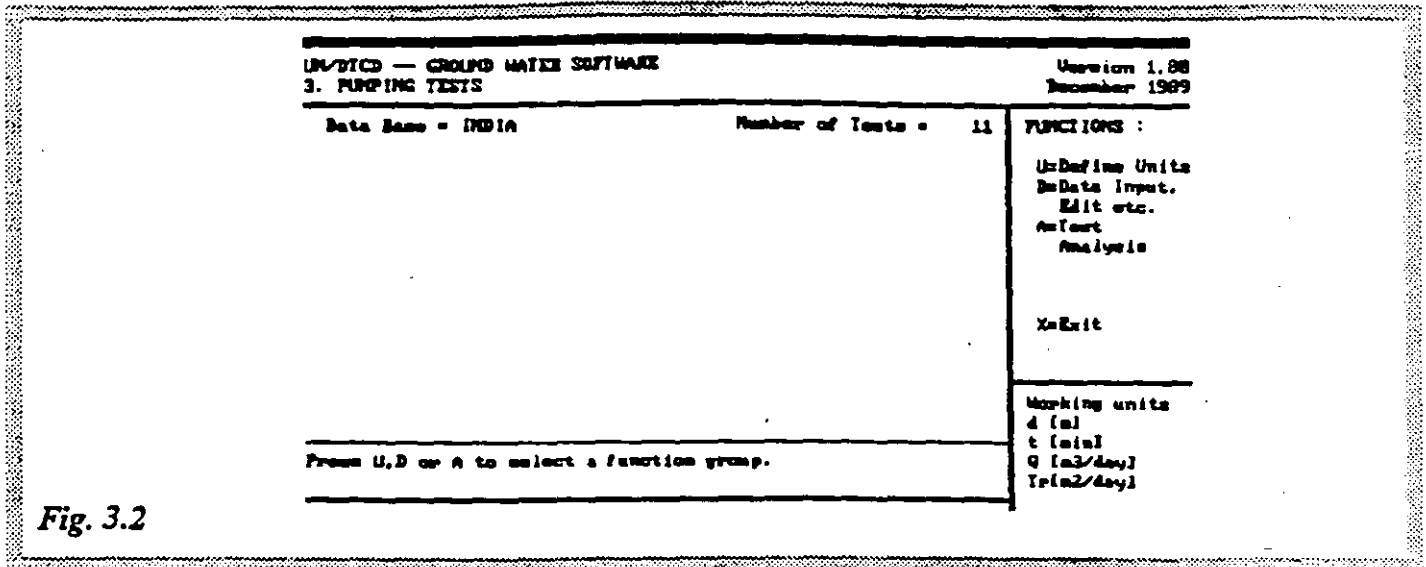
Press C to create new file or ESC to exit.

This message is quite clear. Typing C brings the cursor to the second line: Project, to which you may type anything identifying your project or you may press RETURN to move further. If you typed the data base file name incorrectly, you may correct this by pressing RETURN on the first prompt. The cursor is again on the first line and the program waits for another file name.

In the case you are working with an existing data base, you may edit (change, modify) your project identification and organization title. This screen may have a final look as shown in Fig.3.1.

The next screen is the main menu (Fig. 3.2). From here the program branches into three directions: (1) defining units, (2) input and editing data, and (3) analyzing test data. The main menu screen has several "working" sections. The program identification remains on top. The main portion is filled with only two items:

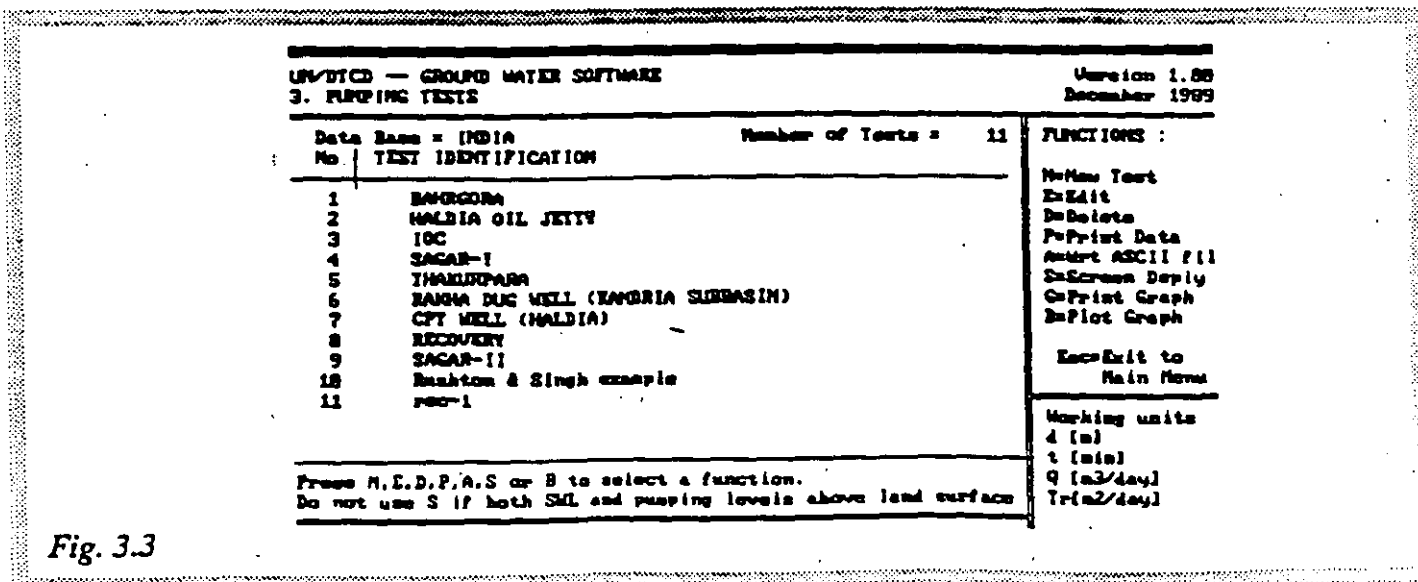
(a) Data base name, and (b) Number of tests in the current data base. The bottom (message) section contains the instruction 'Press U,D or A to select a function group'. The function groups are defined on the right side of the screen. Unless the default units are selected as shown on the right side lower corner, which are in essence the standard metric units, you should select the letter U to define another set of units. The selection



of units is explained in Introduction. The corner with currently selected units will remain visible throughout most of the program. Only from this main menu you may return to the main menu of the Ground Water Software program and/or exit to DOS by pressing X.

### 3.4 Data Input, Editing, Screen Display, Deleting Analysis, etc.

The second group of operations is activated by pressing the letter D from main menu. In the case that the data base exists with one or more pumping test data in it, the next screen shall display the list of tests (wells) in the current data base. The example shown in Fig. 3.3 is from India, from a Central Ground Water Board – UNDP project in the Kasai-Subarnarekha area. If you are creating a new data base, only the list of functions will appear on the right side, while the message on the top shall display "Number of Tests: None".



UNDP project in the Kasai-Subarnarekha area. If you are creating a new data base, only the list of functions will appear on the right side, while the message on the top shall display "Number of Tests: None".

**New Test.** If you are creating a new data base, type the letter N. The cursor appears on the message line prompting for test identification. You can type anything that identifies the test, but the identification cannot go beyond the light line. In the example shown in Fig. 3.4, the identification "New Test, date 1/2/87" was entered. After pressing RETURN, you will be prompted for pumping rate and distance from the observation well. All programs are prepared for constant pumping rate during a test. When the prompt for "Distance

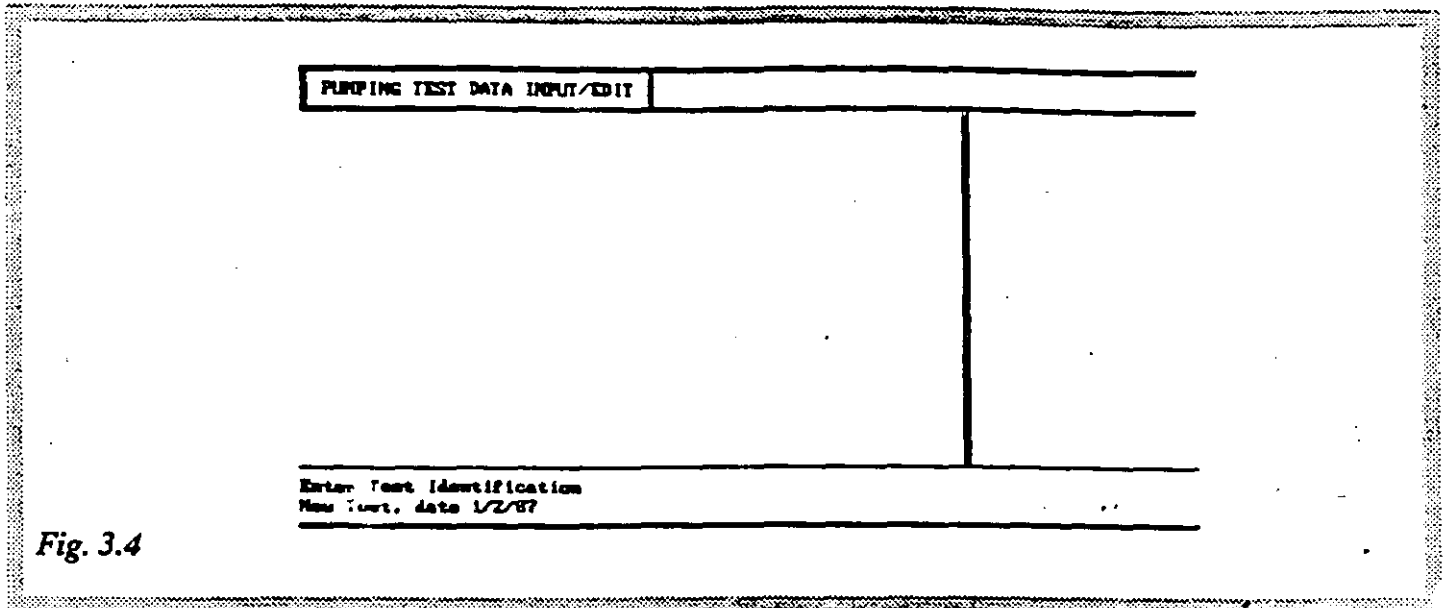


Fig. 3.4

from Pumping Well" appears, you should type either actual distance or well radius in the case that no observation wells are available. (In the latter case, the distance is hypothetical, since the storage coefficient cannot be obtained from the pumped well alone, but the program demands that a distance be input.)

The next prompt is for the type of aquifer, confined or unconfined. The program adjusts drawdown data for decrease in the transmissivity using the formula derived by Jacob:

$$s' = s - (s^2/2m)$$

where:  $s'$  = drawdown that would occur in an equivalent nonleaky artesian aquifer;  
 $s$  = observed drawdown under water-table conditions;  
 $m$  = initial saturated thickness of aquifer.

If you type the letter U, indicating an unconfined aquifer, the next prompt will be for initial saturated thickness of aquifer. If a confined aquifer is indicated, the next question asks if you will input drawdowns or water levels. Possible answers are the letters D (drawdowns) and L (levels). If you select L (water levels), the next question asks for Static Water Level and a message is displayed at the bottom of the screen telling that when the SWL is above land surface (flowing wells) it should be typed as positive value; when the SWL is below the land surface a negative sign should precede the value.

The next prompt asks whether that well is a standard or dug well. "Standard" here implies any well except a dug well for which assumptions on which the classical Theis, Jacob and Hantush theories are based apply. The main difference between these two categories of wells is that in a "standard" well water is instantaneously released from the aquifer and no storage in the well is allowed. In the case of a dug well, most of water during the abstraction phase is taken from storage in the well, but when the pump is switched off, water continues to flow from the aquifer to refill the well. If standard well is the response, the general data input phase is finished, and the screen may display something similar to Fig. 3.5. If dug well is the answer, four additional parameters should be input:

- Well Radius to Face of Aquifer
- Well Radius of Storage Portion
- Pumping Duration
- Test Duration

PUMPING TEST DATA INPUT/EDIT		New Test. data 1/2/87	
Constant Pumping Rate = 864	[m <sup>3</sup> /day]	<b>FUNCTIONS</b> K=Input from Keyboard F=Input from ASCII file  Esc=Exit to Data Input/Edit Menu	
Distance from Pumping Well = 12.5	[m]		
Confined or Unconf. Aqu. T(C/U) = 0			
Drawdown or Level Data T(D/L) = 1			
Static Water Level = -3.4	[m]		
Standard or Dog Well T(S,D) = 0			
Now, you should enter TIME-LEVEL data. Press K or F.			

Fig. 3.5

"Pumping duration" is the duration of abstraction (pumping) phase, while "Test duration" is the total duration of the test, including abstraction phase and level recovery phase.

You have two options for inputting test data: (1) from keyboard, one by one; (2) from ASCII file created either by a word processor or text editor, or from another program. The options are invoked by letters K or F as shown in Fig. 3.5 in the function section.

After you type the letter K to select keyboard input, the screen looks as shown in Fig. 3.6. You should type time and drawdown values. You may speed up the input by first typing all the time values, using the down arrow key to move the cursor, and then return to the drawdown/level column and repeat the input for levels/drawdowns. Or, you may type one pair of values after another. To switch from time to drawdown or vice versa, you should press RETURN. Several function keys are also available for input/editing (F1, F2, F3,

PUMPING TEST DATA INPUT/EDIT		New Test. data 1/2/87	
№	Time [min]	Level [m]	
			<b>FUNCTIONS :</b> Esc-Finish edit Ctrl-C=Abort edit  <b>NOTE:</b> Levels above ground surface should be typed with - sign. F1-inserts row F2-inserts a field in column F3-erases row where CTRL F1 -erases row CTRL F2 -erases a field
CTRL HOME - data file top; CTRL END - data file end; HOME-upscreen top; END-downscreen bottom; PG UP, PG DN: F1, F2, F3			

Fig. 3.6

Ctrl F2, etc.). Their functions are shown on the right side of the screen. Since the same screen is used for editing an existing data file, the bottom message line describes the function of some other keys. E.g., simultaneous pressing Ctrl HOME brings the data file to the top of the file (data pair number 1), Ctrl END brings the cursor to the last data pair, HOME and END move the cursor to the top or bottom of the current screen, and Page Up or Down have usual meaning.

You can terminate input either by pressing the ESC key for normal termination, or Ctrl C to abort the input process. In either case the program returns to the Edit/Input menu. The program will notice if you have made a mistake by typing zero or negative time, or if you have not completed an input line with both time and drawdown/level values.

The second possibility is to transfer an existing data file created by a text processor. In that case at the submenu with two functions K and F, type F. The data file must be prepared in ASCII format, with time and level/drawdown data separated by either a comma or a blank. There will be a prompt displayed at message line: Enter input file name. After you type the file name, you will be prompted to specify in which way the data file is prepared: with time data as the first entry or with level/drawdown data in the first place. The answer can be Y (time data first) or N (level or drawdown data first). The program reads the data file and writes in the message line:

Number of Input pairs = .  
Press any key to continue.

After a key is pressed, the data file is transferred into the data base and the screen displays the list of all tests in the data base, including the new entry at the last line. In the same time the count "Number of Tests" in the upper right corner is updated.

An example of an ASCII data file is given below:

```

1      7.350
2      8.300
3      8.910
4      9.120
5      9.330
--     ----
18     10.450
19     10.500
20     10.520
--     ----
1200   14.210
1740   14.430
1800   14.440

```

In this example the order of data is time followed by level; time is in minutes.

**Editing Existing Data.** You select the edit function placing the cursor on the test sample you wish to edit, and pressing the letter E. The screen shown in Fig. 3.7 appears. The data are divided into two categories: (G) general data, (M) measured data. If you type the letter G to edit general data and supplying the answer BAHRGORA for the test name, the screen may look as shown in Fig. 3.8. If you type the letter M to edit measured data the screen may appear as shown in Fig. 3.9.

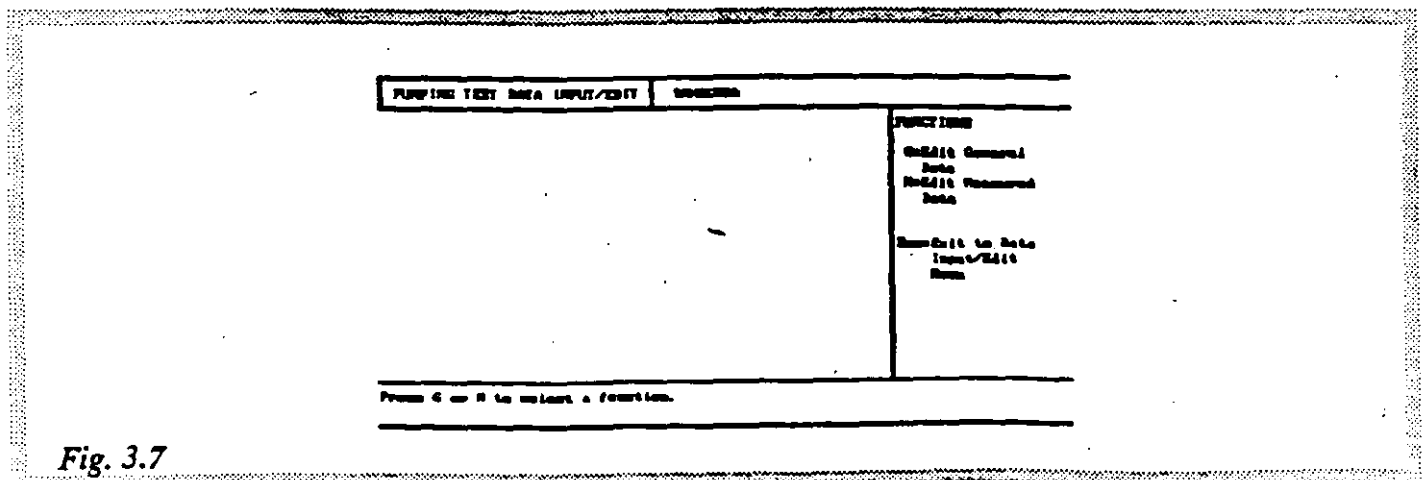


Fig. 3.7



Editing data is straightforward. Several function keys may assist. Their functions are shown on the screen. As a reminder the following keys can be used:

F1 - Inserts a row. Repeated pressing of F1 key makes space for several rows (time-level or time-drawdown data pair).

F2 - Inserts a field in a column. It is normally used when all time data are typed first, followed by the column

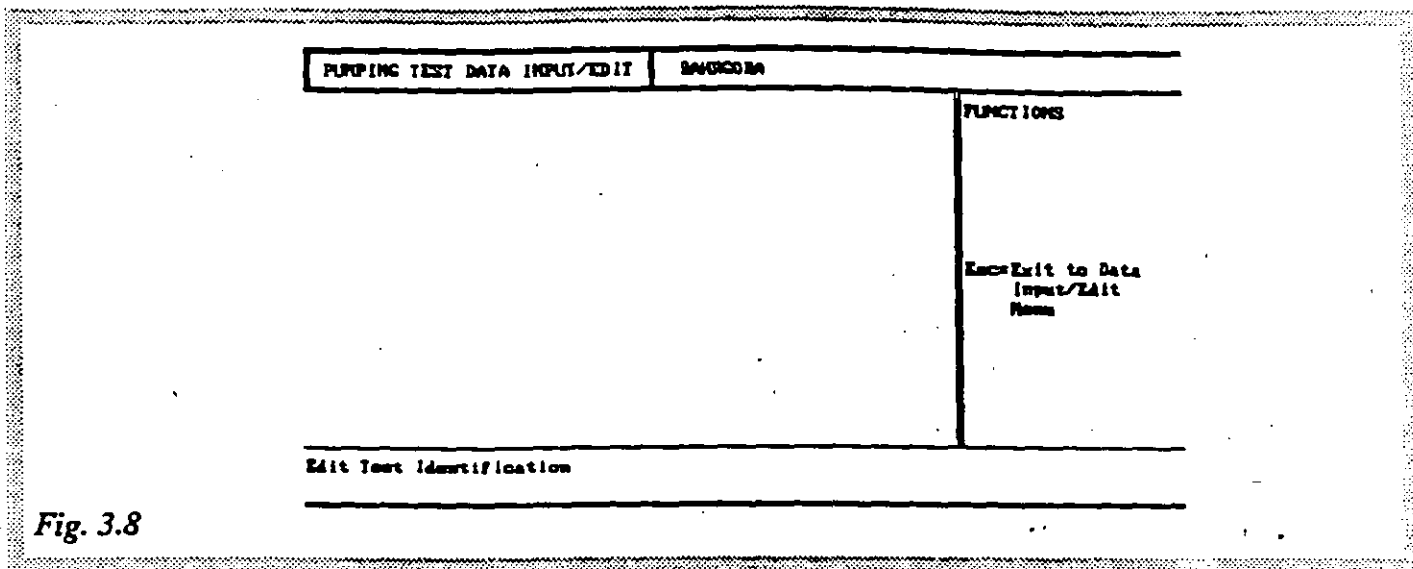


Fig. 3.8

of drawdown data. If you accidentally omit a value, you can create an extra space for the missing value by pressing F2.

F3 - Erases all numbers in a field to the right of the cursor position.

Ctrl F1 - Erases a row.

Ctrl F2 - Erases a field.

Editing is terminated by pressing the ESC key (normal termination after which the new version of the test overwrites the old one) or by simultaneous pressing of CONTROL and C keys (edit abort). In the case of normal termination of editing, the program returns first to the screen which offers editing (functions G and M), and then, after another ESC is pressed, to the Data Input/Edit Menu. In the case of aborting the editing operation, a message

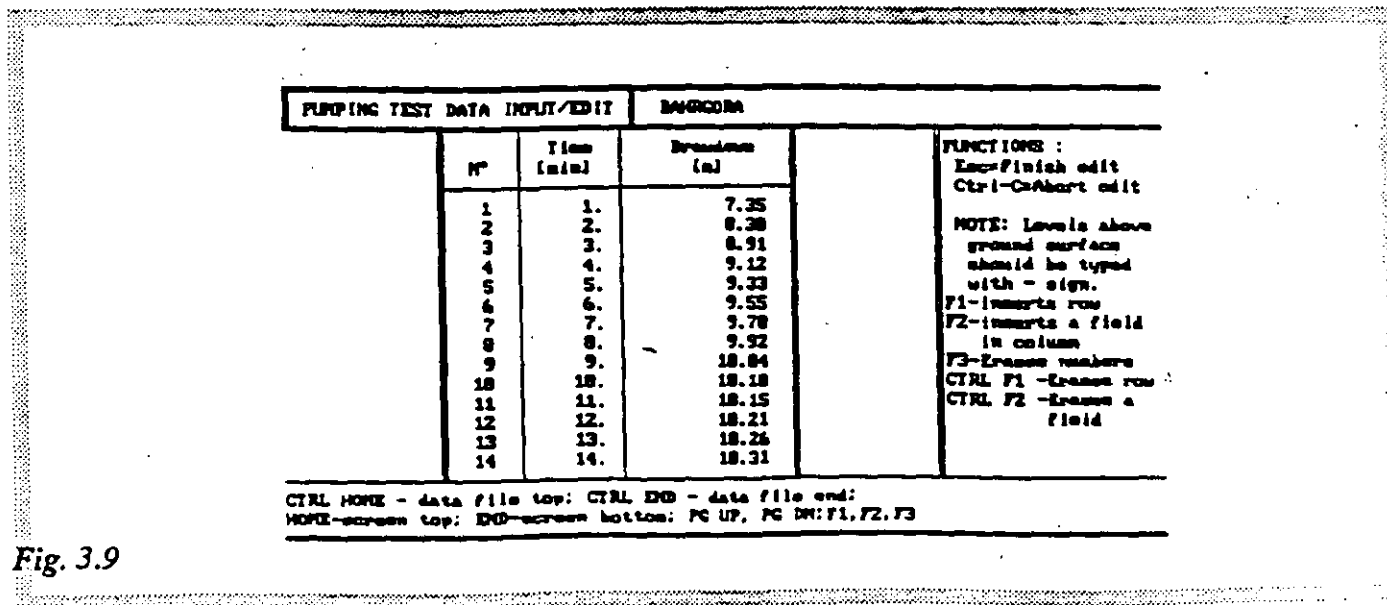


Fig. 3.9

All entered/edited data will be lost!  
Is this what you want? (Y/N)

will be displayed. Pressing any key except "Y" will bring back the data file for repeated editing. Pressing the "Y" key returns the program to the Data Input/Edit Menu.

**Delete Test.** An entire test can be deleted by placing the cursor to that particular test and by pressing the letter D. Once deleted a test cannot be restored. It is advisable to have a floppy disk copy of the data base prior to editing and/or deleting test data.

**Print Data.** In order to print your test data, place the cursor on a test and type the letter "P"; the selected data file will be printed in the following form: (a) data base and project identification, (b) general data about that particular test, (c) time-drawdown (level) data.

**Write to ASCII File.** From the Data Input/Edit Menu a test file from the data base can be written in an ASCII format. First place the cursor on the test to be saved in an ASCII file. Then type the letter "A". The message line shall display: "Enter Output File Name". After you enter a file name press RETURN, an ASCII file shall be created.

**Screen Display.** One of main objections to using the computer to analyze a pumping test stems from the fact that a hydrogeologist cannot see the data, how they fit on an arithmetic or logarithmic scale, whether there may be boundary effects, etc. In other words, if the computer is left alone to make interpretation, the results may be erroneous without the user knowing or appreciating it. For this reason in this program there are several checking possibilities. One is to view the raw input data in a semilogarithmic scale, another is to eliminate some time-drawdown pairs from interpretation, and the final check is to compare the standard deviation (root-mean-square) and accept only the best fit.

You may view input data from this Data Input/Edit Menu by pressing the letter "S" (screen display).

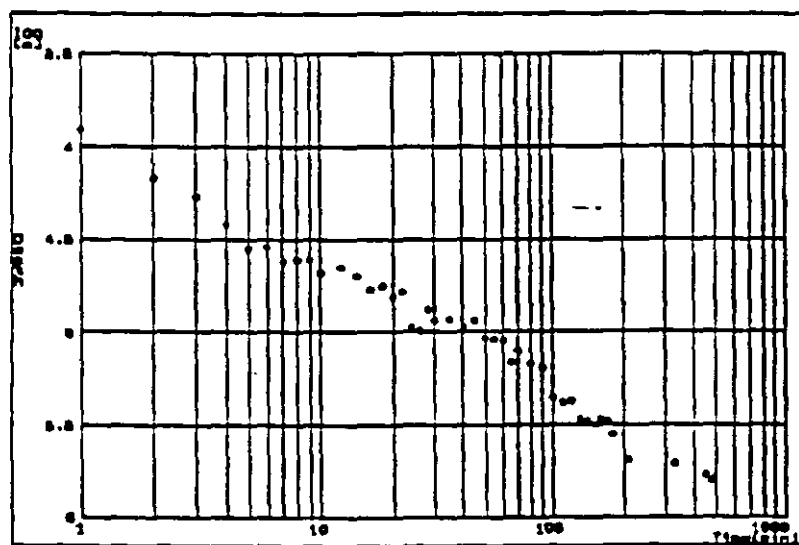


Fig. 3.10

**Print Graph.** The displayed screen can be printed, along with the project and data base identification, by returning to the Data Input/Edit Menu (any key pressed in the Screen Display mode) and pressing the letter "G". An example is shown in Fig. 3.10.

**Plot Graph.** The displayed screen can be plotted to a Hewlett-Packard (HPGL) compatible plotter. Only the displayed graph shall be reproduced, without project identification and results. (To obtain a complete hard copy of a test, use printer.) Press letter B. Have your plotter connected to COM1 serial port, which must be properly configured (see Introduction).

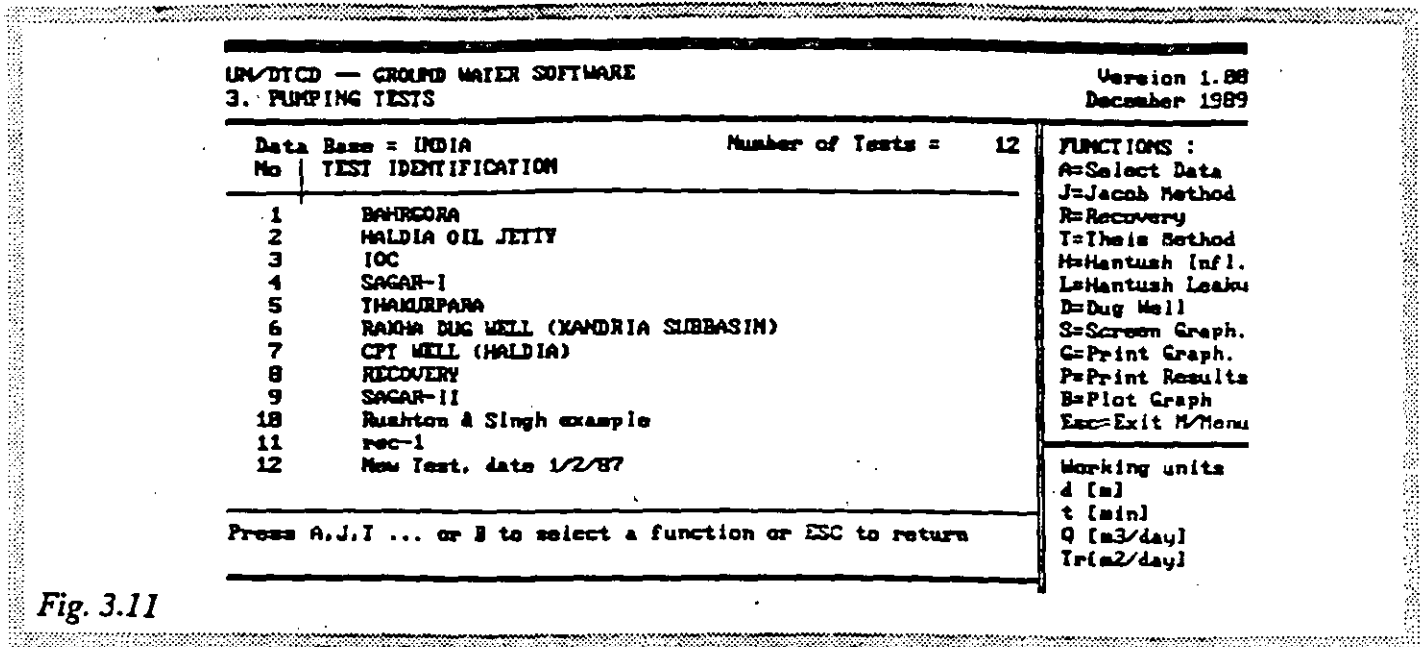


Fig. 3.11

### 3.5. Test Analysis

The third group of procedures is the analysis of pumping test data from the existing data base. After you type the letter "A" on the main menu, the screen shall look something like the one shown in Fig. 3.11. The cursor is always on the first line (test No.1). The following functions are available:

**Select Data.** This offers you a possibility to eliminate some unwanted data pairs, either because of an evident error in measuring or because such data do not fit into the method selected for analysis (e.g., early data in Jacob's approximation).

**Jacob Method.** Semilogarithmic approximation of the THEIS nonequilibrium method. In some cases it may offer a better fit than the THEIS method due to some restrictions involved in the THEIS method.

**Recovery Method.** This is the Theis method used to determine the aquifer constants from the analysis of the recovery of a shutdown well. The test data prepared for the recovery method cannot be analyzed with another alternative method.

**Theis Method.** Theis nonequilibrium type curve matching method, one of principal methods of pump test data analysis.

**Hantush Inflection Point Method.** One of methods of testing a leaky aquifer using the inflection point on a semilogarithmic time-drawdown scale. The method is less accurate than the next one, but sometimes it works when the type curve method fails. It is much faster than the next one.

**Hantush Leaky Method.** This is the classical Hantush type curve matching method for nonsteady-state time-drawdown.

**Dug Well.** A recent method of analyzing pumping and recovery phases of large-diameter dug wells, with the consideration given to the seepage face. The method is due to Rushton and Singh.

**Screen Graphics.** Viewing of test data and the best fit line produced by the method selected.

**Print Graphics.** Printing the time-drawdown test data along with the best-fit line and test results.

**Print Results.** Printing project and test identification and a table with field data, calculated data by the computer and differences. Printing results of analysis and standard deviation.

**Plot Graph.** Plots the displayed screen, without project and test identification, and results. Use only plotters emulating HPGL (see Introduction).

### 3.6. Method of Analysis

Selection of Data. When you type the letter A you will be given a possibility to eliminate some of erroneous data pairs. The cursor is in the column labeled S. Move the cursor using up and down cursor keys to the row you wish to eliminate. Type the sign '\*'. This eliminates the pair of data from computation. (The message to that effect is displayed in the message line.) An example is shown in Fig. 3.12.

UN/DTCO — GROUND WATER SOFTWARE Version 1.88  
December 1989

N <sup>o</sup>	S	Time [min]	Drawdown [m]	Computed Drawdown	Diffe- rence	12
1	*	1.	7.35			
2	*	2.	8.38			
3	*	3.	8.91			
4	*	4.	9.12			
5		5.	9.33			
6		6.	9.55			
7		7.	9.78			
8		8.	9.92			
9		9.	10.84			
10		10.	10.18			
11		11.	10.15			
12		12.	10.21			
13		13.	10.26			
14		14.	10.31			

Type \* in column S to eliminate this pair from calculation.  
Use cursor keys. Only blank or \* permitted.

FUNCTIONS :

Esc=Finish edit

Use Function

Keys:

CTRL HOME

CTRL END

Page Up

Page Down

Home

---

Working units

d [m]

t [min]

Q [m<sup>3</sup>/day]

T [m<sup>2</sup>/day]

Fig. 3.12

Theis Method. The Theis method is activated by typing the letter T. The method of analysis is well explained in any text book on ground water. The method of computer interpretation is based on the Kansas Geological Survey Groundwater Series 3 publication "The Theis Equation: Evaluation, Sensitivity to Storage and Transmissivity, and Automated Fit of Pump Test Data", authored by C.D. McElwee. The automated fit is an iterative process in the course of which the transmissivity and storativity coefficients are changed until a "best" fit is obtained. As a measure of the error in fitting, the root-mean-square in drawdown is calculated for the "best" transmissivity and storage coefficient. The root-mean-square is actually the standard deviation defined as the square root of the arithmetic mean of the squared differences between field and calculated drawdowns.

The results are reported on the screen in the way as shown in Fig.3.13 for American units and in Fig. 3.14 for metric units.

UN/DTCO — GROUND WATER SOFTWARE Version 1.88  
December 1989

3. PUMPING TESTS

Test No	THEIS METHOD	12
1	Test Identification	
2	Recharge	
3		
4	Transmissivity = 12599. (cpd/ft)	
5		
6	Standard Deviation = 0.3724 (ft)	
7	Number of Points = 69 of 69	
8	Iterations Number = 3	
9		
10		
11		
12		

Press any key to continue.

Working units

d (ft)

t (day)

Q (cpd)

T (cpd/ft)

Fig. 3.13

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.80	
3. PUMPING TESTS		December 1989	
12	THEIS METHOD		12
1	Test Identification		
2	BAHRGORA		
3			
4	Transmissivity = 169. (m <sup>2</sup> /day)		
5			
6	Standard Deviation = 8.1138 (m)		
7	Number of Points = 69 of 69		
8	Iterations Number = 3		
9			
10			
11			
12			
Press any key to continue.			
			Working units
			d (m)
			t (min)
			Q (m <sup>3</sup> /day)
			Tr (m <sup>2</sup> /day)

Fig. 3.14

The screen displays the following results:

Transmissivity	Number of points	Storage Coefficient
Number of iterations	Standard Deviation	

The standard deviation is the criterion of the goodness of the fit. The fit in the case of Bahrgora well (India) is very good, 0.113 m, considering that 69 points were involved in the calculation (see Fig. 3.14). However, the goodness of the fit is best demonstrated in Fig. 3.15, which is obtained by selecting the G option from the Test Analysis Menu.

The number of iterations is an indicator of convergence of the solution to an acceptable level of error. In the case of the THEIS program, the criterion is that between two successive iterations the "improvement" of relative transmissivity and storage coefficient is less than 0.0001.

You should expect a relatively small number of iterations, since the initial guess for transmissivity and storage coefficient is already a good guess, i.e. the values obtained from Jacob's semilogarithmic approximation.

**JACOB's Method.** This is a semilogarithmic approximation which is good for small values of well function's argument  $u$  (i.e., for small  $r$  and/or large  $t$ ). The method is also well documented in any text book on hydrogeology. The method of solution is the least square regression analysis and the fit of a straight line through the test data in a semilogarithmic diagram. The computer method provides very quick result. However, one should check whether initial test data satisfy the condition that

$$(r^2 * S)/4Tt < 0.01$$

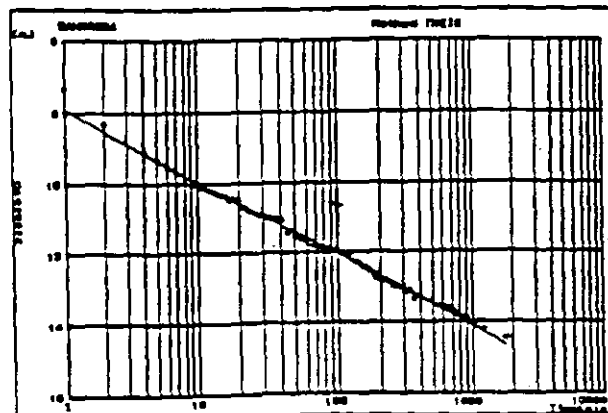


Fig. 3.15

where:  $r$  = distance from pumped well to the observation well;  $S$  = coefficient of storage;  $T$  = transmissivity;  $t$  = time since pumping started.

The early data which do not satisfy this condition should be eliminated from computation using the optic A (Select) and typing \* in the appropriate rows. A typical test result is shown in Fig. 3.16. The parameters  $A_0$  and  $A_1$  are the coefficients in the linear regression equation, from which transmissivity and storage coefficients are calculated.

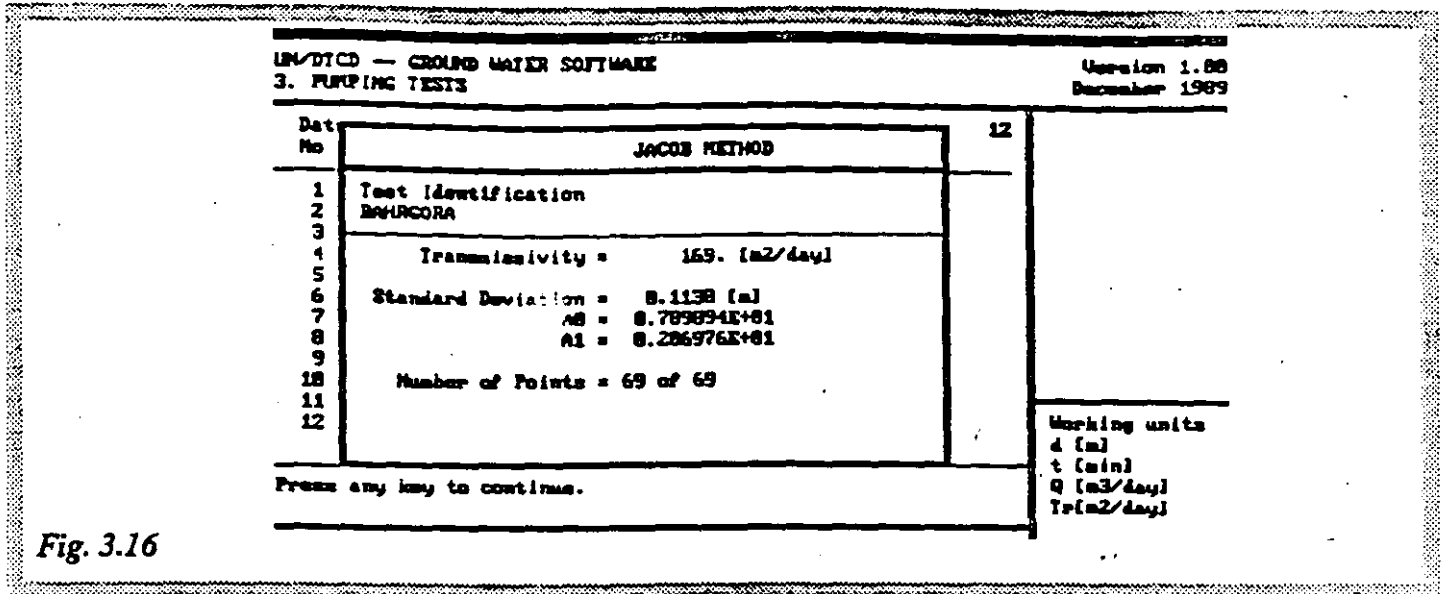


Fig. 3.16

**HANTUSH Inflection Point Method.** This method will not work in all cases. Most probably, it will not work in the case of the pumped well without observation wells, in which the drawdown in the first two or three measurements is greater than 50% of the final drawdown. The method assumes that the steady-state drawdown has been reached at the end of the test, or that steady-state drawdown can be extrapolated at the end of the test data. The method is fast, although not that accurate as the classical HANTUSH type-curve matching method, which is explained next.

Both this method and the next method (HANTUSH leaky type-curve method) produce the values of transmissivity, storage coefficient and leakage (alternatively defined as leakage coefficient). The latter is the ratio of vertical permeability of semiconfining layer to its thickness. If the thickness of the semiconfining layer (through which the leakage occurs) is known, the vertical permeability (hydraulic conductivity) of that layer

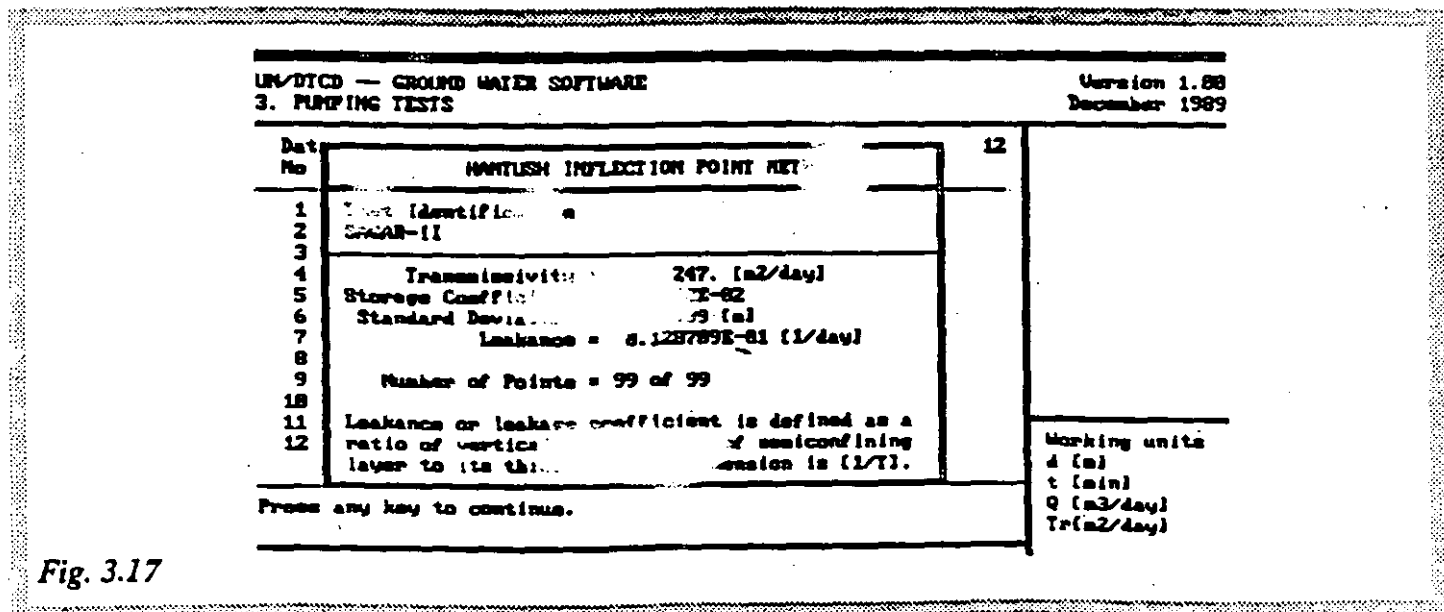


Fig. 3.17

is calculated by multiplying the leakance with thickness. An example is shown in Fig. 3.17. The fit is relatively acceptable, considering that 99 points were involved, although the standard deviation amounts to 0.30 m. The leakance of  $0.01287 \text{ day}^{-1}$  is interpreted in the following way. If the thickness of the semiconfining layer is about 20 m, its vertical permeability will be about 0.26 m/day, which is characteristic for a mixture of silt, clay and sand.

**HANTUSH Leaky-Aquifer Type-Curve Method.** The method of solution is an improved version of the method reported by P.M. Cobb et al., in the 1982 publication of Kansas Geological Survey titled "An Automated Numerical Evaluation of Leaky Aquifer Pumping Test Data: An Application of Sensitivity Analysis." The procedure for solution is an iterative algorithm in which the values of transmissivity, storage coefficient and leakance are modified between iterations until an acceptable convergence is obtained. The criterion of convergence is the relative standard deviation. In all tested cases the solution converged in less than 70 iterations. The maximum allowed number of iterations is 100. The processing may take considerable time if a test includes many test points (over 50) and if the number of iterations is large (over 50). However, in a system equipped with a numerical co-processor and in which the main processor works at, say, 12 MHz clock rate, the processing is remarkably fast. To speed up the processing, the initial guess of transmissivity and storage coefficient is taken from the Theis method which is called first. The solution will not be achieved only if the test data do not follow one of leaky-aquifer formulas even approximately. When testing the program, this happened in one out of 30 tests.

The example in Fig. 3.18 is the same as the one shown in Fig. 3.17. The Hantush Leaky-Aquifer Type-Curve method (Fig. 3.18) is superior to the Hantush Inflection Point method (Fig. 3.17). This is reflected in the value of standard deviation which is 0.16 m in the former compared to 0.30 m in the latter. Otherwise, all

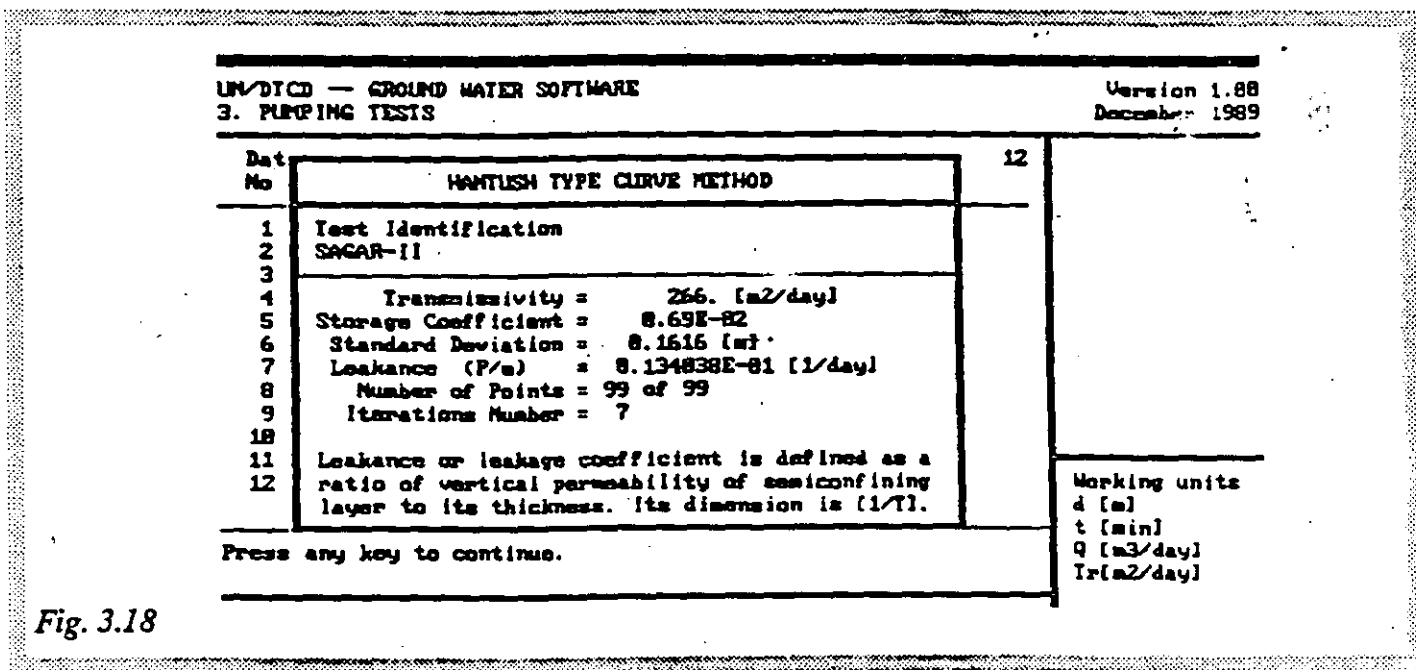


Fig. 3.18

other parameters are very close and the differences are quite acceptable.

Well SAGAR-II (Kasai-Subarnarekha project, India)

	Leaky Type-Curve	Inflection Point
Transmissivity	266 m <sup>2</sup> /day	247 m <sup>2</sup> /day
Storage Coef.	0.00686	0.00618
Leakance	0.0134 1/day	0.0129 1/day

The fit in the case of the HANTUSH Leaky-Aquifer Type-Curve method is demonstrated in Fig. 3.19.

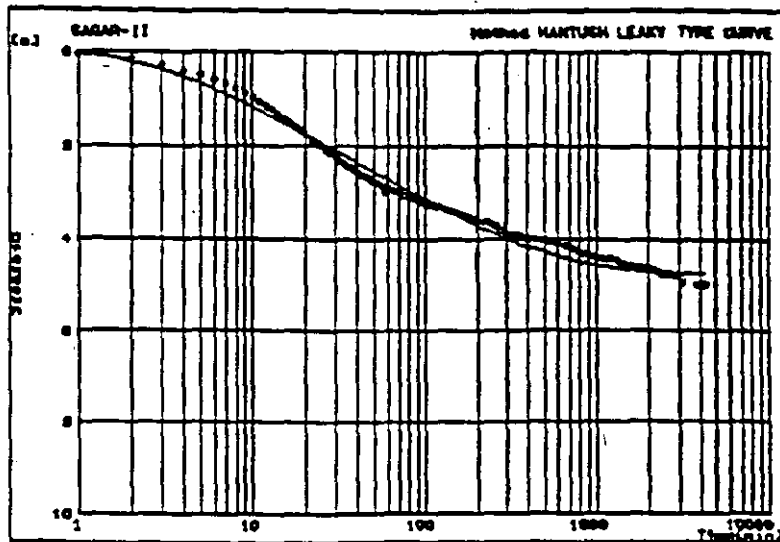


Fig. 3.19

**Recovery Method.** After you select the recovery method by typing the letter R, you must answer two additional questions (Fig. 3.20):

- Pumping Phase Time
- Final Drawdown

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE  
3. PUMPING TESTS

Version 1.88  
December 1989

Dat No	RECOVERY METHOD	12
1	Test Identification	
2	RECOVERY	
3		
4	Pumping Phase Time = 1448 [min]	
5	Final Drawdown = [m]	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Type the drawdown at the end of pumping phase

Working units  
d [m]  
t [min]  
Q [m<sup>3</sup>/day]  
Tr [m<sup>2</sup>/day]

Fig. 3.20

The first is the duration of the pumping phase (from the moment a pump is started until it is switched off), and the second is the total duration of the test, both pumping and recovery phases included. The method of solution is a regression analysis of the system "residual drawdown" on the ordinate axis versus the logarithm to the base 10 of the "modified time". The modified time is defined in the following way:

$$t_{mod} = (t + t')/t'$$

where:

t = time since the test started

t' = time since the pump was shut down and levels started to recover.



The equation for residual drawdown has the following form:

$$S_r = A \log(t_{mod})$$

which is a straight line in the semilogarithmic diagram passing through the origin set at infinite time or at logarithm of 1. The slope of the line allows for the determination of transmissivity. Storage coefficient is determined from the value of the drawdown at the time of shutdown. The method may provide an acceptable value for the value of transmissivity, but the storage coefficient determination, based on only one value, inevitably may or may not be correct.

One example is given in figures 3.21, which is a test from the E.E. Johnson, Inc. book "Ground Water and Wells", 1966, page 138. The computer fit is shown in Fig. 3.21a. The values of transmissivity reported in the book are 10,200 and 10,400 gpd/ft, while the computer program reported 11,089 gpd/ft (Fig. 3.21b). The storage coefficient in the computer program is 0.0027 while the book reports none.

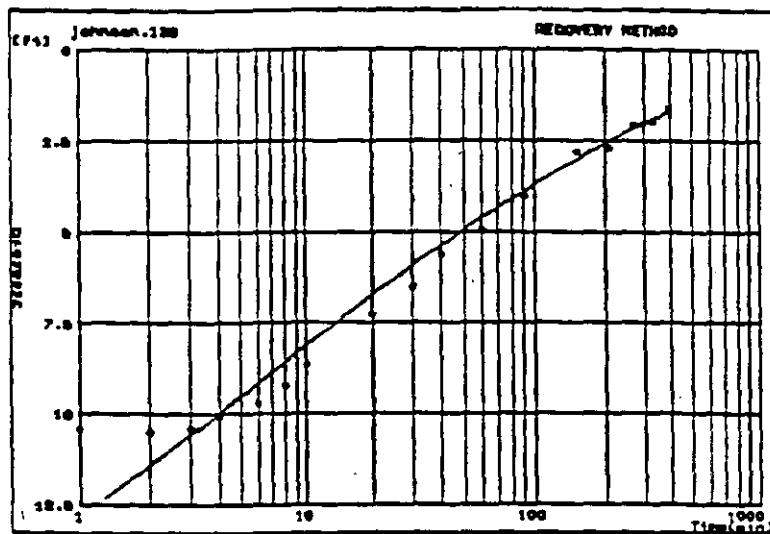


Fig. 3.21A

UN/DICD — GROUND WATER SOFTWARE  
3. PUMPING TESTS

Version 1.88  
December 1989

Dat No	RECOVERY METHOD	1
1	Test Identification Johnson.139  Transmissivity = 11889. [gpd/ft] Storage Coefficient = 8.27E-02  Standard Deviation = 8.7164 [ft] A = 8.475248E+01 [ft]  Number of Points = 17 of 17	

Working units  
d [ft]  
t [min]  
Q [gpm]  
Tr [gpd/ft]

Press any key to continue.

Fig. 3.21B

**Dug Well Pump Test Method.** A method of analyzing the pumping and recovery phases of large diameter wells based on a Kernel function was recently (January-February 1987) presented by K.R.Rushton and V.S.Singh in the journal of Ground Water. The method was selected by the authors of this software packag for the following two reasons:

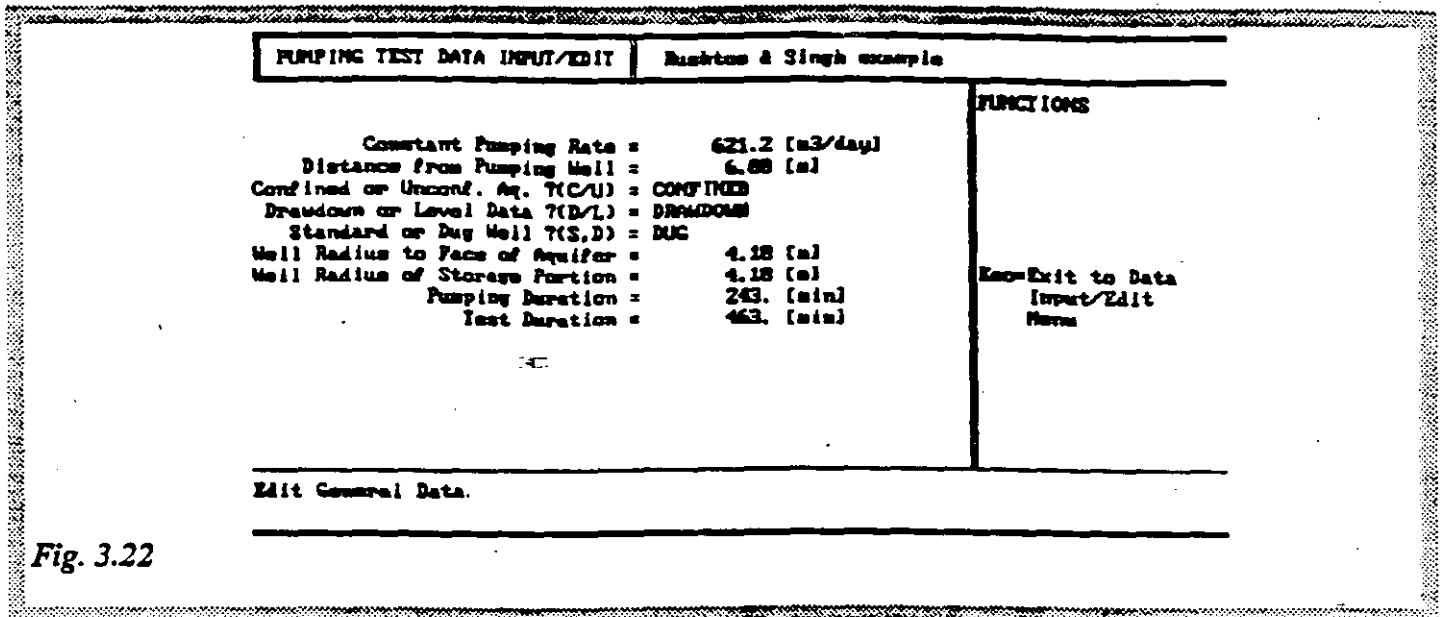


Fig. 3.22

- (1) In India alone in early 1985 there were about 8.7 million dug wells. The forecast was that another 1.3 million dug wells shall be constructed over the period of next five years, implying that by the year 1990 there may be about 10 millions dug wells in India alone. It was also reported that in India about 71% of the total ground water draft comes from dug wells.
- (2) The method of testing and interpretation needs improvements and a computer program which speeds up the processing may be of great help. As originally programmed by Rushton and Singh, the user was to draw the computer-calculated curve on top of his/her field data every time he/she made a computer run. With this program the whole procedure becomes extremely fast and the interpreter learns in the process about the behavior of test data when either transmissivity or storage coefficient are modified. Yet, as the authors state, the method needs some additional verification.

The use of the test is explained in Figs. 3.22, 3.23, 3.24 and 3.25. Figure 3.22 shows the input data (general) for the well used by Rushton and Singh in their original paper. (As explained before, when you elect to answer

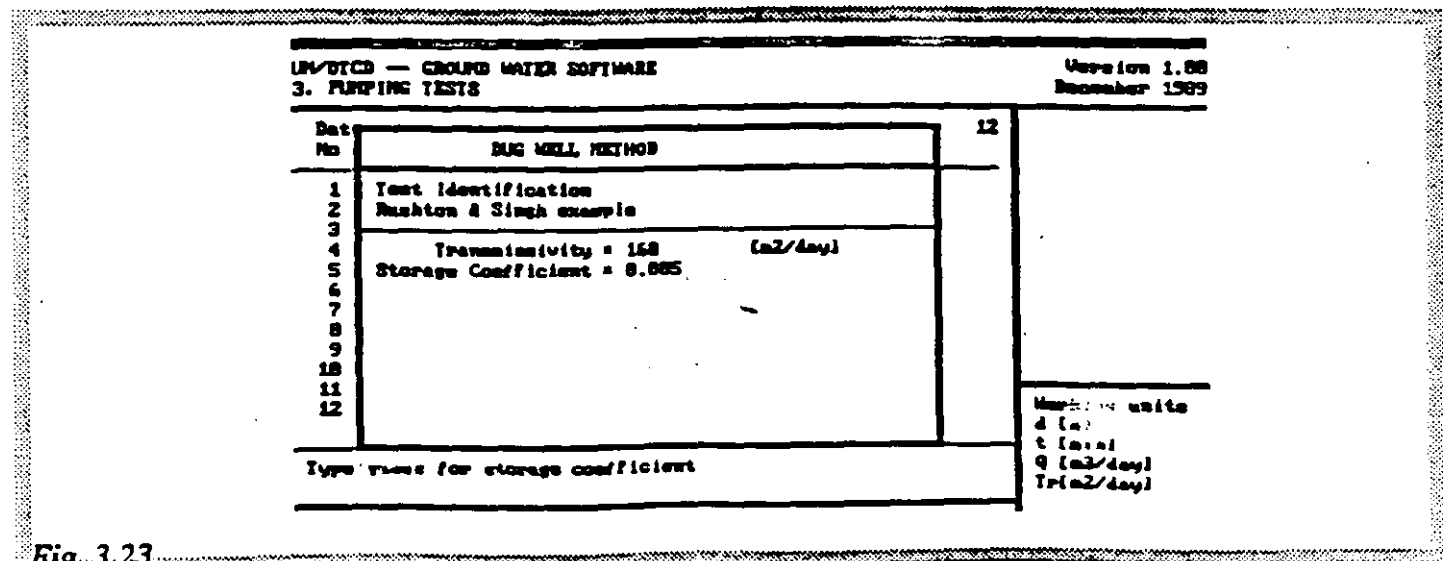


Fig. 3.23

in the Data Input/Edit mode with D the question "Standard or Dug Well?", you must answer several more questions prompted from the screen.) In the Test Analysis mode you are prompted for initial guesses of transmissivity and storage coefficient. The screen looks as shown in Fig. 3.23. The height of the seepage face, which may be correct only in the case of metric units, is still a weak point of analysis, as admitted by the authors by saying that "further careful work in a variety of field situations is required to gain a greater understanding of the significance of these coefficients." The coefficients referred to above are  $G_1$  and  $G_2$ , which describe the height of the seepage face in the following way:

$$f = G_1 \times Q + G_2 \times Q^2$$

where  $f$  is the height of seepage face,  $Q$  is the withdrawal rate from the aquifer, and  $G_1$  and  $G_2$  are deduced from field measurements.

The test results are presented in Figs. 3.24 and 3.25. Accepting the transmissivity of 160 m<sup>2</sup>/day and storage coefficient of 0.005, with fixed  $G_1$  and  $G_2$  coefficients (0.001 and 0.0001, respectively) the standard deviation for the whole test equals 0.07 m, and the seepage face height at the end of pumping phase equals 0.25 m. The fit is as shown in Fig. 3.25.

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.00
3. PUMPING TESTS		December 1989
12	DUG WELL METHOD	12
1	Test Identification	
2	Rushton & Singh example	
3		
4	Transmissivity = 160 [m <sup>2</sup> /day]	
5	Storage Coefficient = 0.005	
6	G1 = 0.00010	
7	G2 = 0.00100	
8	Standard Deviation = 0.0705 [m]	
9	Seepage Face Height = 0.252437E+00 [m]	
10	(at end of pumping)	
11	Number of Points = 12 of 12	
12		

Working units  
d [m]  
t [min]  
Q [m<sup>3</sup>/day]  
T [m<sup>2</sup>/day]

Press any key to continue.

Fig. 3.24

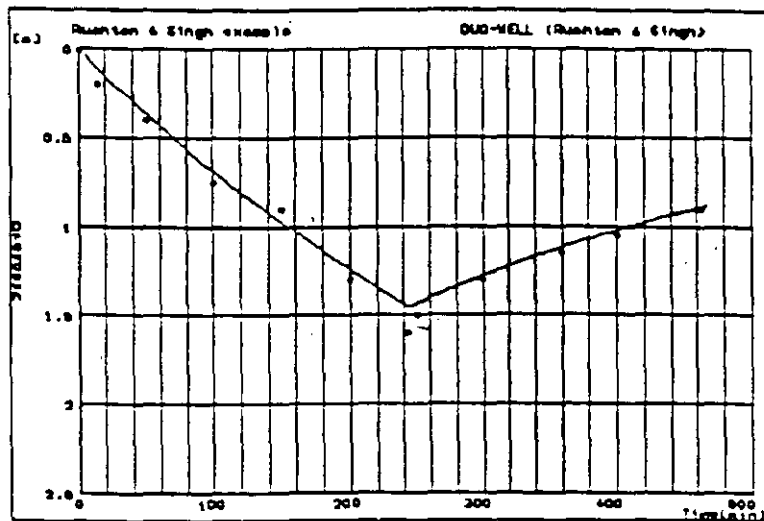


Fig. 3.25

**Screen Graphics.** The difference between this Screen Graphics and Screen Graphics from the Data Input/Edit Menu is in the following. In the latter, only test data (from data base) were shown on a time-drawdown semilogarithmic graph (arithmetic, in the case of dug wells). In the former, both test data are shown plus the "best fit" with the method selected (calculated with reported values of transmissivity, storage coefficient and, eventually, leakance). It is easy to see whether the parameters calculated by the program satisfy. They will be acceptable if the fit is acceptable.

**Print Graphics.** The screen discussed above can be printed. The top part of printout is the identification of the project and test, plus some of general data (pumping rate, distance from observation well, aquifer type, etc.). Then the graph is shown, followed by calculated transmissivity, storage coefficient, standard deviation, and, eventually, leakance. The last line is the number of points included in the graph.

**Printing Results.** The printout of results starts also with project and test identification, plus some general data, followed by calculated values of transmissivity, storage coefficient, standard deviation, etc., and a table with the values of test data in one column, computed drawdown in another column, and difference in still another column.

**Plotting Graph.** The graph displayed on the screen can be plotted using a HPGL-compatible plotter. The plot size is fixed, that is A4, and only graphical part is drawn.

### 3.7. Pumping Tests Reported In Literature

The programs presented in this package have been tested against many published pumping tests. The sources of information are the following:

WALTON, W.C., 1969. Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation. Illinois State Water Survey Bulletin 49. Third printing, 1969.

WALTON, W.C. 1970. Groundwater Resource Evaluation. McGraw-Hill.

DeWIESE, R.J.M., 1967. Geohydrology. John Wiley & Sons, Inc.

E.E. JOHNSON, INC. 1966. Ground Water and Wells. UOP Johnson, first edition.

LINSLEY, R.K. and J.B. FRANZINI, 1964. Water Resources Engineering. McGraw-Hill Book Co.

Both published results and computer produced results are presented herein for comparison of methods.

T = Transmissivity                      P' = Vertical Permeability of Confining Bed

S = Storage Coefficient                S.D. = Standard Deviation

#### 1. Well No.19 near Dieterich (Walton, 1969, page 32)

Method: *Leaky Artesian Conditions*

Walton:	Computer:
T=1510 gpd/ft	T = 1791 gpd/ft
S=0.0002	S = 0.00018
P'=0.11 gpd/ft <sup>2</sup>	P' = 0.16 gpd/ft <sup>2</sup>
	S.D. = 0.127 ft

#### 2. Well No.1 at Gridley (Walton, 1969, page 33)

Method: *Nonleaky Artesian Conditions*

Walton:	Computer:
T=1000 gpd/ft	T = 9908 gpd/ft
S=0.0002	S = 0.000021
	S.D. = 0.091 ft

**Comment.** In the computer program, leaky aquifer method gives slightly better fit. Standard deviation is 0.082 ft, T=9391 gpd/ft, S=0.000022.

## 3. Well No. 15 near Mossville (Walton, 1969, page 35)

Method: *Water-table conditions with partial penetration*

Walton:	Computer:
T=315,000 gpd/ft	T = 386,712 gpd/ft
S=0.082	S = 0.019
	S.D. = 0.057 ft

## 4. JOHNSON's book page 111

Method: *Nonleaky confined aquifer*

JOHNSON:	Computer:
T=100,000 gpd/ft	T = 100,630 gpd/ft
S=0.00019	S = 0.0002
	S.D. = 0.007 ft

## 5. JOHNSON's book page 138

Method: *Recovery*

JOHNSON:	Computer:
T=10,400 gpd/ft	T = 11,089 gpd/ft
	S = 0.00275
	S.D. = 0.71 ft

## 6. DeWIEST's book, page 265

Method: *Theis nonequilibrium*

DeWIEST:	Computer:
T=20,500 gpd/ft	T = 26,210 gpd/ft
S=0.000315	S = 0.00030
	S.D. = 0.67 ft

Comment: Hantush leaky method provides better fit. The results are the following:

T = 15,991 gpd/ft  
 S = 0.00043  
 S.D. = 0.135 ft  
 P'/m' = 0.02 1/day

## 7. DeWIEST's book, page 267

Method: *JACOB*

DeWIEST:	Computer:
T=4860 gpd/ft	T = 4933 gpd/ft
S=0.0045	S = 0.00427
	S.D. = 0.146 ft

## 8. WALTON (1970, page 283)

Method: *Theis nonequilibrium method*

WALTON:	Computer:
T=358,000 gpd/ft	T = 358,889 gpd/ft
S=0.00047	S = 0.000395
	S.D. = 0.043 ft

**9. WALTON (1970, page 286)**Method: *Leaky artesian aquifer*

WALTON:

T=182,000 gpd/ft

S=0.002

P'=0.87 gpd/ft<sup>2</sup>

Computer:

T = 219,227 gpd/ft

S = 0.002

P' = 0.54 gpd/ft<sup>2</sup>

S.D. = 0.008 ft

**10. LINSLEY & FRANZINI (1964, page 88)**Method: *Theis nonequilibrium*

L &amp; F:

T=11,800 gpd/ft

S=0.0478

Computer:

T = 10,752 gpd/ft

S = 0.0495

S.D. = 0.258 ft

Method: *Jacob's approximation*

T=12,000 gpd/ft

S=0.0402

T = 12,283 gpd/ft

S = 0.0388

S.D. = 0.145 ft

Comment: First five minutes are excluded in both cases.

# Well Hydraulics and Well Construction

## 4.1. General

This program requires about 305,000 bytes user-available memory. Video adapter is not required. Mathematical co-processor is not required. There is no printer output. Four files are mandatory and each of them must be copied to the \GW directory: GW4.EXE, UN4.CMN, UN4.MST, UN4.WND.

## 4.2. Program Overview

The program GW4 – Well Hydraulics and Well Construction – has three major parts: (1) Well Functions, (2) Pumping Tests, and (3) Well Construction. Each of the three parts has several subprograms. Primarily, it is a utility program for pumping tests, well hydraulics and well construction.

This program is a collection of many problem-solving routines from everyday well-construction and testing practice. It will not save input data in a form of a data base. The results should be hand written if needed. Same as in other programs in this series, pressing ESC returns the program (screen) one step back, or exits to the main program. Functions are activated by selecting the appropriate single letter command.

When you start the program by typing GW and selecting "4. Well Hydraulics and Construction" from the main menu, the program's main menu appears as shown in Fig. 4.1. From the main menu you may select units, then select either FUNCTIONS, PUMPING TESTS and WELL CONSTRUCTION.

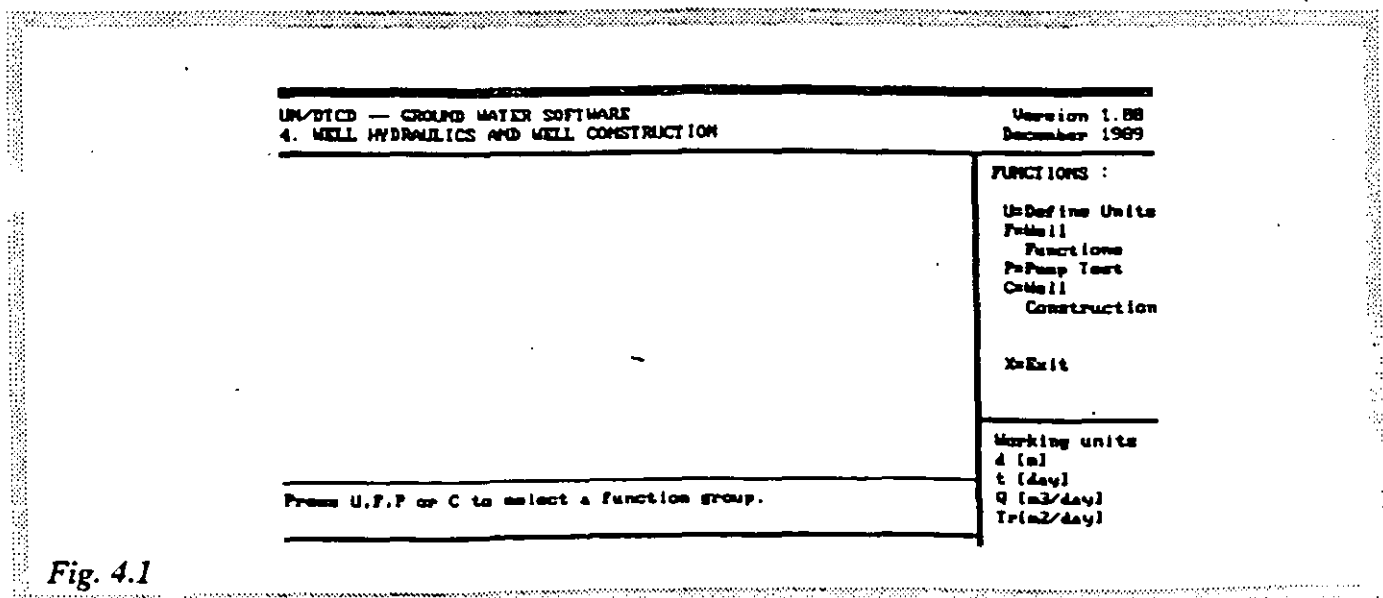


Fig. 4.1

FUNCTIONS, shown in Fig. 4.2, are well functions frequently used in ground water hydraulics. The first one,  $W(u)$ , is the well function for the infinite artesian aquifer in which a well is pumped at a steady rate. The second well function is the function used in Hantush leaky aquifer theory. The next one is a well function used in partially penetrating wells pumping from anisotropic aquifers. Further, two Bessel functions are also included, same as error and complementary error functions, which are used in many specific cases.

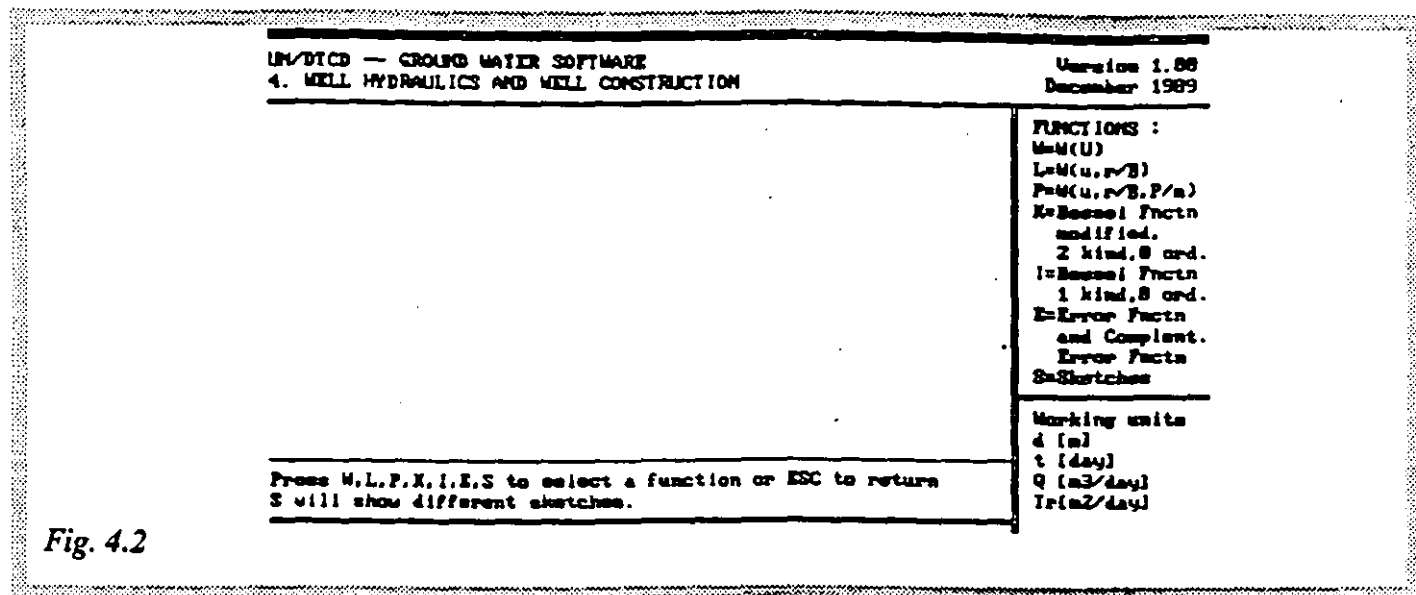


Fig. 4.2

PUMPING TESTS program, shown in Fig. 4.3, contains two subprograms dealing with step-drawdown tests (also called well-production tests;  $Q$  to power 2 and to "n" power), a routine to calculate pumping rate from a circular orifice weir, a routine for estimating discharge from a flowing artesian well, etc.

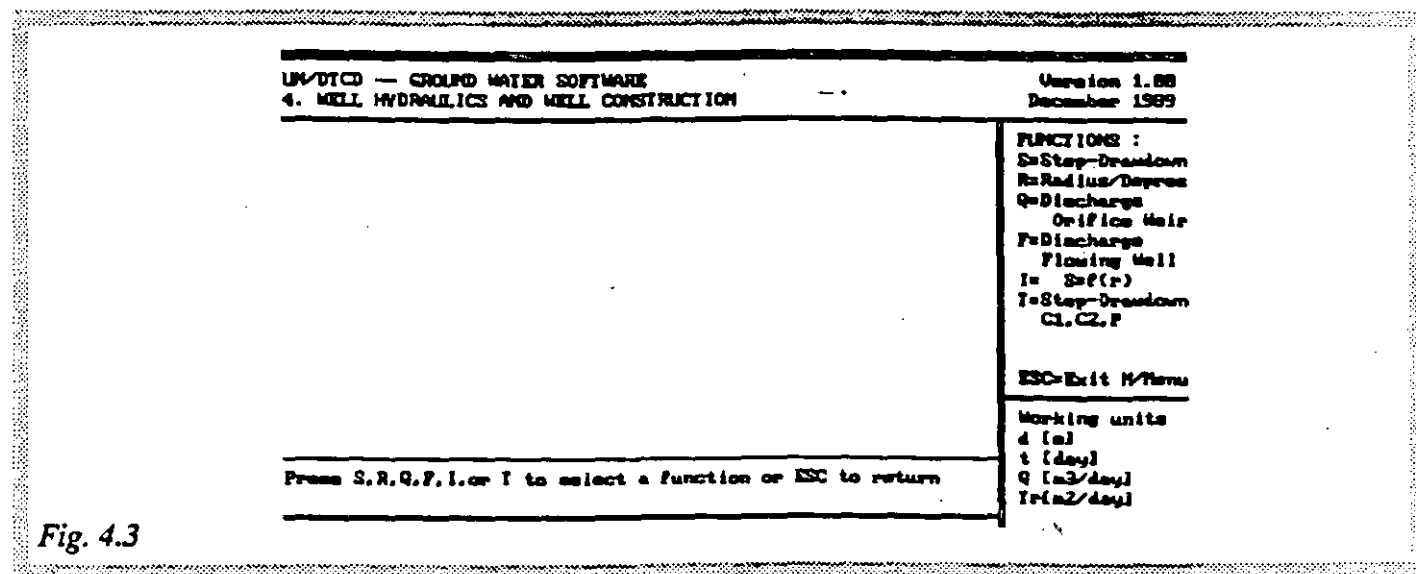


Fig. 4.3

WELL CONSTRUCTION, shown in Fig. 4.4, helps to calculate maximum permissible entrance velocity to screen. Actually it offers a recommendation for selecting optimum screen length as a function of discharge, well diameter, open screen area, and aquifer permeability. There are also some other subprograms that make recommendations as to which drilling diameter to select for a particular pump discharge, etc.

All the time, in every program or subprogram, the right lower corner displays currently selected working units.



FUNCTIONS :  
 D=Casing Dia.  
 S=Screen Length  
 L=Entrance  
 Velocity

Esc=Exit to  
 Main Menu

Working units  
 d (m)  
 t (day)  
 Q (m<sup>3</sup>/day)  
 Tr (m<sup>2</sup>/day)

Press D,S, or L to select a function or ESC to return

Fig. 4.4

### 4.3. Well Functions

After you select WELL FUNCTIONS by typing the letter F from the main menu, you can choose among the following functions (Fig. 4.2):

- W =  $W(u)$
- L =  $W(u,r/b)$
- P =  $W(u,r/b,P/m)$
- K = Bessel Function, modified, 2 kind, 0 order.
- I = Bessel Function, 1 kind, 0 order.
- E = Error Function and Complementary Error Function
- S = Sketches
- ESC = Exit M/Menu

#### 4.3.1. $W(u)$

You select this function by typing W from the well functions menu.  $W(u)$  is the well function for a nonleaky isotropic artesian aquifer fully penetrated by wells and constant-discharge conditions. In other words, this is the standard well function for the most common case of ideal representation of confined aquifers. When this function is multiplied by  $Q/(12.5664 T)$ , where Q is the constant pumping rate and T is the transmissivity of the aquifer, the drawdown in the well is obtained.

You can display the sketch of a confined aquifer on the screen by typing the letter S (sketch), followed by letter A (see Figure 4.5).

The theory leading to the nonequilibrium equation, or Theis theory, is well documented in every ground water textbook, and will not be repeated here. The well function is tabulated as a function of the argument  $u$ , which lumps together two most important aquifer parameters (transmissivity and storage coefficient), distance from pumping well at which the drawdown is calculated, and time since the start of pumping.

Thus, the argument  $u$  is equal to

$$u = r^2 S / 4 T t$$

where,  $r$  is the distance from pumped well to observation point, or to point at which drawdown is being calculated;  $S$  is the storage coefficient;  $T$  is coefficient of transmissivity;  $t$  is time after pumping started.

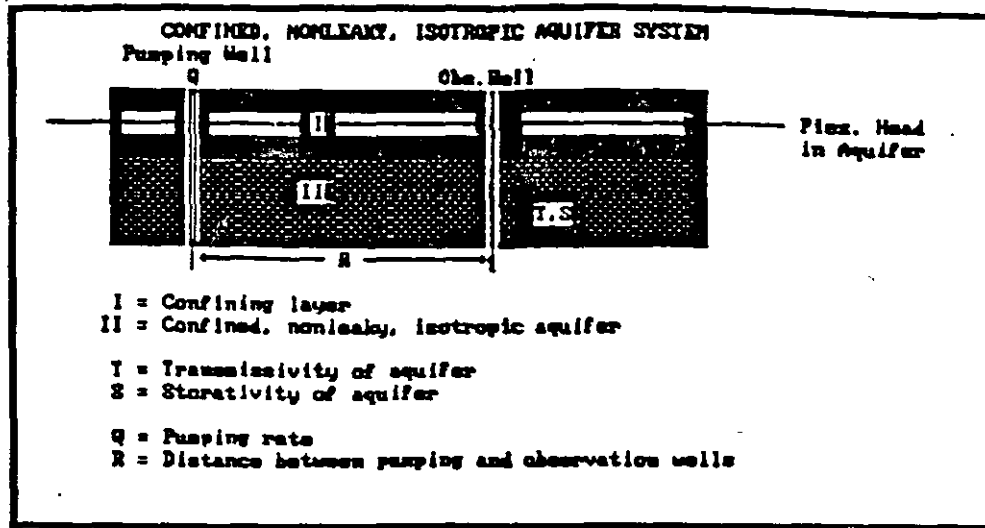


Fig.4.5

Press any key to return to Functions Menu.

Drawdown, as a function of r and t, is expressed as follows:

$$s = (Q/12.56 T) \times W(u)$$

This part of the program prompts you to input all parameters that define the argument u. First, you have to input the distance from pumped to the observation point, then the storage coefficient, the transmissivity, and the time of pumping. At that point the argument u and well function W(u) are displayed on the screen (Fig 4.6). You will be finally prompted for well discharge if the drawdown is to be calculated. Alternatively you may press ESC key to terminate this portion of the program.

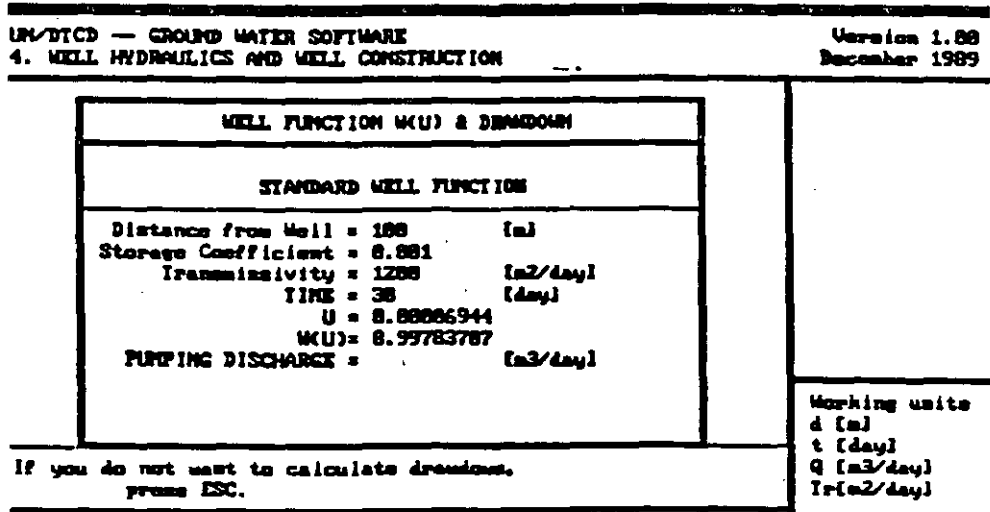


Fig. 4.6

The calculation of the well function W(u) and drawdown at a specific point may be repeated over and over to produce a total drawdown at a point which may be under influence of pumping from several wells. You may add individual drawdowns by writing them down on paper.

The correspondence between computer-produced well functions for particular values of the argument u and tabulated values in textbooks is demonstrated with following examples.

(1) $r = 10 \text{ m}$	(2) $r = 100 \text{ m}$
$S = 0.001$	$S = 0.001$
$T = 1000 \text{ m}^2/\text{day}$	$T = 3000 \text{ m}^2/\text{day}$
$t = 10 \text{ days}$	$t = 30 \text{ days}$
$u = 2.5 \times 10^{-6}$	$u = 2.8 \times 10^{-7}$
$W(u) = 12.3220062$	$W(u) = 14.5192289$

Tabulated values (Walton, 1970;  
Wenzel, 1942; De Wiest, 1965; etc.)

$W = 12.322$	$u = 2.5 \times 10^{-7}$	$W(u) = 14.62$
	$u = 3.0 \times 10^{-7}$	$W(u) = 14.44$

### 4.3.2. $W(u, r/B)$

You select this function by typing the letter L (stands for "leaky") from the WELL FUNCTIONS menu. This routine calculates the well function for a leaky artesian aquifer with fully penetrating wells without water released from storage in aquitard and under constant-discharge conditions. Although the values of  $W(u, r/B)$  in terms of practical range of  $u$  and  $r/B$  are given by Hantush (1956) in tabular form, this portion of the program calculates not only the function  $W(u, r/B)$  but also the arguments  $u$  and  $r/B$  from basic hydrogeological and pumping parameters.

These parameters are, in the following order:

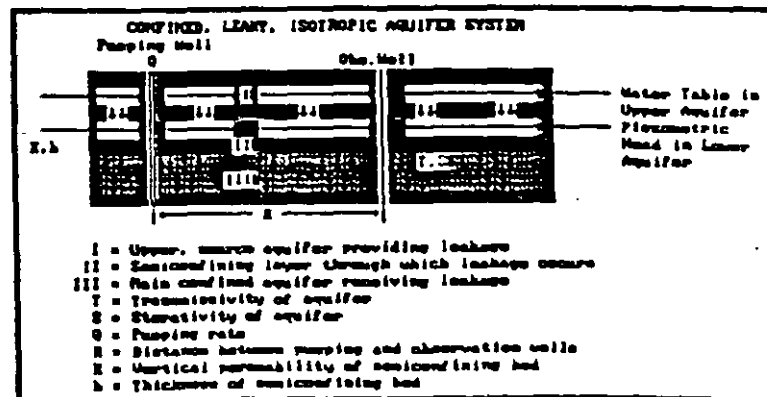
$r, S, T, t, P, m$

where:

- $r$  = distance from pumped well
- $S$  = storage coefficient
- $T$  = transmissivity
- $t$  = time of pumping
- $P$  = vertical permeability of semiconfining layer
- $m$  = thickness of semiconfining layer.

Of course, all units must be consistent, or as selected at the beginning of the program (see right lower corner: Working Units). Storage coefficient is dimensionless (fraction); time, distance and transmissivity are reported in the units you selected at the beginning. Permeability and thickness of semiconfining layer must be in working units of length over time (permeability) and length (thickness). Thus, if American or British units are used, you may not input for permeability  $\text{gpd}/\text{ft}$ . The correct units would be  $\text{ft}/\text{day}$  if foot was selected for distance and day for time. Some conversion hints are shown on the message line.

The sketch of a leaky system is shown in Fig. 4.7. The same display can be obtained by selecting letter S (for Sketch), followed by letter B. The situation could be reversed: the upper layer may be leaky (semiconfining)



Press any key to return to function menu.

Fig. 4.7

providing water from above, and the lower layer could be absolutely impermeable. The solution is still the same.

The parameter B, which is important in the Hantush leaky aquifer theory, is defined as follows:

$$B^2 = (T/P/m)$$

The ratio  $r/B$  is dimensionless.

After you answer all prompts for input parameters, the program displays the values of the arguments B and u, and the value of the function  $W(u,r/B)$ . Finally, you will be prompted for pump discharge and the value for drawdown is calculated and displayed (Fig. 4.8).

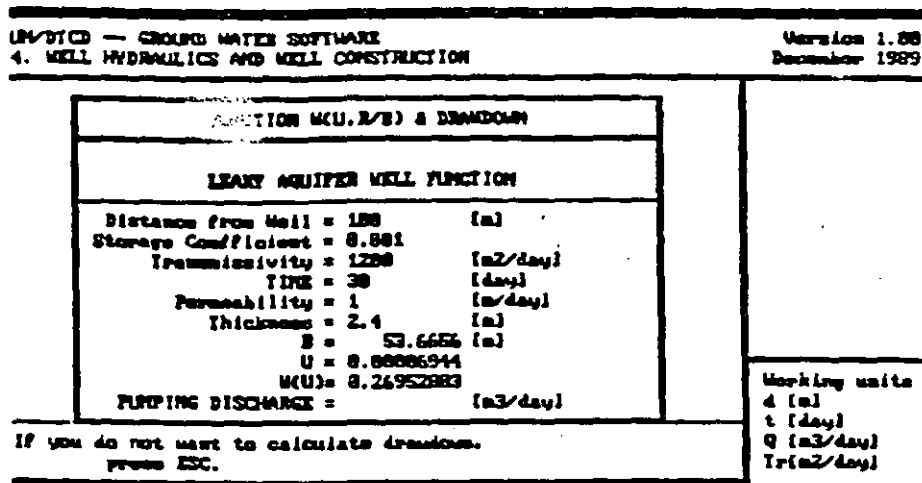


Fig. 4.8

As an example, the following parameters are input:

$r = 15$  m  
 $S = 0.001$   
 $T = 2000$  m<sup>2</sup>/day  
 $t = 30$  days  
 $P = 1$  m/day  
 $m = 5$  days

The program-calculated values are the following:

$B = 100.00$  m  
 $u = 0.00000094$   
 $W(u) = 4.06005$

(The "book" value for  $W(u,r/B)$  is 4.0595.)

For pumping discharge  $Q = 2000$  m<sup>3</sup>/day, the calculated drawdown is 0.323 m.

#### 4.3 P(u,r/B,Pv/Ph)

You select this function by typing the letter P from the WELL FUNCTIONS menu. This is the well function for a nonleaky anisotropic aquifer with partially penetrating pumping and observation wells, and steady-state conditions. The following parameters are required (in this order the program prompts for input):

$R$  = distance from pumped well  
 $m$  = aquifer thickness  
 $P_v$  = vertical permeability of aquifer  
 $P_h$  = horizontal permeability of aquifer

- L = penetration length (length of penetration of pumping well from the top of aquifer)
- D = distance to screen (vertical distance from the top of aquifer to top of screen)
- Y = observation well length

A sketch of definitions for parameters is shown in Fig. 4.9.

The program returns several ratios ( $R/m$ ,  $L/m$ ,  $D/m$ ,  $Y/m$ ), and a well function which, when multiplied by the value of  $0.16 \cdot Q/T$ , returns the value of drawdown under steady-state conditions.

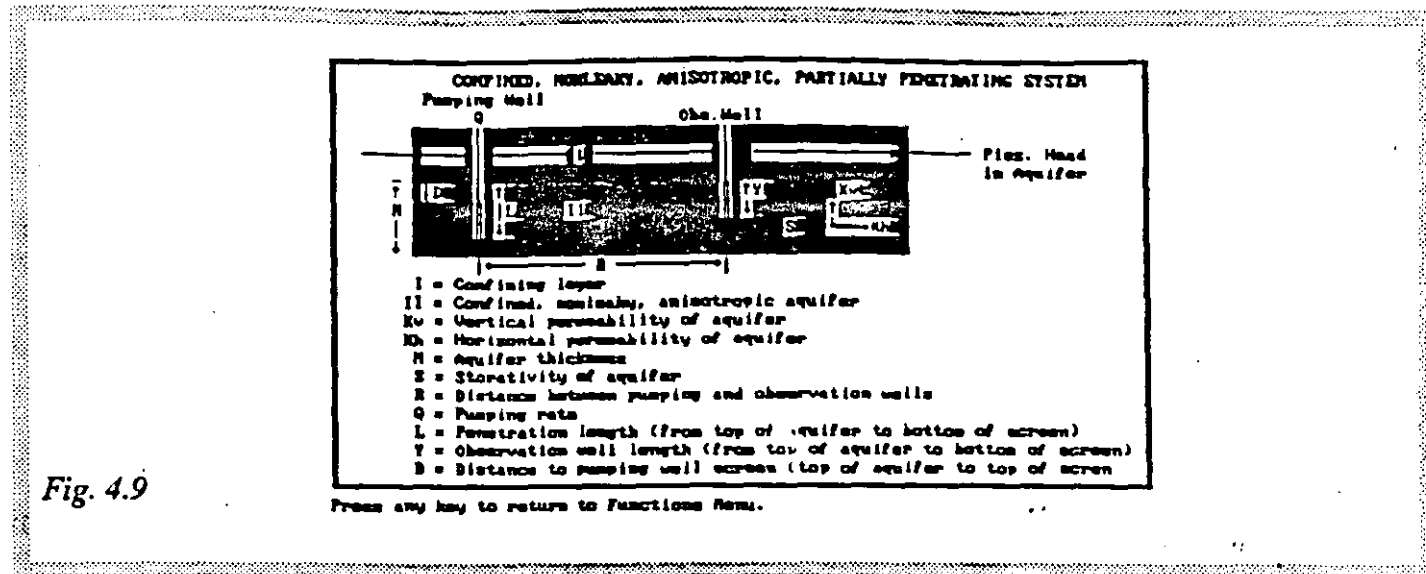


Fig. 4.9

#### 4.3.4. $K_0(r/B)$

You select this function by typing the letter K from the WELL FUNCTIONS menu. When discharge from a well (aquifer) is balanced by leakage in the case of a leaky aquifer and water levels stabilize at permanent stages, a steady state is reached. The solution for drawdown under such conditions is described by the following equation:

$$s = [Q/6.28 T] \times K_0[r/b]$$

where  $K_0(r/B)$  is the modified Bessel function of second kind and zero order. This function is frequently used in leaky aquifer theory. This is also a tabulated function, but in this program the input parameter is not the argument of the function,  $r/B$ , but a value calculated from hydrogeological and pumping information.

You will be prompted to provide the values of vertical permeability and thickness of semiconfining layer through which the leakage takes place. The storage coefficient is of no importance under steady-state conditions because the entire yield of the well is derived from leakage only. For example, when

$$\begin{aligned} r &= 100 \text{ m} \\ P &= 0.1 \text{ m/day} \\ m &= 5 \text{ m} \\ T &= 1000 \text{ m}^2/\text{day} \end{aligned}$$

$r/B$  shall be 0.4472, and  $K_0(r/B)$  1.0182. The "book" value for  $K_0(r/B)$ , when  $r/B=0.45$ , is 1.0129.

In this case, if the well is pumped at  $2000 \text{ m}^3/\text{day}$ , the steady-state drawdown will be equal to 0.32 m.

#### 4.3.5. $I_0(r/B)$

You select this function by typing the letter I from the WELL FUNCTIONS menu. This is the zero-order Bessel function of the first kind. It appears in several equations describing unsteady-state radial flow in isotropic or anisotropic leaky artesian aquifers. The argument  $r/B$  is defined in the following way.

$$B^2 = T/P/m$$

where:

- T = transmissivity of aquifer
- P = coefficient of permeability of aquitard (semiconfining layer)
- m = thickness of aquitard
- r = effective radius of well, or distance to observation well

#### 4.3.6. Error and Complementary Error Functions

You select these functions by typing the letter E from the WELL FUNCTIONS menu. The error function, erf(x), and its complementary function, erfc(x), frequently appear in ground water hydraulics. They are defined in the following way:

$$\text{erf}(x) = 1 - \text{erfc}(x) = 1.1283778 \times 0.5 \left\{ \int_0^x \exp(-y^2) dy \right\}$$

The program prompts for only the value of x and returns the values of error function and complementary error function for x. The error function is used, e.g., in calculating unsteady-state radial flow in isotropic leaky artesian aquifer with fully penetrating wells with water released from storage in aquitard.

### 4.4. Pumping Tests

The pumping tests program offers several subprograms for testing well performance and/or measuring pumping discharge during a pumping test. In addition, one subprogram makes possible the determination of aquifer parameters (transmissivity and storage coefficient) if three or more observation wells are available.

The following menu appears when you select letter P (pump test) (Fig. 4.3):

- S=Step-Drawdown
- R=Radius/Depression
- Q=Discharge Orifice Weir
- F=Discharge Flowing Well
- I= S=f(r)
- T=Step-Drawdown C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub>,P
- ESC=Exit M/Menu

**Step-Drawdown Test.** Since this is a test of productivity of a well, it is often called well-production test. This is a variable-rate well-production test. Well is pumped at a constant rate for a certain period of time (between one and 24 hours) and drawdown is recorded at the end of the pumping step. Pumping rate is then changed, normally increased, and well is pumped for the same period of time. Water level is measured and drawdown calculated. The same procedure is repeated with different pumping rates one or more times (minimum 3 steps). It is understood that each step must be of the same duration as the others.

According to classical theory, the total drawdown in a production well has two major components: the drawdown  $s_a$  (aquifer loss) due to laminar flow of water through the aquifer toward the well and  $s_w$  (well loss) due to the turbulent flow of water through the screen or well face and inside the casing to the pump intake. Other components, such as additional drawdown due to the partial penetration of an aquifer, or the drawdown due to barrier boundaries of the aquifer or the build-up due to recharge boundaries of the aquifer, are normally contained within the aquifer loss.

According to Jacob (1946), well loss may be represented approximately by the following equation

$$s_w = C_2 Q^2$$

where

- $s_w$  = well loss, [L]
- $C_2$  = well-loss constant, [T<sup>2</sup>/L<sup>5</sup>]
- $Q$  = discharge, [L<sup>3</sup>/T]

Aquifer loss,  $s_a$ , is linearly proportional to pumping rate, i.e.

$$s_a = C_1 Q$$

Thus the equation of total loss during pumping may be written as

$$s = C_1 Q + C_2 Q^2$$

When a well is pumped with three or more steps, the computer subprogram makes it possible to estimate the values of coefficients  $C_1$  and  $C_2$ .

You are prompted to input the values of drawdowns and pumping rates for each step. The minimum required number of steps is three and the maximum is five. (In most cases, three is the actual number of pumping steps.)

After all pairs of values are input (Fig. 4.10), the screen displays the values of coefficients for aquifer loss ( $C_1$ ) and well loss ( $C_2$ ). On the second screen, which is shown after any key is pressed, there will be a table showing

UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88
4. WELL HYDRAULICS AND WELL CONSTRUCTION		December 1989
STEP DRAWDOWN TEST		
Aquifer Loss Coeff. = 0.88131889 (day/m <sup>2</sup> ) Well Loss Coeff. = 0.8888263 (day <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )		
Dimensions for Aquifer Loss and Well Loss Coefficients are (T/L <sup>2</sup> ) and (T <sup>2</sup> /L <sup>5</sup> ), respectively. Press any key to continue.		Working units d (m) t (day) Q (m <sup>3</sup> /day) T (m <sup>2</sup> /day)

Fig. 4.10

actual drawdowns for each step, plus aquifer loss and well loss for particular step. In addition, well efficiency will be calculated and displayed for each step (Fig. 4.11). Well efficiency, in this case, is defined as the ratio of aquifer loss to measured drawdown. This is equivalent to saying that aquifer loss is unavoidable but all well losses could have been avoided provided that the well had been correctly constructed (large enough casing diameter, below-critical entrance velocity, proper gravel pack, proper development, pumping rate commensurate with well construction and aquifer potential, etc.).

UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88		
4. WELL HYDRAULICS AND WELL CONSTRUCTION		December 1989		
STEP DRAWDOWN TEST				
Step	Drawdown	Aq. Loss	Well Loss	Efficiency
1	1.888	0.8758	0.11588	87.5%
2	2.288	1.7588	0.46888	79.5%
3	3.688	2.6258	1.83588	72.9%
4	5.488	3.5888	1.84888	64.8%
Average Well Efficiency = 76.2%				
Well Efficiency is defined as a ratio of aquifer loss to measured drawdown. Press any key to continue.		Working units d (m) t (day) Q (m <sup>3</sup> /day) T (m <sup>2</sup> /day)		

Fig. 4.11

The use of the subprogram is demonstrated with an example from the Walton's book (1970, p.357). A variable pumping-rate well-production test was conducted with the following results:

Step	Pumping rate gpm	Drawdown ft
1	100	3.25
2	151	5.72
3	199	8.53

Before entering the test values, you should select as working units feet for distance and gpm for pumping rate. After you input all three pairs of drawdown-discharge values, the screen displays the values of coefficients  $C_1$  and  $C_2$ :

Aquifer loss = 9.959397 sec/ft<sup>2</sup>

Well loss = 21.371817 sec<sup>2</sup>/ft<sup>5</sup>

After you press any key, the second screen displays a table of measured drawdowns and calculated aquifer loss and well loss. Finally, the last column displays well efficiency defined as a ratio of aquifer loss to measured drawdown. The results are as follows:

Step	Measured drawdown ft	Aquifer loss ft	Well loss ft	Well efficiency %
1	3.25	2.2044	1.04698	67.8
2	5.72	3.3286	2.38723	58.2
3	8.53	4.3867	4.14616	51.4

Average efficiency = 59.13%

In Walton (1970), the well loss coefficient equals 21.6 sec<sup>2</sup>/ft<sup>5</sup>, and well loss for pumping rate of 152 gpm equals 2.46 ft.

**Radius of Depression.** You select this function by typing the letter R from the PUMPING TESTS menu. The formula for the radius of depression, which is derived from the nonequilibrium equation in the case of an infinite artesian isotropic and homogeneous aquifer without any recharge from the surface, is equal to

$$R = \{\text{Square Root of}\} (2.25 \cdot T \cdot t) / S$$

where

T is aquifer transmissivity

t is duration of pumping

S is storage coefficient

The expansion of cone of depression during constant-rate pumping to almost infinity is a rather ideal situation. It does not consider any boundary, whether recharging (which might slow down or stop the expansion of depression) or less permeable (which might make the expansion faster). The use of the formula should be restricted to rather limited spread of depression, say of at most several ten kilometers.

The program prompts for the values of transmissivity, storage coefficient and time. The output is the radius of depression for ideal conditions of an artesian, isotropic, homogeneous, infinite aquifer.

Example:

T = 2000 m<sup>2</sup>/day

S = 0.001

t = 10 days

R = 6708.2 m

T = 50,000 gpd/ft

S = 0.0001

t = 30 days

R = 67,165.7 ft

**Circular Orifice Weir - Pumping Discharge Measurement.** The circular orifice weir is one of most commonly used devices to measure the rate of discharge from a pump. The details of construction of an orifice and the measuring setup are explained in several books (*Ground Water and Wells: Johnson Division, 1972*). The program contained in this ground water software helps to calculate the discharge rate when discharge pipe



diameter, orifice plate diameter and the height of water column in the piezometric tube (head) are known. Numerous combinations of pipe and orifice sizes and applicable tables are available. This program closely follows a standard developed at the Engineering School of Purdue University.

The program prompts for pipe diameter, orifice diameter and water column height. This is the only subprogram in this package which overrides the working units. No matter which units you have selected, the input for pipe and orifice diameters, as well as for the head, must be in inches. The output is in gpm, m<sup>3</sup>/day and l/sec.

Example (Fig. 4.12): Pipe diameter = 6 in.  
 Orifice diameter = 4 in.  
 Head = 5 in.  
 Discharge rate = 142.8 gpm  
 = 778.3 m<sup>3</sup>/day  
 = 9.01 l/sec

The values obtained from the program correspond within 2-3% to the values reported in 103-D-1468 (*Measurement of Water Flow through Pipe Orifice with Free Discharge*, Purdue University, Lafayette, Ind., 1949).

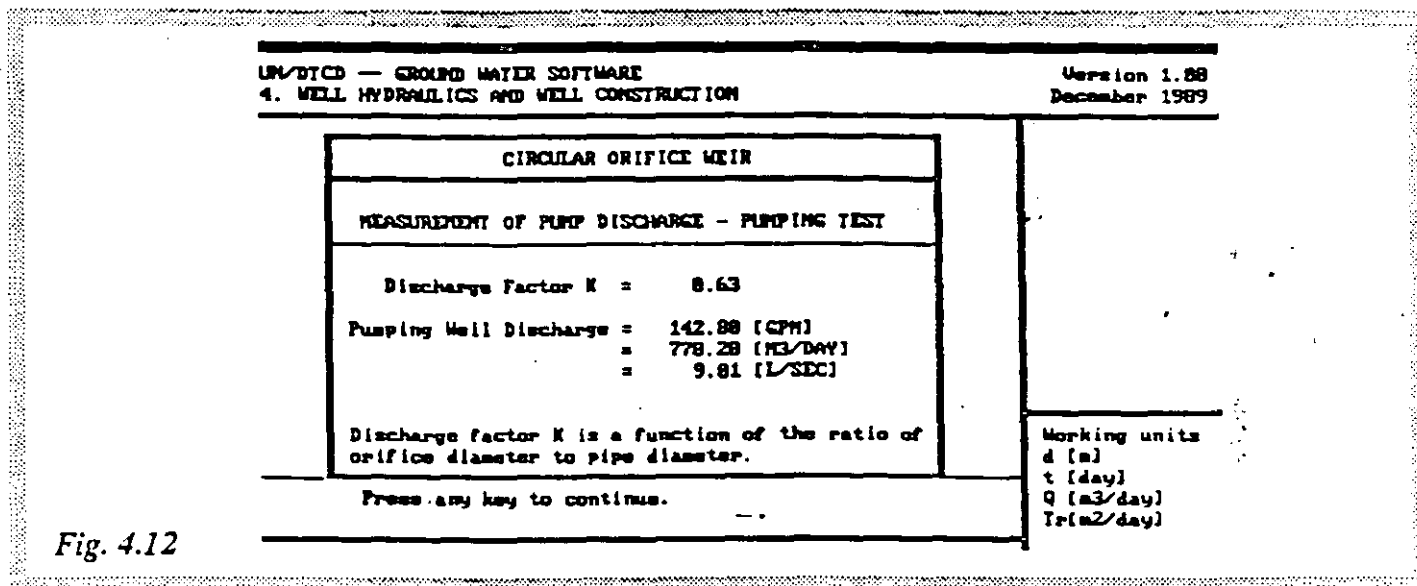


Fig. 4.12

**Discharge from Flowing Wells.** The dimension of a stream flowing from an open pipe, either vertical or horizontal, can be used to obtain a rough estimate of the flow rate. This subprogram calculates the free flow from a vertical pipe when the diameter of the pipe and the height to which the water rises above the pipe are known. The basis for the estimate is the classical formula for velocity head,  $V^2 = 2gh$ , where  $g$  is acceleration due to gravity, and  $h$  is the head. The final results, with appropriate correction factors, are close to flow rates from Lawrence and Braunworth data (*Fountain Flow of Water in Vertical Pipe*, Transactions, 1906, vol.57, p.264, ASCE).

The major prerequisite for the application of the program is that all water from the well flows upward through the pipe and that there is no any flow bypassing the pipe and reappearing at the surface from the borehole annulus. The flow must be sufficiently constant so that the height of water does not vary appreciably. The vertical pipe should be a straight length, not less than 0.9 m (3 ft) long, so that the open end is at least this far above from the nearest elbow, bend, or valve. Also, the values are for standard steel pipe with smooth inner surfaces.

The program produces rather correct values for the height of water of at least 10 cm (4 inch), from a pipe diameter 2 to 8 inches.

Example: Nominal diameter of pipe = 6 in.  
 Height of crest = 10 in.  
 Q = 576.32 gpm

(Value from a table in "Ground Water and Wells, 1972, is 580 gpm.)

NOTE: In this program you may select any units. The flow will be displayed in selected units for discharge.

Distance-Drawdown Method for Calculating Aquifer Parameters. When Jacob's approximate solution to Theis nonequilibrium formula is solved for drawdown as a function of distance, for a fixed time, the following is obtained:

$$s = [(0.183xQ)/T]x\log(2.25Tt/S) - (0.366Q/T)x\log r$$

where

- s = drawdown at a distance r
- Q = constant pumping discharge
- T = aquifer transmissivity
- t = time of pumping
- S = storage coefficient
- r = distance from pumped well

Since this is an equation of straight line in the "s" - "log r" system, one may calculate aquifer parameters T and S if three or more observation wells are available during the pumping test. It is a standard routine in aquifer evaluation tests to plot drawdowns on a semilog paper, with drawdowns on arithmetic scale and distances on logarithmic scale. The straight line equation becomes equal to

$$s = A_0 + A_1 \log r$$

Transmissivity is calculated from the slope (coefficient  $A_1$ ) of the straight line "delta s" (change of drawdown between any two points one log cycle apart)

$$T = 0.366Q/\text{delta } S$$

and storage coefficient from the coefficient  $A_0$  and known T,

$$S = 2.25 Tt \times \exp(-12.56 A_0 T/Q)$$

Example:

From Walton's book (1972, p.284, problem 4.2)

Distance from production well ft	Drawdown ft
100	8.40
1,000	5.65
10,000	2.84

When these three pairs are input as prompted by the program, the following values are obtained:

$$94,784.39 \text{ gpd/ft}$$

$$S = 0.000527$$

and the fit between measured and calculated drawdowns is displayed:

Well	Meas. drawdown (ft)	Calc. drawdown (ft)
1	8.40	8.41
2	5.65	5.63
3	2.84	2.85

The results in Walton's book are:  $T=93,000 \text{ gpd/ft}$ ;  $S=0.0006$ .

Step-Drawdown Test with Well Loss Proportional to "n" Power of Q. This program differs from Step-Drawdown part of the program (letter S) in the following way. The first program assumes that aquifer loss is linearly proportional to pumping rate, while well loss is proportional to Q raised to second power. This part of the program is in line with Rorabaugh's (1953) finding, according to which n is not fixed to 2, but varies according to aquifer and well situation from less than 2 to 3.5. Values of n less than 2 may occur if Q is relatively low and full turbulence has not yet developed in the entire well-entry flow. For very low values of Q, the flow may even be laminar throughout the system, in which case the well loss coefficient will be zero. To conclude, the basic formula for well drawdown is

$$s = A Q + B Q^n$$

The computer program prompts you for three or more pairs of drawdown - discharge values. After all values are input, the aquifer and well loss coefficients are displayed, together with the power of the Q term. The measured drawdowns are compared with computed drawdowns, and the average well efficiency is displayed. Efficiency is defined as the ratio of aquifer drawdown to total drawdown, "declaring" all well losses as inefficient and unnecessary.

#### Example.

From Bouwer (1978) book "Groundwater Hydrology" (Fig. 4.13):

Q(m <sup>3</sup> /day)	1000	2000	4000
s(m)	4.56	10.74	29.48

graphical calculation produced the following values:

$$n = 2.3 \quad A = 0.004 \quad B = 7 \times 10^{-8}$$

The program calculates the following:

$$n = 2.3$$

$$A = 0.004$$

$$B = 6.76 \times 10^{-8}$$

and an average well efficiency of 76.5%. Thus average well loss component is about 23.5% of the drawdown.

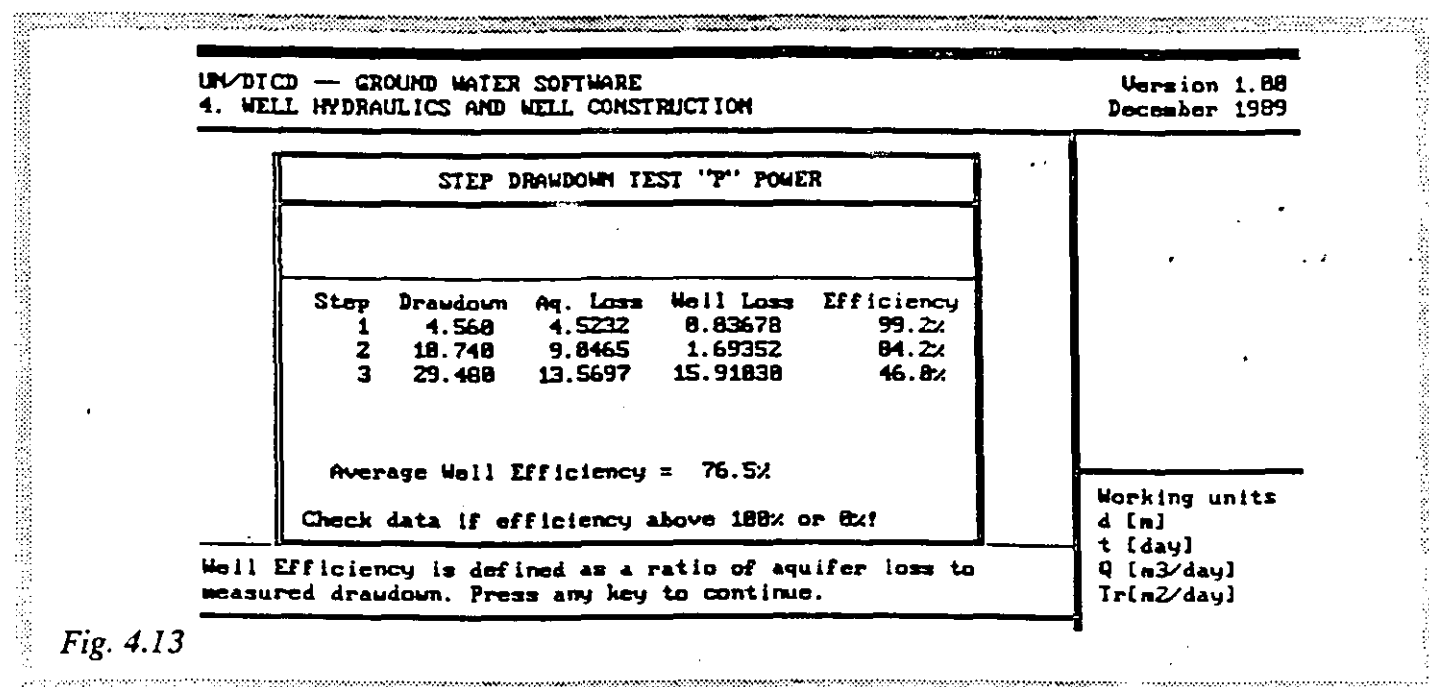


Fig. 4.13

The step-drawdown test gives information regarding the relation between pumping rate and drawdown of a given well. This is important in selecting the optimum pump and depth of pumping. The test also shows how much head loss occurs in the aquifer, and how much in and around the well. Excessive well losses indicate poor design and construction, poor development of the well, or deterioration of the screen.

## 4.5. Well Construction

**General.** This portion of the program deals with several subprograms that help to select proper casing diameter, proper screen length, to evaluate whether the screen entrance velocity is eventually above a critical velocity, etc.

The following menu appears after you type the letter C from the main menu (Fig. 4.4):

D=Casing Dia  
S=Screen Length  
L=Entrance Velocity  
ESC=Return to M/Menu

**Casing Diameter.** The program relates the design pumping rate of the well with optimum casing diameter. The diameter of the production-well casing should be two nominal sizes larger than the bowl size of the pump to prevent the pump shaft from binding, to reduce head losses, and to allow measurement of water levels in the well. The casing diameter may be reduced below the maximum anticipated pump setting depth. Suggested casing diameters for various pumping rates are calculated by this subprogram according to recommendations in Walton (1972, p.299).

The program prompts for only one parameter, the pumping rate of the well (Fig. 4.14). When this is answered, the optimum (recommended) casing diameter is displayed in inches. (This is one of rare routines in this package in which the result is in inches no matter what is the unit for length.)

UN/DICD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88
4. WELL HYDRAULICS AND WELL CONSTRUCTION		December 1989
<b>WELL CASING DIAMETER</b>		
<b>RECOMMENDED WELL CASING DIAMETER</b>		
Pumping Rate = 1728		[m <sup>3</sup> /day]
Optimum Casing Diameter =		18.8 (in)
Suggested casing diameter for above pumping rate		
Press any key to continue.		
		Working units d (in) t (day) Q (m <sup>3</sup> /day) I (m <sup>2</sup> /day)

Fig. 4.14

Examples:

Pumping rate	Casing diameter
1728 m <sup>3</sup> /day	10 in.
3000 gpm	24 in.
35 l/sec	12 in.

The open area of a screen increases with the diameter of the screen. Thus selection of the production-well diameter may depend upon the desired open area rather than the probable pump required. Yet, the result of this program may be a first step in selecting the correct casing diameter.

**Screen Length.** The recommended screen length is a function of entrance velocities into the well. The screen length as calculated in this program is based in part on the effective open area of a screen and an optimum (critical) screen entrance velocity. If the length of a screen is less than recommended, implying higher entrance velocities than permitted, there will be a possibility of clogging screen openings by migration of finer particles from aquifer toward the screen. This process, and critical screen entrance velocity, depend largely on the type of aquifer material, which is reflected in aquifer permeability. Thus the input to the program consists of two components: (a) open screen area, (b) selected critical (optimum) entrance velocity. The first may be known for a particular screen, or it may be calculated from another subprogram in this package (section L — entrance velocity) in which the parameters are screen diameter, percentage of open area of the screen, and screen

length. If "1" is selected for the screen length, with known screen diameter and percentage of open area, the screen open shall be calculated and displayed per one unit length of the screen (e.g. m<sup>2</sup>/m). This value can then be used in the "S" portion of the program to calculate a recommended optimum screen length.

The second input parameter, optimum (critical) screen entrance velocity, as a function of aquifer permeability, is displayed on the screen suggesting to you which value to choose.

Example: From program "L" - screen diameter = 0.2 m (8 in.)  
 screen length = 1 m  
 open area = 11%

Result: Open screen area = 0.069 m<sup>2</sup>/m  
 In program "S" - open screen area = 0.069 m<sup>2</sup>/m  
 entrance velocity = 2600 m/day (this is a value for K=80 m/day - coarse sand)  
 well discharge = 1728 m<sup>3</sup>/day, or 20 l/sec.  
 Result: Screen Length = 9.63 m

Another example is shown in Figures 4.15 and 4.16.

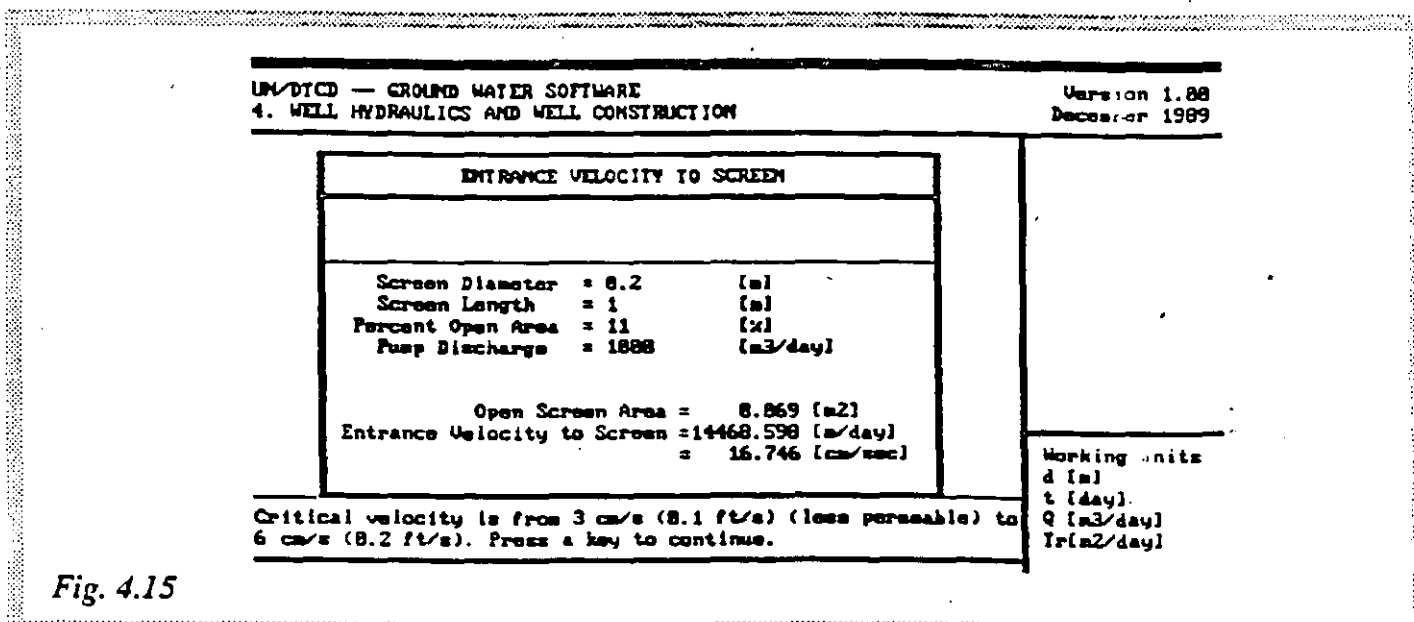


Fig. 4.15

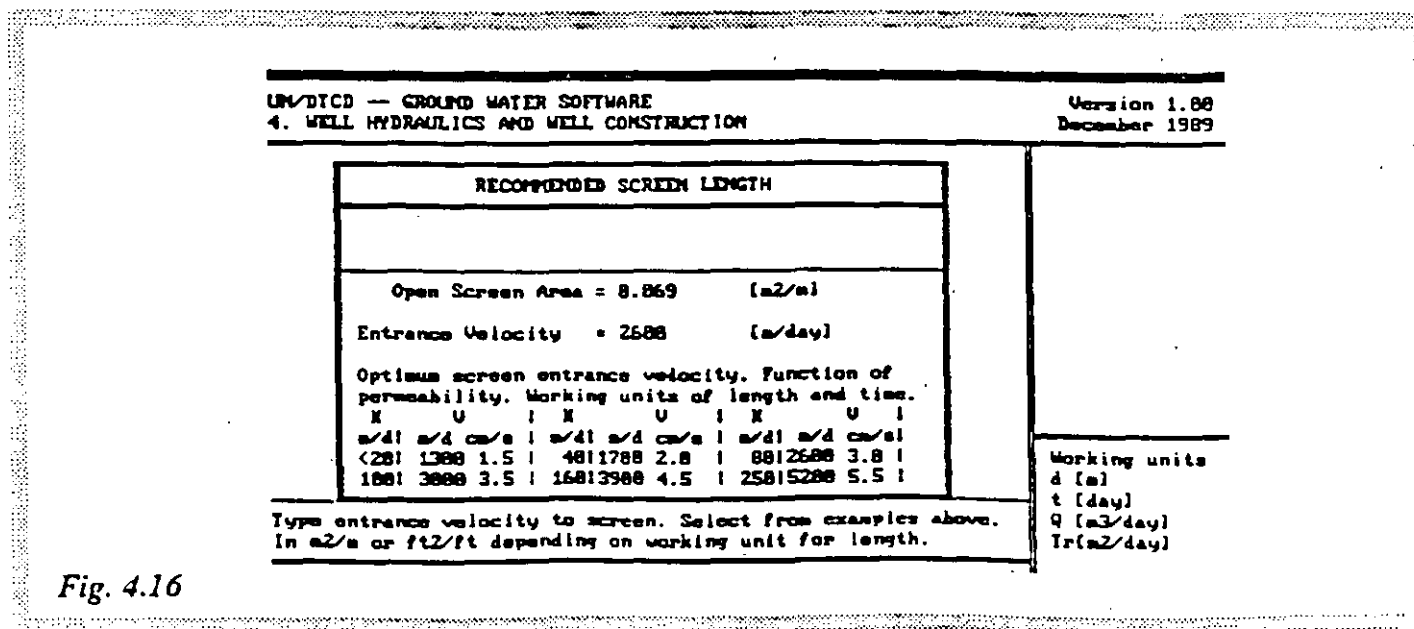


Fig. 4.16

The relationship between optimum screen entrance velocity and the coefficient of permeability of the aquifer which is used in this program, applies mostly to naturally gravel-packed wells. The same procedure is followed in selecting the optimum screen length for an artificially packed production well except that the average of the permeabilities of the aquifer and pack is used to determine the optimum entrance velocity.

**Entrance Velocity.** This program calculates the actual entrance velocity to the screen as a function of pumping rate, screen diameter, length and percentage of openings. It involves simple arithmetics. Input parameters are:

screen diameter  
screen length  
percentage of open screen area

The result is the entrance velocity to screen in several units. For comparison, at the message line a comment is displayed suggesting critical permissible entrance velocities as a range from 3 cm/sec to 6 cm/sec depending on aquifer permeability.

Example (Fig. 4.17):

Screen diameter = 0.2 m (8 in.)  
Screen length = 6 m  
% Open area = 11%  
Well discharge = 2000 m<sup>3</sup>/day

Results:

Open screen area = 0.415 m<sup>2</sup>  
Entrance velocity = 4822 m/day  
= 5.582 cm/sec

The message at the bottom line suggests that the critical entrance velocity for less permeable medium could be about 3 cm/sec and for more permeable medium up to 6 cm/sec. In this case the decision whether the entrance velocity is above or not the recommended maximum entrance velocity will depend on the permeability of the aquifer.

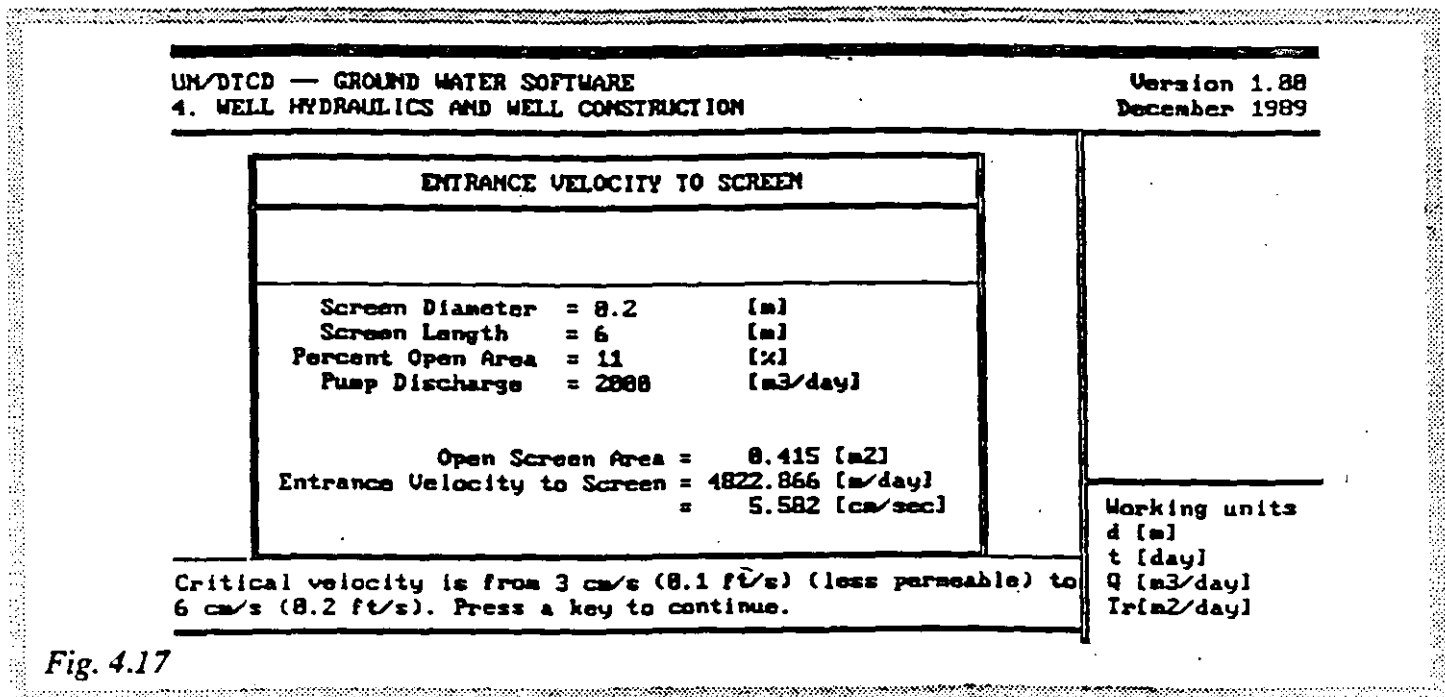


Fig. 4.17

### References

- Walton, W.C., 1972. *Groundwater Resource Evaluation*, International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- DeWiest, R.J.M., 1965. *Geohydrology*, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Jacob, C.E., 1946. *Radial Flow in a Leaky Artesian Aquifer*, Trans. Am. Geophys. Union, vol. 27, no. 2.
- Wenzel, L.K., 1942. *Methods of Determining Permeability of Waterbearing Materials, with Special Reference to Discharging-well Methods*, U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper 887.
- Rorabaugh, M.I., 1953. *Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well*. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 79, separate no. 362, 23 pp.
- Johnson Division, UOP Co., 1972. *Ground Water and Wells*.
- Bouwer, H., 1978. *Groundwater Hydrology*, McGraw-Hill Book Co.

# Hydrographs

## 5.1. General

---

This program allows you to create, edit, update a ground water level data base, and to display hydrographs on the screen, print or plot them.

In order to run the GW5 program you must copy the following files to the GW directory: UNS.WND, UNS.CMN, UNS.MST, and GW5.EXE. The minimum memory required for running the program is about 400 KB. In order to view hydrographs on the screen and/or to print them, you will need at least 550 Kbytes of memory. A video display adapter is required for viewing hydrographs on the screen; a dot-matrix printer with graphics capabilities is required for printing and a HPGL-compatible plotter for plotting hydrographs. The four mandatory files take up about 355,000 bytes of the disk.

### Program Features

- (a) You can input irregularly observed water levels. The program will find the correct time of observations on the time scale. You determine the interval for connecting the points on the hydrograph.
- (b) You can input data either as water levels in absolute elevations (above mean sea level) or as depths from a certain measuring point. Hydrographs are always displayed with double scale: depth to water on the left, absolute elevation on the right.
- (c) Regardless of the time interval used in a ground water level data base, you can select the time interval to display, print or plot.
- (d) One data base can contain a maximum 500 observation wells, and each well may have up to 500 water levels (depths).
- (e) The program automatically determines the time and level scales to fill one screen with the graph.
- (f) The data input is twofold: (1) from an ASCII file prepared either by a word processor with Nondocument or ASCII option, (2) directly from the program.
- (g) When the data are input interactively from the program, the input must be year by year. This means that you should select the time interval for the starting year, type in the data for that year, change the time interval to the next year and type in the data for that year, etc. In a similar way you may edit the data, year after year.

Water levels and/or depths must be input in a time-sorted order. The program will notice and display a message to the effect that some values are not sorted.

## 5.2. Running the Program

---

After you select this program module from the main program menu, and press RETURN, the opening screen is displayed and you are prompted for the file name of the ground water level data base, as shown in Fig. 5.1.



```

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE
G. WATER LEVEL DATA BASE
Version 1.00
December 1989

Data Base File :
Project :
Organization :
  
```

Fig. 5.1

You are prompted to supply the name of the data base (standard DOS file name, without extension). If the file with such a name exists (or, has been created before) the program will fill in the other two fields (Project and Organization). These two fields are used only for labeling the printout. If this is your first attempt to create a data base, such a data base file name shall not exist and the program will display a message:

This file does not exist.

Press C to create new file or Esc to exit.

Press C. The first line will display the file name (data base name) which you have just typed, and the cursor shall be on the second line: Project. You may type anything you want, or skip by pressing RETURN. Press RETURN anyway whether you typed something or not. The cursor moves to the third line: Organization. Enter a value and press RETURN. After you press RETURN, if this is your first attempt to create a data base, the screen will prompt you for units for distance, followed by the "Working Time Interval" prompt, as in Fig. 5.2.

The preprogrammed default unit for distance (depth, elevation, altitude) is meter, but you may select either meter, foot, or define your own unit. The idea of defining the working time interval is to have the possibility of creating a large data base, with water levels input over a long period of time. However, when it comes to editing, analyzing, displaying, or printing hydrographs, you may reduce the interval by assigning a shorter period of time, the one that you may have interest in.

The program has several logical controls built in. E.g., the program will notice that you have not specified the month or date. In the case of a wrong input the message will warn you that "month must be between 1 and 12". Likewise, you cannot specify the ending date earlier than the starting date. Since both "Units for Distance" and "Working Time Interval" exist as functions on the Main Menu, you may change either at any time. However, care should be exercised in selecting the time interval. Most of errors are due to improper working time interval.

```

UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE
G. WATER LEVEL DATA BASE
Version 1.00
December 1989

Data Base = G180          Number of P/P's =

Define the Working Time Interval

Start:
None
Year
Month
Day
Hour
Minute
Second

End:
None
Year
Month
Day
Hour
Minute
Second

Working Time Interval
None

Please use Finish editing, press Esc.
It moves field to the right of cursor.
  
```

Fig. 5.2

**Main Menu.** The main menu, shown in Fig. 5.3, contains the following functions:

- U = Define Units
- D = Data Input, Edit, etc.
- A = Data Analysis
- T = Working Time Interval
- ! = Change Depth (-) Altitude
- X = Exit to DOS

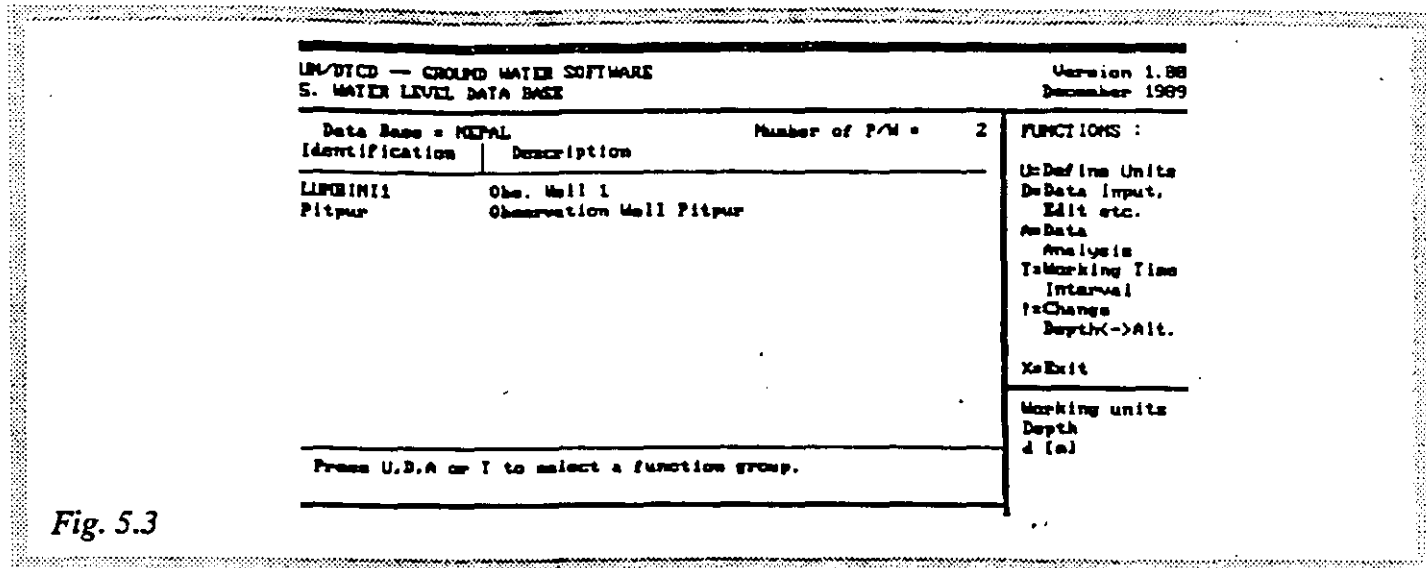


Fig. 5.3

Notice also the message in the lower right corner:

Working Units  
Depth  
d (m)

indicating that the data base contains levels in the form of depth (from a measuring point), and that the unit for length is meters.

The message line at the bottom contains the instruction: Press U,D,A, or T to select a function group.

In preparing a new data base, you should first type the letter U to define your default units. You should select meters or feet as units for length, select a time interval large enough to accommodate all presently available data, and change "altitude" for "depth" if levels are already expressed in absolute elevations above the mean sea level. Then go to option D to input data.

### 5.3. Data Input

After you type the letter D, the menu shown in Fig. 5.4 will appear. The following functions are available:

- I - for input from an ASCII file
- O - for output to an ASCII file
- N - for new data input from keyboard
- E - for editing data
- A - for data analysis (display and printout of hydrographs)
- D - for deleting data
- Esc - to return to Main Menu

UN/DTCD -- GROUND WATER SOFTWARE 5. WATER LEVEL DATA BASE		Version 1.88 December 1989
Data Base = NEPAL		Number of P/W = 2
Identification	Description	FUNCTIONS :
LUPHINI1 Pitpur	Obs. Well 1 Observation Well Pitpur	I=ASCII Input O=ASCII Output N=New Data E=Edit Data A=Analysis D=Delete T=Time Interv.  Esc=Exit to Main Menu  Working units Depth d [m]
Press I,O,N,E,A or T to select a function group. Esc to return to Main Menu.		

Fig. 5.4

- Option I is used when data are to be read from an existing ASCII data file. The file could have been created either with a word processor (WordStar, Word, WordPerfect, Personal Editor, etc.) or from this program using the option N.
- Option O is used when the data that have been created from the program (option N) or edited (option E) are to be stored in a separate ASCII file.
- Option N is used for interactive input of new data and creation of a data file.
- Option E is used for editing existing data, or for extending the period of record.
- Option A is used for displaying the graphs, or their printing.
- Option D is used for deleting one or more data files (individual wells).
- Option T is used to modify the time interval. It is very important because depending on the time interval selected the data will be displayed and available for editing. For example if a wrong time interval is selected the data may not be "visible" and corrections or extension of data will be impossible.

Pressing Esc will return you to one menu backward, i.e. to main menu.

*Input from an ASCII Data File.* To input data from an ASCII file, type the letter I and answer the program's prompt for a file name. You may have created the file with a word processor in which case the file should have the following format and appearance:

- line 1: file name
- line 2: description of observation well, any character
- line 3: description of aquifer (e.g. Quaternary, dolomite, Ogallala)
- line 4: x, y coordinates, land surface and measuring point elevations, format 4F10.0
- line 5: the starting year, typed with four digits in columns 1 through 4
- line 6: the starting month, typed with one or two digits in columns 1 and 2 (if the month is one from January through September the one-digit value is typed in the column 2)
- line 7: day, hour, minute, and the level or depth, in the format I2,2I3,F10.0
- line 8: continue input in the same month
- line 9: same as above.....

When one month is terminated the next line contains only one \*\*\* character typed in the column 1. The next month follows same as in line 5. The year is terminated with two \*\*\* characters. The entire data file is terminated with three \*\*\* characters. An example is shown on the next page.

Pitpur			line 1
Observation Well Pitpur			line 2
Quaternary			line 3
1000 1000 0.00 0.00			line 4
1987			line 5
5			line 6
1 12 0	-1.77		line 7
.			line 8
6			line 9
1 12 0	-0.46		line 10
.			line 11
7			line 12
1 12 0	1.21		line 13
.			line 14
8			line 15
1 12 0	1.28		line 16
			line 17
9			line 18
1 12 0	1.36		line 19
.			line 20
10			line 21
1 12 0	1.03		line 22
.			line 23
11			line 24
1 12 0	1.70		line 25
.			line 26
12			line 27
1 12 0	1.54		line 28
.			line 29
**			line 30
1988			line 31
1			line 32
1 12 0	0.04		line 33
.			line 34
2			line 35
1 12 0	-1.84		line 36
.			line 37
3			line 38
1 12 0	-3.15		line 39
.			line 40
4			line 41
1 12 0	-5.00		line 42
.			line 43
5			line 44
1 12 0	-2.80		line 45
.			line 46
**			line 47
***			line 48

Immediately after you enter the data file name and press RETURN, the first line on the screen shows Number of P/W = 1. The letters P and W stand for "piezometer" and "well", respectively. Also on the same line the name of the data base is shown.

Important instructions: (a) Each month must terminate with one star; (b) each year must terminate with two stars; (c) data file must terminate with three stars; (d) press RETURN after the last entry (three stars).

The cursor must be in column 1 of the last line. If it is located anywhere within the line, but not in column 1, there will be an error message "End of file before end of line". If you accidentally leave one blank line at the bottom of the data file (one additional RETURN was pressed), the error message: "Premature end of file." will appear.

However, most errors occur if your word processor does not produce an ASCII file. (With WordStar, unless you "print" the file to ASCII printer, you will not always get a 100% ASCII file. Check this with the utility SHOW.COM that is appended to this software package. If you see some strange character, such as a light rectangle, heart, or the like, you have problem!)

You may prepare several hydrographs in the same data file. After three stars (\*\*\*) , which implies the end of one hydrograph, you may continue with second well name, followed by description, aquifer, coordinates, etc.

*Input from keyboard* (inside the program). If you want to create a data file interactively from inside the program, the N option (for "new data") should be used. Prior to pressing N be sure that the time interval is the right one. The program will respond by prompting for identification. Type any meaningful name. The program ignores characters beyond the 16th.

Next a table for general data will appear (Fig. 5.5). The message at the screen bottom is as follows:

When you finish editing, press Esc. Table with  
time-level data will come next.

UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88														
5. WATER LEVEL DATA BASE		December 1989														
Data Base = NEPAL	Number of P/W = 2	FUNCTIONS :														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">STM - PARASI UM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Description =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aquifer =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>x =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>y =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LS Elev. z =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MP Elev. z1 =</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		STM - PARASI UM		Description =		Aquifer =		x =		y =		LS Elev. z =		MP Elev. z1 =		I=ASCII Input O=ASCII Output N=New Data E=Edit Data A=Analysis D=Delete I=Time Interv.
STM - PARASI UM																
Description =																
Aquifer =																
x =																
y =																
LS Elev. z =																
MP Elev. z1 =																
		Esc=Exit to Main Menu														
		Working units Depth d (m)														
When you finish editing, press Esc. Table with time-level data will come next.																

Fig.5.5

Although such a message may not be quite relevant at this moment, this routine is used also for editing existing general data (option E). "Description" and "aquifer" entries are optional. You may press RETURN for either. Their content is used only for labeling the printout, if so selected. Likewise, X and Y coordinates shall be used in future program's revision, for creating a water level contour map from available observation wells. You may type actual coordinates, or press RETURN twice. The last entry, "Measuring point elevation, Z1", is important, if observation well elevation is available. Each graph displays and prints two scales: on the left the depth from measuring point, on the right absolute elevation of the water level. If Z1 elevation is not known or input, both scales shall be the same, starting from 0. (One inconsistency is noted in this version of the program. When the level goes above the land surface, one should type the level with minus sign. Yet, the scale on the left side of the graph is somewhat peculiar: plus sign down from "0" ordinate, minus sign above the "0" ordinate.)

The table that will come next looks as shown in Fig. 5.6. Before typing or editing time-level data, confirm or modify the year on the top left. (The program notices the last year of your "Working Time Interval" and offers the last year to start the input. The logic is the following. In updating a data base, one normally continues

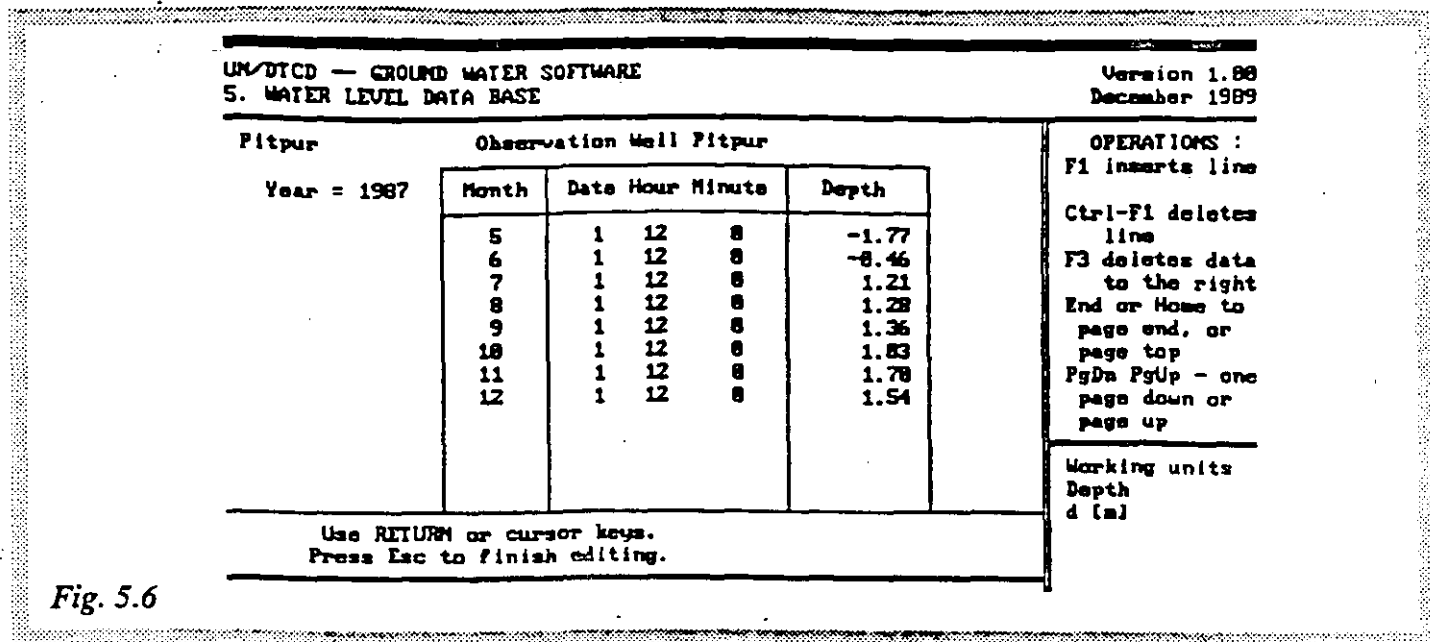


Fig. 5.6

from the last available information. So, if the data base was last time updated in June 1989, when the job is taken up, the next month shall be July of the same year. However, in creating a new data base, if you specify the time interval spanning a two-year period, say 1988-1989, the year that is displayed, that is 1989, should be modified to 1988.

You may move along rows or columns using the cursor control keys, space bar, return, page up and down, home, and end. After you finish your input, press Esc to return to the Data Menu. It is a good practice to write the new data to an ASCII file. Press O and supply the name for the file.

**Warnings.** Remember to terminate the last line in the data file with RETURN before exiting (Esc). Do not try to continue after the 12th month. (Program will ignore the input beyond the month 12.) Data must be in time sequence. After one year is finished, the year displayed in the top left corner is updated for one, and you will be prompted to confirm or modify it. You may also escape now by pressing ESC.

## 5.4. Editing Data

The procedure for editing data is almost the same as the procedure for entering new data (option N). The difference is that the cursor should be placed on data file which is to be edited. (The program will not ask for the file name or identification.) The table with general data will appear filled with old values. Edit the data or escape. The time-level table will come next. Remember that editing is waiting for your confirmation of the year which is displayed on the top left. The real table with time-level data will not appear until you confirm the year. Nothing prevents you from editing one year after the other.

**Writing Data to an ASCII Data File.** The option O allows you to write the data, both general and time-level, into an ASCII file. Place the cursor on the line to be copied to an ASCII file and type the letter O. You are then prompted for the name of the file to which you will write the data.

**Deleting a File.** In order to delete a file, place the cursor on the line with the file to be deleted and press the letter D. Remember, there is no way to "undelete" the file. As a precaution, have all data files transferred to ASCII files one by one prior to deleting any file from a data base. The program warns you that you have pressed D for "Delete", and asks you to confirm this operation.

**Changing Time Interval.** This is a critical concept in this software package. All "evil" will normally come from an erroneous time interval. No matter how large is the time span in the data base, only the available data will be shown when editing is invoked.

**5.5. Analysis**

You may display and/or print hydrographs from this menu or from the main menu. In either case the option is invoked by pressing the letter A. The procedure is explained here below.

Typing the letter A will take you to the Data Analysis Menu (Fig. 5.7). The following options are available:

- D - for displaying hydrograph
- P - for printing hydrograph
- Q - for printing a table with data
- T - for selecting the time interval to be displayed and/or printed.
- C - for changing the size of connecting interval
- B - for plotting hydrograph
- A - for creating an ASCII plot file, to be eventually edited and/or used in some commercial plotting program.

First select a file with the cursor. Next check the time interval which will be used. Type T and modify the time interval if necessary. In some cases, when you type A from Main or Data menu, the program automatically asks you to confirm the Time Interval for displaying the data. If you wish details, reduce the time interval. By modifying the time interval you may enlarge or squeeze the graph. Display the hydrograph by typing D. Print hydrograph by typing P. The first prompt will ask you to make printer ready and press RETURN. After that you will be given chance to select between two formats for printing hydrographs. You may print hydrograph with all the information (general data) in data file, such as project name, organization, coordinates, elevation, aquifer description. In this case the graph itself shall be centered on a A4 page with general data preceding the graph. However, you may opt for only graph and its identification. In this case you may have two hydrographs on one A4 page. Answer this prompt by either F for full page with data, or R for "reduced" data. Print data table by pressing "Q". Plot hydrograph by pressing B.

You may decide whether you want to connect some missing intervals or not. If, e.g., data in two months are missing but you still want to have a continuous (connected) graph, press C and type 61 for "Connection interval (days)", followed by two returns. The program scans the time interval between two successive time values and connects them if the time elapsed is less than 61 days.

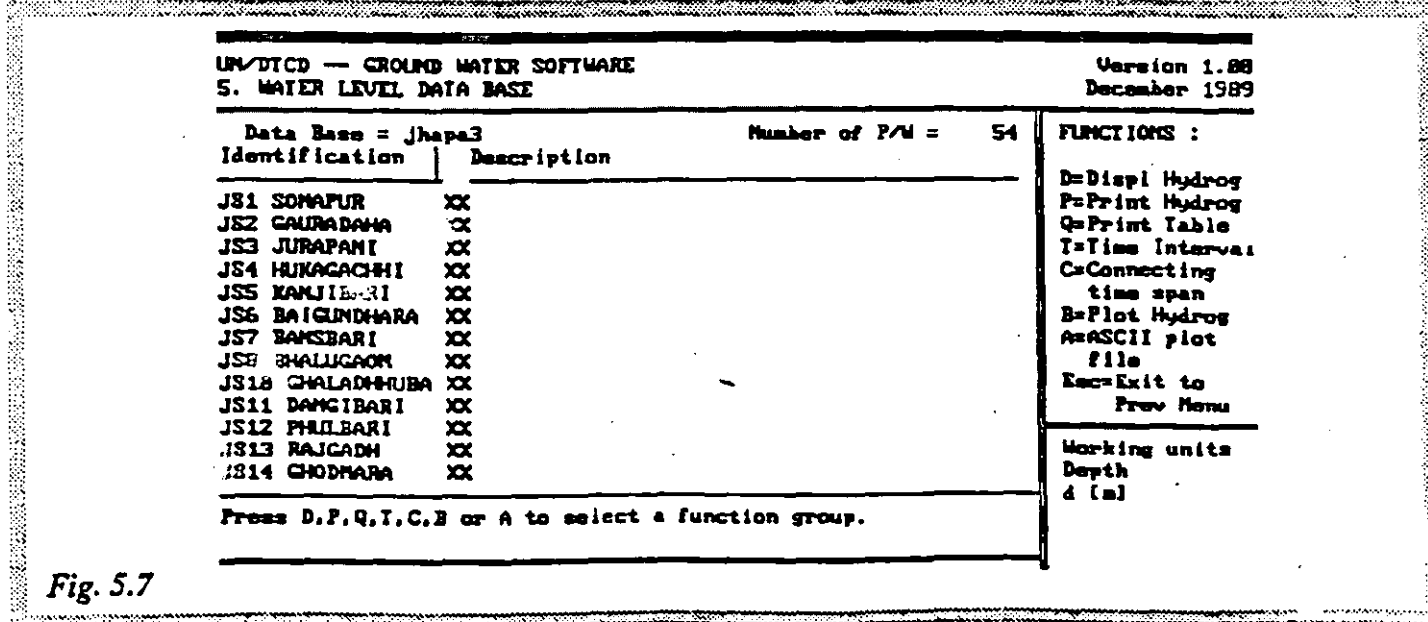


Fig. 5.7

## 5.6. Example

To run this example, create a data base from the keyboard containing one data file. The data are real (Nepal, UNDP project NEP/86/025, executed by Department of Technical Co-operation for Development, Water Resources Branch).

Type GW and press RETURN. Wait for the opening screen, press any key except Esc. Read, if you wish, the copyright notice and press any key except Esc. Select the module 5. Hydrographs, and press RETURN. When prompted for Data Base File type NEPAL. The cursor is now on the Project. Type NEP/86/025 GROUND WATER IN TERAI. Press RETURN. For Organization type GWRDB, UNDP, UN/DTCD. The screen is as shown in Fig. 5.8. The line (m) is highlight ed. Press RETURN. The screen Define the Working Time Interval appears next. Type 1988 for the starting year, 5 for the starting month, 1 for the day, press twice RETURN bypassing starting hour and minute. Type 1989 for the ending year, 2 for month, 28 for day, press RETURN followed by Esc.

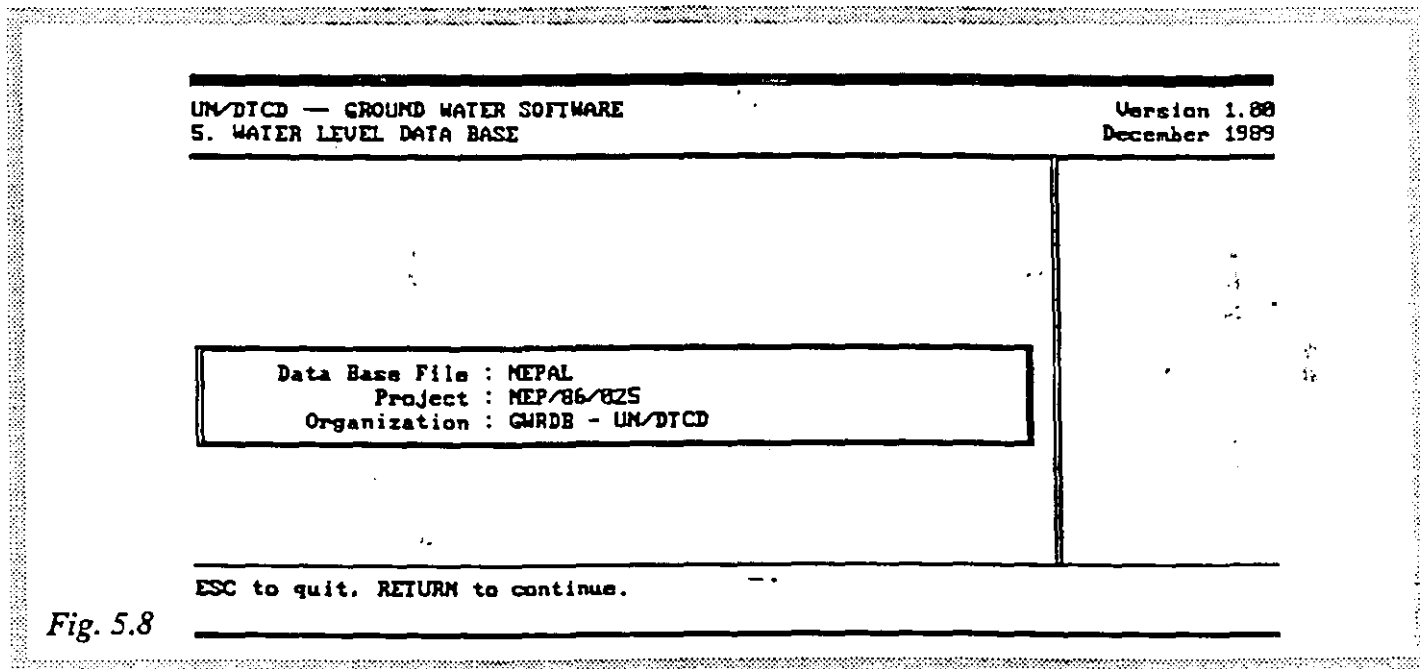


Fig. 5.8

You are now on the main menu. Type D for data input, and select N for new data. Answer the Identification prompt with STW-3 PARASI UN and press RETURN. The screen as in Fig. 5.5 will appear. On the line Description type "Shallow, 38.4 m, drilled Jan. 88" and press RETURN. Type "Quaternary" at the Aquifer prompt. Press RETURN. Type for X 762900, and for Y 3048000. For LS Elevation Z type 111.39, and for MP Elevation Z1 type 112.03. LS and MP are abbreviations for land surface and measuring point, respectively. Press Esc. Modify the year 1989 offered by the program to 1988. Press RETURN and wait a while until another table with columns for time and level is displayed. The cursor is in the first row, first column. We start with May 1988, actually the level on 2 May 1988 is 3.08 m. Type 5, press RETURN, type 2, followed by two returns (or several cursor right-arrow keys). Type 3.08 in column Depth. Press RETURN. You are now on the second line. Type 6 (June), 9 (day), RETURN for hour and minute, 3.6 for depth to water table from measuring point. After all months in 1988 are processed the table will look as follows:

5	2	0	0	3.08
6	9	0	0	3.6
7	1	0	0	1.8
8	3	0	0	0.7
9	2	0	0	0.62
10	3	0	0	1.95
11	3	0	0	2.12
12	15	0	0	2.28



Do not forget to press RETURN after typing 2.28. The cursor must be in column 1 on the blank line. Press Esc. Notice that the program updates the year to 1989. Confirm that year by pressing RETURN. Type 1 for month; 15 for day, two returns for hour and minute, and 2.57 for depth. Press RETURN. On the second line type 2 for month, 3 for day, press twice RETURN, and type 3.36 for depth. Press RETURN. Do not forget this! Press Esc. All data are now in the file STW-3 PARASI UN.

Type A. to select data analysis. Type T to confirm the time interval. If you select the time interval to start with May 1988 and terminate with December 1988, the hydrograph will be as shown in Fig. 5.9. View the hydrograph by pressing D. Print it by typing P. Print the data in table form by typing Q. The data are printed in the table as shown in Fig. 5.10. You may also plot this graph. Press letter B.

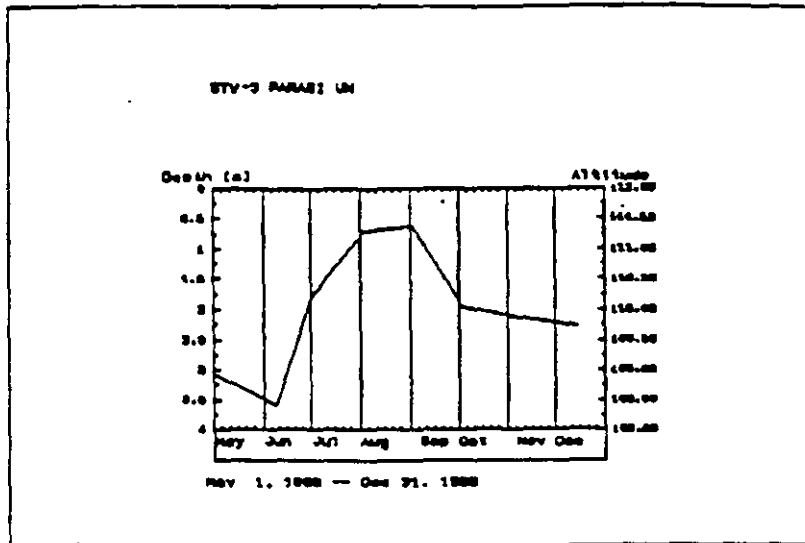


Fig. 5.9

```

F1 - Help   Esc - Exit   SHOW text   Version 1.1
GWRDB - UN/DICD
NEP/86/825

Identification : STW-3 PARASI UN
                  Shallow, 38.4 m deep, drilled Jan. 88
Aquifer : Quaternary
Coordinates [m]
                X = 762900.00
                Y = 3848000.00
                Z = 113.39
                Zi = 112.83

                Period : May 1988 - Dec 1988

--- May, 1988 ---
2 0: 0 3.80
--- Jun, 1988 ---
9 0: 0 3.60
--- Jul, 1988 ---
1 0: 0 1.80
--- Aug, 1988 ---
3 0: 0 0.78
--- Sep, 1988 ---
2 0: 0 0.62

```

Fig. 5.10

# Well Logs and Lithological Cross-sections

## 6.1. Program Overview

The program GW6 is Lithological Data Base, which includes several retrieval subprograms: (1) Well construction data with lithological column in graphical form; (2) Lithological cross-sections; (3) Table with all wells in data base, including well name, x,y,z, depth, and screened interval; (4) Calculation of the percentage of permeable intervals; (5) Map showing the location of all wells in the data base. The program has built-in many graphical symbols for lithological units (sand, clay, gravel, hard rock, etc.), but you may also design almost any kind of symbols and assign to them different names. You may edit all data from inside the program using your favorite editor. You may view on the screen individual well logs and whole cross sections. You may also use a mouse and select the lines of cross sections directly from the screen map. You may print or plot well logs and cross-sections.

The GW6 program contains the following files:

- GW6.EXE - run file, command file, executable file
- UN6.CMN - communication file
- UN6.WND - windows
- UN6.MST - menu structure
- GW6.GEN - general data file (MUST BE EDITED BEFORE STARTING NEW PROJECT)
- GW6.DLT - description of lithology file, with various symbols preprogrammed and/or designed by the user
- GW6.STM - codes for permeable members
- DIGXSC.EXE - file called from main program to create coordinate system with map of wells
- GW6CF.EXE - file called from main program (GW6.EXE) which is used in creating new files in lithological data base
- BL#.LTH - examples from a recent project in Nepal, where # is the number of the well

The following files must be copied to the \GW directory: GW6.EXE, UN6.MST, UN6.CMN, UN6.WND, GW6CF.EXE, DIGXSC.EXE, GW6.DLT, GW6.STM. They occupy about 330,000 bytes of disk storage. The minimum memory requirement for the GW6.EXE program is about 430 Kilobytes, but, with screen and printer drivers, the maximum memory requirement is about 580 KB. This means that you must eliminate any memory-resident program, and even reduce your CONFIG.SYS file, if you wish to use screen display and printing capabilities of the program.

You will need a video graphics adapter, if you wish to view well logs, well map, and cross sections on the screen. A mathematical co-processor is optional, but it is highly recommended. The graphics on the screen is very much computer-time demanding, and the speed and efficiency of screen presentation is greatly improved by running the program on a fast microcomputer, preferably the one with clock speed of 12 megahertz or more. A typical well log is calculated and displayed on the screen in about 35 seconds on a 25 MHz computer equipped with a 25-MHz co-processor. It may take 5 minutes if the program is run on a computer running at 8 MHz, without a co-processor. You may find a mouse useful in selecting the lines of cross sections directly from the screen map.

In this manual you will be instructed to create the data base, to run the program, to design additional lithological symbols.

The program is written in such a way that it can be installed on a hard disk drive other than C. However, should you select a hard disk partition other than the boot disk C, you must copy the COMMAND.COM file into the root directory of the hard disk partition where your data base shall reside. The COMMAND.COM file is used by the program to read other files (GW6.GEN, lithological files, etc.).

You do not need to have your text editor in the same subdirectory (e.g. \gw\gw6). However, be careful, if you specify the path to the editor correctly, this still does not mean that the program will be able to use that editor. Almost every text editor or word processor has, in addition to one EXE file, speller and thesaurus, several message or overlay files. These cannot be found by the program with ordinary DOS PATH utility. You need something like "SEARCH" utility which will search specified subdirectories and find any required file, no matter what is its extension. If you are an inexperienced computer user, it is advisable that you copy your text editor files into the \GW\GW6 subdirectory (without speller checker, thesaurus, or printer files). However, data files (data base) can be physically separate from the program subdirectory. When you are asked by the program to select files, specify the complete path. E.g., if your data base files are on hard disk subdirectory called NEPAL and each well file is terminated with extension \*.lth, specify the path C:\NEPAL\\*.lth.

The maximum number of individual data files (well logs) is 300.

## 6.2. General Program Files

### 6.2.1. General Data File, GW6.GEN

The first step in running the program is to tell the computer which text editor you want to use and where it is located. This information is contained in the file GW6.GEN. The file GW6.GEN must be in the current n directory. Since you must have the files such as GW6.EXE, all three UN6 files, and GW6.DLT, GW6.STM, GW6CF.EXE, in the \GW directory, you may opt to create a data base directory in which you will have all your data base files (we recommend the extension \*.lth for each) plus the file GW6.GEN.

**It is important and MANDATORY that you log onto that directory in which your GW6.GEN file is located before you run the program GW or GW6.**

This file contains the information identifying the project (two lines), vertical and horizontal scale for cross sections, and most of all, the path to your text editor. The project identifications are not that critical, neither are the scales for cross sections. But the path to the text editor is crucial, whether you want to use that editor or not. Take note now, that the name of the executable text processor file must be typed with extension. If this is WordStar, type WS.COM. If this is WordPerfect, type WP.EXE, etc. You may edit this file independently from the program using any screen editor, or, you may do it from inside the program. Before you use the program for the first time, you must edit the GW6.GEN file with a screen editor outside the program. The file GW6.GEN, as supplied on the distribution diskette, looks as follows:

```

PROJ: NEP/86/025
ORG: GWRDB - UN/DTCD
EDITOR: C:\UTILPE.EXE
HSCALE: 100000
VSCALE: 1000

```

There are five lines in this file. You supply the information starting with column 11. Do not change words before a colon. The first two lines are project name or symbol and organization. In this version of the program, these two lines are used to identify well logs only. (In earlier version they were also identifying lithological cross section. This was eliminated to make more space for real cross section. Titles and identifications can be added by printer later!)

On the third line you should provide the path to and the name of text editor that program will use. In this example, IBM's Personal Editor is used, and it is located in the hard disk subdirectory \UTIL (for utilities). Again, be careful. If your text editor's main executable file is in this subdirectory, the program will find it, but

not its overlay or message files, unless you have some "SEARCH" utility in your autoexec.bat file. (Some editors need only one executable file, such as Borland's SideKick, Norton's Editor, etc.)

The last two lines specify the scale for cross sections, horizontal and vertical. The horizontal scale of 100000 means that 1 cm on the printout will represent 1000 m in nature. The horizontal scale of 1000 means that 1 cm on the printout will represent 10 m in nature. The scale is for lithological cross-sections. You have a choice of having lithological cross section printed on A4, A3 format, or user-specified format. In A4 format the maximum length of a cross-section is 26 cm, and the maximum height is 16.5 cm. Thus, with horizontal scale 100,000, one may display a cross-section of maximum length 26 km; with scale 200,000 the length can be as big as 52 km; with scale 50,000, the maximum length of the section can be 13 km. Vertical scale of 2000 is used for cross-sections up to 332 meters or feet vertical difference; scale of 1000 can display up to 165 m or feet. In A3 format the maximum length of the cross section (along horizontal) is 36 cm, and the maximum height is 21.9 cm. Thus, in A3 format in 100,000 horizontal scale, the total length of cross section can be as much as 36 km. (If you select A3 format, paper should be placed into printer with shorter side horizontal.)

### 6.2.2. Lithological Symbols Default File, GW6.DLT

The file GW6.DLT contains preprogrammed symbols for various lithological units (about 30). You can use these symbols without modification, or you can make your own. One part of the file is reproduced here below:

```

CLAY Clay
 3 1.5
 2 0.00 0.75
 0 0.75 1.50
 1 1.50 0.75
 0 2.25 0.00
 1 3.00 0.75
.
SILT Silt
 2 2
 2 0.0 0.0
 1 1.0 1.0
.
ROCK1 Hard rock
 2 2
 2 0.00 1.00
 1 2.00 1.00
.

```

The list of all symbols and instructions to prepare additional symbols are contained in Appendix A. The symbols can be simple (horizontal line, diagonal line, etc.) or very complicated (e.g., mixture of fine sand with gravel).

Each symbol is defined with symbol name, which is the first word in the GW6.DLT file (CLAY, SILT, up to 10 characters, sensitive to the case of letters, that is upper case and lower case are not the same), and description which will show on the printed well log. This is one or more words after the symbol name (with maximum of 100 characters). In the above example the description of clay and silt is the same as the name of the symbol, but for the symbol ROCK1 the description is "Hard rock". You may modify in this file the symbol name, or description, to suit your project better. You may also add to this list new symbols using the procedure explained in Appendix A.

The important thing to remember is that in data files to be created by you, one file for one well, symbol names are matching with symbol names in this file. If the program does not find a symbol name specified by you in data files, that portion of the lithological log will remain blank (no symbols). In lithological cross-sections, a message shall be displayed that error was noticed in reading lithology. (The name of the file with error shall be also displayed.)

You have also the option to have the default description of lithology typed on the well log (such as Clay, Rock1, or Silt), or to type something different and/or expanded. If in the well log data you type only the name

of the symbol next to the depth, e.g. CLAY, the program will use the default description (Clay). If you type something else, the program will reproduce this "something else". Thus, next to CLAY symbol the following can be typed: Clay hard with some silt and sand.

### 6.2.3. File with Codes for Permeable Units, GW6.STM

One more file must reside in the \GW directory. This is the file which contains the codes for permeable units or members. It is used in several application routines: (a) for displaying permeable units in blue, and all other units (interpreted as impermeable) as yellow, in well logs and Lithological cross sections; (b) for creating a table with percentages of permeable versus impermeable layers in each and all wells in the data base. The current GW6.STM file looks as follows:

```
SAND
SANDV
SANDF
SANDM
SANDC
SCWG
GRAVEL
GRAVELF
GRAVELC
GWS
SRGRAV
```

### 6.2.4. New File-Creating File, GW6CF.EXE

This file must reside in the \GW directory. It is needed only if and when you want to add new files to the data base.

### 6.2.5. Digitizing Coordinates File, DIGXSC.EXE

This file, which must also reside in the \GW directory, is needed for digitizing the wells' coordinates, displaying a map with wells, and supporting the mouse-defined cross section lines. Without this file, you may specify the beginning and end coordinates of a cross-section line manually, without using a mouse.

## 6.3. Running the Program

Copy the files GW6.EXE, UN6.MST, UN6.CMN, UN6.WND, GW6.DLT, GW6.STM, GW6CF.EXE, DIGXSC.EXE into the \GW directory. Create a subdirectory, say GW6, and copy the GW6.GEN file plus all LITH files into that subdirectory. Log into the GW6 subdirectory (*the one in which is your GW6.GEN file*). Type GW to start the whole package, or GW6 to start only the lithology program.

After you select the module "6. Well Lithology" press RETURN. The next screen displays two lines with Project and Organization identification, Fig. 6.1. This information is read from your GW6.GEN file. If there is any error you will see either a message "Please, edit file GW6.GEN first, then call again." or "Text editor given in \GW\GW6.GEN does not exist. Prepare \GW\GW6.GEN and call again." The first message appears if you do not have any GW6.GEN file in your currently logged directory. The second message is displayed if the path to the text editor is wrong or its executable file name is not complete, i.e. without extension. (The list of error messages is appended in Appendix B.)

If you do not see these messages, and the project name and organization appear on the screen, you may edit these two lines now or modify them by editing the GW6.GEN file. The changes you make shall be reflected

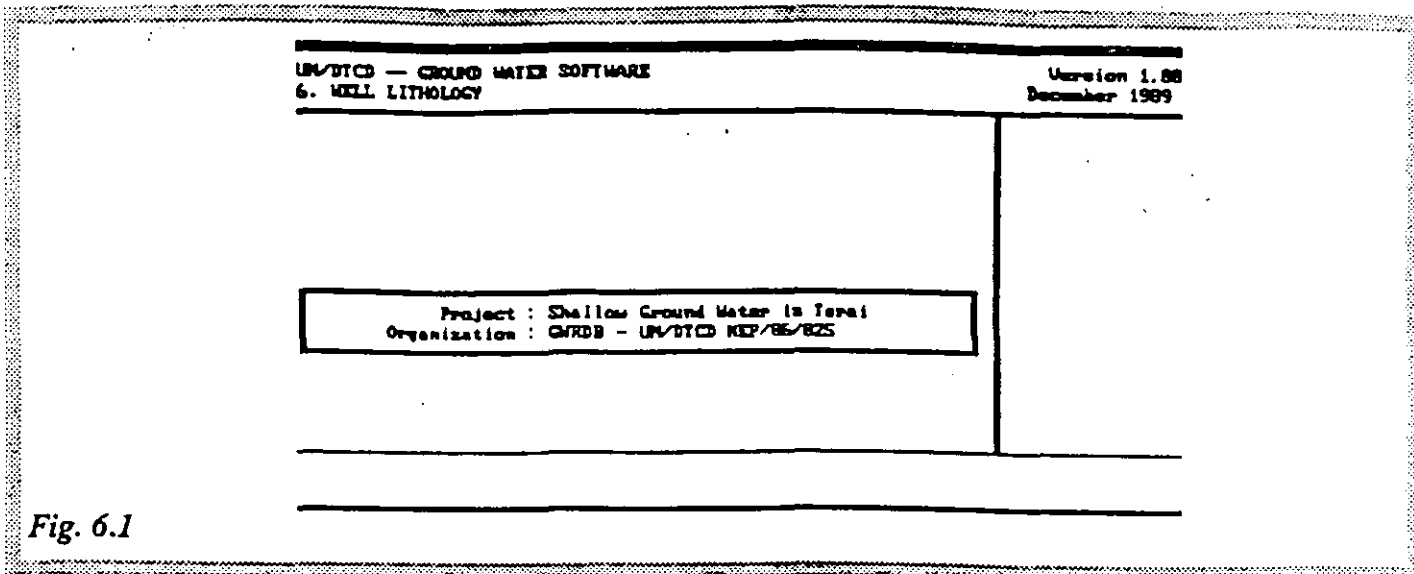


Fig. 6.1

not only in the headings of your printout (well logs, cross-sections) in the current run, but will also be copied to your GW6.GEN file.

Press RETURN twice. The main opening screen with the main menu will appear (Fig. 6.2). On the right side of the screen are shown various functions available in this program.

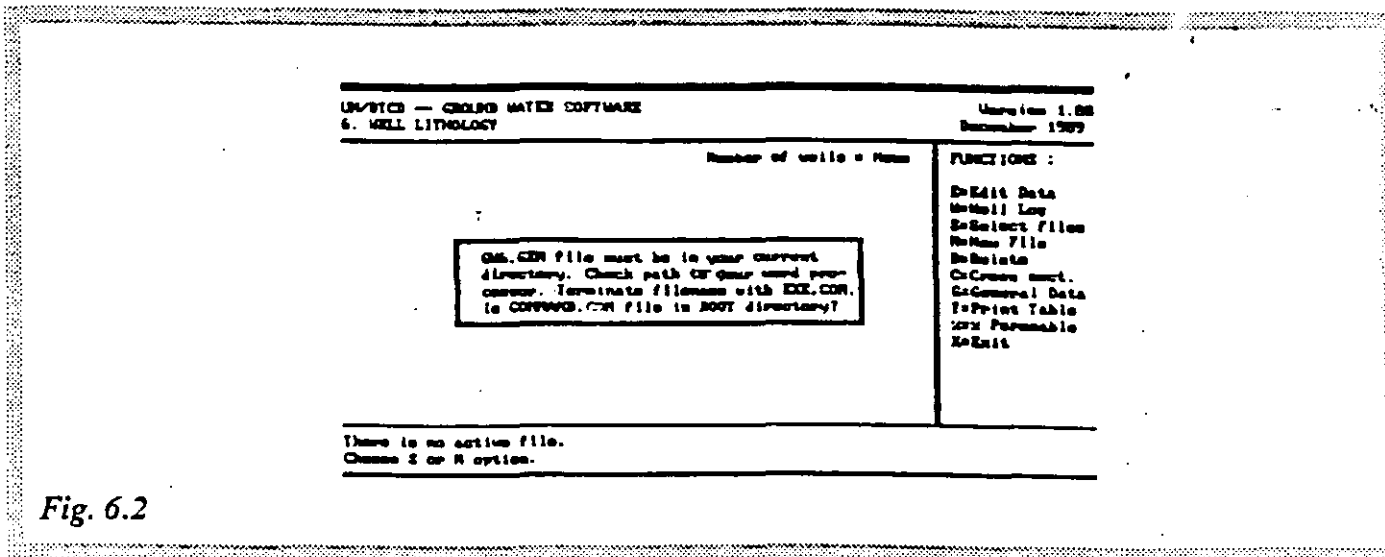


Fig. 6.2

#### E=Edit Data.

This is used for editing existing data files. You will normally first select one or more files, place the cursor on the name of the file that you wish to edit, and type the key E for editing. Then your selected screen editor will be activated (in this case Personal Editor) and the file contents are displayed automatically.

#### W= Well Log.

This function is used for displaying/printing/plotting a well log from the data file which is currently highlighted. In order for this to work properly, the printer driver in CONFIG.CNF must be correctly selected (9-pin or 24-pin printer) and its EXE file must be in the \GW directory (options: DVIRX120.EXE and/or DVILQ180.EXE, see Introduction). Likewise, a correctly selected screen driver must be present in the \GW directory (options: CGA, EGA, VGA, ATT, HGC, WYSE). You cannot plot the log unless you have the plotter driver in \GW directory. The plotter driver executable file is DVHPGLF.EXE for plotting through the COM1 serial port, and/or for creating an ASCII plot file to be used later, in edited form, when a plotter becomes available.

**S=Select Files.**

This will normally be the first process to perform after the general data file (GW6.GEN) is edited. After S is typed, the program will prompt you for the form of data file names. If you have prepared all data with the same extension, say .LTH, the answer to the prompt can be \*.LTH. The program searches through the directory and reads all data files with the matching extension .LTH. Alternatively you may add file names one by one.

**N=New File.**

To create the data base, you must use this function. The program prompts for file name, and displays the default (preprogrammed) list of entries to which you must supply answers. In order that this portion of the program works correctly, there must be the file GW6CFEXE in the \GW directory.

**D=Delete.**

Place the cursor on the file name to be deleted and type D. **Warning!** The file with that name will be deleted not only from the data base but from the computer directory. This is actually the DOS command which is incorporated into this program. Unerase accidentally erased file using one of commercially available utilities (Norton Utilities or PC-Tools, e.g.). A recommended practice is to have a copy of your data base on a diskette.

**C=Cross Section.**

If more than one well data file is available in the data base pressing the C key will initiate the processing of cross sections through the project area. You will be asked for the title of cross section, for the initial x coordinate, the ending x coordinate, the initial y coordinate, the ending y coordinate. The final question is how far from the cross section line eventually existing wells should be projected onto the line. If you have a mouse you will be able to select the cross-section line with the mouse. If you have a graphics adapter you may also create a map with all selected wells and view it on the screen. Lithological cross sections can be viewed on the screen, printed, plotted.

**G=Edit General Data.**

You may edit general data in this file at any time during the program execution. Once the general data are correctly selected, the only changes that may be required by the program or user are horizontal and vertical scales for cross sections.

**T=Table of Data.**

This is used to write to a file, from which you can print the data, the basic data identifying the data base: well name, x and y coordinates, elevation, total drilled depth, screened metrage (footage). At the bottom of the file you will find the basic statistics: (a) total number of wells, (b) total drilled metrage or footage, (c) total screened intervals, (d) percentage of screened interval with respect to total drilled metrage (footage). The same final statistics will be displayed on the screen.

**%=Percentage of permeable**

materials in selected interval of depth. As in the previous table, the information is copied to a disk file, with the summary displayed on the screen.

**X=Exit to Main program.**

As in any other program in this Ground Water series, typing X will return you to the Main Program.

## 6.4. Example

### 6.4.1. Start the Program

By running the example supplied on the distribution diskette you will master the program and understand its features. Log to the subdirectory in which your data files are located. The file GW6.GEN must also be there. Type GW, press RETURN twice, move the cursor to the line "6. Lithology". Press RETURN again. The following screen will appear:

```
Project: Shallow Ground Water In Terai
Organization: GWRDB - UN/DTCD NEP/86/025
```

The program gets this information from the first two lines in GW6.GEN. Press RETURN twice. The main menu with available functions comes next. On the right side of the screen the display is as follows:

**FUNCTIONS:**

E=Edit Data

W=Well Log

S=Select Files

N=New File

D=Delete (for deleting file)

C=Cross Sect. (for cross-section)

G=Edit General Data

T=Table of Data

%=% of Permeable (for percentage of permeable materials)

X=Exit to Main Program or DOS

Press S to select data files. The program prompts for file name format. Type \*.LTH. This is interpreted by the program "look in data directory and find all files with extension LTH. Then transfer these files into computer memory". After a few seconds the screen will display the first 13 data files and show the total number of wells in the data base (Fig. 6.3). In this example the number is 15. The cursor is on the first line. Move the cursor to file BR4.LTH and press E to edit data. (You may need to answer the prompt of your text editor. E.g., if you are using IBM's Personal Editor, you must press RETURN.)

The following is displayed:

WELL: BLII/4

LOC: MAHADEVA

ELEV: 99.3

X: 730240

Y: 3050000

SCREEN: 51.8,56.9,65.1,68.1,76.2,81.3,87.4,90.5,104.1,113.3,117.9,120.9,154.4,157.5,178.9,184.9,191.0,197.1

DR.METH: RIG

DR.DATES: 16.2.87 - 9.3.87

COMM: WELL SIZE:16"/10";M.P:0.6m;SCRN:WWRAPED\SCREEN POS:51.8-56.9,65.1-68.1,76.2-81.3,87.4-90.5,104.1-113.3,117.9-120.9,154.4-157.5,178.9-184.9,191.0-197.1\DRILLED UNDER BLGW PROJ.

PTDATE: 3-4.4.87

Q: 111 l/s

DUR: 20 h

TRAN: 1780 m<sup>2</sup>/d

METHOD: THEIS

STORAGE:

SWL: 8.48 m(A.G.R.L)

DWL: 9.0 m(B.G.R.L)

PT.COMM:

LITH:

11.0 CLAY

22.0 SAND

43.0 CLAY Clay with thin\gravel layer

68.0 GRAVEL Gravel with thin\clay layer

75.0 CLAY

81.0 GRAVEL Gravel

86.0 CLAY

91.0 GRAVEL Gravel

103.0 CLAY

134.0 GRAVEL Gravel with thin\clay layer

152.0 CLAY

173.0 CWIOS Clay with sand\&amp; gravel

198.0 SCWG Gravel and sand\with thin clay\layer

203.0 CLAY



UN/DTCD - GROUND WATER SOFTWARE 6. WELL LITHOLOGY		Version 1.00 December 1989
Well	Number of wells = 15	FUNCTIONS :
BR33.LTH		De Edit Data
BR41.LTH		De Well Log
BR49.LTH		De Select Files
BR5.LTH		De Run File
BR11.LTH		De Delete
BR1.LTH		De Create Chart
BR3.LTH		De General Data
BR2.LTH		De Print Table
BR4.LTH		DeX Parameter
BR5.LTH		De Exit
BR6.LTH		
BR7.LTH		

Press E.W.S.A.S.C.C.T to enter the functions X for percentage of permeable sediments. Press X to return to BCR

Fig. 6.3

Abbreviations are for the following:

LOC	- location
ELEV	- elevation
DR.METHOD	- drilling method
DR.DATES	- drilling dates
COMM	- comments
PT. DATE	- pumping test date
DUR	- duration of pumping test
TRAN	- transmissivity value
SWL	- static water level
DWL	- dynamic water level
PTCOMM	- pumping test comments
LITH	- lithology

Some of the fields must be input in correct format, some are just for the record and can contain anything. That "anything" will be printed on the well log, however. The first field, WELL, is important because its content will be printed on the cross section exactly as it is typed. If you want number to be shown on your lithological cross section, type the number. Type the name if this is what you want.

Elevation and coordinates must be correct, that is only numbers without blanks or any textual character. A typical mistake is to type elevation with m (meters) or ft (feet). This will not create a problem in printing the well log, but it will be noticed by the program when a cross-section is attempted, or when a table of data printed.

Several comments are in order.

- (1) All data in data files are typed from column 11 on, although you may start at any column after the tenth.
- (2) You may specify several well screen sections in one well by typing beginning and ending depths of the first section, followed by the beginning and ending depths of the second section, etc., with each value separated by a comma. In the above example (BR4.LTH) there are nine screen sections, the first at 51.8-56.9, and the last at 191.0-197.1 m. Typing the interval such as 24.5-30.5 will create error. Likewise, you must not type textual comment such as "Uncased", or "Screen position unknown". Only numbers separated by commas are allowed!
- (3) The "total depth" information does not appear explicitly in the data form or file. The final depth of the last lithological unit is interpreted by the program as equivalent to the total depth. You may write in "Comments" if this is not the case.
- (4) On "Comments:" line in data form (file), five lines of information can be accommodated. The instruction marker for the program to start with next line is the backslash character "\". For example, if you want the following comments to appear:  
Screen: 40.2-45.5 m.  
Type: Wire-wrapped, slots 0.5 mm.  
M.P.: 96.95

the comment line should be typed as follows:-----

Screen: 40.2-45.5 m \Type: Wire-wrapped, slots 0.5 mm \M.P.: 96.95

- (5) Exactly the same principle is used in typing lithological descriptions for various units (layers) for which you want to use a description other than the default. For example, for the description "Alternate bands of clay and gravel" you may type "Alternate\bands of clayand gravel" next to the symbol selected to represent such lithology. In order not to type over the vertical line ending the well log, you should not have lines longer than 20 characters in the lithological description. Lithology may be typed with the default values for symbols, or with additional text of your own.

View the data with your editor, and quit editing by using your editor's command to quit and return to the main program. Instead returning to the main program you will be back in the main menu ready for further action. You will see the message "Error in file edit" if the program discovers that something is wrong.

Before you continue, it is good practice to write the table with all general data to a disk file. This routine will detect most of errors in your input. Type the letter T. Supply a file name as an answer to the program prompt: "File name to accept data". As an example type "TABLE". The program will inform you what it is doing. Also if the program detects an error, it will display the name of the file in which the error was detected. If no errors are detected, you may view this table by exiting the program (letter X) and using the DOS command "TYPE TABLE". The table shall look as follows:

No.	WELL NAME	X	Y	Z	DEPTH SCREEN	
1	BR1.LTH	730560.	3045600.	95.95	193.00	48.7
2	BR2.LTH	728000.	3044160.	92.80	194.00	48.7
3	BR3.LTH	730560.	3047040.	97.30	163.10	16.5
4	BR4.LTH	730240.	3050000.	99.30	203.00	43.7
5	BR5.LTH	727600.	3044720.	94.80	180.10	56.2
6	BR6.LTH	728480.	3048960.	98.98	182.00	31.2
7	BR7.LTH	729280.	3047280.	100.70	163.00	45.5
8	BR8.LTH	729120.	3048720.	98.70	167.00	43.7
9	BR9.LTH	728480.	3047120.	98.10	166.10	38.6
10	BR10.LTH	727920.	3045920.	95.99	195.00	43.5
11	BR11.LTH	728480.	3046320.	96.90	222.00	39.8
12	BL32.LTH	734320.	3057920.	119.40	136.00	47.3
13	BL33.LTH	733360.	3056640.	115.90	143.30	49.8
14	BL41.LTH	732400.	3054000.	110.30	176.00	58.8
15	BL49.LTH	731280.	3052240.	109.80	168.00	49.3

Number of wells in data base: 15  
 Total drilled depth in data base: 2651.6  
 Average depth per well: 176.8  
 Total screened interval: 661.3  
 Average screened interval: 44.1  
 Number of wells with screen: 15  
 Number of wells w/out screen: 0

Now you may check the percentage of permeable materials in each well and in the whole area (data base). Select "%". You will be asked for a depth down to which you wish to calculate this percentage. If you wish to get the percentage of permeable versus impermeable materials for all wells, regardless the depth, answer this prompt by a number greater than maximum drilled depth. In our case type 230. Supply the name for the file to receive this information as "PERCENT". The program now offers you an opportunity to select a certain portion of the area with wells in which you might be interested. For example you may want to obtain average percentage of permeable materials in a certain quadrant. Supply initial X and Y coordinates, and final X and Y coordinates. Actually you are specifying the coordinates of the lower left corner and the upper right corner of a rectangle, respectively. You may override this option by pressing RETURN four times. While processing, the program will inform you what is it doing. After a while, the following table shall be written to the disk file PERCENT.

WELL	NAME	DEPTH	PERMEABLE	PERCENT
	BR1.LTH	193.0	49.0	25.4
	BR10.LTH	195.0	35.0	17.9
	BR11.LTH	222.0	94.0	42.3
	BR2.LTH	194.0	110.0	56.7
	BL32.LTH	136.0	88.5	65.1
	BR3.LTH	163.1	54.0	33.1
	BL33.LTH	143.3	82.7	57.7
	BR4.LTH	203.0	103.0	50.7
	BR5.LTH	180.1	82.1	45.6
	BR6.LTH	182.0	74.0	40.7
	BR7.LTH	163.0	88.0	54.0
	BR8.LTH	167.0	50.0	29.9
	BR9.LTH	166.1	79.0	47.6
	BL41.LTH	176.0	107.0	60.8
	BL49.LTH	168.0	113.0	67.3

DEPTH OF CALCULATION: 230.0  
 Cumulative depth down to selected range: 2651.6  
 Total permeable thickness in selected range: 1209.3  
 Average percentage of permeable materials: 45.6%

However, it may be of interest to calculate the percentage of permeable materials to a depth less than the one reached by the deepest well. Say, you are interested in upper 60 m. Without exiting the program, select % again, and answer with the depth of 60. Supply the file name as PERC60. Type this file after exiting the program. It looks as follows:

WELL NAME	DEPTH	PERMEABLE	PERCENT
BR1.LTH	60.0	0.0	0.0
BR10.LTH	60.0	0.0	0.0
BR11.LTH	60.0	16.0	26.7
BR2.LTH	60.0	0.0	0.0
BL32.LTH	60.0	33.9	56.5
BR3.LTH	60.0	26.0	43.3
BL33.LTH	60.0	26.5	44.2
BR4.LTH	60.0	28.0	46.7
BR5.LTH	60.0	9.0	15.0
BR6.LTH	60.0	27.0	45.0
BR7.LTH	60.0	33.0	55.0
BR8.LTH	60.0	6.0	10.0
BR9.LTH	60.0	43.0	71.7
BL41.LTH	60.0	38.0	63.3
BL49.LTH	60.0	37.0	61.7

DEPTH OF CALCULATION: 60.0  
 Cumulative depth down to selected range: 900.0  
 Total permeable thickness in selected range: 323.4  
 Average percentage of permeable materials: 35.9%

The program has given you an analytical tool that will tell you which interval contains the most permeable materials. In our case, all wells down to 60 m depth display an average percentage of permeable materials of only 35.9, while going deeper, to 230 m, this percentage becomes higher, 45.6. Likewise you may analyze a certain area, not only a certain depth interval.

However, it is important to understand how the program distinguishes between permeable and impermeable materials. The program checks each layer in each well and evaluates against all lithological symbols in the file GW6.DLT. If the interval is described by one of the following 13 codes, the interval is permeable:

SAND, SANDV, SANDF, SANDM, SANDC, SCWG, GRAVEL, GRAVELF, GRAVELC, GWS, PEBBLE, BOULDER, GWS.

(You may redefine some of descriptions for these 13 codes, but keep the same codes in the file GW6.DLT. You will notice that SCWG means "Sand Coarse with Gravel", that GWS stands for "Gravel with Sand", etc.)

#### 6.4.2. Display, Print or Plot Well Log

Press W to display and/or print a well log. You will be offered four choices: (1) to display log (letter D), (2) to print log (letter P), (3) to plot log directly through the COM1 serial port to plotter (letter A), (4) to create a plot file in ASCII format to be edited and/or used by another commercial graphical program (letter B).

Whatever you select, there will be a message: **Change Length of Log [Y/N]**:. You will see also the following text to remind you what you may do.

The default vertical size of well log is 16 cm. You may increase the size by pressing Y and supplying any length between the default and 40 cm. However, display shall be impaired, letters will become squeezed, and it will take time to display and/or prepare for printing. Use mouse to zoom. Use continuous computer paper to print long logs.

This option gives you the possibility to create larger well logs than A4 format. As an exercise press Y. The new message will be: **Type new log length (max. log length = 40 cm)**. Type 20 and press RETURN. You will be prompted to change scale that otherwise will be automatically selected by the program. (The program always selects the scale in such a way that the whole space allocated for the log, normally 16 cm or whatever you specify, is filled with the log.) The message is: **Your Scale [Y/N]**. There is also a text displayed on the screen to inform you about this possibility. The text is as follows.

Answer with Y if you wish to override automatic scale selection. Program normally uses a scale such that whole 16 cm, or whatever you defined one step before, is filled with lithology. Type only denominator of scale. E.g., for 1:1000 type only 1000. You may check maximum scale by typing small number. Program will display maximum scale.

Type Y and press RETURN. The message is **Type your scale. Remember well log length = 20.0 cm**. Now you may find out what would be the program-selected scale that would fill in the whole space. Type 10 and press RETURN. The program displays **Scale greater than max permitted: 742.49**. Any key to try again. When prompted again for your scale press N and accept the program's scale.

If everything is in order, your lithological symbols correctly typed and selected, and your printer or plotter properly connected to the computer, after a few seconds the message line at the screen bottom will display the message "Creating page layout ...", followed by another message "Rasterizing and printing ...". Remember this is a graphics program and the whole page must be laid out, and rasterized for displaying and/or printing. This takes time on Toshiba 1600, which is equipped with 12 MHz 80286 processor and 10 MHz 80287 co-processor, it takes about 2 minutes to set up and print well log; on AST Premium, running at 25 MHz and equipped with INTEL 80386 processor, it takes only 35 seconds to display a well log). If there is an error, notably in lithological part, the program displays the message "Error in log print". The typical error will be if you have in your data file (well file) some lithological codes that do not match the list in the program file GW6.DLT

If you opt to display the log on the screen you will notice that the screen resolution is insufficient to allow you to see details. Yet, with a mouse connected to the system, you have an opportunity to zoom a portion of the log and see all details clearly before you decide to print or plot the log. Type Z for zoom; move the cursor to the lower left corner of the rectangle you wish to enlarge. Press the left mouse button. Move the cursor to the right upper corner to define the rectangle. Press the left mouse button again. The screen may look as in Fig.6.4A.

On the color monitor, you may note that all permeable layers are shown in blue, while impermeable parts are yellow.

The printer prints first two lines of project identification (Project and Organization), followed by General Well Data, Well Construction and Lithological Log, and pumping test data (Fig. 6.4). In the Pumping Test portion only information that is available will be printed. The plotter will plot everything except the first two identification lines.

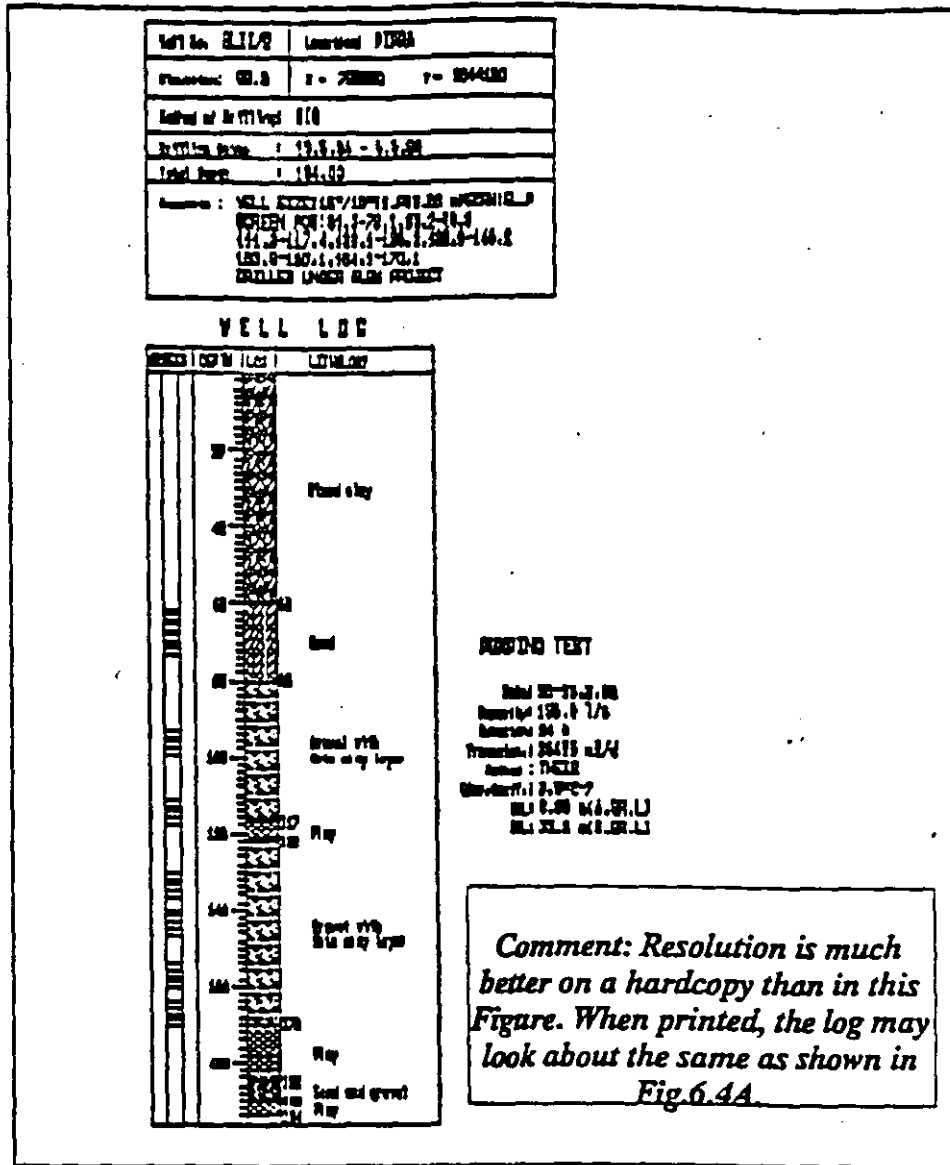


Fig.6.4

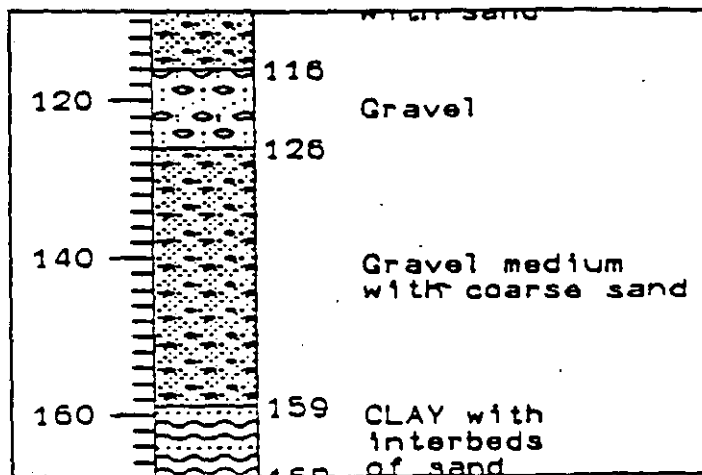


Fig. 6.4A

### 6.4.3. Display and Print Cross-Section

Select C for cross section. At the very beginning of this portion of the program you are asked the following "Save well positions for plotting [Y/N]". If you answer Y (Yes), the program will use the DIGXSC.EXE file in \GW\GW6 to create a map of well locations in the actual coordinate system. Type Y. The following prompts follow. Answers are shown to the right.

Output file	Example
Plot well labels? [Y/N]	Y
Circle diameter (cm)	0.10
Cross height [cm]	0.0
Symbol color	4 (red)
Label height [cm]	0.1
Text color	6 (yellow)
Label x-offset [cm]	RETURN
Label y-offset [cm]	RETURN

When you select to plot well labels, you should supply the size (label height) and color of the label. The color numbers are the following: 0-black, 1-blue, 2-green, 3-blue/green, 4-red, 5-pink, 6-yellow, 7-white.

Label offset means the shift of writing labels with respect to the location of circles.

The program starts reading coordinates and elevations of all wells, and displays the message to that effect: "Reading coordinates and elevations. ESC to stop." After all wells are checked for coordinates and elevations, provided that errors are not detected, the program prompts for the format of printout:

"What is the format of the paper you use?. Press 4 for A4, or 3 for A3, or [ENTER] for other format."

Type 4 and RETURN. Wait a little bit, while the program creates a map of well locations. The next prompt is for the cross-section title that will be displayed/printed "Enter cross-section title". Type "CROSS-SECTION II-II' RUPANDEHI DISTRICT", or skip the title by pressing ENTER.

The program now asks you to select the cross-section line. You may do it in two ways: (a) with a mouse, or (b) by supplying coordinates for the beginning and terminating points of the line. The prompt is as follows:

Do you want to digitize ending points? [Y/N]

If you answer Y, the map will be displayed with location of all wells in the data base. You will notice a cross which you can move with mouse to the beginning point of the cross-section line. Press the left mouse button at the beginning point. Move the mouse away. You will notice a "rubber-band". Press the left mouse button at the ending point of the cross-section line.

In this example you should answer N. The dialog between the program and you will be as follows:

"X-coordinate for STARTING point" ... Type 735000.

"X-coordinate for ENDING point" .... Type 725000.

Note that program suggest the same number for ending point as for the initial point. This is for the case of north-south cross-section, in which both X coordinates are the same.

"Y-coordinate for STARTING point" .... Type 3060000

"Y-coordinate for ENDING point" .... Type 3040000.

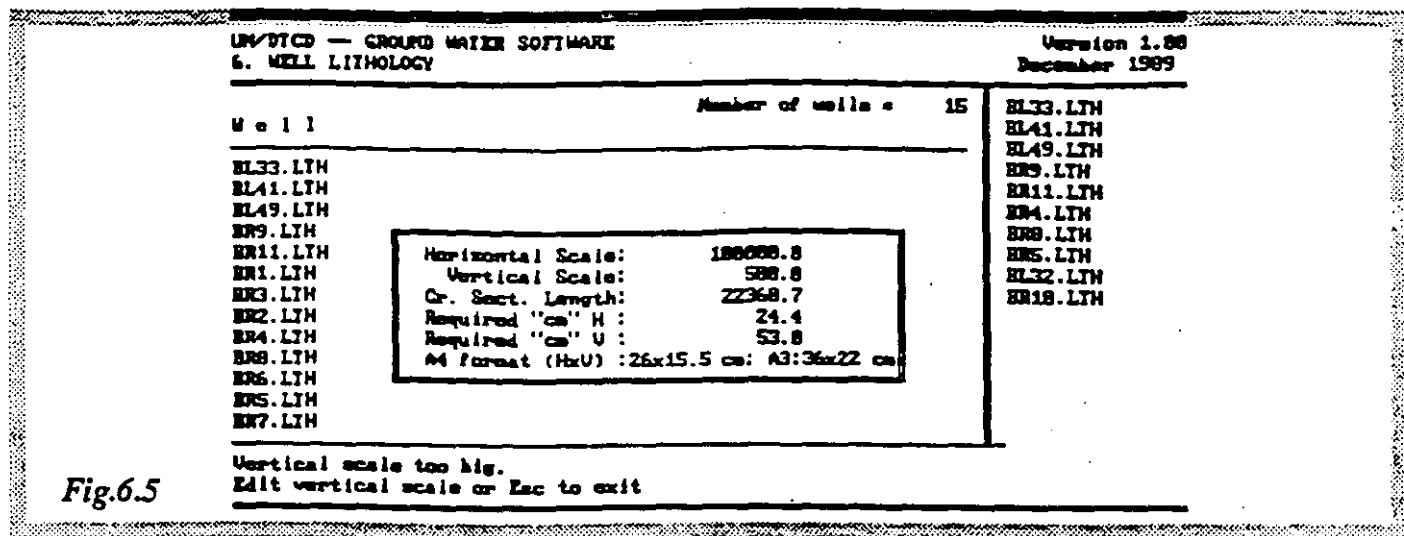
After the program "learns" from you which cross-section line you want to make, either with a mouse or by typing the coordinates, there will be one more prompt:

Max. distance of cross section line

The number you supply is interpreted by the program as the spacing on either side of the cross-section line within which the wells will be used and projected onto the section line. Type 400. This means that all wells that are less than 400 m far from the cross-section line will be projected onto the line. Always press RETURN after each number. The program scans coordinates, elevations, and distance from the cross-section line, and displays selected wells on the right side of the screen, writes a message at the bottom "Confirm or edit minimum elevation", and shows in a rectangle in the middle of the screen the following (Fig. 6.5):

Horizontal Scale:	100000.0
Vertical Scale:	500.0
Cr. Sect. Length:	22360.7

Required "cm" H: 24.4  
 Required "cm" V: 53.0  
 A4 format (HxV): 26x15.5 cm; A3:36x22 cm



The first message "Confirm or edit minimum elevation" informs you that you may select a portion of the cross section, down to a certain depth specified by you, or the whole depth controlled by the bottom of a well which is at the lowest elevation. This is important if you wish to get details for shallower part of the cross section. In your example the minimum elevation of the cross section will be -125.10. The program automatically checks the scale (the one you have input in GW6.GEN file). If the scale, either horizontal or vertical, is too large, a message to that effect will be displayed, and you will be given a chance to modify the scale, until you find the size of the drawing that suits you best. You may experiment with scales. If you select 1000 for vertical scale the vertical size of the graph will be 28.0 cm, which is more than the A4 format. You will notice that the appropriate scales shall be 2100 for vertical, and 100,000 for horizontal.

In this example 10 out of 15 wells will be plotted on the cross-section: BL32, BL41, BL49, BL33, BR4, BR10, BR11, BR5, BR8, BR9. The names of all files to be plotted are shown in the right window. Due to limited space on the screen the maximum number of files to be displayed is 18. (Hardly ever you will have more than 18 wells on one cross section. Wells would overlap one on the other.)

If the program notices any error in lithological description (code, depth) there will be a corresponding message and the file name will be displayed. Thus you can locate the error and correct it. Should you decide to stop the processing, you may do so by pressing ESC. However, wait until the processing comes to next well. It may take a while, depending on the speed of your processor, and number of layers in the well that is being read!

In this portion of the program, lithology is checked for files to be shown on the cross section. The message displayed in the first "message line" is the following:

"Reading lithological description. Selected wells are shown above right."

The second line displays file names:

"Now reading ... BL32.LTH ... ESC (and wait!) to quit."

If everything is in order there will be a message "Display [D], print [P], plot [A], or create ASCII plot file [B] of this X-section?" If your computer is equipped with a graphics adapter, you should select "D" to view the cross-section. Notice that all permeable layers are shown in blue, while all impermeable layers are in yellow. Thus on a glance you may notice which parts of the cross section are more permeable. You may zoom a portion of the cross section to see details. Follow the instructions as discussed in the Introduction.

After viewing the cross section press ESC to escape. There will be a message "Print or plot this X-section [Y/N]". If you select "Y", you will have to direct the output to either printer [P], plotter [A], or ASCII plot file [B]. The output shall be of the size as selected earlier by modifying the vertical and horizontal scales. During the printing there will be a message "Rasterizing and printing ..." which stays on the screen as long as the real printing is done.



Fig. 6.6

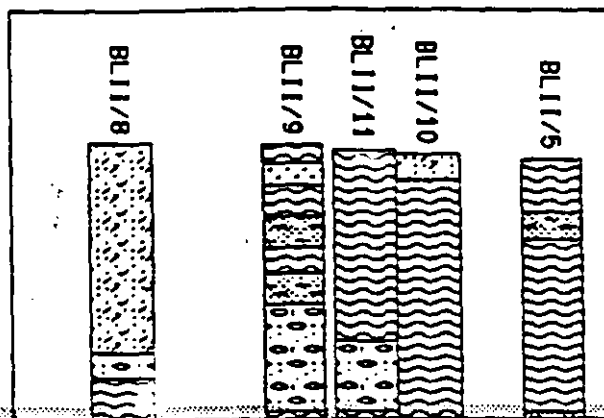


Fig. 6.6A

The cross section looks as shown in Fig. 6.6. You must draw a land surface line, either directly connecting wells, or by consulting the topographic map and interpolating correct elevations. In addition to vertical scale shown on the left, the cross section is identified with X and Y pairs of coordinates for beginning and ending points. Each well is identified by the description supplied by you in the first line in data form (WELL:).

Same as in the case of well log, you may use the mouse to enlarge a detail. Type Z. Move the cursor to the lower left corner of the rectangle you wish to enlarge. Press the left mouse button. Move the cursor to the upper right corner to define the rectangle. Press the left mouse button again. The screen may look similar to Fig. 6.6A.

After one cross section is printed, the prompt is back at "Enter cross section title".

Now, type anything on this prompt and press RETURN. To the next prompt "Max. distance of cross-section line" type 1000. Select Y to digitize ending points. Wait until the well map appears on the screen, Fig. 6.7.

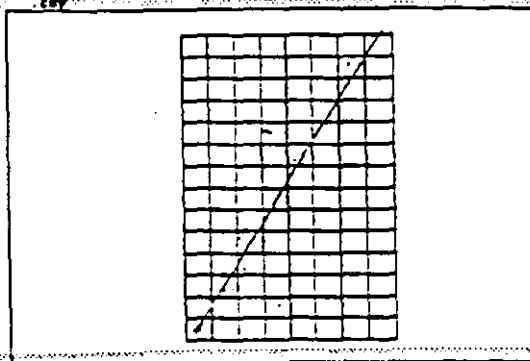


Fig. 6.7



Use the mouse to select the line from the southwest to northeast. Experiment with different scales, view the cross-section on the screen, and print or plot when you are satisfied.

## 6.5. Create Data File

To create a data file using your text processor, type the letter N from the main menu. The program responds with "Enter new file name". Type "TESTLTH" and press RETURN. After a few seconds your editor's familiar logo will appear and well format data input will be displayed. The cursor will be on the W in the line Well:. Move the cursor to column 11 in this line and type the well identification. What you type here will appear on top of the well when it is shown in cross sections. Restrict the WELL NO. to a maximum of 8 characters. Type "Well 1". Press the down arrow to move the cursor down. The cursor is set at column 11 (if you use WordStar) or under the last character of the previous line (if you use Personal Editor) in the second line defined with LOC:. Type for well location "Kapilvastu". Keep in mind that not more than 20 characters can fit the printout. Press the cursor down key. Type 96.68. Press cursor down. Type 696500 for X, press cursor down; type 3046750 for Y and press cursor down. On SCREEN line type 15.5,21.0,40.0,45.5. This means that this well has two screen sections; one from 15.5 to 21.0, and another from 40.0 to 45.5. Press cursor down key. On DR.METH: line (drilling method) type ROTARY RIG. Press cursor down. On DR.DATES: line (drilling dates) type 15/3/89 - 18/3/89. After pressing cursor down key you will be on COMM: line. Here type several comments, all on one line, separated by backslash. For example, start with "Screens at 15.5-21.0 m and 40.0-45.5 m.\Measuring point +0.5 m above LS.\Screen type: Wire-wrap with 1.5 mm openings. The space reserved for comments permits five lines to be printed. Press cursor down key. On PTDATE line (stands for Pumping Test Date) type 22/4/89. Press cursor down key. For Q type 5 l/sec. For DUR: (duration of pumping test) type 60 minutes. Next line is TRAN: (transmissivity), followed by METHOD: (test interpretation method), and STORAGE: (storage coefficient). Type one after another: 125 m<sup>2</sup>/day, THEIS, 0.004, and press cursor down key after each entry. For SWL: and DWL: (static and dynamic water levels, respectively) type 3.45 m and 5.65 m. After SWL the form contains one additional "comments" line, PTCOMM:. The information you supply shall be printed in one or more line, depending whether you split the comments with backslash "\". Type the following under PT.COMM: Discharge fluctuates\Level unsteady\Test interrupted.

The final query is LITH:. Go to one line below the LITH: line. It is not important whether you start in column 1,2 or any. Suppose your lithological log looks as follows:

```

0-3.4 m CLAY
3.4-6.3 m SAND fine-grained
6.3-9.2 m SILT mixed with some sand
9.2-13.3 m Sand coarse with coarse gravel
13.3-16.2 m CLAY hard, layered
16.2-21.2 m Metamorphic rocks, dense, hard

```

If you do not want to create your own symbols for lithology (for explanation see Appendix A), select for "CLAY" the symbol from GW6.DLT file also labeled as CLAY, for "SAND fine-grained" symbol SANDF, for "SILT" symbol labeled SILT, for "Coarse sand with gravel" symbol SCWG, and for "Metamorphic rock" the symbol ROCK7. However, the description of lithology that you want to appear on the log is not the same as default in GW6.DLT, except for CLAY. Type your own description in data file after the symbol code, separating lines of text with backslash "\".

After LITH: line, type as follows:

```

3.4 CLAY
6.3 SANDF SAND fine-grained
9.2 SILT SILT mixed\with some sand
13.3 SCWG SAND coarse with\coarse gravel
16.2 CLAY CLAY hard,\layered
21.2 ROCK15 Metamorphic rocks, dense,\hard

```

After each line press RETURN. Before exiting check that the cursor is on the line below the last lithological layer.

The program is prepared in such a way that it checks for code for lithology, and uses its own description from GW6.DLT if there is nothing typed after the code, or it uses your own definition if there is something after the code. Only in the case of the first layer, CLAY, there is nothing typed and the definition "Clay" from the GW6.DLT file is used. In every other line, you have supplied your own definitions. Make note that no more than 20 letters can fit the space on the log and split the text into two or more lines, provided that scale and thickness of a layer permits it. Notice also that the program is case sensitive, i.e. lower case letter is different than the upper case letter.

Save this file in the way you would normally use your editor. Read explanation for various text editors in text to follow. If everything was correct, press P to print this well log.

### 6.5.1. Work with Various Editors

This program was tested with the following editors: WordStar release 4, IBM's Personal Editor (PE), WordPerfect version 4.2, PFS Write, Norton Editor. Theoretically every editor should work. The important thing to remember is that before returning to the program's main menu, the file created by any editor must be converted to DOS text format or ASCII. With Personal Editor and Norton Editor there were no problems, since both create automatically an ASCII format. With other three editors a conversion was required. If you do not convert the file, you will have some incompatible characters, usually from ASCII set above 128. Should such a character occur the program either displays the message "Error in well log", or hangs. Should this occur, exit the program (or reboot the system), use the SHOW "filename" program supplied on the distribution diskette, and detect such characters. Or, alternatively, type the DOS command GRAPHICS, and use the standard DOS command TYPE "filename" to view the data file which is corrupted. Remember the corrupted characters, return to your text editor and correct them. Run the GW6 program again. Yet it is better to avoid the problem by following the procedure outlined here below.

#### *Wordstar 4.0*

Fill-in the form on the screen, or edit data, in a standard way. Do not exit by typing CONTROL+K,X but save the file by CONTROL+K,D. On WordStar prompt type P for "Print file", and supply the name of your data file which you just have created. Suppose that you supplied the name TEST1 after pressing N from Main Menu. Now reply to WordStar prompt "Document to print?" with TEST1, and press several returns to come to the prompt "Name of printer?". Type ASCII. There will be a message in the upper right corner of WordStar menu "Printing". When it disappears rename the file ASCII.WS, which was created by WordStar (and which is your file!). Press E (for rename file), supply the name of the file to be renamed ASCII.WS, press RETURN, and supply the name of the new file (converted), say TEST2.LTH. Now press X to exit from WordStar and to return to the main menu of the GW6 program. The list of files still does not display this newly created file. Press S to select a file, and supply the name TEST2.LTH. Now everything is in order and you can print the well log, or continue with input of other wells. WordStar has a rather awkward way to create an ASCII file.

#### *WordPerfect, ver. 4.2.*

With WordPerfect it is much easier to create an ASCII file. In your GW6.GEN file on EDITOR: line type the path to your Wordperfect directory, say \WP\WPEXE. Press N to create a new data file, give the name TEST3, and fill in the form automatically displayed on the screen. After you finish do not exit the WordPerfect. Press CONTROL+F5, followed by number 1. Confirm the name of your new data file with Y (YES), press F7 to exit WordPerfect, and answer the options with N (NO). You will be back in the GW6 program, and your data file will be replaced by a good ASCII version. You may print TEST3 well log, or continue with the work.

#### *PFS WRITE*

There is also an integrated software package, PFS First Choice, which in addition to text editor has spreadsheet, calculator, and data base. GW6 will not work with this program because of memory problem (there will be a message "not enough memory"). With PFS it is simple to create an ASCII data file. Select F2 to save file, and supply the name of the data file with extension not displayed. Use S to select file, and supply the name TEST4.ASC.

*NORTON EDITOR, XTPRO* and many other editors create directly an ASCII file.

# Creation of Lithological Symbols

List of Lithological Symbols (see Figures 6.8, 6.9, 6.10, 6.11)

ROCK1	Rock1
ROCK2	Rock2
ROCK3	Rock3
ROCK4	Rock4
ROCK5	Rock5
ROCK6	Rock6
ROCK7	Rock7
ROCK8	Rock8
ROCK9	Rock9
ROCK10	Rock10
ROCK11	Rock11
ROCK12	Rock12
ROCK13	Rock13
ROCK14	Rock14
ROCK15	Rock15
CLAY	Clay
CLAYH	Clay hard
SAND	Sand
SANDV	Sand very fine
SAND	Sand
SANDF	Sand fine
SANDM	Sand medium
SANDC	Sand coarse
SCWG	Sand coarse\with gravel
GRAVEL	Gravel
GRAVELF	Gravel fine
GRAVELC	Gravel coarse
GWS	Gravel with sand
MIXED	Mixed sand\and silt
SILT	Silt
CWIOS	Clay with\interbeds\of sand
SRGRAV	Semi-rounded gravel
CWG	Clay with thin\gravel layer(s)
LIME	Limestone
DOLO	Dolomite
GWC	Gravel with thin\clay layer(s)

The creation of symbols shall be explained first using simple examples from the default file GW6.DLT. Take for example the symbol for SILT. The block for silt is copied here below.

```
SILT Silt
  2 2
  2 0.0 0.0
  1 1.0 1.0
  .
```

The first line contains the code for silt "SILT", and the default description that will be typed in well log if you do not override the default. (You can also modify this default file by adding a word or more to Silt to better identify the unit. This will then become the default for SILT) The code may have up to 10 characters. Upper case and lower case letters are not the same. In other words, the program is sensitive to the case of letter. The description may be any combination of up to 100 characters.

The second line contains two numbers which define the size of a block. The philosophy of creating symbols is related to the size of blocks. One block is repeated in both horizontal and vertical direction in the log. One may think of small building blocks, such as bricks of exactly the same size and shape, which are laid on top and side one from the other to fill the whole space. The numbers 2 2 imply a square, so that any symbol defined in such a square shall be symmetrically repeated horizontally and vertically. We will demonstrate this concept later!

The block for silt, as well as for any other symbol, terminates with "\*". Between the first line and the asterisk sign, there may be one or many lines. The first number in each such line can be 2, 1 or 0. The number 2 defines the starting point, number 1 means "connect this point with the previous", number 0 means "make an arc through this point without actually passing through it". In the third line of the SILT block, the remaining two numbers (0,0) define X and Y coordinates of the starting point within the block defined by 2 by 2. The number 1 in the next line is interpreted as "connect the starting point with this point", and the coordinates of this second point are 1.0 and 1.0. When this is interpreted, the diagonal line appears in the lower one half of the square, connecting the point with coordinates (0,0) with the point with coordinates (1,1). Since the small block which defined the symbol is repeatedly used, the final appearance of this symbol is as is usually used for SILT. If one wants to create a symbol for horizontal lines widely spaced, such as the default symbol ROCK1, the design would be as follows:

```
ROCK1 Rock1 (you may type something else)
2 2
2 0.0 1.0
1 2.0 1.0
.
```

This is equivalent to saying "draw a straight line from starting point with X,Y coordinates (0,1) to end coordinates (2,1)", which is along the middle of the block of size 2,2. If one wants denser horizontal lines, the block to define should be smaller, and so will be the spacing between repeating blocks. For example,

```
ROCK2 Rock2
1 1
2 0.0 0.5
1 1.0 0.5
.
```

Very narrowly spaced horizontal lines can be obtained by assigning even smaller size to the block, say 0.5 by 0.5. Thus the design for ROCK3 may be as follows:

```
ROCK3 Rock3
0.5 0.5 This is interpreted as "connect the point with
2 0.00 0.25 coordinates 0.00,0.25 with point coordinates 0.50,0.25".
1 0.50 0.25
.
```

In addition to connecting two points with straight lines, you may create an arc between two points. This is done by inserting a line with the first number 0 between two lines starting either with the number 2 or 1. Suppose we want to create a sinusoidal line with amplitude 1.5 and period 3.0. The block to define shall be 3 by 1.5. The fixed points should be at coordinates (0,0.75), (1.5,0.75), (3,0.75). These will be the three lines defined with starting number either 2 for the first point or 1 (for the remaining two points). The top of arc shall be at the point (0.75,1.5), and the bottom of arc at the point (2.25,0). Thus the block to define a sinusoidal line, which may be used to describe clay, may look as follows:

```
CLAY Clay
3 1.5
2 0.00 0.75
0 0.75 1.50
1 1.50 0.75
```

```

0 2.25 0.00
1 3.00 0.75

```

By reducing the height of the block from 1.5 to 1.0 the waves will become more "ironed" and lines closer. For example, one may design the following block for schist or shale:

```

SCHIST Schist
3 1.0
2 0.00 0.50
0 0.75 1.00
1 1.50 0.50
0 2.25 0.00
1 1.50 0.50

```

You may connect several points to create a circle, or any rounded or semirounded object. Let us create a design for semirounded fine gravel. Define the block as 3 by 2.

```

SRGRAV Semi-rounded gravel
3 2
2 0.70 0.40
1 0.70 1.50
0 1.40 1.90
1 1.90 1.40
0 2.00 1.00
1 1.60 0.50
0 1.15 0.20
1 0.70 0.40

```

As an exercise, double the size of this block and create gravel grains in checkered position, i.e. second line shifted to middle between two grains in lines above and below.

Now we will create a symbol for "Clay alternating with fine sand". Define block as 3 by 2.5, and use the upper 1.5 units for clay (actually, duplicate the design of CLAY), and lower one unit for sand. Start with "Clay line" in the upper 1.5 units. The starting point will be at coordinates (0.00,1.5), and fixed points at (1.50,1.75) and (3.00,1.75). The arc should pass through the points (0.75,2.50) and (2.25,1.00). Thus, the first part of the block would be as follows:

```

3 2.5
2 0.00 1.75
0 0.75 2.50
1 1.50 1.75
0 2.25 1.00
1 3.00 1.75

```

The "sand" portion of the design will be in the lower 1.0 unit, i.e. within the block defined by coordinates 0,0; 0,1; 3,1; 3,0. The sand "grains" are created by connecting points through small distance. For example,

```

2 0.00 0.00
1 0.10 0.00
2 0.50 0.00
1 0.60 0.00
2 1.00 0.00
1 1.10 0.00
etc.

```

The final design for "Alternating bands of clay with fine sand" could be as shown here below. (In your file, this should be typed line after previous line, continuously, not in three columns.)

ABOCWFS Alternating\bands of clay\with fine sand

3 2.5

2 0.00 1.75	2 2.50 0.00	2 0.00 0.80
0 0.75 2.50	1 2.60 0.00	1 0.10 0.80
1 1.50 1.75	2 0.20 0.40	2 0.50 0.80
0 2.25 1.00	1 0.30 0.40	1 0.60 0.80
1 3.00 1.75	2 0.70 0.40	2 1.00 0.80
2 0.00 0.00	1 0.80 0.40	1 1.10 0.80
1 0.10 0.00	2 1.20 0.40	2 1.50 0.80
2 0.50 0.00	1 1.30 0.40	1 1.60 0.80
1 0.60 0.00	2 1.70 0.40	2 2.00 0.80
2 1.00 0.00	1 1.80 0.40	1 2.10 0.80
1 1.10 0.00	2 2.20 0.40	2 2.50 0.80
2 1.50 0.00	1 2.30 0.40	1 2.60 0.80
1 1.60 0.00	2 2.70 0.40	*
2 2.00 0.00	1 2.80 0.40	
1 2.10 0.00		

If you wish to have two lines of clay before a small interbed of sand, extend the "clay" part for one more unit. For example, the design such as follows creates the shape used in Figure 6.5 for "CLAY with interbeds of sand".

CWIOS CLAY with\interbeds\of sand

3 4

2 0.00 3.25
0 0.75 4.00
1 1.50 3.25
0 2.25 2.50
1 3.00 3.25
2 0.00 1.75
0 0.75 2.50
1 1.50 1.75
0 2.25 1.00
1 3.00 1.75
2 0.20 0.40
1 0.40 0.60
2 1.20 0.40
1 1.40 0.60
2 2.20 0.40
1 2.40 0.60
*

All symbols currently contained in the GW6.DLT file are shown in Figures 6.8, 6.9, 6.10 and 6.11.

Well No.	Location:	
Elevation:	X =	Y =
Method of Drilling:		
Drilling Dates :		
Total Depth	:	80.00
Comments :		

### W E L L L O G

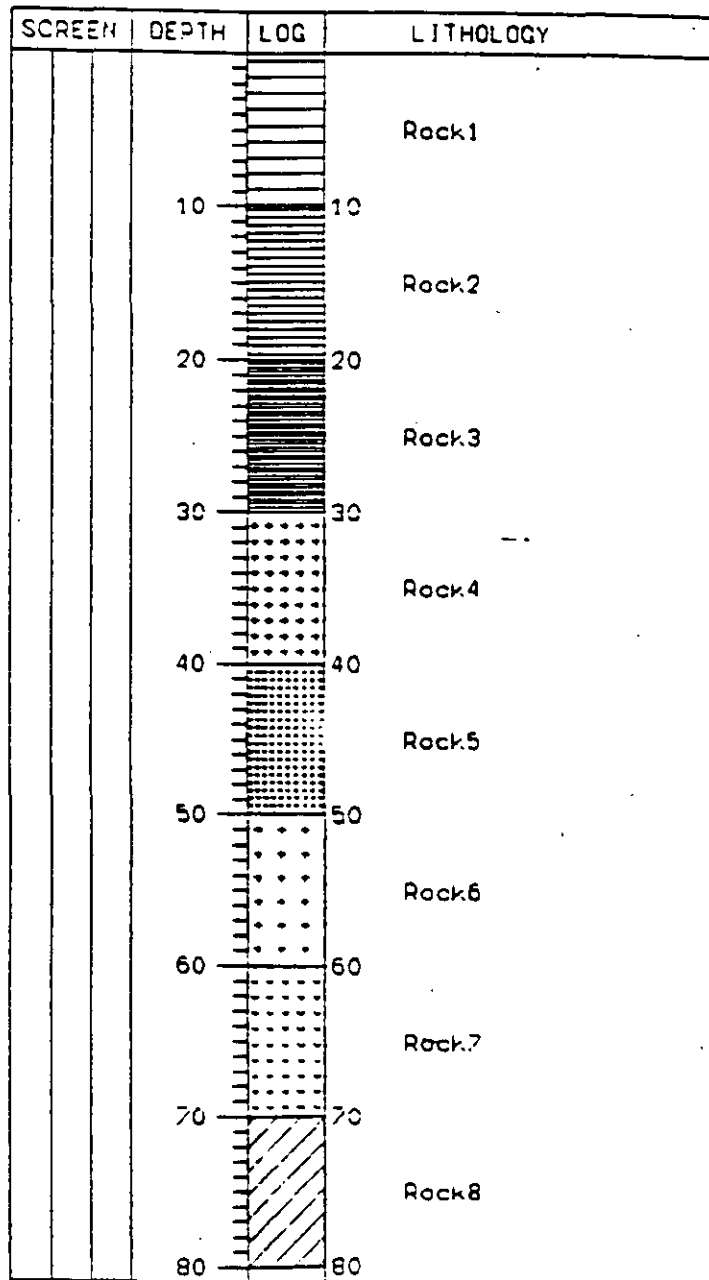


FIGURE 6.8

Well No.	Location:	
Elevation:	X =	Y =
Method of Drilling:		
Drilling Dates :		
Total Depth	:	80.00
Comments :		

### W E L L   L O G

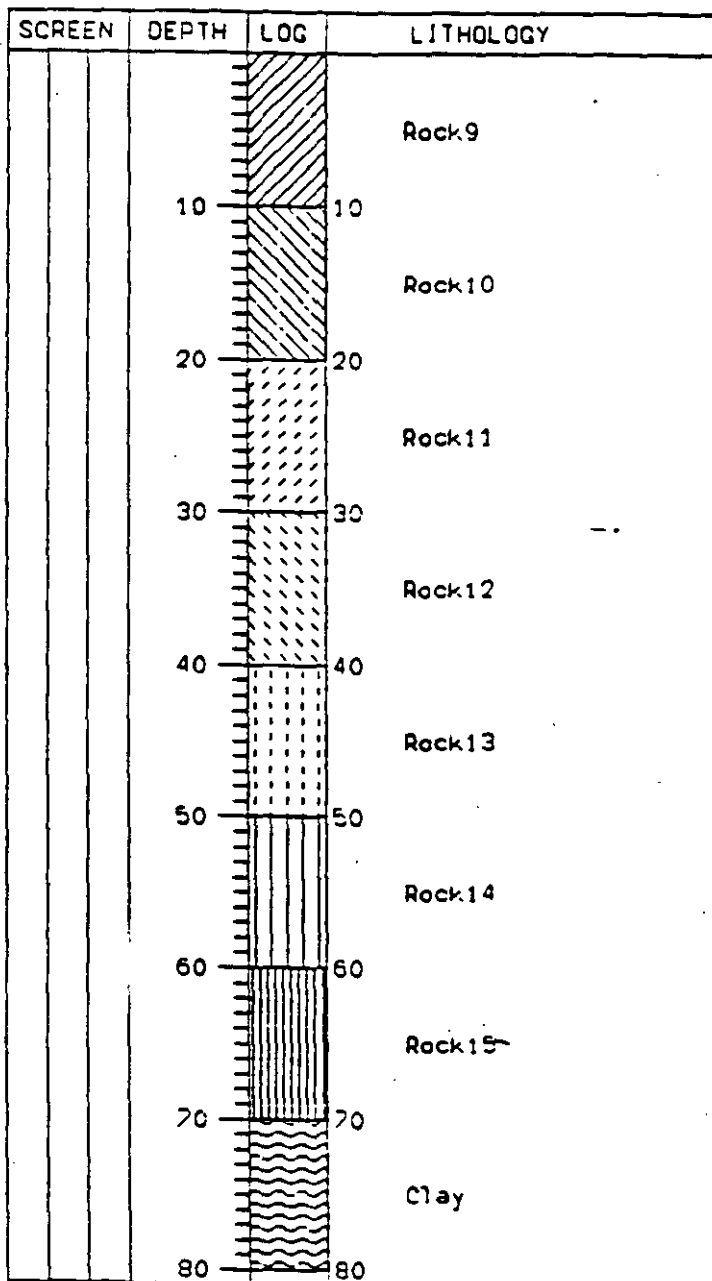


FIGURE 6.9



Well No.	Location:---	
Elevation:	X =	Y =
Method of Drilling:		
Drilling Dates :		
Total Depth	:	80.00
Comments :		

W E L L L O G

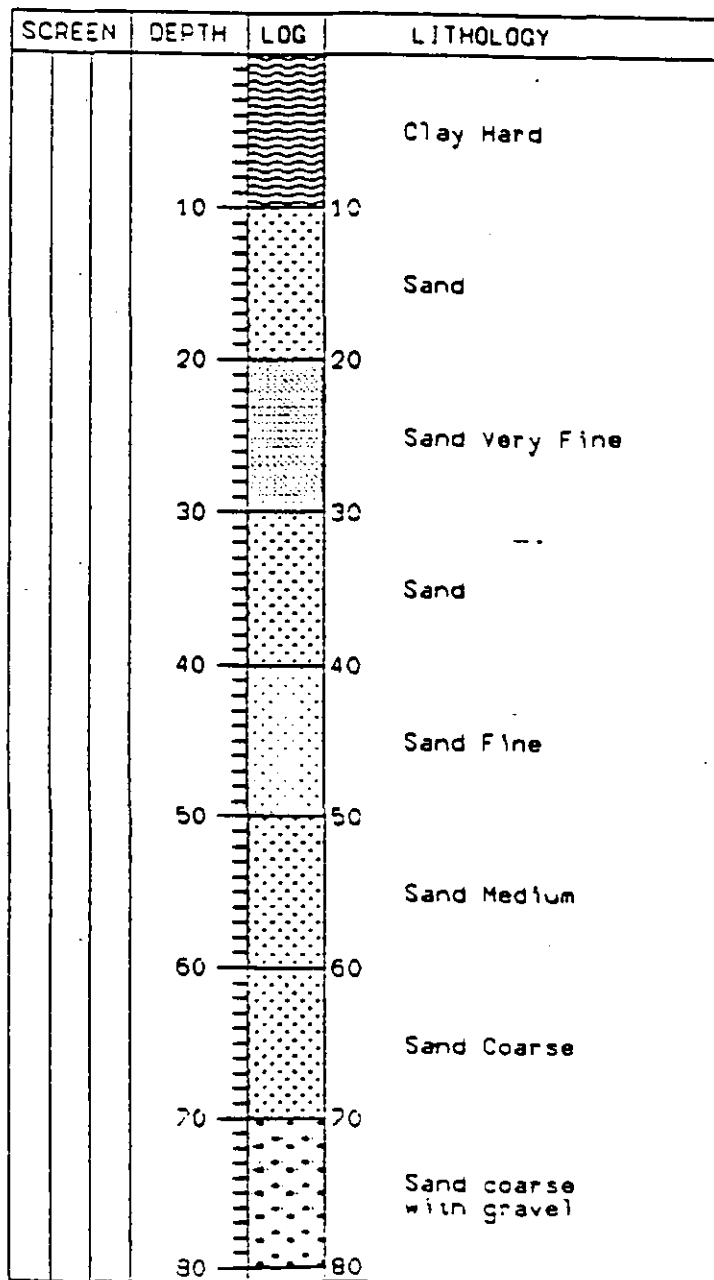


FIGURE 6.10

Well No.	Location:	
Elevation:	X =	Y =
Method of Drilling:		
Drilling Dates :		
Total Depth	: 100.00	
Comments :		

### W E L L L O G

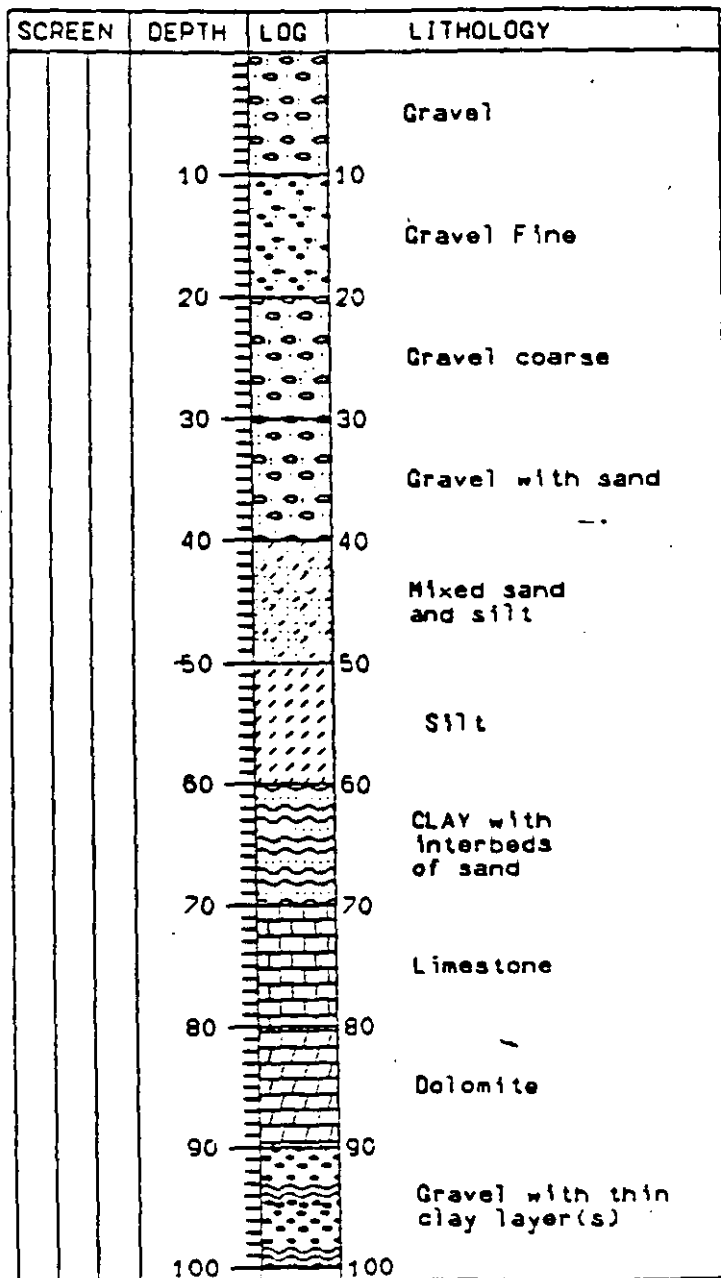


FIGURE 6.11

## Appendix B

**ERROR MESSAGES**

- Message: Unable to load comm. group.  
Cause: Error in UN6.\*.  
Action: Copy original UN6.\* files from distribution disk.
- Message: Unable to load window.  
Cause: Error in UN6.WND  
Action: Copy original UN6.WND file from distribution disk.
- Message: There is no open comm group.  
Cause: Error in UN6.CMN.  
Action: Copy original UN6.CMN file from distribution disk.
- Message: Unknown port.  
Cause: Error in UN6.\*.  
Action: Copy original UN6.\* files from distribution disk.
- Message: Please, edit file GW6.GEN first, then call again.  
Cause: GW6.GEN file is missing in current directory, or path to text editor is incorrect.  
Action: Check your GW6.GEN file, establish correct path to text editor.
- Message: Text editor is not defined in GW6.GEN.  
Cause: There is no text editor specified in GW6.GEN  
Action: Check the path and name of text editor in GW6.GEN.
- Message: Text editor given in GW6.GEN does not exist.  
Cause: Incomplete or wrong definition of text editor.  
Action: Type the text editor file name with extension (EXE or COM).
- Message: Invalid format or value of horizontal scale.  
Cause: Wrong information in GW6.GEN.  
Action: Correct the input in GW6.GEN.
- Message: Invalid format or value of vertical scale.  
Cause: Wrong information in GW6.GEN.  
Action: Correct the input in GW6.GEN.
- Message: Unsuccessful coordinate digitization.  
Cause: File DIGXSC.EXE is not in \GW directory.  
Action: Copy DIGXSC.EXE to \GW directory.
- Message: Unsuccessful well map plotting.  
Cause: File PLTCSY.EXE is not in \GW directory.  
Action: Copy PLTCSY.EXE to \GW directory.
- Message: There is no active file.  
Cause: You have not selected any lithological file.

- Action:** Select existing data file or create new file.
- Message:** Lithology description file \GW\GW6.DLT does not exist.  
**Cause:** File GW6.DLT is not in \GW directory.  
**Action:** Copy GW6.DLT file to \GW directory.
- Message:** Premature end of file \GW\GW6.DLT  
**Cause:** Last line in GW6.DLT not terminated with RETURN  
**Action:** Edit GW6.DLT file. Cursor must be in column 1 of the first blank line.
- Message:** Maximum number of active files surpassed.  
**Cause:** More than 300 data files selected and copied to current directory.  
**Action:** Reduce the number of selected files to 300.
- Message:** Error in log print.  
**Cause:** In creating Well Log some information missing or wrong. This is normally in lithological codes and descriptions which do not match with codes in GW6.DLT Characters other than ASCII (1-128) discovered.  
**Action:** Edit data files. Use ASCII version of a data file.
- Message:** Error in file selection.  
**Cause:** Wrong name, or file is not an ASCII file in required format.  
**Action:** Check the file name or file format.
- Message:** Computer hangs when attempting to display well log.  
**Cause:** Insufficient memory for both program (430 KB) and screen display (140 KB)  
**Action:** Eliminate all memory-resident programs; reduce, if necessary, CONFIG.SYS file; check AU-TOEXEC.BAT file.
- Message:** Computer hangs when attempting to print well log or cross section.  
**Cause:** Insufficient memory for both program (430 KB) and printing driver (140 KB).  
**Action:** Eliminate all memory-resident programs; reduce, if necessary, CONFIG.SYS file; check AU-TOEXEC.BAT file.
- Message:** Computer hangs when attempting to run GW6 program.  
**Cause:** Insufficient memory for program (430 KB).  
**Action:** Eliminate all memory-resident programs; reduce, if necessary, CONFIG.SYS file; check AU-TOEXEC.BAT file.

## 7.1. General

---

This is a utility program that, in this Ground Water Software Package, is used by the GW6 module, Lithology to create maps with wells, boundaries, rivers, roads, and other features. The following files must be copied to the \GW directory: GW11.EXE, UN11.CMN, UN11.MST, UN11.WND. There are several executable files which are used by certain portions of the graphics program. These files are the following:

PLTCSY.EXE -- for Plotting coordinate system  
PLTPTS.EXE -- for Plotting points  
PLTTXTEXE -- for Plotting text  
PLTLIN.EXE -- for Plotting line  
PLTCNTEXE -- for Plotting contours

The total disk space for all files in this module is about 514,000 bytes, out of which the five executable graphics files (PLT...) occupy a total of 284,610 bytes.

The graphics package is flexible. You may display (print or plot) a coordinate system only, or well location superposed onto the coordinate system. You build up your final graph by superposing individual parts. You may add individual lines (district boundary, rivers, roads, etc.), add text, add some other points. You may add contour lines, but the contouring is not a part of this package. Some of drawing elements, such as well points and lines, may be prepared beforehand, by a text processor. Well points may be also prepared by the GW6 program (lithology). Contours are prepared by modeling programs.

## 7.2. Coordinate System

---

After you select the Graphics Module from the Main Program Menu and press RETURN, the program checks in your current directory whether there is a coordinate file in that directory. A coordinate file has an extension .CSY. If a coordinate file exists, the program lists all .CSY files on the left side of the screen, while the usual Function window contains the following options, as shown in Fig. 7.1:

N=New Coords  
D=Display  
P=Print/Plot  
E=Edit Coordinates  
C=Copy  
K=Contours  
L=Plot line  
T=Plot text  
S=Plot points  
R=Clear  
Y=Delete  
ESC=Exit

STAGE1  
 EP

FUNCTIONS :  
 M=New Coord.s  
 D=Display  
 P=Print/Plot  
 E=Edit Coord.s  
 C=Copy  
 K=Contours  
 L=Plot Line  
 T=Plot Text  
 S=Plot Points  
 R=Clear  
 Y=Delete  
 X=Exit

Press M,D,P,E,C,X,L or T to select function.

Fig. 7.1

However, if there is not a single coordinate file, there will be a message: "Enter coordinate system name (8 chrs). Esc to quit!" You are expected to provide a name for a new coordinate system file, after which there will be a message: "To edit coordinate system description press RETURN. ESC to abandon.", which gives you a chance to skip editing and exit. Should you decide to continue with editing, press RETURN, after which the following is displayed (Fig. 7.2):

Minimum Y =  
 Maximum X =  
 Maximum Y =  
 Scale =  
 Heading =  
 Axis Labeling Distance =  
 Lines Color = 7  
 Axis Labeling Color = 3  
 Heading Color = 15  
 Coordinate Grid Color = 1  
 Grid Cross Height [cm] = 0.2

Minimum X =  
 Minimum Y =  
 Maximum X =  
 Maximum Y =  
 Scale =  
 Heading =  
 Axis Labeling Distance =  
 Lines Color = 7  
 Axis Labeling Color = 3  
 Heading Color = 15  
 Coordinate Grid Color = 1  
 Grid Cross Height [cm] = 0.2

Edit coordinate system description.

Fig. 7.2

You may select the coordinate system size, scale of printout, and the heading of printout. Axis labeling distance is the distance in real coordinates, for example, 5000 m, after which the label will be shown and/or printed. The program offers by default the colors for lines (frame) of the coordinate system 7 (white), for axis labels 3 (red/green), for heading 15 (intensive white), for coordinate grid 1 (dark blue). You may change this if you wish.

Whenever you select in the GW6 program to "Save well positions for plotting", a file with wells' coordinates will be created with the file name that you supply. You may read again Chapter 6, and notice that your answer to that prompt should have been "Y" followed by the file name "EXAMPLE".

For the present example, you may create a new coordinate system as follows. Select N from the menu. Enter the name TEST Type 717000 for minimum X, 3024000 for minimum Y, 761000 for maximum X, 3073000 for maximum Y, 100000 for scale, RUPANDEHI DISTRICT for heading, and 5000 for axis labeling distance. Change the color for lines color from 7 to 2. After you finish, you will notice that the size of the printout is 48 by 53 cm. You are prompted to confirm the scale or to modify it. Press Y and change scale to 200000. Move to the last line by repeatedly pressing the RETURN key. You will notice that the size of the printout is now 26 by 28.5 cm. Press RETURN. After that a graph with the new coordinate system will be displayed. Notice the colors that you have selected. Press ESC. Type S from the main menu and supply the file name EXAMPLE. Wait a while and type D to display the drawing. You will notice that 15 wells are superimposed onto the coordinate grid. A coordinate system file may look as shown in Fig. 7.3. After editing is completed and RETURN pressed on the last line, the program displays the following message (Fig. 7.4):

Drawing dimensions [cm]: 20.0 (H) 21.8 (V)

To change data press Y; otherwise press any key

UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88
11. GRAPHICS		December 1989
Minimum X =	717000.0	
Minimum Y =	3024000.0	
Maximum X =	761000.0	
Maximum Y =	3073000.0	
Scale =	275000.0	
Heading =	LIMITS OF STAGE I DEVELOPMENT	
Axis Labeling Distance =	5000.0	
Lines Color =	9	
Axis Labeling Color =	18	
Heading Color =	12	
Coordinate Grid Color =	2	
Grid Cross Height (cm) =	0.88	
Edit coordinate system description.		

Fig. 7.3

UN/DTCD — GROUND WATER SOFTWARE		Version 1.88
11. GRAPHICS		December 1989
STAGE I		
RP		
TEST		
ESTAGE		
Drawing dimensions [cm]: 20.0(H) 21.8(V).		
To change data press Y; otherwise press any key.		

Fig. 7.4

This is an indicator to you how big the drawing will be. If this is not what you would like, or your printer/plotter can support, answer with Y and modify the scale.

**WARNING:** Whenever you select to edit a coordinate system file, the whole content of the file, except the coordinate system, will be erased. Be careful, if you wish to save the drawing, copy it first to another file, before editing the coordinate system.

### 7.3. Composite Drawings

Several data files that demonstrate the use of this graphics package are included with the GW11 files on the distribution diskette. The file names are BOUNDARY for the district boundary, RIVER for one of major rivers in the district, ROAD for major roads. There are also files named BLWELLS, BRWELLS, and USWELLS, each with different groups of wells. Try to build a composite drawing by adding points, lines and text onto your coordinate system.

Remember that the coordinate system is duplicated in a file with the name same as the name of the coordinate system file, but with a PLT extension, meaning a plot file. The content of this file may be eliminated by typing R to clear. It may be copied to another file by pressing C and supplying another file name.

For this exercise type GW11, move the cursor to TEST, press R to clear TESTPLT. After a while you will see the coordinate system displayed on the screen. Edit the file TEST by pressing E. Change only the color of "coordinate grid". Replace the default color 1 with 9 (light blue). Press RETURN several times, and wait until the coordinate system is displayed. Press ESC. Press L and supply the file name BOUNDARY. Answer the prompt "Color" with 6, and answer the next prompt "Enter line thickness" with 3. Wait until the plot is created. See the result by typing D (display). You will notice that the boundary of the district has been added in brown. Press ESC to return to the main menu. Add the river by typing L again and supplying the file name RIVER, followed by the color 1, and thickness 1. You may see the river added to the previous drawing by typing D, or you may continue with adding the content. Type L again. Type ROAD. For color type 4, for thickness confirm 1. See the plot by typing D. You have now the boundary, river, and roads.

Now you may add some wells. There are three groups of wells: US wells (drilled by USGS), BL and BR wells (first and second stage of an irrigation system). Each well position group has been created during the lithological processing (program GW6), and three files have been created: USWELLS, BLWELLS, and BRWELLS. These files are ordinary ASCII files. The USWELLS file looks as shown below:

```
0.00 0.1 0.3 6 14 -0.07 0.02
738375. 3042500. US5/3
731500. 3041750. US6/7
732375. 3057625. US6/12
732875. 3063750. US6/13
722625. 3064000. US 8/6
722125. 3056750. US8/5
721625. 3048500. US8/4
720625. 3042125. US8/3
752750. 3041250. US4/1
752375. 3048500. US4/3
755875. 3059250. US4/6
742500. 3043625. US5/4
752000. 3052375. US4/5
742625. 3048500. US5/10
743125. 3056625. US5/14
742875. 3061875. US5/18
743375. 3064000. US5/19
730500. 3026500. US6/2
731250. 3035375. US6/5
```

The numbers in the first line of this file have the following meaning:



Cross height	... 0.0
Circle diameter	... 0.1
Label height	... 0.3
Symbol color	... 6
Text color	... 14
Label x-offset	... -0.07
Label y-offset	... 0.02

From the second line, the values are as expected: x coordinate, y coordinate, label. Although the program GW6 creates this file, you may make it on your own, using a text processor. Likewise, you may edit and modify it if you wish. For example, you may alter the symbol: from circle (diameter 0.1) to a cross. Change the first value (0.0) to 0.1, and change the second value (0.1) to 0.0.

Add groups of wells, one by one, by typing S (Plot points), and supplying file name USWELLS. Repeat by typing S and BLWELLS, S again and BRWELLS. Now see the whole drawing. Type D.

Add some text by typing T (for text). Type TINAU RIVER, press RETURN, and confirm the height of letters to be 0.25. For angle type 52, for color 15 (intensive white), and for thickness 2. You will establish the position of the text string by pressing ENTER (RETURN) when prompted by the program, and supplying for X 728000 and for Y 3055000.

Another text string is prepared as follows:

Text	BUTWAL
Height	0.40
Angle	0
Color	14 (yellow)
Thickness	2
Coordinates	RETURN
X	743000
Y	3070500

Type D to display the composite drawing. It should look as in Fig. 7.5. You may enlarge a detail by pressing Z. Move the mouse and place the cursor on the left corner of the rectangle to zoom. Press the left button. Move the cursor to the right upper corner of the rectangle and press the left button again. The screen may look as shown in Fig. 7.6. Repeating the zooming procedure, even larger detail is produced as shown in Fig. 7.7.

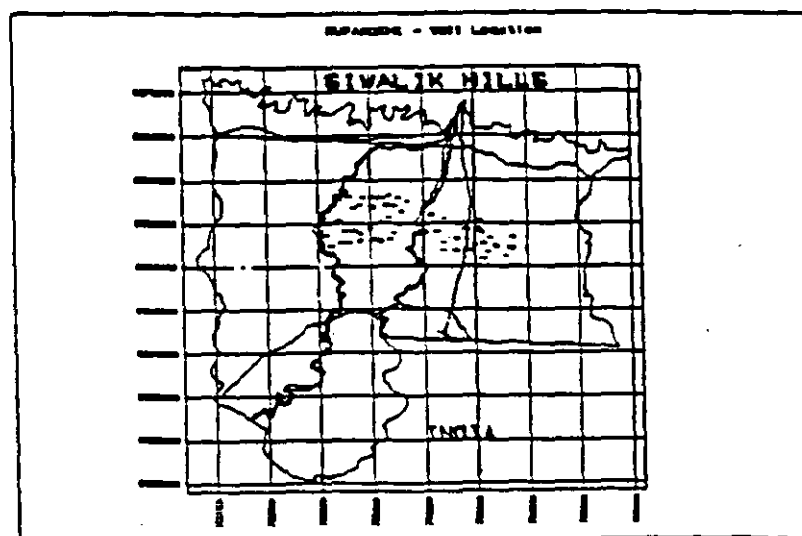


Fig. 7.5



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO III: MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**INTRODUCCION A LAS MICROCOMPUTADORAS**

**ING. FEDERICO MAIXUEIRO T.**

## INTRODUCCION A LAS MICROCOMPUTADORAS.

### **1.- Introducción.**

La finalidad del presente segmento del V Curso Internacional de Contaminación de Acuíferos es la de presentar los fundamentos necesarios y suficientes para la manipulación básica de un modelo matemático elaborado en Software para una computadora personal del tipo compatible con IBM.

Actualmente, la elaboración de modelos matemáticos que simulen la dispersión de elementos contaminantes en un acuífero no es concebible sin la utilización de una computadora. La gran cantidad de procesamiento de información y la gran velocidad de cálculo sólo es posible simultáneamente gracias a las computadoras.

De hecho, una gran cantidad de programas están hechos con tal finalidad o bien existen muchos más que pueden ser utilizados con tal fin, por lo que es indispensable familiarizarse con las técnicas básicas de manejo de microcomputadoras para poder realizar las tareas de procesamiento necesarias para la ejecución de un programa cualquiera.

Dentro de éste segmento, se realizará una descripción somera de un sistema operativo ampliamente difundido para computadores personales compatibles como lo es el Disk Operating System elaborado por Microsoft (MS-DOS), ofreciendo un panorama de su estructura y una referencia de los comandos más usuales.

Asimismo, se ofrecerán fundamentos de programación, aplicables a cualquier lenguaje de programación, pero enfocando el aspecto de compilación al Microsoft Fortran, de un gran uso en la Facultad y el Instituto de Ingeniería, así como en muchos otros centros de enseñanza e investigación de la Ingeniería en México.

Por último, se presentará un esbozo de un modelo matemático, presentando varias de las alternativas que existen en el mercado actual de software para su procesamiento.

## 2.- Sistema Operativo.

En una computadora, la información se proporciona a y se remueve de la unidad de procesamiento central (CPU) a través del uso de "archivos" grabados en disco flexible, disco duro, disco óptico, cinta, etc.

Un grupo de archivos administrativos, que se conocen colectivamente como el "sistema operativo", son necesarios para controlar la operación de la computadora y el manejo de los archivos generados por el usuario.

Visto de otra manera, el sistema operativo puede visualizarse como un intérprete entre el usuario y la computadora para poder administrar la memoria y los periféricos del ordenador por medio de órdenes fácilmente identificables con palabras (en inglés).

En computadoras personales compatibles con IBM es muy común emplear el sistema operativo de Microsoft "Disk Operating System" o más conocido como MS-DOS, que será al que se haga referencia en éste segmento.

En un sistema de disco duro, el sistema operativo deberá estar residente en él, inicializándose cada vez que se enciende el interruptor de la computadora. En caso contrario, se deberá contar con una copia del sistema operativo en disco flexible para inicializar una computadora que no lo contenga.

### 2.1.- Programas y Archivos.

El sistema operativo permite el uso de la memoria a través de unidades variables en tamaño denominadas "archivos", tales archivos pueden contener instrucciones o datos y se hace referencia a él por un único nombre de archivo asignado por el programador. El nombre de archivo se utiliza para la identificación de un archivo para copiarlo, editarlo, renombrarlo, visualizarlo en la pantalla, imprimirlo, almacenarlo, etc. El nombre de archivo puede o no tener una extensión. La forma general del nombre de archivo con extensión es:

NOMBREDEARCHIVO.EXT

El nombre de archivo puede ser cualquier combinación de 1 a 8 letras, números u otros caracteres aceptables, asignados por el programador. La extensión podrá ser cualquier combinación de 1 a 3 letras, números u otros caracteres aceptables. El nombre de archivo y la extensión se separan por un punto. Los siguientes caracteres son aceptables en MS-DOS:

\$ # \$ @ ! ( ) - { } ' ` \_ ; : |

Ni el nombre de archivo ni la extensión podrán contener blancos. El truncamiento del nombre del archivo y de la extensión ocurre en el primer blanco.

Los caracteres ? y \* llamados caracteres globales de nombre de archivo o caracteres comodines pueden usarse en lugar de cualquier caracter de un nombre de archivo y extensión y significan cualquier caracter.

Los nombres de archivo y extensión que se elijan deberán ser descriptivos del contenido del archivo. Las siguientes extensiones reservadas tienen un significado especial para MS-DOS y deberán ser utilizadas con mucho cuidado:

BAT COM EXE SYS 

Además, los siguientes nombres de archivo reservados también tienen un significado especial para DOS y no deberán asignarse por el programador en otros contextos:

Nombres de archivos para controlar dispositivos:

CON PRN NUL

LPT1 LPT2 LPT3

AUX COM1 COM2

Nombres de archivos asignados a comandos del sistema DOS:

DIR DEL DISKCOPY TYPE ERASE DISKCOMP RENAME

CLS CHKDSK COPY FORMAT EDLIN

## 2.2.- Manejo de Archivos.

### **Cambio de unidad de disco por omisión**

Mientras no se indique algo distinto, ya sea por el programador desde el teclado o mediante una instrucción programada, la unidad de disco por omisión es la unidad A, es decir, al terminar de cargarse el sistema operativo aparece la petición A >. Toda la información se copia de o graba en el disco flexible en la unidad de disco A, la cual es la *unidad por omisión*.

La unidad de disco por omisión puede cambiarse de la unidad A a la B y regresar de nuevo a la A con:

A > \_

A > B: \_ ← Para pasar la unidad de disco por omisión de la unidad A a la unidad B, escribase B: y presiónese la tecla ←

B > \_

B > A: \_ ← Para cambiar la unidad de disco por omisión de B a la unidad A, escribase A: y oprímase la tecla ←

A > \_

### **Los comandos del sistema DOS**

El disco flexible de DOS contiene un procesador de comandos, archivado bajo el nombre *COMMAND.COM*, y la extensión *COMMAND.COM*, que controla el hardware de la computadora y maneja el software. El archivo *COMMAND.COM* puede grabarse en un disco nuevo durante la operación de formateado, la cual se describirá más adelante en este apéndice. El archivo *COMMAND.COM* incluye los siguientes *comandos internos*, que son necesarios para el programador de FORTRAN:

DIR	TYPE	COPY
RENAME	DELETE	ERASE
CLS	VOL	FILENAME.BAT
AUTOEXEC.BAT	ECHO	

En adición a los comandos internos contiene el archivo COMMAND.COM, el disco de DOS contiene varios *comandos externos*, con extensión COM o EXE, indispensables para el programador FORTRAN:

FORMAT DISKCOPY DISKCOMP CHKDSK EDLIN SORT MORE

La función de los comandos externos e internos seleccionados se analiza en las Secciones C-6 a C-21 de este Apéndice.

La operación que se describe en las Secciones C-6 a C-21 requiere de un disco en la unidad A con el archivo procesador de comandos COMMAND.COM y el comando externo DOS específico. La ejecución de cada uno de los comandos del sistema se inicia cuando se presiona la tecla ←.

### Preparación de un disco flexible para recibir información nueva

Para preparar un disco flexible nuevo para recibir información (*formateado*), úsese el comando externo FORMAT:

- a) A > FORMAT B: = ← Borra todos los registros almacenados en el disco de la unidad B y establece la rejilla electrónica de pistas y sectores que se utilizan como "direcciones" para la nueva información.
- b) A > FORMAT B:/S = ← /S después de **FORMAT B:** copia de manera automática el procesador de comandos de datos de DOS COMMAND.COM y ciertos "archivos ocultos" necesarios para cargar el sistema del disco de la unidad A al disco de la unidad B.
- c) A > FORMAT B:/V = ← /V luego de **FORMAT B:** proporciona la etiqueta del disco (con 11 o menos caracteres) elegida por el programador. El punto de petición A > aparece después del formateado y de imprimir la etiqueta en el disco.
- d) A > FORMAT B:/S/V = ← Si se quiere pueden emplearse los dos.
- e) A > VOL B: = ← Visualiza la etiqueta que se asignó al disco en la unidad indicada, la unidad B en este ejemplo.

**Precaución:** El comando **FORMAT** borra todos los archivos del disco flexible cuando se formatea. Cualquier archivo que deba salvarse *debe copiarse en otro disco* antes del formateo.

### Presentación del directorio del contenido de un disco específico

Para exhibir un directorio del contenido de un disco flexible particular, úsese el comando DIR (interno):

- a) A > DIR = ← Para cada archivo grabado en el disco de la unidad indicada, la unidad por omisión A en el caso a), la unidad B en el ejemplo b), lista el nombre del archivo, su extensión, el número de

- a) A> DIR A: = ←
- b) A> DIR B: = ←
- c) A> DIR B:/P = ←
- d) A> DIR B:/W = ←

bytes que se usaron y la fecha y la hora en la que se grabó. Si el directorio contiene más de 23 archivos, la lista se enrolla hasta que aparece la última línea del directorio, el espacio total disponible (bytes) en el disco.

/P detiene el enrollamiento de la lista cuando la pantalla esta llena (23 líneas). Para visualizar los siguientes 23 rengiones, presiónese la tecla ←

/W muestra sólo los nombres del archivo y la extension (sin la fecha, la hora, y el tamaño) de todos los archivos grabados en el disco en la unidad especifica, en 5 columnas a lo ancho de la pantalla. Este comando exhibe en la pantalla al mismo tiempo la lista sin enrollar de todos los archivos del disco.

- e) A> DIR | MORE = ←
- f) A> DIR | SORT = ←

El comando MORE visualiza a un tiempo 23 líneas (una pantalla completa). Al oprimir la tecla ← se exhiben los siguientes 23 rengiones, etc. El archivo MORE.COM debe estar en el disco cuyo directorio se listará. Nótese el uso del caracter |.

El comando SORT muestra el directorio en orden alfabetico por el nombre del archivo. El archivo SORT.EXE debe estar en el disco cuyo directorio se listará. Obsérvese la utilización del símbolo |.

- g) A> DIR \*.FOR | SORT = ←

Son posibles otras combinaciones del comando DIR. Por ejemplo, DIR \*.FOR | SORT visualiza en orden alfabetico todos los archivos con extensión FOR.

Los casos anteriores muestran como unidad por omisión la (A). Esta puede cambiarse por la unidad B como se indica en la Sección C-4.

**Exhibición del texto de un archivo**

Para visualizar el texto de un archivo específico, utilícese el comando TYPE (interno):

- a) A> TYPE NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←
- o
- A> TYPE A:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←
- b) A> TYPE B:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←

Exhibe el texto del archivo grabado en el disco bajo el nombre del archivo y la extensión que se especifican en la unidad de disco correspondiente, la unidad por omisión A en el ejemplo a), la unidad B en el caso b).

**Cambio del nombre o extensión de un archivo**

Para cambiar el nombre o la extensión de un archivo particular, utilícese el comando RENAME (interno):

- a) A> RENAME NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT = ←
- o
- A> RENAME A:NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT = ←
- b) A> RENAME B:NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT = ←

RENAME cambia el nombre del archivo del primer nombre listado por el segundo de la unidad indicada, por ejemplo, NOMBREVIEJO.EXT a NOMBRENUEVO.EXT en la unidad A, en el caso a), la unidad B en el ejemplo b).



## Borrar la pantalla

Empléese el comando CLS (interno) para borrar la pantalla.

A>CLS = ←

Borra la pantalla y después coloca el punto de petición A> y el cursor centelleando en la esquina superior izquierda de la pantalla.

## Borrar en forma permanente un archivo de un disco

Para eliminar un archivo de un disco flexible, empléese alguno de los siguientes dos comandos, DEL o ERASE (internos). (Los dos ejecutan la misma función).

- a) A>DEL NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←  
o  
A>ERASE A:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←
- Borra del disco en la unidad por omisión A el archivo específico. NOMBREDEARCHIVO.EXT.
- b) A>DEL B:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←  
o  
A>ERASE B:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←
- Elimina del disco en la unidad B el archivo indicado. NOMBREDEARCHIVO.EXT.
- c) A>DEL B:PROGRAMA.??? = ←  
o  
A>ERASE B:PROGRAMA.\* = ←
- Usa el carácter "comodín" (?) para borrar todos los archivos cuyo nombre sea PROGRAMA (con cualquier extensión) del disco en la unidad B. El otro "comodín" (\*) también puede emplearse, en ese caso sólo se necesita un asterisco.
- d) A>DEL B:\*.BAK = ←  
o  
A>DEL ??????????.BAK = ←
- Mediante el carácter "comodín" (\*) se eliminan todos los archivos con la extensión BAK (cualquier nombre de archivo) del disco de la unidad B. El otro carácter "comodín" (?) también puede utilizarse; sin embargo, se requieren 8 signos de interrogación o 1 por cada símbolo del nombre del archivo.

## Duplicación de un archivo específico y almacenamiento con otro nombre

Úsese el comando COPY (interno) para duplicar un archivo particular y almacenarlo con un nombre de archivo distinto, como en:

A>COPY ARCHIVOVIEJO.EXT ARCHIVONUEVO.EXT = ←

Este comando copia el texto de un archivo específico (ARCHIVOVIEJO.EXT) a un archivo nuevo (ARCHIVONUEVO.EXT). El nombre y el contenido del archivo viejo permanecen sin cambio.

**NOTA:** Si hay un archivo con el mismo nombre del archivo nuevo (ARCHIVONUEVO.EXT) en el disco, su contenido se reemplaza por la información del archivo viejo (ARCHIVOVIEJO.EXT).

**Copiar un archivo de un disco flexible en la unidad A a un disco flexible en la unidad B**

Utilícese el comando COPY (interno) para duplicar un archivo de un disco flexible en la unidad A a uno en la unidad de disco B, como:

a) A> COPY NOMBREDEARCHIVO.EXT B: = ←

Copia el texto de un archivo específico (NOMBREDEARCHIVO.EXT) del disco fuente en la unidad A, al disco destino en la unidad B y asigna el mismo nombre de archivo NOMBREDEARCHIVO.EXT a la copia.

b) A> COPY A:ARCHIVOVIEJO.EXT B:ARCHIVONUEVO.EXT = ←

Copia el contenido del archivo indicado (ARCHIVOVIEJO.EXT) del disco fuente en la unidad A, al disco destino. Asigna un nombre de archivo (ARCHIVONUEVO.EXT) al nuevo archivo. El nombre del archivo y el texto en el disco fuente permanece sin cambio.

*Nota:* En a) y b) si existe un archivo con el mismo nombre (ARCHIVONUEVO.EXT) en el disco destino, su contenido se sustituye por la información del archivo del disco fuente.

**Copiar todos los archivos de un disco flexible en la unidad A a la unidad B**

Para copiar todos los archivos de un disco flexible de la unidad de disco A al disco flexible de la unidad B, un archivo a la vez, úsese el comando COPY (interno) como sigue:

A> COPY \*.\* B: = ←

Copia el texto de cada archivo del disco fuente en la unidad A al disco destino en la unidad B. Los archivos se duplican uno a uno y se listan en la pantalla conforme se copian.

**Introducir de manera directa un archivo desde la consola a un disco flexible**

Para introducir de modo directo un archivo desde la consola (teclado) a un disco flexible, empléese el comando COPY (interno) como en:

A> COPY CON B:ARCHIVO.DAT = ←

123.456 ←  
987.654 ← } texto  
1 8.123 ← } del  
2 1.875 ← } archivo.  
3 2.375 ← }  
Z = [ F6 ] ←

Copia de manera directa el contenido desde la consola (teclado) a el disco en la unidad B y asigna el nombre del archivo ARCHIVO.DAT

Siguiendo la última línea del texto, presionese F6. entonces oprímase la tecla ← (El presionar F6 causa la aparición de "Z").

### Imprimir el texto de un archivo

Úsele el comando COPY (interno) para imprimir el contenido de un archivo específico, como sigue:

```
A > COPY B:NOMBREDEARCHIVO.EXT PRN = ←  
o  
A > COPY B:NOMBREDEARCHIVO.EXT LPT1 = ←
```

Con la impresora activada, este comando hace que la impresora imprima el texto del archivo indicado (NOMBREDEARCHIVO.EXT) del disco en la unidad B).

### Duplicar un disco flexible

Para duplicar un disco flexible, por ejemplo, copiar el contenido entero del disco flexible a otro disco flexible, utilícese el comando DISKCOPY (externo). Iníciase con un disco flexible que contenga el archivo DISKCOPY.COM en la unidad A.

```
A > DISKCOPY A: B: = ←
```

Respóndase a la petición removiendo el disco DOS de la unidad A e insértese el disco fuente en la unidad A y el disco destino en la unidad B. Este comando formatea el disco de la unidad B y copia el contenido completo del disco en la unidad A (el disco fuente) al disco en la unidad B (el disco destino).

*Precaución:* En DOS 2.10, la ejecución del comando DISKCOPY formatea de manera automática el disco destino. *Toda la información almacenada en el disco en la unidad B se borra.*

### Comparar y verificar los contenidos de dos discos

Para comparar los contenidos de dos discos y verificar que son idénticos, úsele el comando DISKCOMP (externo). Empiécese con un disco que contenga el archivo DISKCOMP.COM en la unidad A.

```
A > DISKCOMP A: B: = ←
```

Respóndase a la petición retirando el disco DOS de la unidad A e insértese ahí mismo el disco original y la copia en la unidad B. Este comando compara los archivos del disco de la unidad B con los del disco de la unidad A y verifica que sean iguales.

*Nota:* El comando DISKCOMP puede emplearse después de duplicar un disco para asegurarse que los archivos en la copia son idénticos con los archivos del original.

### Revisar el estado de un disco

Úsele el comando CHDSK (externo) para revisar el estado de un disco:

```
A > CHKDSK B: = ←
```

Proporciona un informe del estado en el disco en la unidad indicada. Revisa los sectores y pistas no utilizados; cuantifica el espacio usado (bytes) e indica el número de bytes disponibles en el espacio restante del disco.

### 2.3.- Manejo de Directorios.

Un disco contiene grupos de archivos denominados directorios. Cuando un directorio contiene tanta información que ya no se puede encontrar fácilmente lo que se desea, se subdivide en subdirectorios.

## Uso de directorios

Los directorios son muy importantes cuando se utiliza un disco duro. Si se utilizan sólo disquetes, los archivos se pueden mantener organizados colocándolos en disquetes distintos. Con un disco duro, que normalmente puede almacenar mucha más información que un disquete, se hace necesario organizar los archivos en categorías, de forma que se puedan encontrar fácilmente.

## El árbol de directorios

Cada disco tiene por lo menos un directorio. Cuando se da formato a un disquete o al disco duro, MS-DOS crea un directorio en el que se almacenan el resto de los archivos y directorios. Este directorio se denomina *directorio raíz*. Se pueden crear subdirectorios del directorio raíz para organizar los archivos. Los directorios y subdirectorios forman una estructura denominada *árbol de directorios*. Se pueden crear subdirectorios dentro de estos subdirectorios para organizar incluso más archivos.

Puede seguir añadiendo directorios en cualquier nivel de la estructura, hasta 512 archivos y directorios en el directorio raíz del disco duro (un directorio raíz en un disquete tiene menos archivos y directorios). No obstante, MS-DOS se ejecuta más lentamente si hay más de 150 archivos y subdirectorios en el mismo directorio.

Hablando con propiedad, el resto de los directorios distintos del directorio raíz son subdirectorios. Sin embargo, es normal utilizar el término *directorio*. En el manual, el término *subdirectorio* se utiliza sólo para dar mayor énfasis a la relación entre dos directorios. Un subdirectorio a veces se denomina *directorio hijo*, y el directorio que lo contiene se denomina con frecuencia *directorio padre*.

## Nombres para directorios

Con excepción del directorio raíz, que siempre se representa por una barra invertida (\), cada directorio tiene un nombre y algunas veces una extensión. Para dar nombre a los directorios se siguen estas reglas:

- El nombre tiene que contener entre 1 y 8 caracteres.
- La extensión puede tener un máximo de 3 caracteres, separados del nombre del directorio por un punto.
- El nombre y la extensión pueden tener cualquier letra desde la A a la Z, números desde el 0 al 9, y los siguientes caracteres especiales: subrayado (\_), símbolo de intercalación (^), símbolo de dolar (\$), tilde (~), signo de exclamación de cierre (!), símbolo de número (#), signo de porcentaje (%), símbolo de unión (&), guión (-), llaves { | }, y paréntesis ( ). No se aceptan otros caracteres especiales.
- El nombre no puede contener espacios, barras invertidas (\), comas o puntos. El nombre puede contener caracteres extendidos.
- Dos subdirectorios que estén en el mismo directorio no pueden tener el mismo nombre. Sin embargo, subdirectorios de diferentes directorios pueden tener el mismo nombre.

El directorio actual se indica con su nombre o con un punto. Al directorio padre del directorio actual se le puede nombrar por su nombre o por un doble punto. Cuando se utiliza el comando `dir` para examinar los archivos y directorios de un directorio (diferentes del directorio raíz), se pueden ver estos símbolos en pantalla, que representan los directorios padre e hijo.

## Rutas de acceso

La *ruta de acceso* indica el emplazamiento de un archivo dentro del árbol de directorios. Es el camino que debe seguir MS-DOS, partiendo del directorio raíz, para llegar a un archivo de otro directorio. MS-DOS reconoce rutas de acceso de hasta 66 caracteres, (incluyendo la letra de la unidad y los dos puntos). Por ejemplo suponga que la unidad C tiene este árbol de directorios:

```
[C:\] tree
Lista de directorios en RUTA y estructura del Volumen CESAR
Número de serie del volumen es 1575-6935
C:
├── DOS
├── ARTE
│   ├── TRABAJO
│   ├── PERSONAL
│   └── ESTUDIO
```

---

Para llegar hasta los archivos del directorio PERSONAL, MS-DOS debe pasar por los siguientes directorios: raíz (\), ARTE y PERSONAL. Por lo tanto el nombre de la ruta de acceso sería: \arte\personal

La primera barra invertida representa el directorio raíz; la segunda separa el directorio PERSONAL del directorio padre, ARTE.

Para encontrar el directorio PERSONAL, debe escribir primero la ruta de acceso del directorio. Si desea especificar el archivo FIG1.MSP en el directorio \ARTE\PERSONAL, debe agregar a la ruta otra barra invertida y el nombre del archivo:

```
\arte\personal\fig1.msp
```

Puede haber otros archivos denominados FIG1.MSP en otros directorios y puede haber otros directorios denominados \ARTE\PERSONAL en otros discos. Para distinguir específicamente un archivo del resto de los archivos, se tiene que agregar una letra de unidad a la ruta de acceso y al nombre del archivo. Por ejemplo, la ruta de acceso completa del archivo FIG1.MSP del directorio ARTE\PERSONAL de la unidad C es:

```
c:\arte\personal\fig1.msp
```

## La unidad actual

A menos que se indique lo contrario, MS-DOS supone que se quiere utilizar el árbol de directorios en la unidad actual. La letra de la unidad actual normalmente es parte del símbolo del sistema. Si actualmente se está utilizando el directorio raíz de la unidad A y se quiere suprimir el archivo A:\FIG1.MSP, se debe escribir el siguiente comando:

```
del fig1.msp
```

Sólo puede haber una unidad actual a la vez. Para trabajar con los archivos de la unidad que no es la actual, se debe escribir otra letra de unidad seguida por dos puntos y presionar la tecla ENTRAR.

## El directorio actual

El directorio en el que se está trabajando es el directorio actual para esa unidad. MS-DOS puede presentar en pantalla la ruta de acceso del directorio actual como parte del símbolo del sistema. Si se desea realizar alguna operación en un archivo, y se está utilizando actualmente el directorio en el que está el archivo, no se necesita escribir la ruta de acceso del directorio actual. Si C es la unidad actual y \ARTE\PERSONAL es el directorio actual, se puede suprimir el archivo siguiente C:\ARTE\PERSONAL\FIG1.MSP escribiendo lo siguiente: del fig1.msp

Si se está trabajando con dos unidades, cada una de ellas tiene un directorio actual. Suponemos que C es la unidad actual y \ARTE\PERSONAL es el directorio actual. En su disco de la unidad A, suponga que el directorio \FIGS es el directorio actual. Se debe

---

escribir el siguiente comando para copiar el archivo FIG2.MSP desde A:\FIGS a C:\ARTE\PERSONAL: `copy a:fig2.msp c:`

A menos que se especifique una ruta de acceso diferente, se trabaja en el directorio actual en cada unidad. Cuando se inicia el sistema se está en los directorios raíces de las unidades del sistema. El directorio actual de una unidad de disquete cambia al directorio raíz si se cambian los discos.

Para trabajar con archivos en un directorio que no es el actual, hay dos opciones: se escribe la ruta de acceso del otro directorio o se hace actual el otro directorio utilizando el comando `cd` (cambio de directorio), que se describe posteriormente.

Si se está trabajando con archivos de programa que no están en el directorio actual, se puede incluir la ruta de acceso del otro directorio en el comando `path`. Vea el tema "Especificación de una ruta de búsqueda" en este capítulo.

Si se quiere escribir la ruta de acceso de otro directorio, se incluye la parte de la ruta de acceso que es diferente desde la ruta de acceso del directorio actual. Si el directorio actual es \ARTE, se puede suprimir el archivo \ARTE\PERSONAL\FIG1.MSP escribiendo el siguiente comando: `del personal\fig1.msp`

En este caso no es necesario escribir la ruta de acceso completa, ya que el archivo que se quiere escribir está en un subdirectorio del directorio actual.

## Modificación del símbolo del sistema

Se puede utilizar el comando `prompt` para modificar la apariencia del símbolo del sistema. A menos que se indique lo contrario, MS-DOS visualiza la letra de la unidad actual seguida de un signo mayor que (>) como símbolo del sistema. Por ejemplo, el siguiente símbolo le indica que la unidad activa es la A: `A>`

Se pueden utilizar varios parámetros con el comando `prompt` para cambiar el símbolo del sistema.

## Presentación del contenido de directorios

Este apartado describe cómo presentar la lista del contenido de directorios utilizando la línea de comandos.

### Presentación de directorios completos.

Para ver el contenido de un directorio, se utiliza el comando `dir`. Para ver el contenido del directorio `C:\TRABAJO` se utiliza éste comando:

```
dir c:\trabajo
```

### Presentación de grupos de nombres de archivos.

Para presentar la lista de un determinado grupo de nombres de archivos de un directorio, se incluyen comodines con el comando `dir`. El siguiente comando presenta una lista de todos los archivos del directorio actual que tengan la extensión `.COM`:

```
dir *.com
```

### Presentación de todos los directorios de un disco.

Para presentar en la pantalla la estructura de un directorio y sus subdirectorios, se utiliza el comando `tree` (árbol). Por ejemplo, el siguiente comando presenta en pantalla la relación entre el directorio `C:\TEMP` y sus subdirectorios:

```
tree c:\temp
```

### Creación de directorios.

Para crear un directorio, se utiliza el comando `md` (`mkdir`). Si el directorio `C:\IMPUESTO\ANUAL` es el directorio actual, el siguiente comando crea un subdirectorio llamado `MENSUAL`:

```
md mensual
```



### Cambio de directorio.

Para desplazarse a un directorio diferente en la unidad actual, se utiliza el comando `cd` (o en su forma ampliada `chdir`). El siguiente comando cambia el directorio actual al directorio `C:\OFICINA\INFORMES`:

```
cd oficina\informes
```

### Eliminación de directorios.

Para eliminar un directorio se utiliza el comando `rd` (`rmdir`), como en el siguiente ejemplo:

```
rd c:\oficina\informes\finanzas
```

El sistema MS-DOS elimina el subdirectorio `FINANZAS` del directorio `C:\OFICINA\INFORMES` de la unidad actual. El directorio que elimina no puede contener ningún archivo o subdirectorio.

### Copia de todos los archivos de un directorio.

Para copiar un solo directorio (sin subdirectorios), se utiliza el comando `xcopy` sin modificadores. Por ejemplo, para copiar todos los archivos del directorio `C:\INFORMES\FINANZAS` al directorio `FINANZAS` de la unidad `A`, se deberá escribir el siguiente comando:

```
xcopy c:\informes\finanzas a:\finanzas
```

## 2.4.- Manejo de Discos.

La información se guarda en discos y permanece intacta hasta que se eliminan. En contraste, la memoria RAM (memoria de acceso aleatorio), proporciona almacenamiento de información que se pierde cada vez que se apaga el ordenador.

### Tipos de discos

Un disquete es un disco flexible y muy delgado que tiene una cubierta protectora de plástico. Un disco duro tiene uno o más discos rígidos apilados uno encima del otro dentro de una caja cerrada completamente. A los discos duros también se los denomina *discos fijos* porque permanecen dentro del sistema. Una vez que se ha instalado el disco duro, no se debe retirar a no ser que esté dañado o se desee sustituir por un disco de mayor capacidad.

La información de los discos se divide en pistas. Cada pista es un círculo concéntrico que puede contener una cierta cantidad de información. Cuantas más pistas tenga un disco, más información puede almacenar. Un disco duro puede almacenar más información que los disquetes porque tiene más caras y más pistas por cara.

Los disquetes varían en cuanto al tamaño y la cantidad de información que pueden contener. A continuación se presenta una lista con los principales tipos de disquetes con los que se puede trabajar en MS-DOS, y la cantidad de información que cada uno puede almacenar:

5 1/4 pulgadas una sola cara/doble densidad	160K
5 1/4 pulgadas una sola cara/doble densidad	180K
5 1/4 pulgadas dos caras/doble densidad	320K
5 1/4 pulgadas dos caras/doble densidad	360K
5 1/4 pulgadas dos caras/cuadruple densidad	1200K ó 1,2 MB
3 1/2 pulgadas dos caras/doble densidad	720K
3 1/2 pulgadas dos caras/cuadruple densidad	1440K ó 1,44 MB
3 1/2 pulgadas dos caras/alta densidad	2880K ó 2,88 MB

La mayor parte de los disquetes tienen etiquetas que indican de qué tipo son. También se puede utilizar el comando **dir** o **chkdsk** para ver la información sobre la capacidad de

---

almacenamiento de un disco que ya tiene formato.

## Bytes, Kilobytes y Megabytes

El tamaño de los archivos se mide en *bytes*. Un byte es la cantidad de espacio que se necesita para almacenar un solo carácter. Un kilobytes equivale a 1024 bytes. En este manual el *kilobyte* se abrevia como KB. Un megabytes equivale a 1024 K (casi un millón de bytes). En este manual la palabra *megabytes* se abrevia como MB. Por ejemplo, si un disco puede almacenar casi 1.2 millones de bytes de información, es un disco de 1.2 MB.

## Tipos de unidades de disco

No todos los tipos de disquetes son compatibles con todos los tipos de unidades de disco. En general, al disquete se le debe dar un formato con una capacidad menor o igual que la de la unidad en la que se utilice para que el disco y la unidad sean compatibles. Para comprobar si un disco funciona con una determinada unidad, el disco se inserta en la unidad y se utiliza el comando **dir**. Si el disco y la unidad son compatibles o el disco no tiene formato, MS-DOS presenta un mensaje de error que le comunica que hay un fallo general.

MS-DOS ajusta sus operaciones para trabajar con el tipo de unidad de disco que se está utilizando. Para algunos comandos, se incluye un modificador si la unidad de disco y el disquete no tienen la misma capacidad.

## El formato de los discos

Antes de poder utilizar un disco, se debe preparar utilizando el comando **format**. El disco puede tener o no formato previo. Cuando se da formato a un disco, MS-DOS realiza un *formato de seguridad*. Con este formato de seguridad, se puede restaurar el disco a su condición anterior mediante el comando **unformat**, siempre que no se hayan guardado archivos en dicho disco.

Se puede incluir el modificador **/u** con el comando **format** para ejecutar un formato incondicional. Este formato destruye toda la información del disco. Si de forma errónea se da formato a un disco incondicionalmente, todavía se puede recuperar la información perdida siempre que se haya instalado el programa Mirror antes de utilizar el comando **format**. El programa Mirror se describe en la siguiente sección.

10

---

Cuando se da formato a un disquete o a un disco duro, MS-DOS reserva una pequeña parte del disco para su sistema de registro. El sistema de registro se compone de dos partes: *una tabla de asignación de archivos* (que determina el emplazamiento de cada archivo del disco) y el *directorio raíz* (que almacena el nombre, tamaño, fecha y hora de creación y los atributos de los archivos del disco).

Un *sector* es la unidad de almacenamiento básica de un disco. Cada sector de un disco puede almacenar medio kilobyte de información. Cuando MS-DOS da formato a un disco, MS-DOS verifica cada sector para detectar si tiene algún defecto, y marcarlo para que no pueda almacenar datos en ellos. Cuando MS-DOS almacena un archivo en un disco, utiliza grupos de sectores llamados *unidades de asignación*. El número de sectores por unidad de asignación depende del tamaño del disco.

Si se utiliza un disco duro nuevo, se debe realizar una partición antes de poder darle formato. Mientras se ejecuta el programa de instalación de MS-DOS puede crear particiones y dar formato al disco duro.

## Formato de un disco

### En breve

Para dar formato a un disquete o a un disco duro, se utiliza el comando **format**. Se debe especificar la unidad que contiene el disco al que se quiere dar formato. Por ejemplo, el siguiente comando da formato a un disquete de la unidad A: `Format a:`

MS-DOS realiza un formato de seguridad de forma predeterminada. Si se desea deshacer el formato de seguridad, se añade el modificador `/u` al comando **format** el modificador `/u` elimina todos los datos existentes en un disco. Cuando se utiliza el comando **format** con el modificador `/u` para dar formato al disco duro, aparece el siguiente mensaje:

```
Peligro, todos los datos del disquete de la unidad C: se perderán
¿Continuar con el formato (S/N)?
```

Escriba `s` para continuar, o `n` para cancelar el comando.

Utilizando el modificador `/q` con el comando **format**, se puede realizar un formato rápido en un disco con formato previo, lo cual reduce el tiempo que MS-DOS necesita para dar formato a un disco. Sólo se utiliza el modificador `/q` si no se han recibido errores de lectura/escritura en el disco al que se esté dando formato.

Mientras se da formato al disco, MS-DOS presenta un mensaje que indica el porcentaje del disco al que se da formato. Una vez terminado el proceso, se pregunta si se desea dar al disco una *etiqueta del volumen*. Se debe escribir el nombre que se desee dar al disco o presionar la tecla **ENTRAR** si no se desea una etiqueta.

MS-DOS presenta la siguiente información:

```
1213952 bytes de espacio total en disco
1213952 bytes disponibles en disco
   512 bytes en cada unidad de asignación
  2371 unidades de asignación disponibles en disco
Número de serie del volumen 382C-17F4
```

*Bytes de espacio total en disco* Indica la capacidad de almacenamiento del disco

*Bytes utilizados por el sistema* Aparece si se han transferido al disco los archivos del sistema de MS-DOS e indica el espacio que ha sido ocupado por los tres archivos del sistema.

*Bytes en sectores defectuosos* Indica la cantidad de espacio que no es posible utilizar debido a sectores defectuosos. Si no hay sectores defectuosos, esta línea se omite. Si un disquete tiene sectores defectuosos, se debe considerar no almacenar archivos importantes o archivos de copia de seguridad en él. La mayor parte de los discos duros tienen un pequeño número de sectores defectuosos.

*Bytes disponibles en disco* Indica el espacio total del disco menos la cantidad de espacio utilizado por los archivos del sistema y los sectores defectuosos. Si el disco no contiene archivos del sistema y no hay sectores defectuosos, este número es igual al número de bytes del espacio total del disco.

*Bytes en cada unidad de asignación y unidades de asignación disponibles en un disco* Indican la forma en que MS-DOS ha dividido el disco para el almacenamiento de los archivos. Si se multiplican las dos cifras de estas líneas, el resultado debe coincidir con la cifra que corresponde al número de "Bytes disponibles en disco".

*El número de serie del volumen* Indica el número de serie asignado al disco. Este número no cambia a menos que se dé nuevamente formato al disco.

La siguiente línea es un símbolo del sistema para dar formato a otro disco. Se escribe *s* para dar formato a otro disco en la misma unidad con los mismos modificadores, o se escribe *n* para volver al símbolo del sistema.

## Especificación de la capacidad de un disquete

A menos que se indique lo contrario, MS-DOS supone que el disco que se quiere dar formato tiene la capacidad máxima que corresponde a la unidad. Para dar formato a un disco de menor capacidad, se debe utilizar el modificador */f:*. Por ejemplo, si la unidad A es de 1,2 MB, para discos de 5 1/4 pulgadas y se desea dar formato a un disco de 360 KB, se debe utilizar el siguiente comando:

```
format a: /f:360
```

Algunas de las unidades de disco modernas pueden detectar la capacidad del disquete. Si se dispone de este tipo de unidad, no se necesita especificar estos modificadores.

**NOTA** Existen diferencias de hardware entre unidades de disco, por lo que algunas unidades de 360 KB no pueden leer de manera fiable discos a los que se ha dado formato en una unidad de 1,2 MB con el modificador */f:360*.

### 2.5.- Manejo de un Editor.

Con la finalidad de generar un código para un programa, para revisar listas de resultados, añadir texto a una presentación, etc., se precisa del manejo de un editor de texto.

Para ello, desde las tempranas versiones de MS-DOS, se ha incluido en los diskettes de programas, editores de texto, que aunque un tanto cándidos, son eficientes. Las últimas versiones de MS-DOS incluyen editores (EDIT), que son más refinados y permiten un procesamiento de texto más capaz.

Asimismo, para la edición de texto tipo ASCII (American Standard Code for Information Interchange), se pueden utilizar editores de texto comerciales (WordStar, WordPerfect, Norton Editor, etc).

Tales editores de texto deberán invocarse desde el sistema operativo y contienen reglas internas de operación que pueden consultarse en sus respectivos manuales de referencia o en sus subprogramas de ayuda.

### **3.- Fundamentos de Programación.**

Para un entendimiento claro de las estructuras y funciones de un programa, es necesario conocer varios tópicos referentes a la programación, para tal efecto, se ha escogido para éste segmento, el lenguaje de programación Fortran, el cual es de uso muy extendido; sin embargo, se tratarán los temas de una manera muy general, de tal forma que puedan sin ninguna dificultad ser extendidos a lenguajes tales como Basic, Pascal y otros.

La comprensión completa del lenguaje técnico no es prerrequisito para la preparación inteligente de una secuencia lógica de instrucciones (un programa) que puedan usarse en la computadora para resolver algún problema. Sólo se necesita aceptar la premisa de que en un disco flexible o en alguna parte del disco duro existe un conjunto de instrucciones detalladas en lenguaje de máquina que habilitan a la computadora para ejecutar una serie de instrucciones simplificadas orientadas al usuario y

preparadas bajo las reglas del Fortran, Basic, Pascal, etc. Este juego de instrucciones en lenguaje de máquina se origina con un programa compilador.

### 3.1.- Constantes y Variables.

Un valor matemático se representa mediante una serie de dígitos numéricos con o sin punto decimal o signo algebraico. Las constantes que se empleen, podrán ser de tipo real, entero, exponencial, lógico, de carácter, de cadena de caracteres y en algunos casos, definidas por el usuario.

Una cantidad cuyo valor numérico se desconoce temporalmente o que pueda cambiar durante la ejecución de un programa, se llama variable y se expresa por un nombre de variable. El nombre de variable lo crea el programador y dependiendo del sistema de computadora que se utilice podrá consistir de una a varias letras o combinaciones de letras y números.

### 3.2.- Proposiciones y Asignaciones.

El lenguaje Fortran usa los caracteres alfabéticos, numéricos y especiales del idioma inglés y de la matemática; las 26 letras del alfabeto inglés, A a Z; los 10 dígitos decimales 0 a 9 y 10 caracteres especiales:

+ - \* / = . , ' ( )

Aunque éstos son los más comunes, existen otros caracteres también disponibles.

Estos caracteres se combinan para formar palabras, números y expresiones que se utilizan para construir proposiciones. Una proposición puede ser una instrucción explícita para que la computadora ejecute una tarea sencilla, por ejemplo leer un valor introducido desde el teclado y asignarlo al nombre de una variable o realizar operaciones aritméticas y asignar el resultado a una variable, repetir una serie de tareas, o imprimir los resultados de un cálculo.



Además, una proposición puede proporcionar información para definir un arreglo, identificar una variable compleja o especificar un formato de salida.

Un programa consiste en una serie detallada de instrucciones y proposiciones organizadas en secuencia lógica para alcanzar resultados predecibles.

Una proposición de asignación es una proposición ejecutable que asigna los valores numéricos de una expresión aritmética a un nombre de variable en una dirección de memoria específica. El símbolo de asignación es el signo = o en ocasiones := (Pascal).

### 3.3.- Lectura y Escritura.

Existen proposiciones ejecutables que proporcionan medios sencillos y directos para suministrar valores de datos a los nombres de las variables que se usan en un programa.

Cuando es necesario que los valores por asignar a los nombres de las variables en la lista se deben leer desde un archivo de datos almacenado en un disco flexible o en disco duro, existen proposiciones específicas para ello.

Los valores en cada registro del archivo de datos deben concordar en número (cantidad), orden y tipo con los nombres de las variables en la lista de lectura. Si el conjunto de datos que se proporciona en un sólo registro excede al número de nombres de las variables en la lista, los valores de datos se asignarán, en el orden correspondiente, hasta que a cada nombre de variable de la lista se la haya asignado un valor. Cualquier dato adicional del registro se ignora.

Existen asimismo proposiciones ejecutables para la salida de datos a la pantalla, impresora o archivo.

### 3.4.- Iteraciones y Transferencias.

Para utilizar todo el potencial de la computadora es necesario saber cómo repetir una secuencia de tareas, tomar decisiones basadas en comparaciones sencillas y saltar a otra proposición específica en el programa. La iteración o repetición de cálculos se llama ciclo y es el resultado de la ejecución de varias transferencias mediante proposiciones de control.

Una proposición de transferencia es una proposición ejecutable que transfiere o ramifica a otra proposición identificada por una etiqueta de proposición única. Una proposición de transferencia puede ser condicional o incondicional. Las proposiciones de transferencia incondicional siempre transfiere a una sola proposición, mientras que una proposición de transferencia condicional puede transferir a una de varias proposiciones específicas, dependiendo de las condiciones de los datos.

Una proposición de control puede repetir un conjunto particular de proposiciones un determinado número de veces.

Existen y son de gran trascendencia, las proposiciones de transferencia condicional de tipo lógico. Este tipo de proposición emplea expresiones lógicas con operadores relacionales y toma decisiones en función de la relación entre los valores de dos o más variables o expresiones aritméticas.

### 3.5.- Vectores.

Con frecuencia es necesario trabajar con cantidades numéricas que son elementos de un grupo llamado arreglo, y de acuerdo con su forma también se les puede llamar matrices o vectores. Un arreglo es una familia de elementos o cantidades, relacionados, todos asignados al mismo nombre de variable, cada elemento del arreglo se identifica con un subíndice diferente. Las variables que son elementos de un arreglo se conocen como variables con subíndices.

En la mayoría de los lenguajes, antes de que pueda usarse una variable con subíndice en un programa, primero es necesario

definir el arreglo del que forma parte con una proposición de dimensionamiento que establece el arreglo con nombre y número de subíndice (1, 2, n dimensiones), define el máximo valor numérico de cada subíndice y reserva las localidades de almacenamiento para acomodar cada elemento del arreglo.

### 3.6.- Subprogramas.

El motivo principal para usar la computadora en la solución de problemas es reducir el tiempo necesario para hacer cálculos repetitivos. Con frecuencia, planear y escribir un programa de computadora es una tarea laboriosa, consume tiempo y requiere atención cuidadosa para cada detalle de las proposiciones del programa. Cuantas más proposiciones tenga el programa, mayores posibilidades de error existen. Cualquier cosa que pueda hacerse para eliminar proposiciones innecesarias o evite escribir la misma proposición más de una vez, vale la pena.

Muchos programas contienen cálculos que necesitan proposiciones sencillas o que requieren de un segmento de programa con muchas proposiciones para repetirse en ése programa o en programas relacionados. Semejantes rutinas de repetición pueden suprimirse del programa principal y escribirse en forma separada como subprogramas. Después, éstos subprogramas pueden llamarse de un modo individual mediante una proposición sencilla colocada de manera apropiada en el programa principal siempre que se le necesite. El subprograma desarrollado por el programador sirve al mismo propósito para aplicaciones limitadas como las funciones intrínsecas más generalmente aplicables y puede grabarse para usos subsecuentes en otros programas.

### 3.7.- Almacenamiento y Compilación.

Algunos lenguajes, tal como el Fortran, son lenguajes compiladores, es decir, el programa fuente escrito por el programador debe traducirse (compilarse) a un código simbólico o lenguaje de máquina que sea comprensible para la computadora personal. Se requiere de un programa intermedio llamado compilador para hacer ésta operación. Hay diversos compiladores disponibles. El compilador que se usó para la traducción (compilación) del programa ejemplo de éste segmento es el Compilador Microsoft Fortran.

El compilador MS-Fortran consiste en un conjunto de discos flexibles, guía del usuario y un manual de referencia que proporcionan información detallada de los archivos de los discos y la forma en que pueden aplicarse. En ésta sección se muestra de manera somera cómo se realiza la escritura, edición, compilación y ejecución de un programa fuente Fortran de ejemplo (consúltense la guía y el manual del usuario para obtener un conocimiento más completo del compilador Fortran).

## **4.- Modelos Matemáticos.**

### 4.1.- Qué es un Modelo Matemático.

Los modelos matemáticos en geohidrología son una importante herramienta que ayuda a conocer el funcionamiento de los acuíferos. Los modelos pueden utilizarse para simular el funcionamiento de un acuífero, inclusive cuando éste es complejo, incluyendo efectos producidos por barreras, la existencia de límites irregulares, la presencia de heterogeneidades en el subsuelo, etc. Se puede definir tanto el flujo del agua, como el transporte de contaminantes, así como el análisis de la deformación del terreno, como es su hundimiento.

Los modelos matemáticos son un valioso auxiliar en la planeación del manejo de acuíferos, al simular su comportamiento bajo diferentes políticas de operación.

Para la elaboración del modelo matemático de un acuífero, primeramente hay que conceptualizar su funcionamiento; el siguiente paso consiste en transcribir los procesos físicos a términos matemáticos, mediante el desarrollo de las ecuaciones que gobiernan el flujo de agua subterránea; son necesarios también la recopilación y depuración de datos del acuífero, su preparación o procesamiento, la calibración y la simulación.

Es indispensable tener una clara idea del funcionamiento del acuífero lo cual incluye, por una parte, las causas modificadoras del acuífero que corresponden a los medios de recarga y descarga. La recarga puede corresponder a la infiltración y la descarga a salidas por flujo subterráneo y a la extracción por bombeo. Las variaciones en la recarga y descarga dan fluctuaciones de la superficie piezométrica.

Ya conocido el funcionamiento del acuífero se transcriben los procesos físicos que rigen el funcionamiento de este a términos matemáticos mediante el desarrollo de ecuaciones que simulan el comportamiento del flujo de agua subterránea. El entendimiento de estas ecuaciones y sus limitaciones son condiciones necesarias para el buen desarrollo del modelo.

Otro punto por desarrollar en la formación de un modelo matemático es la obtención de las características del acuífero, tales como transmisividad, coeficiente de almacenamiento, espesor del acuífero, límites, gastos de extracción por pozos, etc. Estos datos deben de ser procesados y adaptados a los requerimientos del modelo. La calidad de este tipo de datos está en relación directa a la exactitud de los resultados que se obtengan.

El acuífero por estudiar se discretiza o se divide en pequeñas áreas denominadas elementos, las cuales pueden tener formas regulares o irregulares.

La malla regular, o de diferencias finitas, tiene la ventaja de que su construcción es simple, pudiendo consistir ésta de rectángulos. Las mallas pueden también ser irregulares (método de elementos finitos) y su diferencia fundamental respecto a la malla regular, es que al permitir el diseño de elementos irregulares llegan a representar los límites del acuífero con mayor exactitud. El trazo de la malla irregular es más complejo y las ecuaciones aplicables presentan limitantes. Para cada elemento discretizado, se aplican las ecuaciones de flujos, obteniéndose un sistema de ecuaciones simultáneas cuya incógnita es la carga hidráulica en un tiempo determinado.

La calibración consiste en efectuar corridas del programa matemático alimentado con los datos del acuífero, comparando los resultados con datos observados. En los sitios donde existen variaciones entre valores calculados y observados, se revisan los datos de entrada y se realizan ajustes para efectuar nuevas corridas, hasta lograr la mejor aproximación posible.

La primera corrida se conoce como "análisis de sensibilidad", en el cual se observan, en forma general, los resultados obtenidos. Posteriormente, se hace un "ajuste mayor" que consiste en efectuar los cambios necesarios en forma global dentro del modelo. Posteriormente se hacen "ajustes puntuales" a fin de llegar a la calibración del modelo.

Es importante que los ajustes que se realicen tengan justificación; ya que de otra manera se estará forzando al modelo a conclusiones y procedimientos erróneos.

#### 4.2.- Herramientas Computacionales.

En el procesamiento de la evolución de los niveles piezométricos, o en los datos obtenidos de hidrógrafos y cualquier comportamiento que registre tendencia, se pueden realizar procedimientos de aproximación, por medio de métodos numéricos, con el auxilio que la computadora representa. A continuación se referirán distintas formas:

#### 4.3.- Paquetes de Análisis.

Como se observa en una de las figuras anexas, es posible realizar análisis de aproximación por diferentes técnicas a través de programas tales como Harvard Graphics, Lotus 123, Excel, etc.

Además, se encuentran programas tales como Curfit, Mathematica, etc., que realizan análisis a funciones en general (se observa un ejemplo anexo).

#### 4.4.- Lenguajes.

De manera similar, un ingeniero puede realizar programas de modelado en cualquiera de los lenguajes mencionados u otros.

En los Estados Unidos existen empresas que se dedican a la ingeniería de software especializado en geohidrología y contaminación de acuíferos, que trabajan con una alta calidad y resolución. En México, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y otras instituciones de educación superior así como dependencias gubernamentales trabajan con gran éxito del modelado matemático de fenómenos de dispersión de contaminantes.

Elaboró: Ing. F. Meixueiro.

## Figuras.

- 1.- Listado del programa de ejemplo Bubble.
- 2.- Diagrama de flujo del programa de ejemplo Bubble.
- 3.- Análisis de optimización de ejemplo en Harvard Graphics.
- 4.- Análisis de ejemplo en Curfit.



Programa de Demostración del Bubble Sort  
Microsoft FORTRAN77  
Agosto 29, 1993

La rutina principal lee de la terminal un vector de diez números reales en formato F8.0 e invoca a la subrutina BUBBLE para sortearlos.

```
REAL R(10)
INTEGER I
WRITE (*,001)
001 FORMAT(1X,'Programa de Demostración del Bubble Sort.')
```

100 DO 103 I=1,10  
WRITE (\*,101) I  
101 FORMAT(1X,'Anoté el número real No. ',I2)  
READ (\*,102) R(I)  
102 FORMAT(F8.0)  
103 CONTINUE  
CALL BUBBLE(R,10)  
WRITE (\*,002)  
002 FORMAT(/1X,'Ya sorteados de menor a mayor quedan así:')  
WRITE (\*,003) (R(I),I = 1,10)  
003 FORMAT(2(1X,5F13.3/))  
STOP  
END

Subrutina BUBBLE lleva a cabo un sorteo tipo bubble sobre un vector unidimensional de longitud arbitraria. Sorteá al vector en orden ascendente.

```
SUBROUTINE BUBBLE(X,J)
INTEGER J,A1,A2
REAL X(J),TEMP
100 IF (J .LE. 1) GOTO 101
200 DO 201 A1 = 1,J-1
300 DO 301 A2 = A1 + 1,J
400 IF (X(A1) .LE. X(A2)) GOTO 401
TEMP = X(A1)
X(A1) = X(A2)
X(A2) = TEMP
401 CONTINUE
301 CONTINUE
201 CONTINUE
101 CONTINUE
RETURN
END
```



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS**

**VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO III: MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION  
DE ACUIFEROS**

**MODELO DE FLUJO PLASM**

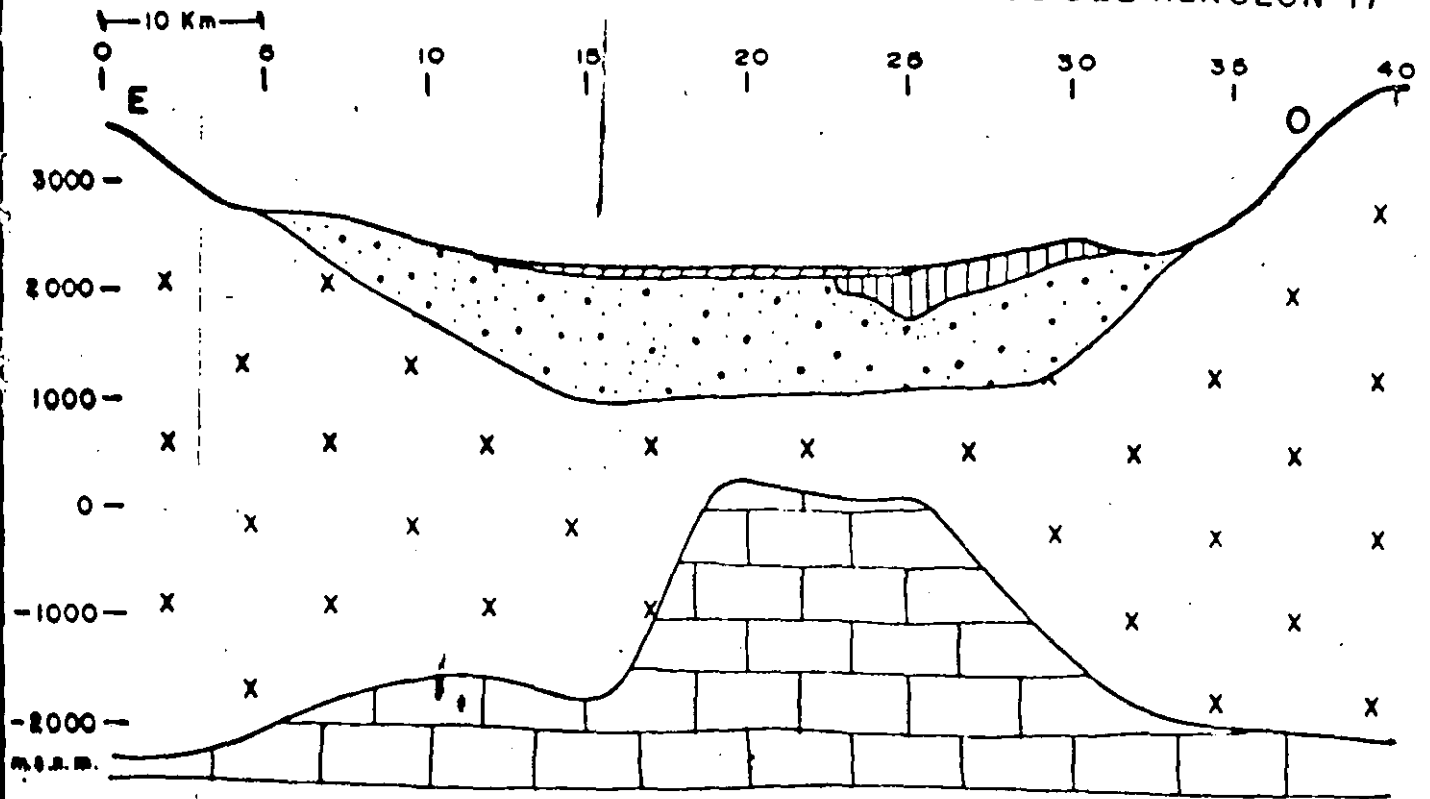
**ING. DAVID GONZALEZ**

## INFORMACION BASICA PARA LA IMPLANTACION DE UN MODELO

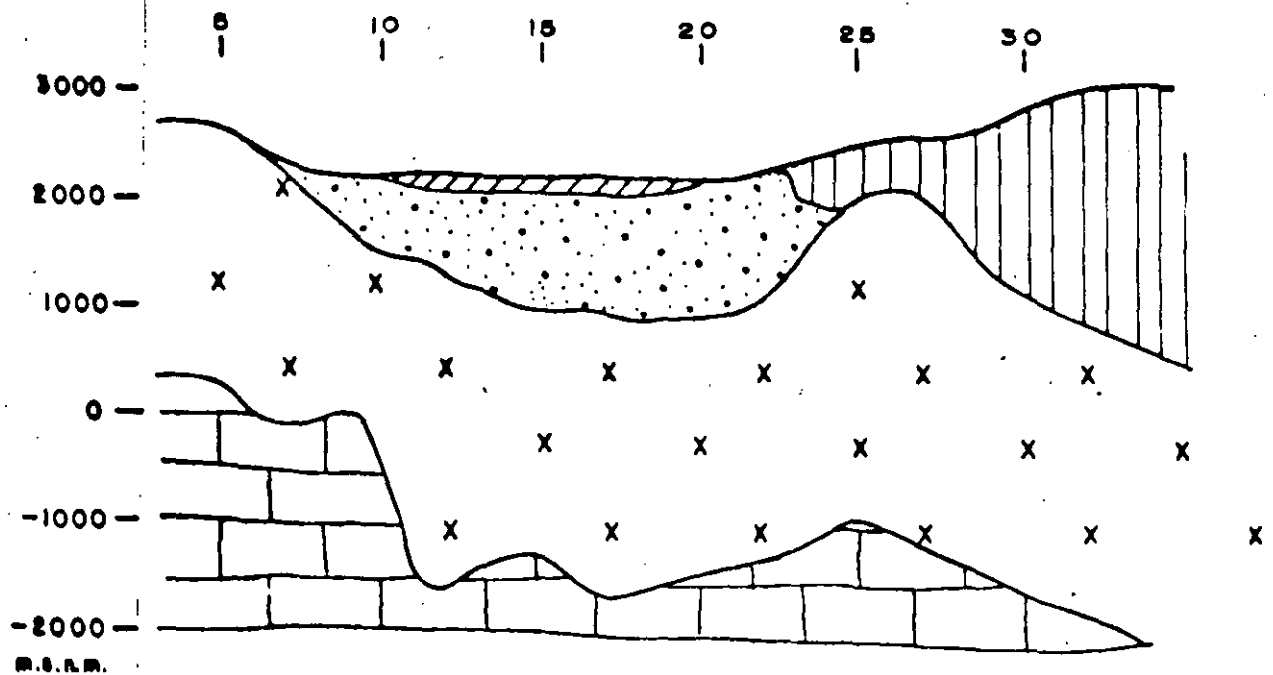
### 1.- DISCRETIZACION

- Planos Topográficos. Parteaguas.
- Plano Geohidrológico.
- Delimitación del Area
- Geología Subterránea. Cortes  
Litológicos.
- Registros Eléctricos. Perfiles  
Geológicos.
- Geofísica. Geometría de las  
Formaciones en el Subsuelo.
- Censo de Aprovechamientos.  
Localización de Pozos Piloto.
- Selección de la Malla. Areas de  
Concentración de Información.

CORTE TRANSVERSAL ESQUEMATICO A LO LARGO DEL RENGLON 17

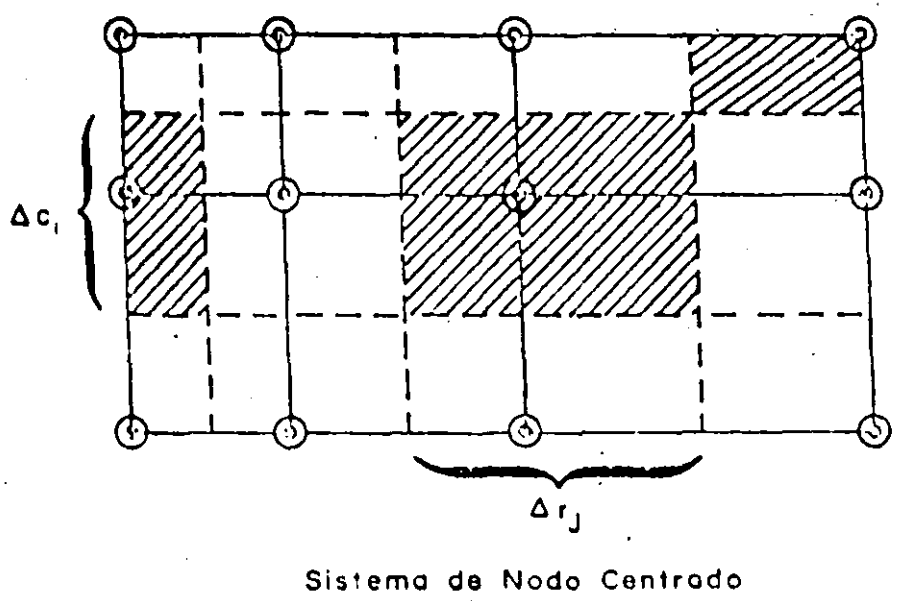
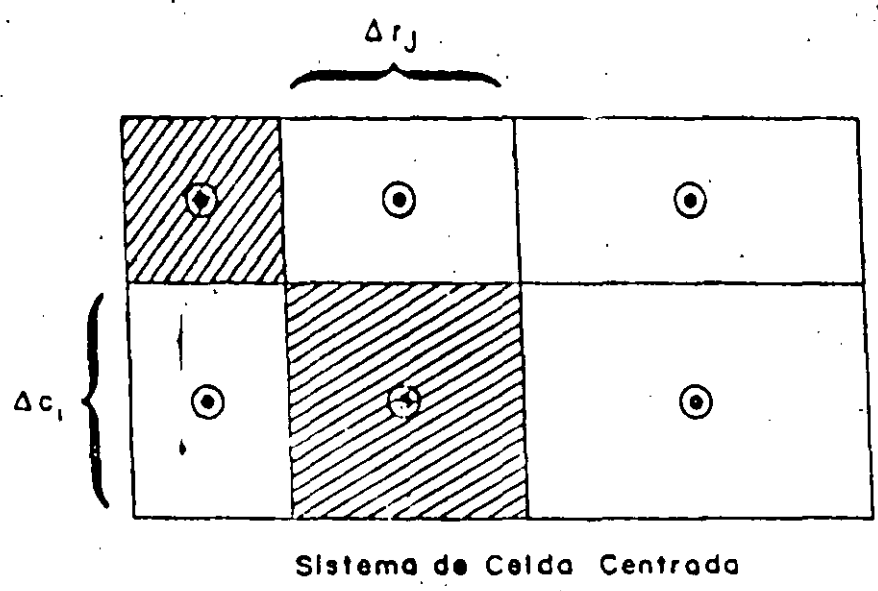
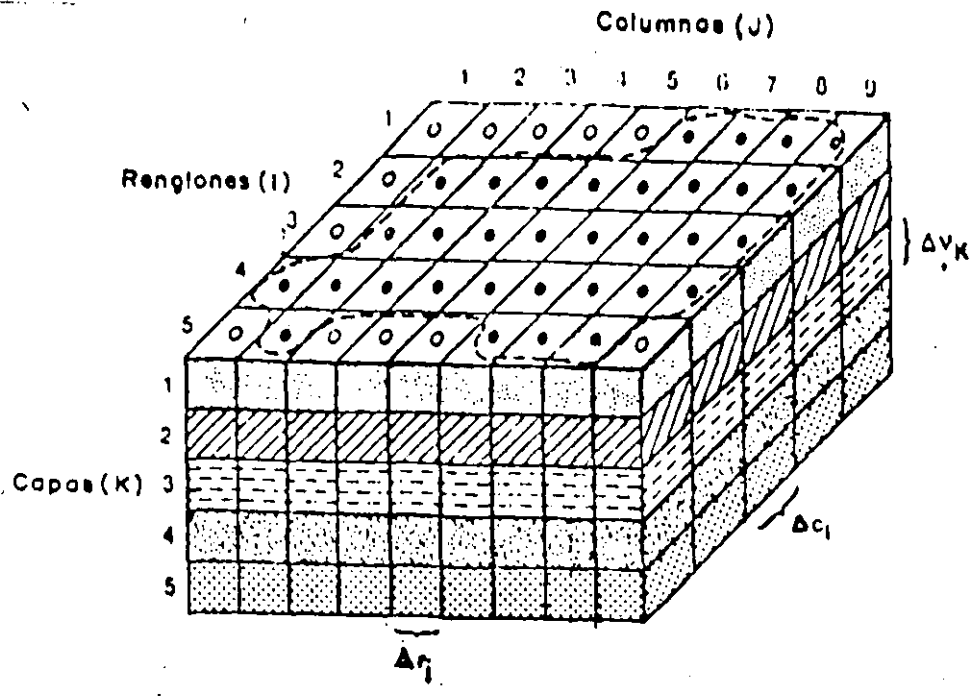


CORTE TRANSVERSAL ESQUEMATICO A LO LARGO DE LA COLUMNA 15



- |                    |   |                                  |   |                   |   |
|--------------------|---|----------------------------------|---|-------------------|---|
| ACUITARDO SUPERIOR |  | BASALTO CUATERNARIO              |  | ACUIFERO GRANULAR |  |
| ACUIFERO VOLCANICO |  | ROCAS CARBONATADAS SEDIMENTARIAS |  |                   |   |

FIG.4. CORTES TRANSVERSALES ESQUEMATICOS



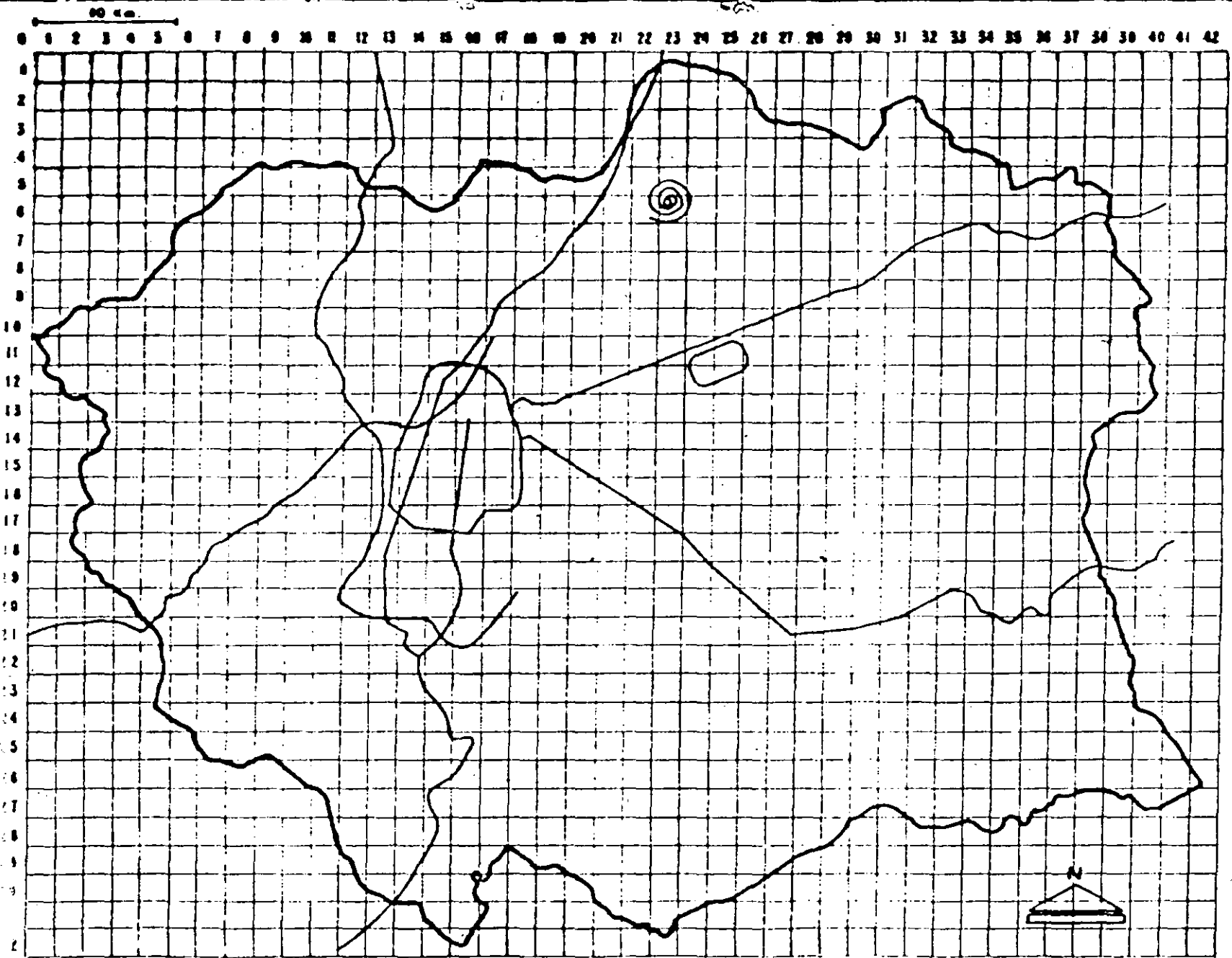


FIG. 3 . ILUSTRACION EN PLANTA DE LAS CELDAS DEL MODELO

## INFORMACION BASICA PARA LA IMPLANTACION DE UN MODELO

### 2.- PARAMETRIZACION

- Pruebas de Bombeo. Aforos en pozos.
- Interpretación de Características  
T, S, b, K, Ss, K',
- Distribución espacial de Características  
Hidrodinámicas.
- Adaptación de Características por Celdas.
- Construcción de Matrices de Parámetros.

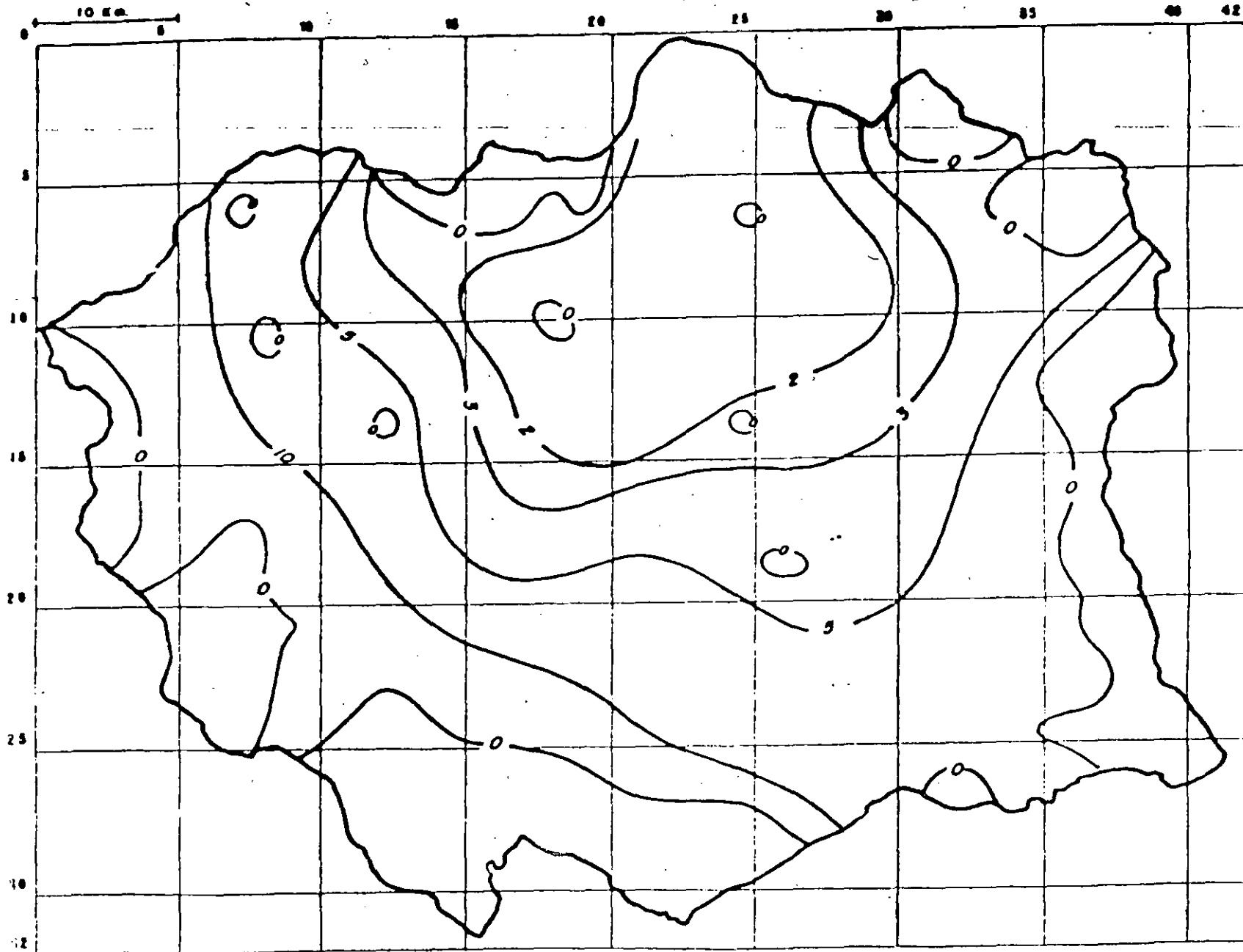


FIG. 7. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ESPECIFICO DEL ACUIFERO GRANULAR.  $10^{-6} m^{-1}$



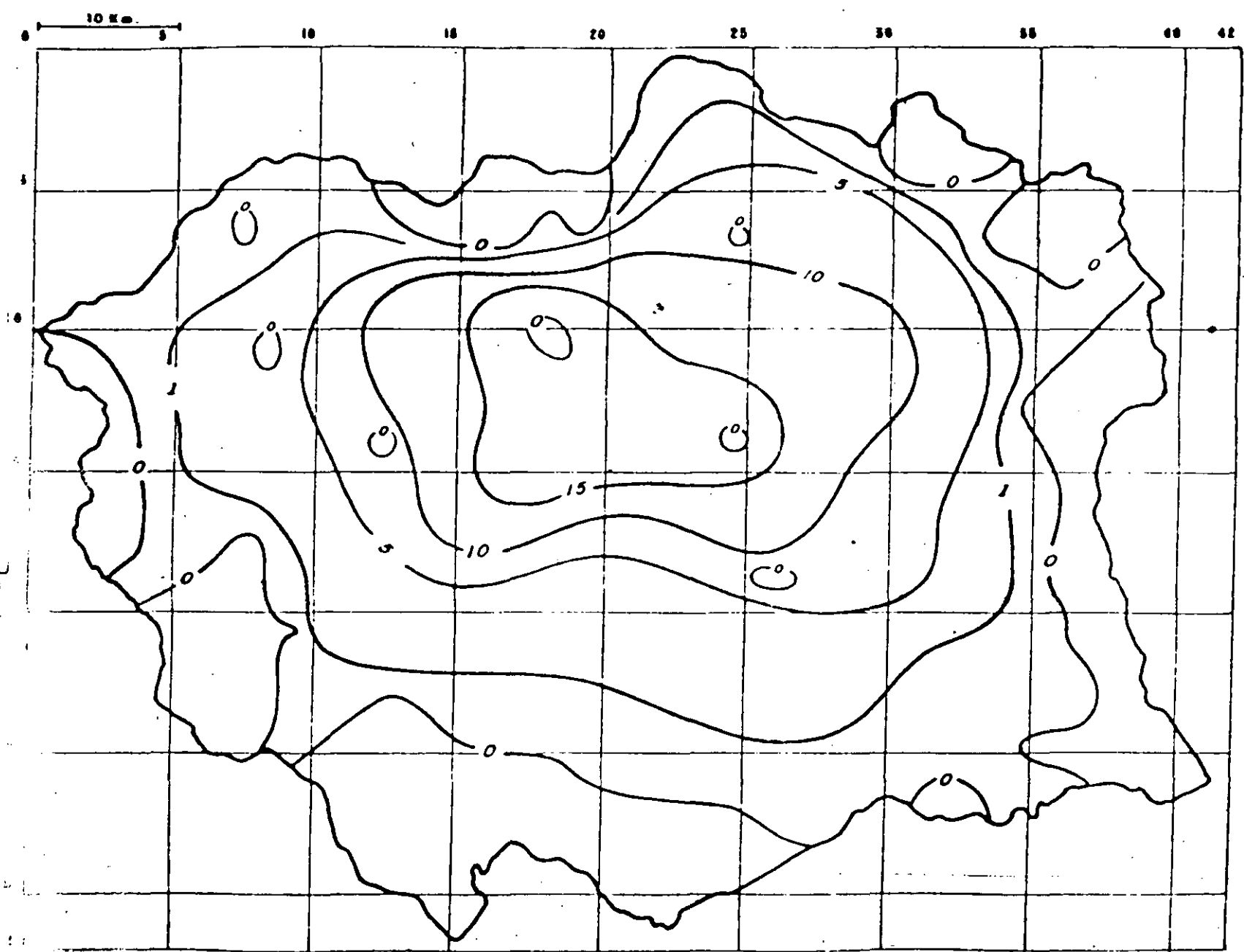


FIG. 6 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA HORIZONTAL DEL ACUIFERO GRANULAR  $10^{-5}$  m/seg.



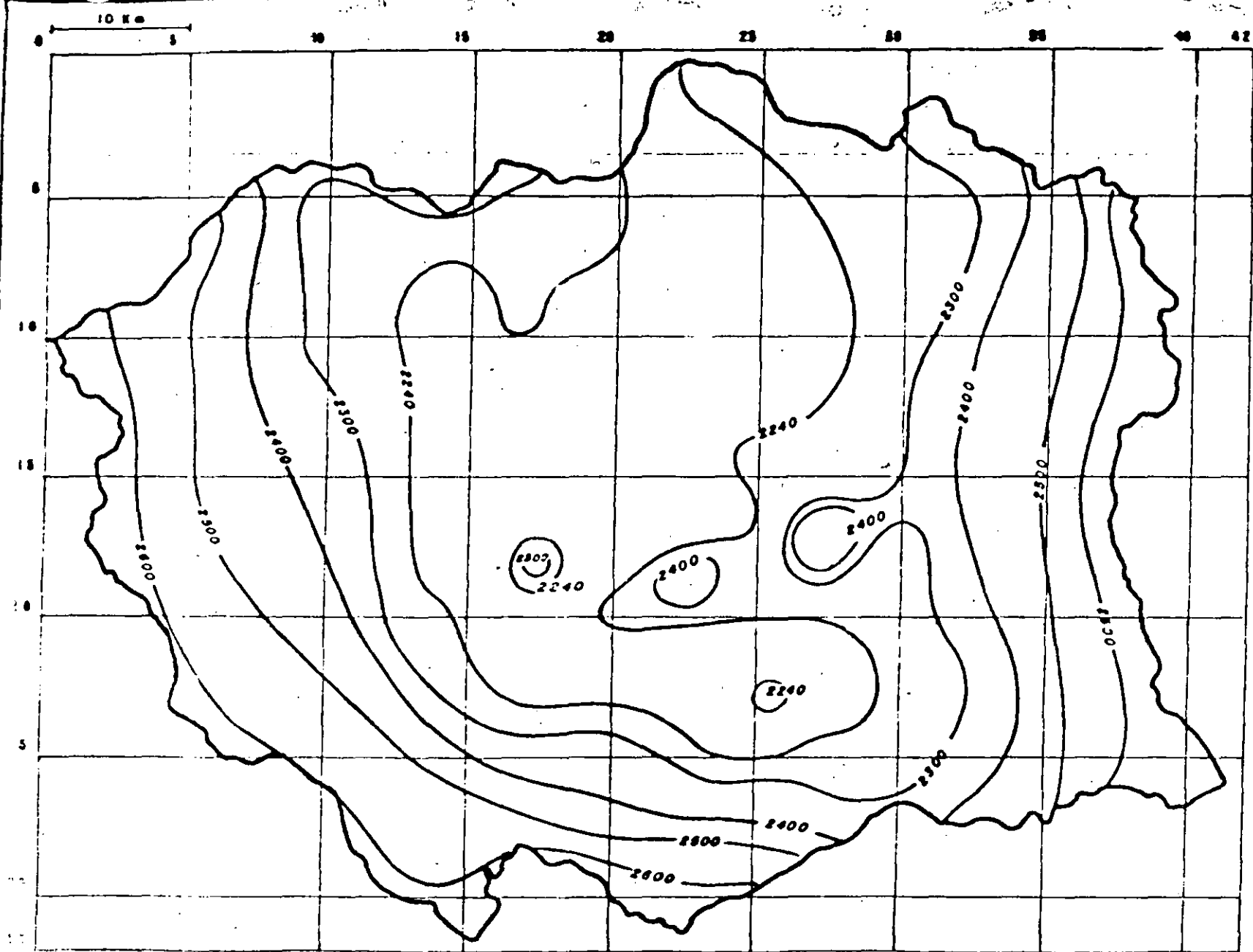


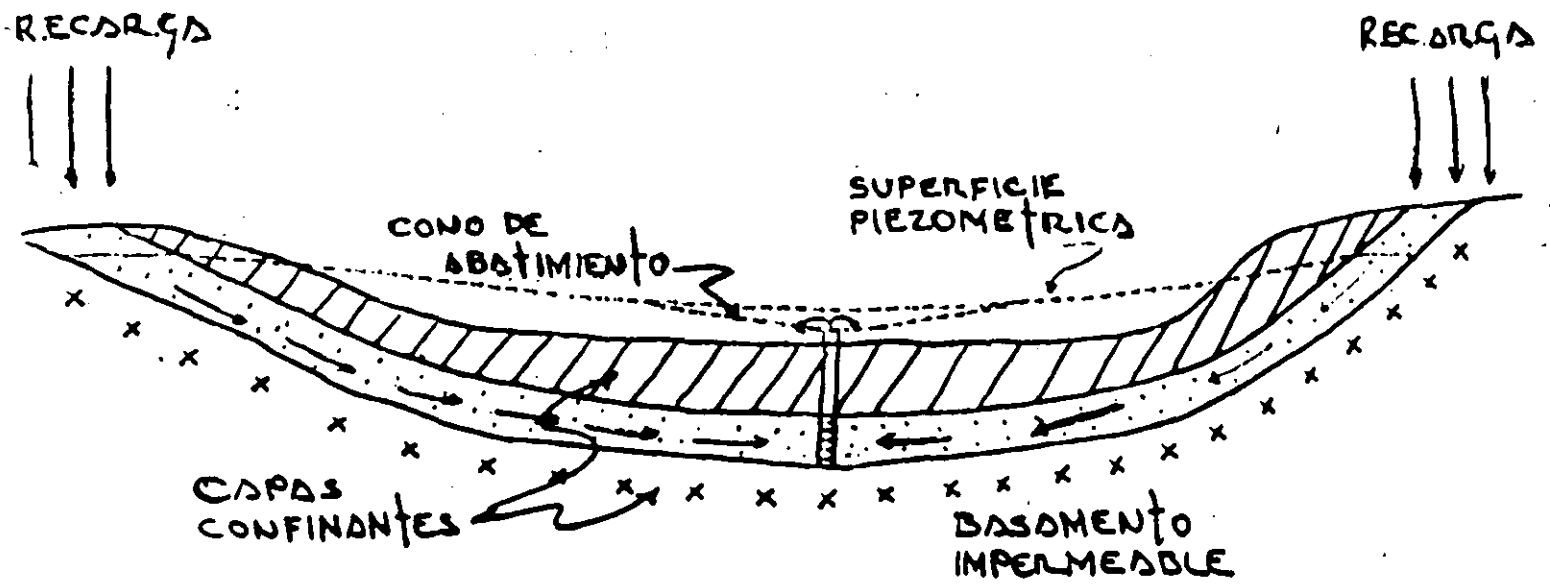
FIG. 8 . ELEVACION INICIAL DEL NIVEL PIEZOMETRICO. m.s.n.m. 1940

## INFORMACION BASICA PARA LA IMPLANTACION DE UN MODELO

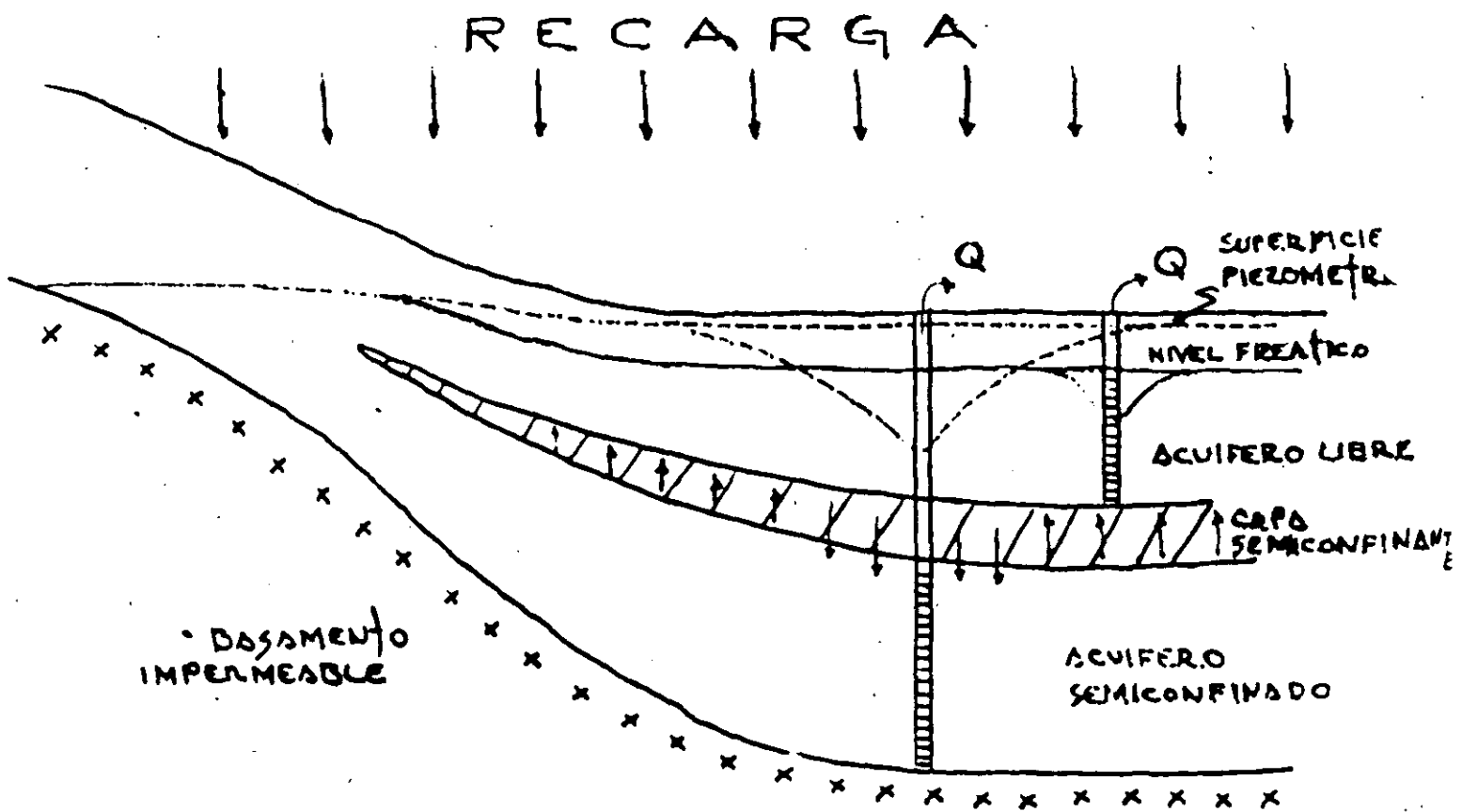
### 3.- CONCEPTUALIZACION

- Modelo Conceptual de Funcionamiento.  
Definición de Entradas y Salidas.
- Distribución de la Lluvia por Periodos.  
Volumen de Lluvia por Celda. Adjudicación de Coeficientes de Infiltración.
- Cálculo del Caudal de Infiltración.
- Infiltración y/o Drenaje de Rios y Arroyos  
Cálculo del Caudal por Celda.
- Definición de Areas de Salidas del Acuífero por Evapotranspiración.
- Volúmenes de Extracción por pozo.  
Cálculo de la Extracción por Celda.  
Separación de Extracciones por Riego, Industrial y Potable. Cálculo de Láminas de Riego y Retornos al Acuífero.
- Piezometría. Red de flujo en Condiciones Iniciales, Intermedias y Actuales. Hidrógrafos de Pozos.  
Evoluciones Piezométricas por Periodos.
- Condiciones de Frontera. Definición de Celdas de no Flujo (inactivas).  
Celdas de Carga Constante. Celdas de Carga Variable. Celdas de Flujo Constante.  
Alimentación por Semiconfinamiento.  
Otras Celdas.

# ACUIFERO CONFINADO

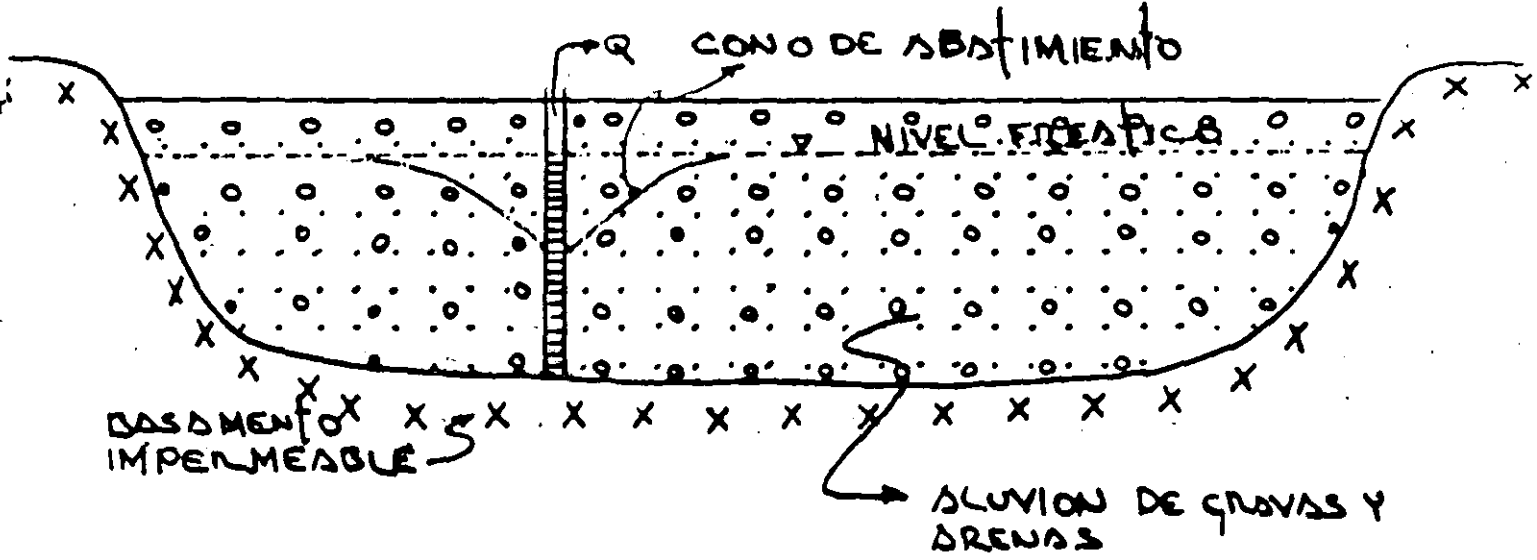


# ACUÍFERO SEMICONFINADO



# ACUIFERO LIBRE

RECARGA



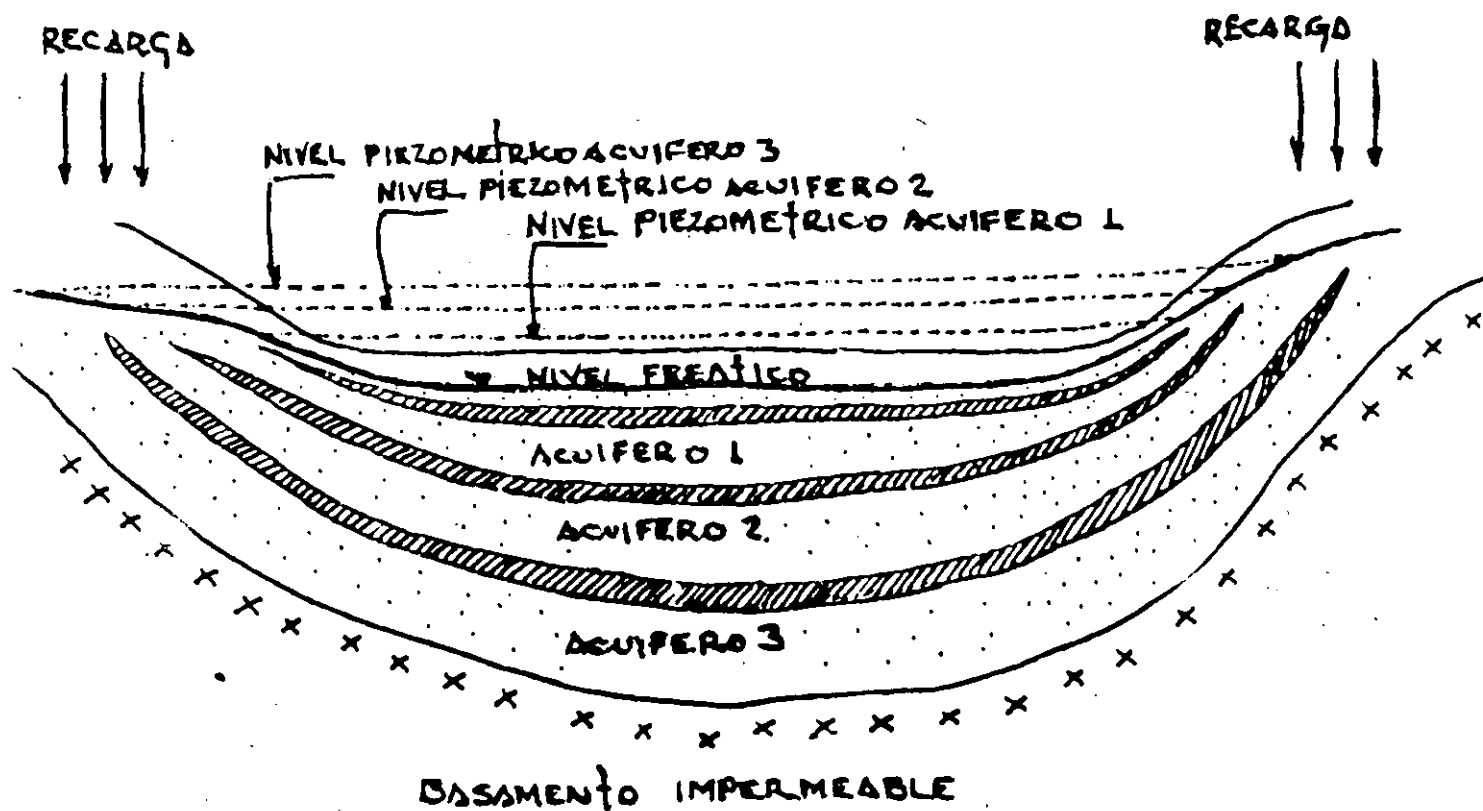
CONO DE ABASTIMIENTO

NIVEL FREATICO

BASAMENTO IMPERMEABLE

DRENAJE DE GRUAS Y DRENAS

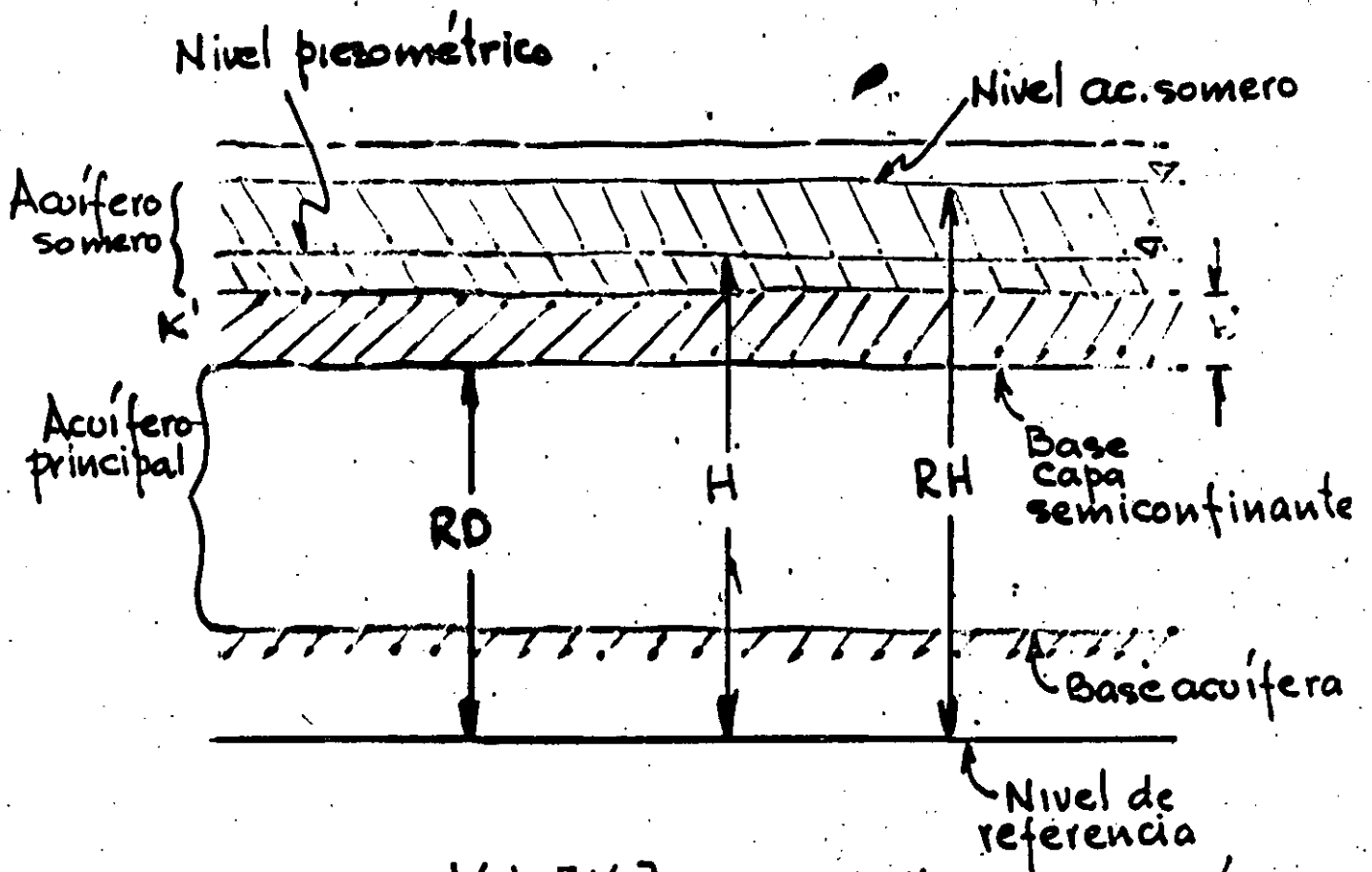
# ACUIFEROS MULTIPLES







# ACUIFERO PARCIALMENTE CONFINADO



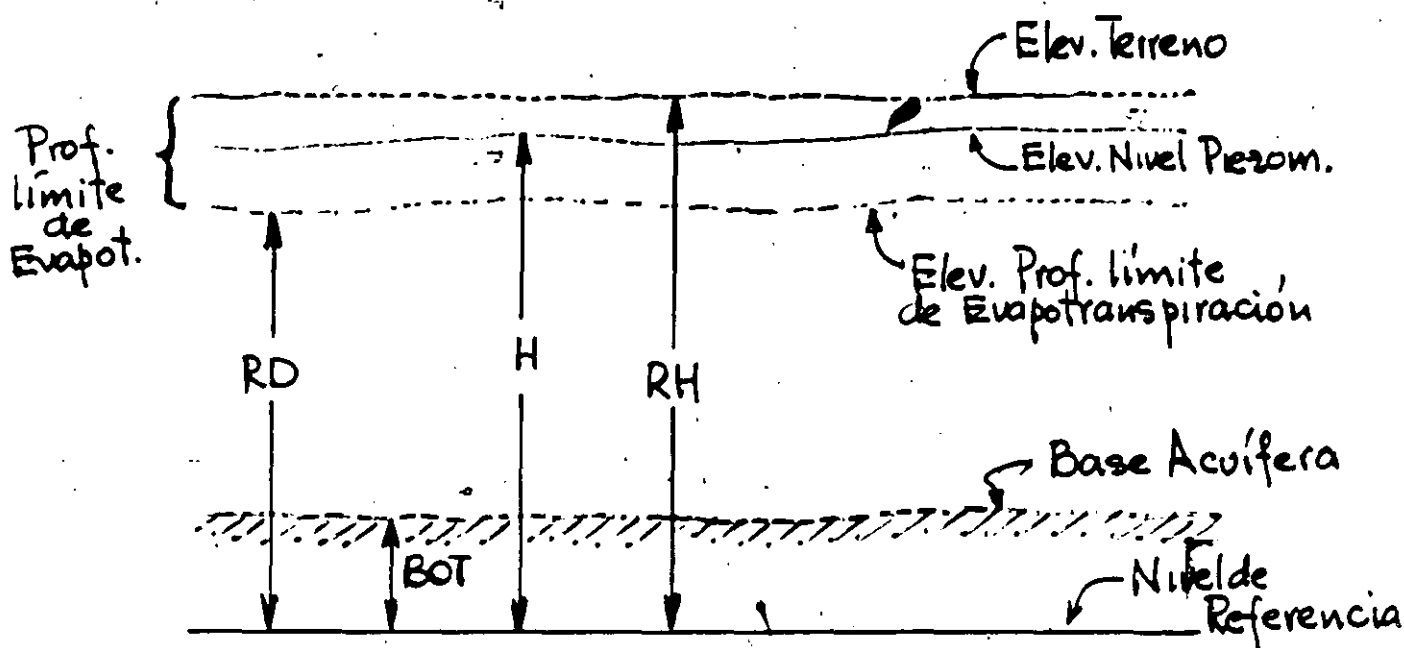
$$R = k'/b' \text{ [1/d]} \text{ Coeficiente de filtración}$$

Filtración vertical:  $F$

$$F = R \cdot (H - R_H) , H > R_0$$

$$F = R \cdot (R_0 - R_H) = \text{cte} , H < R_0$$

# EVAPOTRANSPIRACION



$$R = \frac{\text{Evap. med. diaria (m)/d}}{\text{Prof. límite de Evapot. (m)}} = \left[ \frac{1}{d} \right]$$

$$\text{Evap. media diaria} = \text{Evap. anual} \times 0.75 / 365d$$

## Arreglo Columnas Archivo

I, J, TI, TJ, SC, H, Q, R, RH, RD, BOT, PERMI, PERMJ

↑    ↑    ↑    ↑  
 Q    R    RH    RD

$$Q = \text{Evap. media diaria (m/d)} + \text{Extracción - Recarga}$$



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**  
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**  
CURSOS ABIERTOS

VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MODULO III:  
MODELOS EN GEOHIDROCARBUROS Y CONTAMIANCION DE ACUIFEROS

APLICACION DEL SISTEMA GROUND WATER (GW) COMO UNA  
HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION  
EN EL AGUA SUBTERRANEA

ING. RAUL MEJIA VAZQUEZ

**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM**

**CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE  
ACUIFEROS**

**APLICACION DEL SISTEMA GROUND WATER (GW) COMO UNA  
HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y PREVENCION DE LA  
CONTAMINACION EN EL AGUA SUBTERRANEA.**

**Ing. Raúl Mejía Vázquez**

## **APLICACION DEL SISTEMA GROUND WATER (GW), COMO UNA HERRRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y PREVENION DE LA CONTAMINACION**

Los problemas de contaminación en agua subterráneas son procesos, en principio, catalogados como lentos, esto es cierto en los casos de que el flujo del agua también lo sea, de aquí que tradicionalmente nos enteramos de que un acuífero está contaminado cuando algún pozo de abastecimiento ha sido afectado, cuando esto ha sucedido, con frecuencia resulta tarde para adoptar medidas de remediación. Bajo este principio es común pensar que se requieren períodos largos para conocer la amplitud del problema y en consecuencia se llega a establecer que tardará muchos años más para que fluya y se elimine el contaminante y en ocasiones esto ya no es posible por que existen efectos irreversibles.

En el agua subterránea es primordial identificar y estudiar los mecanismos por los cuales un contaminante puede entrar a los sistemas acuíferos, de acuerdo al tipo de contaminante y su disposición en el suelo o subsuelo (aguas negras, basureros, pesticidas, inyección de residuos, etc.), se debe evaluar el comportamiento y afectación real al recurso hidráulico subterráneo, que dadas las condiciones climatológicas sobre todo del centro y norte de México, revisten una gran importancia por ser la fuente principal de abastecimiento de agua para los diferentes usos.

Los estudios no deben quedarse en la evaluación de la contaminación, es importante también desarrollar predicciones confiables del transporte de los contaminantes dentro de los sistemas de agua subterráneas.

Los procesos físicos que controlan el flujo del soluto son la advección y dispersión hidrodinámica.

El transporte advectivo comprende el movimiento del soluto que se atribuye al transporte debido al flujo del agua, la ecuación que la describe es:

$$dC/dt = -v dc/dx$$

donde:  $v = k/n \cdot dh/dl$

Esto significa que para estratos con litología diferente, existen velocidades de flujo diferentes y por lo tanto el comportamiento del contaminante en general se registra preferencialmente, y dependiendo de la terminación de los pozos, es posible que aún que exista contaminación éste se detecte mucho tiempo después.

Otro proceso importante es la difusión molecular que consiste en un proceso fisico-químico, mediante el cual los constituyentes iónicos o moleculares se mueven bajo la influencia de su actividad cinética en la dirección de su gradiente de concentración. Es decir un soluto de agua se moverá de un área de mayor concentración a uno de menor, esto es independiente del movimiento.

$$F = -Dd dc/dx$$

donde:  $F =$  flujo de masa del soluto por unidad de área por unidad de tiempo.

$Dd =$  Coeficiente de difusión (L<sup>2</sup>/t).

$c =$  Concentración del soluto (M<sup>2</sup>/L<sup>3</sup>).

Se le conoce como dispersión longitudinal aquella que tiene la misma dirección que el flujo, y dispersión transversal aquella que es perpendicular a las líneas de flujo. De aquí se desprende que se debe conocer las velocidades del flujo subterráneo para calcular coeficientes de dispersión.

Existen esencialmente tres métodos para conocer la velocidad del agua subterráneas:

- a.- Técnicas que dependen del uso de la ecuación de Darcy.
- b.- Trazadores artificiales.
- c.- Determinación de edades con isótopos ambientales, ejemplo  $^3\text{H}$  y  $^{14}\text{C}$ .

a.- Para aplicar Darcy se requiere información de la Conductividad Hidráulica, el gradiente hidráulico y la porosidad en la zona de campo en donde se desea conocer o estimar la velocidad y se aplica la ecuación:

$$v = -K/n \cdot dh/dl$$

donde:  $K$  = Conductividad hidráulica (m/día).

$n$  = Porosidad efectiva.

$dh/dl$  = gradiente hidráulico.

Errores al estimar  $K$  y el gradiente, dan como resultado un error asociado a la velocidad.



El método mas directo consiste en introducir un trazador en un punto del flujo y observar su llegada a otro punto. Una vez que se han hecho ajustes por efectos de dispersión, se puede calcular la velocidad del agua a partir de los datos de distancia y tiempo de su recorrido. Dentro de las desventajas se pueden mencionar cuatro fundamentales:

- 1.- Tiempos largos para que el trazador se mueva distancias considerables.
- 2.- Se requieren varios puntos de observación (piezómetros y puntos de monitoreo debido a la heterogeneidad del medio).
- 3.- Solo se muestra una pequeña porción del campo, la cual puede ser no representativa.
- 4.- El campo de flujo puede ser distorsionado significativamente por los sistemas de medición.

En cualquier caso para estimar parámetros hidráulicos y coeficientes de dispersión y difusión, en campo sobre todo, reviste necesariamente una comprensión a detalle del funcionamiento hidrogeológico, que debido a lo escaso de estudios especializados prácticamente no se tiene, sin embargo, la realidad es que existe una gran cantidad de zonas potenciales de contaminar el agua subterráneas.

Por otra parte la investigación especializada sobre contaminación es relativamente cara, por la gran cantidad de puntos de observación y muestreo necesarios para obtener parámetros que permitan incluso llegar a implementar modelos de simulación numérica, y a pesar que se sabe que es mas caro tratar de rehabilitar los acuíferos, aún no existe plena conciencia sobre la importancia de su estudio.

Tal vez el desconocimiento generalizado del funcionamiento aproximado del flujo de agua en el subsuelo, contribuya al escaso interés sobre investigación especializada, y esto es lógico, ya que el punto medular es: ¿que investigar y hacia donde orientar la investigación? de tal forma que no sea tan cara y sobre todo fidedigna para crear conciencia y se tomen medidas preventivas más que medidas correctivas.

Existen realmente pocos programas disponibles al público que traten aspectos relativos al agua subterránea, desde el punto de vista no tan especializados ya que los que existen en el mercado requieren una capacitación particular. En el presente curso se tratarán algunos aspectos que ofrece el programa GROUND WATER, que consiste en una serie de programas desarrollados por el Departamento Técnico de la Organización de Naciones Unidas (ONU), en cooperación de la División para el Desarrollo de los Recursos naturales y Energía del "Water Resource Branch, Nueva York".

Es necesario aclarar que cualquier programa, sencillo o sofisticado, como los modelos de simulación numérica, son realmente una herramienta para facilitar los estudios y orientar las actividades.

El programa de Ground water trata diversos temas, especialmente el de hidrogeoquímica y de hidráulica subterránea, así como la posibilidad de manejar pozos con información litológica y secciones acompañado de salidas gráficas, que reúne en conjunto una posibilidad de conceptualizar el funcionamiento de sistemas hidrogeológicos.

Well No. <b>H1</b>	Location: <b>CICA</b>	
Elevation: <b>330.5</b>	x = <b>6000</b>	y = <b>200</b>
Method of Drilling: <b>PERCUSION</b>		
Drilling Dates : <b>16.2.87-9.3.87</b>		
Total Depth : <b>203.00</b>		
Comments : <b>PERFORACION 16", ADEME, 10", TUBERIA RANURADA JONS</b>		

**W E L L L O G**

SCREEN	DEPTH	LOG	LITHOLOGY
			ARCILLA
	11		
	20		ARENA
	22		
	40		ARCILLA CON HORIZONT
	43		
	60		GRAVA CON ARCILLA
	68		
	80		ARCILLA
	100		
	103		
	120		Gravel
	134		
	140		Clay
	152		
	160		ARCILLA CON ARENA Y
	173		
	180		GRAVA Y ARENA CON HO
	198		Clay
	203		

Date: **3-4.4.87**  
 Capacity: **111 l/SEG**  
 Duration: **20 HR**  
 Transmiss.: **1250 m<sup>2</sup>/dia**  
 Method: **THEIS**  
 SWL: **8.75 m**  
 DWL: **13.20**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS**

**IV CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**MODULO III:  
MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**I. EL METODO DE DIFERENCIAS FINITAS**

**ING. GUILLERMO HERNANDEZ G.**

# 1. El Método de Diferencias Finitas

El Método consiste en una aproximación de derivadas parciales por expresiones algebraicas envolviendo los valores de la variable dependiente en un limitado número de puntos seleccionados.

Como resultado de la aproximación, la ecuación diferencial parcial que describe el problema es reemplazada por un número finito de ecuaciones algebraicas, escritas en términos de los valores de la variable dependiente en puntos seleccionados. Las ecuaciones son lineales si las ecuaciones diferenciales parciales son también lineales.

El valor de los puntos seleccionados se convierten en las incógnitas, en vez de la distribución espacial continua de la variable dependiente. El sistema de ecuaciones algebraicas debe ser resuelto y puede envolver un número largo de operaciones aritméticas.

Antiguamente todos estos cálculos eran realizados manualmente, o por el uso de dispositivos mecánicos. En la actualidad, con el advenimiento de las computadoras electrónicas las operaciones son ejecutadas por medio de un programa de cómputo.

## 1.1. Flujo Estable

Para mostrar este método vamos a considerar el caso de flujo bi-dimensional de un fluido en un acuífero homogéneo, isotrópico confinado, sin fuentes o sumideros. Para este caso, el flujo es descrito por la ecuación de Laplace:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0. \quad (1.1.1)$$

Esta ecuación debe ser satisfecha en todos los puntos dentro del dominio  $R$  del acuífero considerado. En la frontera de  $R$  el nivel del agua,  $h$ , debe satisfacer ciertas condiciones de frontera. Vamos a asumir que las condiciones de frontera son:

$$\text{en } S_1: \quad h = f, \quad (1.1.2)$$

$$\text{en } S_2: \quad Q_n = -T \frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad (1.1.3)$$

donde  $S_1$  y  $S_2$  son partes complementarias de la frontera, las cuales juntas forman la frontera total de la región  $R$ . En la primera la altura del nivel es prescrito y en la segunda la frontera es impermeable.

Una retícula de cuadrados es trazada sobre la región  $R$  (figura 1.1). El valor de la variable  $h$  en un punto nodal de la retícula, o nodo, es expresada como  $h_{i,j}$ , donde  $i$  indica la posición de una línea vertical de la retícula (la *columna*), y  $j$  la línea horizontal de la retícula ( el *renglón*).

En general, la aproximación de la primera derivada con respecto a  $x$  de una función  $F(x,y)$ , es dada por:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \approx \frac{F(x + \Delta x, y) - F(x, y)}{\Delta x} \quad (1.1.4)$$

esta se dice que es la aproximación de *diferencia finita hacia adelante* de la derivada parcial.

La *diferencia finita hacia atrás* es obtenida de la forma siguiente:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \approx \frac{F(x, y) - F(x - \Delta x, y)}{\Delta x} \quad (1.1.5)$$

Existen pequeñas diferencias entre las dos aproximaciones. La *diferencia finita central* es a menudo más exacta:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \approx \frac{F(x + \frac{1}{2} \Delta x, y) - F(x - \frac{1}{2} \Delta x, y)}{\Delta x} \quad (1.2.6)$$

La segunda derivada es la derivada de la primera derivada; y si utilizamos una aproximación de diferencia finita central, obtendremos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} &\approx \frac{F(x + \Delta x, y) - 2F(x, y) + F(x - \Delta x, y)}{(\Delta x)^2} \\ &= \frac{F_{i+1,j} - 2F_{i,j} + F_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} \end{aligned} \quad (1.1.7)$$

La fórmula se ilustra en la figura 1.2, donde la función mostrada tiene segunda derivada positiva, por el incremento de la pendiente en la dirección  $x$ .

La aplicación de (1.1.7) a las derivadas parciales el (1.1.1) nos da la aproximación del operador de Laplace. Si por razones de simplicidad se asumen intervalos iguales en las direcciones de  $x$  e  $y$ :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \approx \frac{h_{i,j-1} + h_{i,j+1} + h_{i-1,j} + h_{i+1,j} - 4h_{i,j}}{\Delta^2} \quad (1.1.8)$$

como la parte izquierda de la ecuación se reduce a cero según lo indica la ecuación diferencial básica (1.1.1), se puede hacer la aproximación requiriendo que:

$$h_{i,j} = \frac{1}{4}(h_{i,j-1} + h_{i,j+1} + h_{i-1,j} + h_{i+1,j}) \quad (1.1.9)$$

Los nodos en la frontera requieren atención especial para acomodar las condiciones de frontera. Una posible condición de frontera es la *condición de Dirichlet* (1.1.2), la cual establece que el nivel del agua subterránea sea el especificado a lo largo de parte de la frontera. En este caso ésta se prescribe *a priori* y ya no es una incógnita.

En un nodo de una frontera impermeable, a lo largo de la cual una condición de *frontera de Neumann* (1.1.3) es aplicada, el nivel es una incógnita y la ecuación para ese nodo debe reflejar la condición de no flujo en la frontera.

Para un nodo en una frontera vertical esto puede ser expresado por la condición de que  $h_{i-1,j} = h_{i+1,j}$ . La sustitución en el algoritmo general nos da:

$$h_{i,j} = \frac{1}{4}(2h_{i,j+1} + h_{i-1,j} + h_{i+1,j}) \quad (1.1.10)$$

Un ejemplo simple de una región rectangular es mostrada en la figura 1.3. A lo largo del límite superior el nivel se especifica como 100. En la esquina inferior izquierda es especificado el nivel cero. La estimación inicial para los nodos con valor desconocido se considera con el valor promedio de 50.

En la primera parte de la figura se muestran las condiciones iniciales. Estas no satisfacen la ecuación (1.1.9). Son corregidas aplicando la aproximación en una siguiente *iteración* del programa, y el resultado se muestra en la parte central de la figura. Tampoco se satisface la ecuación (1.1.9).

Después de un número dado de iteraciones, en cada una de las cuales todos los valores son actualizados, la solución correcta es obtenida y representada en la parte derecha de la figura.

El método descrito es denominado de *relajación*, porque en cada paso los errores son relajados. En terminología matemática el método de relajación es también conocido como el *método de Gauss-Seidel*.

Como un ejemplo, el programa BV9-1 puede ser utilizado para resolver el problema ilustrado en la figura 1.4. En esa figura las condiciones de frontera son un nivel prescrito de  $h = 1$ , a lo largo de las fronteras superior y derecha y un nivel dado de  $h = 0$ , en la esquina inferior izquierda.

El programa inicia preguntando el número de líneas en las direcciones  $x$  e  $y$ ; aquí el número 6 debe ser dado. A continuación el programa pregunta las coordenadas  $x$  de las líneas verticales; ese debe responder 0, 1, 2, 4, 8, 16, sucesivamente. Para las coordenadas en  $y$ , la respuesta debe ser la misma secuencia. A continuación las condiciones de frontera deben ser dadas. Para el caso de la figura 1.4 existen 12 nodos que especificar; por ejemplo, para  $i=1, j=1: h=0$ , para  $i=6, j=6: h=1$ , etc.

Los datos de salida para 36 iteraciones para los nodos en la frontera impermeable son:

$h = 0.000, 0.363, 0.530, 0.686, 0.839, 1.000.$

## 1.2. Flujo no estable.

La ecuación diferencial parcial básica para flujo no estable en un acuífero homogéneo e isotrópico, con la posibilidad de suministro de agua por infiltración, puede ser escrita como:



$$S \frac{\partial h}{\partial t} = T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + I \quad (1.2.1)$$

donde  $I$  es una función fuente, representando la infiltración (negativa para evapotranspiración).  $T$  es la transmisividad y  $S$  es el almacenamiento. La formulación completa requiere especificar condiciones de frontera e iniciales como en el caso de flujo estable. En parte de la frontera el nivel es dado y en el resto es impermeable, esto es,

$$\text{en } S_1: \quad h = f, \quad (1.2.2)$$

$$\text{en } S_2: \quad Q_n = -T \frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad (1.2.3)$$

Las condiciones iniciales son:

$$t = 0: \quad h = h^0 \quad (1.2.4)$$

donde,  $h^0$  es una función conocida, especificada a través de todo el dominio  $R$ .

La derivada en el tiempo es aproximada por una diferencia finita hacia adelante, porque el problema es predecir los valores futuros de los niveles a partir de los valores iniciales. Por lo tanto, se introduce la aproximación:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h'_{i,j} - h_{i,j}^0}{\Delta t} \quad (1.2.5)$$

donde  $\Delta t$  es la magnitud del paso de tiempo y  $h'$  es el valor del nivel al final del paso de tiempo.

### 1.2.1. Método explícito.

La opción de aproximación más simple de las derivadas espaciales es asumir que en (1.1.8) todos los valores de niveles se consideran en el inicio del tiempo. Después de la sustitución de varias aproximaciones en (1.2.1) se obtiene

$$h'_{i,j} = h_{i,j}^0 + I\Delta t / S + \alpha (h_{i-1,j}^0 + h_{i+1,j}^0 - 2h_{i,j}^0) + \beta (h_{i,j-1}^0 + h_{i,j+1}^0 - 2h_{i,j}^0) \quad (1.2.6)$$

donde las constantes se definen por:

$$\alpha = T\Delta t / [S(\Delta x)^2] \quad (1.2.7)$$

$$\beta = T\Delta t / [S(\Delta y)^2] \quad (1.2.8)$$

La ecuación (1.2.6) expresa el nuevo valor del nivel en términos de valores iniciales en ese nodo y en sus vecinos inmediatos. Como todos estos valores son conocidos el proceso es llamado *explícito*.

El programa BV9-2 se puede usar considerando el ejemplo de una región cuadrada de dimensiones 100 m. por 100 m., teniendo una transmisividad  $T = 10$  m/d, un almacenamiento  $S = 0.4$  y una infiltración de 0.001 m/d. Para este caso el programa propone un paso de tiempo de un día.

Una posible malla para el problema se muestra en la parte izquierda de la figura 1.5. El orden en el cual los datos deben ser introducidos es: 100, 10, 100, 10, 0, 0.001, 10, 0.4, 1, 100. El resultado para el nivel en el centro como función del tiempo se muestra en la parte derecha de la figura.

### 1.2.2. Método implícito.

Como una aproximación alternativa, podemos tomar la derivada espacial al final del paso de tiempo, a la mitad del paso de tiempo, o en general, en algún punto intermedio:

$$h_{i,j} = \varepsilon h_{i,j}^0 + (1 - \varepsilon) h'_{i,j} \quad (1.2.9)$$

donde  $\varepsilon$  es un parámetro de interpolación de valor entre 0 y 1. Cuando  $\varepsilon = 0$  el valor de  $h_{i,j}$  equivale al valor al final del paso del tiempo,  $h'_{i,j}$ . En ese caso la aproximación de la ecuación básica (1.2.1) es:

$$h'_{i,j} = h_{i,j}^0 + I\Delta t / S + \alpha(h'_{i-1,j} + h'_{i+1,j} - 2h'_{i,j}) + \beta(h'_{i,j-1} + h'_{i,j+1} - 2h'_{i,j}) \quad (1.2.10)$$

Esta es la ecuación para el método completamente implícito. El uso del método iterativo de Gauss-Seidel, sugiere que se puede utilizar para formular la ecuación en la forma:

$$h'_{i,j} = [h_{i,j}^0 + I\Delta t / S + \alpha(h'_{i-1,j} + h'_{i+1,j}) + \beta(h'_{i,j-1} + h'_{i,j+1})] / (1 + 2\alpha + 2\beta) \quad (1.2.11)$$

El proceso iterativo definido por el algoritmo (1.2.11) produce un número de cálculos por paso de tiempo mayores comparados con el método explícito. Sin embargo, esto es balanceado por el hecho de que el proceso es estable para todos los tamaños del paso de tiempo. Así, éstos pueden ser más largos cuando el proceso se hace más lento.

El programa BV9-3 realiza los cálculos para el método completamente implícito. Para resolver el problema ilustrado en la figura 9.5, los datos de entrada deben ser: 100, 10, 100, 10, 0, 0.001, 10, 0.4, 1, 10, 20, 1.5, si el número de iteraciones en cada paso de tiempo es 20 y el factor de relajación es 1.5.

Si en lugar de tomar  $\varepsilon = 0$ , se toma  $\varepsilon = 1/2$ , resultará una formulación más exacta conocida como el *Esquema Crank-Nicholson*, ésta es muy exacta e incondicionalmente estable. El método completamente implícito tiene la importante ventaja de que también puede ser usado para estudiar problemas de flujo estable.

## 1.3 Convergencia y Estabilidad

### 1.3.1 Convergencia

La condición de convergencia es difícil de verificar, ya que esta condición establece que la solución de la ecuación numérica se aproxima a la solución con ecuación diferencial parcial original si todos los intervalos finitos tienden a cero. Esto puede ser demostrado en forma general en algunos casos simples, como los problemas en una dimensión, para los cuales la solución numérica puede ser expresada en forma cerrada. En muchas aplicaciones en la práctica de ingeniería, es imposible probar la convergencia en forma rigurosa. De allí que es usualmente considerado suficiente si el procedimiento numérico ha sido verificado con respecto a una variedad de soluciones analíticas.

### 1.3.2 Estabilidad

Una condición necesaria para la convergencia es que los errores, por ejemplo los debidos al redondeo, no se incrementen con el tiempo. Esta es la llamada la *condición de estabilidad*. Es una condición tan importante que implica ciertas restricciones al tamaño del paso de tiempo en un proceso explícito.

El primer caso a considerar es el método explícito para problemas de flujo inestable descrito en (1.2.6),

$$h'_{i,j} = h^0_{i,j} + I\Delta t / S + \alpha(h^0_{i-1,j} + h^0_{i+1,j} - 2h^0_{i,j}) + \beta(h^0_{i,j-1} + h^0_{i,j+1} - 2h^0_{i,j}) \quad (1.3.1)$$

donde las  $\alpha$  y  $\beta$  se definen por:

$$\alpha = T\Delta t / [S(\Delta x)^2] \quad (1.3.2)$$

$$\beta = T\Delta t / [S(\Delta y)^2] \quad (1.3.3)$$

Como el sistema de ecuaciones es lineal, es suficiente investigar la propagación de la distribución del error, considerado como la desviación de la solución particular  $h = 0$  de la ecuación homogénea (con  $I = 0$ ). Para acentuar el efecto se asume que en cierto tiempo los errores son:

$$h^0_{i-1,j} = h^0_{i+1,j} = h^0_{i,j-1} = h^0_{i,j+1} = -\varepsilon, \quad h^0_{i,j} = \varepsilon$$

$$\text{de (1.3.1), } h'_{i,j} = (1 - 4\alpha - 4\beta)\varepsilon. \quad (1.3.4)$$

Para que los errores no crezcan, este resultado debe ser menor que  $\varepsilon$ , y mayor que  $-\varepsilon$ . De otra manera cada error será mayor que el previo y crecerá sin límite en el tiempo. Con (1.3.2) y (1.3.3) esto conduce a la siguiente condición para el valor del paso de tiempo  $\Delta t$

$$0 < \Delta t < \frac{1}{2} \frac{S}{T} \frac{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2}{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}. \quad (1.3.5)$$

El proceso implícito presentado en la sección 1.2 es incondicionalmente estable, lo cual significa que para todos los valores (positivos) del paso de tiempo, los errores se disiparán con el tiempo. Esto puede ser demostrado probando que la amplitud de cualquier componente de una serie de Fourier decrecerá con el tiempo. El caso Más simple es el del equivalente en una dimensión de la ecuación (1.2.10), en ausencia de infiltración,

$$h'_{i,j} = h_{i,j}^0 + \alpha (h'_{i-1,j} + h'_{i+1,j} - 2h'_{i,j}) \quad (1.3.6)$$

Ahora considérese un componente del error, el cual puede ser descrito por

$$h^0 = A \exp(i\omega x), \quad h' = B \exp(i\omega x) \quad (1.3.7)$$

donde  $\omega$  es la frecuencia de esta componente de la representación en series de Fourier del error,  $A$  es su amplitud inicial, y  $B$  es su amplitud después del paso de tiempo. Substituyendo (1.3.7) en (1.3.6) nos da

$$\frac{A}{B} = 1 + 2\alpha [1 - \cos(\omega \Delta x)]. \quad (1.3.8)$$

Este cociente es siempre mayor que 1, para todos los valores de la frecuencia  $\omega$  o de la dimensión de tiempo  $\alpha$ , sin dimensiones. De aquí podemos concluir que el proceso es siempre estable.

El criterio de estabilidad (1.3.5) ha sido incorporado en el programa BV9-2, donde es usado para sugerir al usuario un valor para el paso de tiempo. En el programa BV9-3, es usado para sugerir un valor para el primer paso de tiempo.

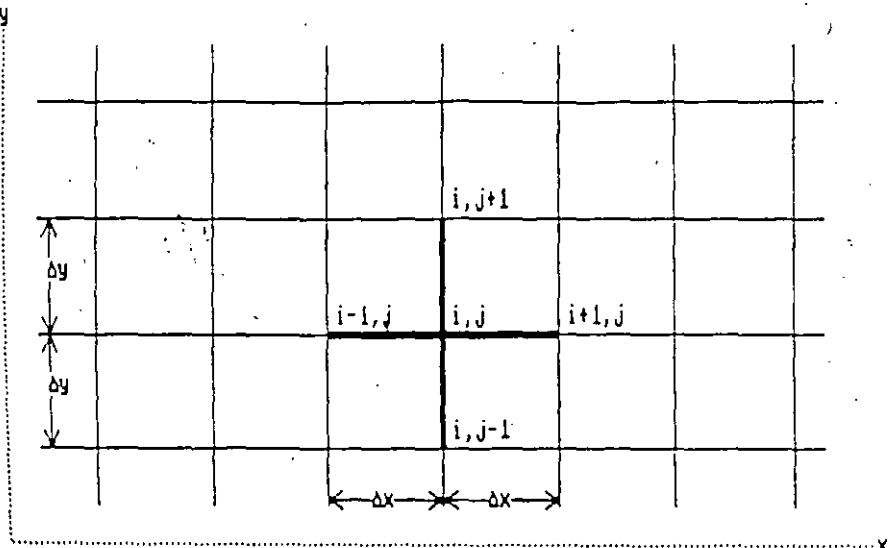


Figura 1.1. Malla rectangular

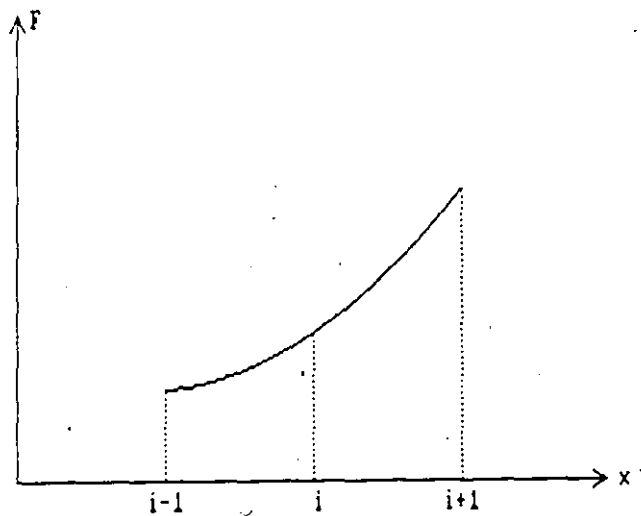


Figura 1.2. Aproximación de segunda derivada

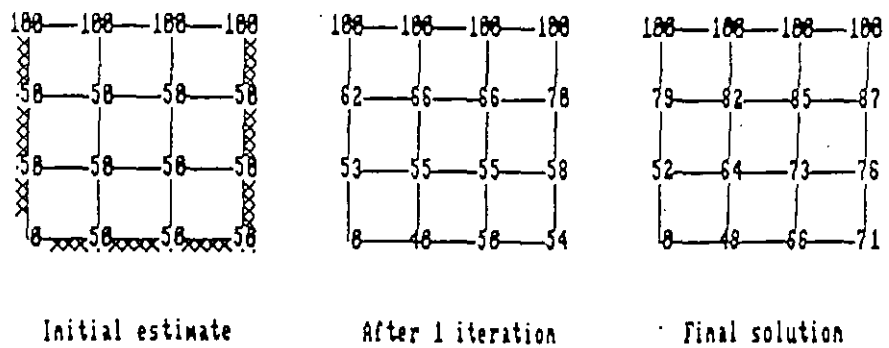


Figura 1.3. Ejemplo del método de diferencias finitas

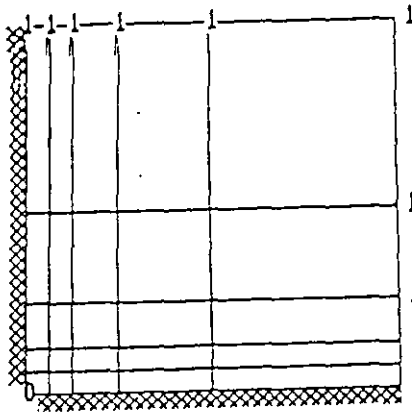


Figura 1.4. Ejemplo resuelto por el método de diferencias finitas

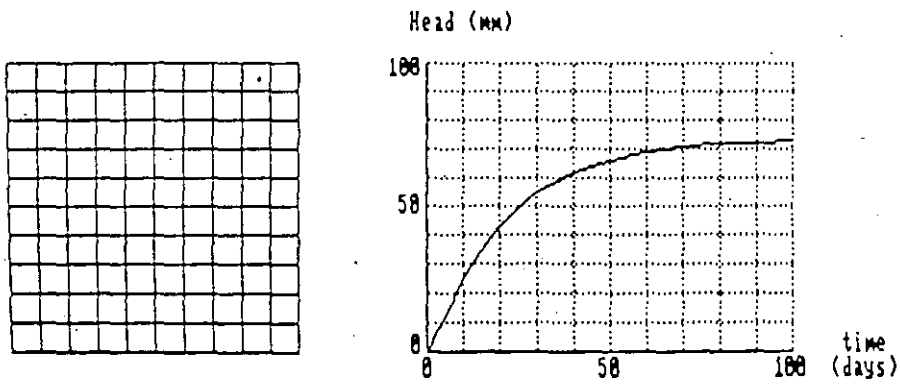


Figura 1.5. Ejemplo de resultados obtenidos pro el programa BV9-2

## 2. El Método de Elemento Finito

### 2.1. Flujo estable.

Considérese flujo estable de agua subterránea en el acuífero de transmisividad  $T$ , mostrado en la figura 2.1. El acuífero es freático, con flujo desde el acuífero inferior, éste con un nivel conocido. La ecuación diferencial básica puede ser escrita como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + I - \frac{h-h'}{c} = 0 \quad (2.1.1)$$

donde  $I$  es la infiltración,  $h$  es el nivel en el acuífero,  $h'$  es el nivel del acuífero inferior conocido,  $c$  es la resistencia del material separando los dos acuíferos. El último término representa el flujo de infiltración hacia el acuífero. La transmisividad del acuífero superior es  $T=kb$ , donde  $k$  es conductividad y  $b$  es el espesor de la capa de agua.

La ecuación debe satisfacerse en una región  $R$  en el plano  $x$ - $y$ . Las condiciones de frontera especificadas son

$$\text{en } S_1: \quad h = f, \quad (2.1.2)$$

$$\text{en } S_2: \quad T \frac{\partial h}{\partial n} = qb \quad (2.1.3)$$

En el método de elemento finito la  $R$ , en la cual se da el flujo, es subdividida en un gran número de pequeños elementos, en los que el nivel de agua subterránea es aproximado por alguna función simple. La forma más simple de subdividir la región es mediante el uso de elementos triangulares (Figura 2.2).

Las formas más simples de aproximar las variaciones de nivel dentro de un elemento triangular es asumiendo que el nivel varía linealmente en cada elemento (Figura 2.3). La superficie generada definida por los valores nodales, es una superficie continua; las pendientes son discontinuas a través de las fronteras de los elementos. El nivel del agua subterránea en un punto dentro de un elemento es definido por una interpolación lineal entre los valores en los puntos de la malla o nodos.

Formalmente, el nivel piezométrico  $h$  a través de la región puede ser expresado por

$$h = \sum_{i=1}^n N_i(x,y)h_i \quad (2.1.4)$$

donde  $h_i$  es el nivel del nodo  $i$  y  $N_i$  es una función base definida por

$$N_j = 1, \text{ si } j = i, \quad N_j = 0, \text{ si } j \neq i \quad (2.1.5)$$

con interpolación lineal dentro de cada elemento. Una función base típica es mostrada en la figura (2.4).

La función de interpolación también puede ser usada para el nivel conocido en el acuífero inferior y se puede escribir como:

$$h' = \sum_{i=1}^n N_i(x, y) h_i' \quad (2.1.6)$$

En general, la aproximación (2.1.4) no satisfará exactamente la ecuación diferencial parcial (2.1.1). Esta condición es relajada requiriendo que la ecuación diferencial se satisfaga sólo en el promedio, usando un número de funciones de peso, igual al número de incógnitas. Este es llamado el *método de residuos pesados*.

Lo más conveniente es usar las funciones base también como funciones de peso, éste es el *Métodos de Galerkin*. Lo anterior conduce a las siguientes condiciones:

$$\int_R \left\{ \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + I - \frac{h-h'}{c} \right] N_i \right\} dx dy = 0 \quad (2.1.7)$$

$(i \in C)$

que deben ser satisfechas para cada valor de  $i$ , para el cual  $h_i$  es desconocida. La integral en (2.1.7) puede ser separada en dos partes:

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] N_i = \frac{\partial}{\partial x} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial y} \right) - T \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} - T \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.1.8)$$

sustituyendo (2.1.8) en (2.1.7), junto con (2.1.4) y (2.1.6), nos da:

$$J_1 + J_2 + J_3 = 0 \quad (i \in C) \quad (2.1.9)$$

donde,  $J_1$ ,  $J_2$  y  $J_3$  son tres integrales definidas por:



$$J_1 = \int_r \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} dx dy \quad (2.1.10)$$

$$J_2 = - \int_R \left\{ T \sum_j h_j \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy \quad (2.1.11)$$

$$J_3 = \int_R \left\{ IN_i - \frac{1}{c} \sum_j N_i N_j (h_j - h'_j) \right\} dx dy \quad (2.1.12)$$

La sumatoria en la segunda y tercera integrales, debe ser ejecutada sobre todos los valores de  $j$  desde 1 hasta  $n$ , donde  $n$  es el número de nodos. La ecuación (2.1.9) es la ecuación básica del método de elementos finitos. Cada una de las integrales va a ser evaluada separadamente.

### 2.1.1. La primera integral.

La primera integral, expresada por (2.1.10), puede ser transformada en una integral de línea a lo largo de la frontera  $S$  de la región  $R$  por el *Teorema de la Divergencia* (o *Teorema de Gauss*). Esto nos da

$$J_1 = \int_r \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} dx dy = \int_s \left\{ N_i T \frac{\partial h}{\partial n} \right\} dS \quad (i \in C) \quad (2.1.3)$$

Los valores de  $i$  son restringidos a los números de nodo donde el nivel es desconocido, los valores de  $i$  para los puntos en los segmentos de frontera  $S_1$  son excluidos. Así, la integral en la parte derecha de la ecuación se restringe a valores localizados en la frontera  $S_2$ .

El valor de la función de suministro a lo largo de un elemento de frontera es  $q_k b$  y la longitud de tal parte de la frontera es  $L_k$ . A lo largo de dos segmentos de línea el valor promedio de  $N_i$  es  $1/2$  y la integral será la suma de dos valores, uno en la izquierda y otro en la derecha del nodo  $i$ . Esta suma será denotada por  $Q_i$ . Físicamente esto significa que el agua total suministrada a lo largo de un elemento de frontera es atribuida a los dos nodos en sus extremos. Por lo tanto:

$$J_1 = \int_r \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} dx dy = Q_i \quad (i \in C) \quad (2.1.14)$$

$$Q_i = \frac{1}{2} q_k b L_k \quad (2.1.15)$$

### 2.1.2. La segunda integral.

La segunda integral puede ser definida formalmente como:

$$J_2 = - \int_R \left\{ T \sum_j h_j \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy = - \sum_j P_{ij} h_j \quad (2.1.16)$$

donde la sumatoria del lado derecho es sobre los elementos  $R_p$  incluidos en el dominio  $R$ , donde

$$P_{ij} = \int_{R_p} \left\{ T \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy \quad (i \in C) \quad (2.1.17)$$

para evaluar esta integral, se toma en cuenta que las contribuciones a esta integral solo existen si el elemento  $R_p$  contiene ambos nodos  $i$  y  $j$ . Si uno u otro nodo no pertenece a este elemento la función base se hace cero y de esta manera no hay contribución a la integral. Así nos podemos restringir a elementos que contengan a ambos nodos.

Como las funciones base son lineales podemos escribir:

$$N_i(x, y) = p_i x + q_i y + r_i, \quad N_j(x, y) = p_j x + q_j y + r_j \quad (2.1.18)$$

donde los coeficientes  $p_i, p_j$ , etc., son constantes. Si los tres nodos  $R_p$  son denominados por  $j, k$  y  $l$  (donde  $i$  puede ser cualquiera de ellos), entonces  $N_j$  debe ser 1 en el nodo  $j$ , y 0 en los nodos  $k$  y  $l$ , por lo tanto:

$$p_j x_j + q_j y_j + r_j = 1, \quad p_j x_k + q_j y_k + r_j = 0, \quad p_j x_l + q_j y_l + r_j = 0$$

este es un sistema de ecuaciones simultáneas con tres incógnitas. la solución a este sistema es:

$$p_j = b_j / D, \quad q_j = c_j / D, \quad r_j = d_j / D \quad (2.1.19)$$

donde

$$\begin{aligned} b_j &= y_k - y_l, & b_k &= y_l - y_j, & b_l &= y_j - y_k \\ c_j &= x_l - x_k, & c_k &= x_j - x_l, & c_l &= x_k - x_j \\ d_j &= x_k y_l - x_l y_k, & d_k &= x_l y_j - x_j y_l, & d_l &= x_j y_k - x_k y_j \\ D &= x_j b_j + x_k b_k + x_l b_l \end{aligned} \quad (2.1.20)$$

La cantidad  $D$  es el determinante del sistema de ecuaciones. Para la evaluación de la integral (2.1.17) las cantidades necesarias son:

$$\frac{\partial N_i}{\partial x} = p_i, \quad \frac{\partial N_j}{\partial x} = p_j, \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} = q_i, \quad \frac{\partial N_j}{\partial y} = q_j$$

Si asumimos que la transmisividad  $T$  es constante,  $T_p$  a través del elemento  $R_p$ , entonces obtenemos:

$$P_{ij} = T_p A_p \{b_i b_j + c_i c_j\} / D^2$$

donde  $A_p$  es el área del elemento  $R_p$ , cuya fórmula alternativa es  $A_p = \frac{1}{2}|D|$ . La expresión formal para los coeficientes  $P_{ij}$  es:

$$P_{ij} = \frac{T_p}{2|D|} \{b_i b_j + c_i c_j\} \quad (2.1.21)$$

sustituyendo (2.1.21) en (2.1.16) da, para la segunda integral:

$$J_2 = -\sum_j P_{ij} h_j \quad (i \in C) \quad (2.1.22)$$

donde los coeficientes  $P_{ij}$  son definidos por (2.1.21).

### 2.1.3. La Tercera Integral.

La tercera integral definida por (2.1.12), puede ser considerada en dos partes. La primera es la integral de la infiltración  $I$ ,

$$J_{3-1} = \int_R \{IN_i\} dx dy \quad (i \in C) \quad (2.1.23)$$

La integral sobre un elemento  $R_p$ , expresa el promedio del producto  $I_p N_i$  en ese elemento, multiplicada por el área del elemento. Como  $I_p$  es constante, el promedio de  $N_i$  es  $1/3$ , y el área del elemento triangular es  $\frac{1}{2}|D|$  la primera parte de la tercera integral es:

$$J_{3-1} = I_p |D| / 6 \quad (i \in R_p) \quad (2.1.24)$$

Físicamente significa que la infiltración del elemento  $\frac{1}{2}I_p |D|$ , es distribuida en los tres nodos del elemento triangular. Se puede también escribir:

$$J_{3-1} = Q_i \quad (i \in C) \quad (2.1.25)$$

donde  $Q_i$  ahora representa la parte de la infiltración atribuible al nodo  $i$ . Para los elementos para los cuales el elemento  $i$  pertenece tenemos:

$$Q_i = I_p |D| / 6 \quad (i \in R_p) \quad (2.1.26)$$

La segunda parte de la tercera integral es:

$$J_{3-2} = -\int_R \left\{ \frac{1}{C} \sum_j N_i N_j (h_j - h'_j) \right\} dx dy \quad (i \in C) \quad (2.1.27)$$

para el elemento  $R_p$ , separando los factores constantes tenemos:

$$J_{3-2} = -\sum_j \frac{1}{c_p} (h_j - h'_j) \int_{R_p} \{N_i N_j\} dx dy \quad (i \in C) \quad (2.1.28)$$

$$N_i(x, y) = p_i x + q_i y + r_i, \quad N_j(x, y) = p_j x + q_j y + r_j$$

Estas integrales toman la forma más simple si el origen de las coordenadas coincide con el centroide del elemento, y si esto se asume no se pierde generalidad. En este caso el momento de área de primer orden se elimina:

$$\int_{R_p} x dx dy = 0, \quad \int_{R_p} y dx dy = 0 \quad (2.1.29)$$

El momento de segundo orden puede ser expresado como:

$$\begin{aligned} \int_{R_p} x^2 dx dy &= \{x_j^2 + x_k^2 + x_l^2\} |D| / 24 = \frac{1}{2} |D| Z_{xx}, \\ \int_{R_p} y^2 dx dy &= \{y_j^2 + y_k^2 + y_l^2\} |D| / 24 = \frac{1}{2} |D| Z_{yy}, \\ \int_{R_p} xy dx dy &= \{x_j y_j + x_k y_k + x_l y_l\} |D| / 24 = \frac{1}{2} |D| Z_{xy} \end{aligned} \quad (2.1.30)$$

Usando (2.1.19), (2.1.29) y (2.1.30), la integral (2.1.28) puede ser escrita como:

$$J_{3-2} = -\sum_j R_j (h_j - h'_j) \quad (2.1.31)$$

donde

$$R_j = \{b_i b_j Z_{xx} + c_i c_j Z_{yy} + (b_i c_j + b_j c_i) Z_{xy} + d_i d_j\} / \{2 |D| c_p\} \quad (2.1.32)$$

esto completa la tercera integral.

Con (2.1.14), (2.1.22), (2.1.24) y (2.1.31), la fórmula (2.1.9) se convierte en:

$$\sum_j \{P_j h_j + R_j (h_j - h'_j)\} = Q_i \quad (i \in C) \quad (2.1.33)$$

## 2.2 Flujo estable en un Acuífero Confinado.

### 2.2.1. Un Programa Simple.

Para mostrar el método de solución y un programa simple considerando el caso de flujo estable en un acuífero completamente confinado. Para tal caso, la ecuación diferencial básica (2.1.1) se puede simplificar tomando  $I = 0$  y  $c = \infty$ . La ecuación resultante es:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.2.1)$$

Para este caso el sistema de ecuaciones (2.1.33) se reduce a:

$$\sum_j \{ P_{ij} h_j \} = Q_i \quad (i \in C) \quad (2.2.2)$$

donde de acuerdo a (2.1.21), los coeficientes  $P_{ij}$  son sumatorias sobre todos los elementos, cada uno de los cuales hace contribuciones de la forma:

$$P_{ij} = \frac{T_p}{2|D|} \{ b_i b_j + c_i c_j \} \quad (2.2.3)$$

El programa BV10-1 es posible utilizarlo para resolver primeramente un problema simple, como el ilustrado en la figura 2.5. El problema consiste se flujo uniforme de izquierda a derecha. Las dimensiones horizontal y vertical de los elementos son iguales a 1. El nivel del lado izquierdo es de 10, mientras el del derecho es 0. La transmisividad es 1 en todos los elementos. El número de iteraciones es de 50, y el factor de relajación es de 1.5; el orden en que los datos deben ser introducido es:

6,4,50,1.5,  
 0,0,Y,10,0,1,Y,10,1,0,N,0,1,1,N,0,2,0,Y,0,2,1,Y,0,  
 1,2,3,1,2,3,4,1,3,4,5,1,4,5,6,1

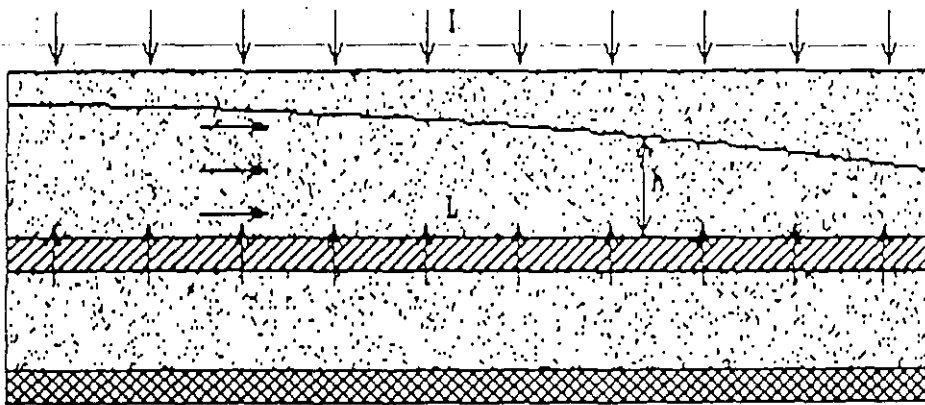


Figura 2.1. Acuífero freático semiconfinado

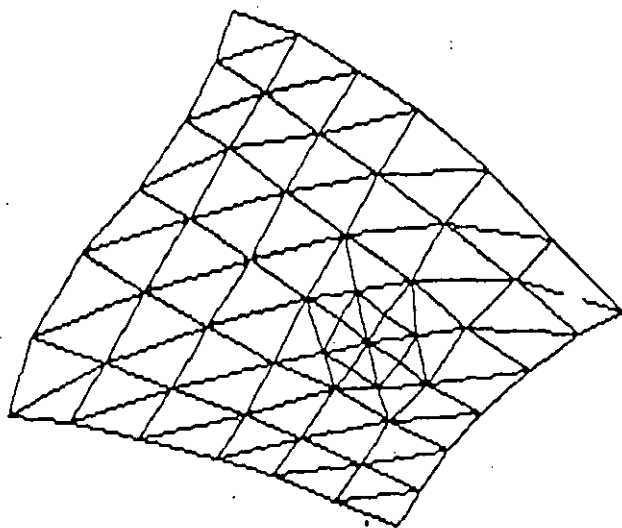


Figura 2.2. Dominio R dividido en elementos triangulares

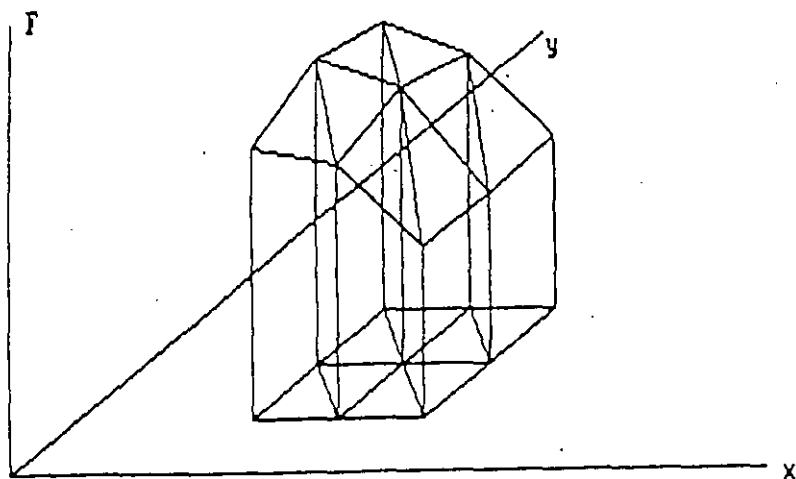


Figura 2.3. interpolación lineal del nivel dentro de los elementos

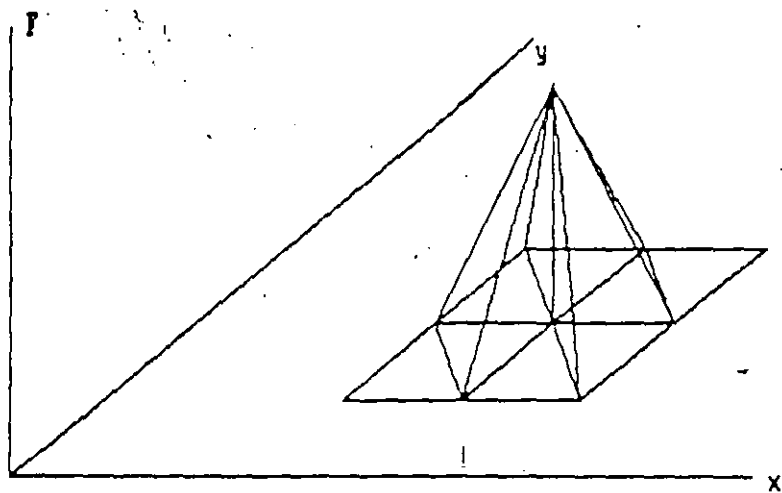


Figura 2.4. Una función típica

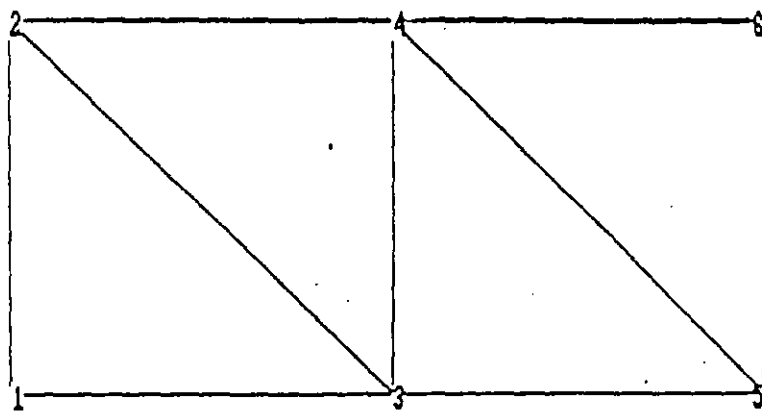


Figura 2.5. Problema elemental

# 3. EL MODELO COMPUTARIZADO DE TRANSPORTE DE SOLUTOS Y DISPERSIÓN EN DOS DIMENSIONES

de L. F. Konikow y J.D. Bredehoeft

## Introducción

El modelo calcula los cambios transitorios en la concentración de un soluto no reactivo el agua subterránea fluyendo. El programa de computadora resuelve dos ecuaciones diferenciales parciales de segundo orden. Una ecuación es la de flujo de agua subterráneas que describe la distribución de niveles piezométricos en el acuífero. La segunda ecuación es la de transporte de solutos que describe la concentración química en el sistema. Acoplando la ecuación de flujo con la de transporte de solutos, el modelo puede ser aplicado a problemas tanto de estado estacionario como de flujo transitorio.

Los cambios de concentración que ocurren en un sistema dinámico de agua subterránea se deben principalmente a cuatro procesos distintos:

- 1) transporte advectivo, en el cual los químicos disueltos se mueven con el flujo de agua subterránea;
- 2) Dispersión hidrodinámica, en el cual difusión molecular e iónica y variaciones a pequeña escala en la velocidad de flujo a través del medio poroso causa que las trayectorias de moléculas disueltas e iones diverjan o se desprendan de la dirección promedio del flujo de agua subterránea;
- 3) Fuentes o sumideros, donde el agua de una composición dada se introduce a agua de una composición diferente;
- 4) Reacciones, en las que una cantidad de una especie química disuelta en particular sea adicionada o sustraída del agua subterránea debido a reacciones químicas o físicas en el agua o entre el agua y los materiales sólidos del acuífero.

El modelo asume:

- 1) Que no ocurren reacciones que afecten las concentraciones que afecten las especies de interés y
- 2) Que los gradientes de densidad de fluido, viscosidad, y temperatura no afectan la velocidad de distribución

El acuífero puede ser

- 1) heterogéneo y
- 2) anisotrópico.



## Fundamentos Teóricos

### Ecuación de Flujo

La ecuación que describe el flujo transitorio bi dimensional de un fluido compresible y homogéneo a través de un acuífero no homogéneo anisotrópico puede ser escrito en notación cartesiana tensorial como:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( T_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (3.1)$$

donde

- $T_{ij}$  es el tensor de transmisividad,  $L^2/T$ ;
- $h$  es el nivel piezométrico,  $L$ ;
- $S$  es en coeficiente de almacenamiento, adimensional;
- $t$  es el tiempo,  $T$ ;
- $W=W(x,y,z)$  es el caudal volumétrico por unidad de área de signo positivo para salida y negativo para flujo de entrada
- $x_i, x_j$  son las coordenadas cartesianas,  $L$ ;

la expresión para velocidad de filtración del agua subterránea puede ser derivada de la ley de Darcy:

$$V_i = -\frac{K_{ij}}{\varepsilon} \frac{\partial h}{\partial x_j} \quad (3.2)$$

donde

- $V_i$  es la velocidad de filtración en la dirección de  $x_j$ ,  $L/T$ ;
- $K_{ij}$  es el tensor de la conductividad hidráulica,  $L/T$ ;
- $\varepsilon$  es la porosidad efectiva del acuífero, adimensional

## Ecuación de Transporte

La ecuación para describir el transporte bi dimensional y la dispersión de una especie química disuelta y no reactiva puede ser escrita como:

$$\frac{\partial(Cb)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( bD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (bCV_i) - \frac{C'W}{\varepsilon}; \quad i, j = 1, 2 \quad (3.3)$$

donde

- $C$  es la concentración de la especie química disuelta,  $M/L^3$
- $D_{ij}$  es el coeficiente de dispersión hidrodinámica,  $L^2/T$
- $b$  es el espesor saturado del acuífero,  $L$
- $C'$  es la concentración del soluto en la fuente o sumidero,  $M/L^3$

En la parte derecha de la ecuación:

El primer término represente los cambios de concentración por dispersión hidrodinámica;

El segundo término describe el efecto del transporte advectivo;

El tercer término represente una fuente o sumidero de fluido.

### Coefficiente de Dispersión.

El coeficiente de dispersión puede ser relacionado con la velocidad del flujo del agua la naturaleza del acuífero usando la ecuación de Scheidegger:

$$D_{ij} = \alpha_{ijmn} \frac{V_m V_n}{|V|} \quad (3.4)$$

Para un acuífero isotrópico el tensor de dispersividad puede ser definido en términos de dos constantes; la dispersividad longitudinal  $\alpha_L$  y la dispersividad transversal  $\alpha_T$ . estas se relacionan con los coeficientes de dispersión por:

$$\begin{aligned} D_L &= \alpha_L |V| \\ D_T &= \alpha_T |V| \end{aligned} \quad (3.5)$$

Expandiendo la ecuación de Scheidegger sustituyendo las identidades y eliminando términos de coeficiente cero, los componentes del coeficiente de dispersión para flujo bi dimensional en un acuífero isotrópico se pueden establecer explícitamente como:

$$\begin{aligned}
D_{xx} &= D_L \frac{(V_x)^2}{|V|^2} + D_T \frac{(V_y)^2}{|V|^2} \\
D_{yy} &= D_T \frac{(V_x)^2}{|V|^2} + D_L \frac{(V_y)^2}{|V|^2} \\
D_{xy} &= D_{yx} = (D_L - D_T) \frac{V_x V_y}{|V|^2}
\end{aligned}
\tag{3.6}$$

### Métodos Numéricos

#### Ecuación de Flujo.

La ecuación de flujo puede ser aproximada con la salvedad de que los ejes de coordenadas se alineen con las direcciones del tensor de transmisividad por la siguiente ecuación de diferencias finitas:

$$\begin{aligned}
&T_{xx[i-\frac{1}{2},j]} \left[ \frac{h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}}{(\Delta x)^2} \right] + T_{xx[i+\frac{1}{2},j]} \left[ \frac{h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}}{(\Delta x)^2} \right] + T_{yy[i,j-\frac{1}{2}]} \left[ \frac{h_{i,j,k} - h_{i,j,k-1}}{(\Delta y)^2} \right] + T_{yy[i,j+\frac{1}{2}]} \left[ \frac{h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}}{(\Delta y)^2} \right] \\
&= S \left[ \frac{h_{i,j,k} - h_{i,j,k-1}}{(\Delta t)} \right] + \frac{q_w(i,j)}{\Delta x \Delta y} \frac{K_z}{m} [H_{s(i,j)} - h_{i,j,k}]
\end{aligned}
\tag{3.7}$$

donde  $i, j, k$  son los índices de las dimensiones en  $x, y$ , y el tiempo, y  $q_w$  es recarga.

Después de que la distribución de niveles ha sido calculada, para un paso de tiempo, la velocidad para el flujo de agua subterránea puede ser calculada en cada nodo usando un esquema de diferencias finitas explícitas. por ejemplo para la velocidad en la dirección  $x$ :

$$V_{x(i+\frac{1}{2},j)} = \frac{K_{xx(i+\frac{1}{2},j)}}{\varepsilon} \left[ \frac{h_{i,j,k} - h_{i+1,j,k}}{(\Delta x)} \right]
\tag{3.8}$$

## Ecuación de Transporte

### Método de Características

La ecuación de transporte puede ser escrita, considerando espesor saturado como variable y expandiendo el término de transporte advectivo, como sigue:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( b D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - V_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{C \left( S \frac{\partial h}{\partial t} + W - \varepsilon \frac{\partial b}{\partial t} \right) - C' W}{\varepsilon b} \quad (3.9)$$

Esta ecuación es la resuelta en el programa de computadora. por conveniencia es escrito como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( b D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} + F \quad (3.10)$$

La derivada material de la concentración, que asume la razón de cambio observada moviéndose con las partículas es:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial C}{\partial y} \frac{dy}{dt} \quad (3.11)$$

Para las componentes  $x$  y  $y$  tenemos las velocidades como:

$$\frac{dx}{dt} = V_x \quad (3.12)$$

$$\frac{dy}{dt} = V_y \quad (3.13)$$

si sustituimos en la ecuación (3.11) las (3.10), (3.12) y (3.13):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( b D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + F \quad (3.14)$$

la solución del sistema de ecuaciones (3.11-13) puede ser dada como:

$$x = x(t); \quad y = y(t); \quad C = C(t) \quad (3.15)$$

y son llamadas las curvas características de la ecuación de transporte.

### Seguimiento de partículas.

El método de características consiste en poner partículas o puntos en cada celda de la malla de elementos finitos formándolos en una distribución uniforme en el área de interés. La concentración inicial asignada a cada punto es la concentración asociada con el nodo de la celda conteniendo los puntos.

cada paso de tiempo cada punto es movido una distancia proporcional a la longitud del incremento de tiempo y la velocidad en la localidad del punto (fig. 3.1). La nueva posición es calculada siguiendo las formas de las ecuaciones (3.12) y (3.13):

$$x_{p,k} = x_{p,k-1} + \delta x_p = x_{p,k-1} + \Delta t V_{x[x(p,k),y(p,k)]} \quad (3.16)$$

$$y_{p,k} = y_{p,k-1} + \delta y_p = y_{p,k-1} + \Delta t V_{y[x(p,k),y(p,k)]} \quad (3.17)$$

donde

$p$  es el número índice para identificación del punto; y  
 $\delta x$  y  $\delta y$  son las distancias que se movió en las direcciones  $x$  y  $y$ .

Después que todos los puntos se han movido la concentración en cada nodo es tomada como el promedio de las concentraciones de todos los puntos localizados dentro del área de esa celda; esta concentración promedio es denotada como  $C_{i,j,k^*}$ . Los puntos en movimiento simulan el transporte por advección porque la concentración en cada nodo cambia con cada paso de tiempo conforme diferentes puntos, teniendo diferentes concentraciones, entran y salen del área de esa celda.

La aproximación por diferencias finitas de la ecuación de transporte es expresada como:

$$\Delta C_{i,j,k} = \frac{0.5\Delta t}{b} \left[ \frac{\partial}{\partial x_i} \left( bD_{ij} \frac{\partial C_{(k-1)}}{\partial x_j} \right) + \frac{C_{(k-1)} \left( S \frac{\partial h}{\partial t} + W - \varepsilon \frac{\partial b}{\partial t} \right) - C'W}{\varepsilon} \right] \\ + \frac{0.5\Delta t}{b} \left[ \frac{\partial}{\partial x_i} \left( bD_{ij} \frac{\partial C_{k^*}}{\partial x_j} \right) + \frac{C_{k^*} \left( S \frac{\partial h}{\partial t} + W - \varepsilon \frac{\partial b}{\partial t} \right) - C'W}{\varepsilon} \right] \quad (3.18)$$

La nueva concentración al final del incremento de tiempo  $k$  es calculada como:

$$C_{i,j,k} = C_{i,j,k^*} + \Delta C_{i,j,k} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (bD_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + bD_{xy} \frac{\partial C}{\partial y})$$

$$= \frac{bD_{xx[i+\frac{1}{2},j]} (C_{i+1,j} - C_{i,j})}{(\Delta x)^2} - \frac{bD_{xx[i-\frac{1}{2},j]} (C_{i,j} - C_{i-1,j})}{(\Delta x)^2}$$

$$+ \frac{bD_{xy[i+\frac{1}{2},j]} (C_{i,j+1} + C_{i+1,j+1} - C_{i,j-1} - C_{i+1,j-1})}{4\Delta x \Delta y}$$

$$- \frac{bD_{xy[i-\frac{1}{2},j]} (C_{i-1,j+1} + C_{i,j+1} - C_{i-1,j-1} - C_{i,j-1})}{4\Delta x \Delta y}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (bD_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} + bD_{yx} \frac{\partial C}{\partial x})$$

$$= \frac{(bD_{yy} \frac{\partial C}{\partial y})_{i,j+\frac{1}{2}} - (bD_{yy} \frac{\partial C}{\partial y})_{i,j-\frac{1}{2}}}{\Delta y} + \frac{(bD_{yx} \frac{\partial C}{\partial x})_{i,j+\frac{1}{2}} - (bD_{yx} \frac{\partial C}{\partial x})_{i,j-\frac{1}{2}}}{\Delta y}$$

$$= \frac{bD_{yy[i,j+\frac{1}{2}]} (C_{i,j+1} - C_{i,j})}{(\Delta y)^2} - \frac{bD_{yy[i,j-\frac{1}{2}]} (C_{i,j} - C_{i,j-1})}{(\Delta y)^2}$$

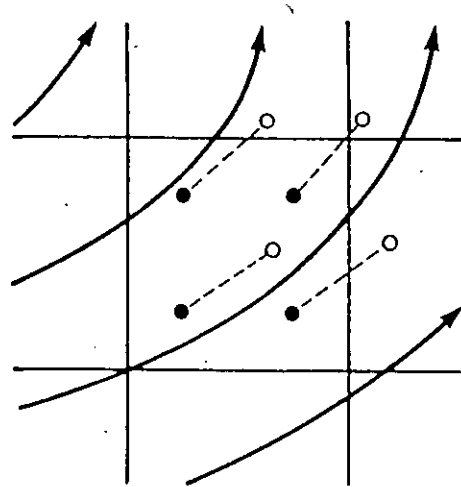
$$+ \frac{bD_{yx[i,j+\frac{1}{2}]} (C_{i+1,j} + C_{i+1,j+1} - C_{i-1,j} - C_{i-1,j+1})}{4\Delta x \Delta y}$$

$$- \frac{bD_{yx[i,j-\frac{1}{2}]} (C_{i+1,j-1} + C_{i+1,j} - C_{i-1,j-1} - C_{i-1,j})}{4\Delta x \Delta y}$$

$$(\Delta C_{i,j,k})_{II} = \frac{\Delta t}{\epsilon b_{i,j,k}} \left[ C_{i,j,k-1} \left( S \left[ \frac{h_{i,j,k} - h_{i,j,k-1}}{\Delta t} \right] \right. \right.$$

$$\left. \left. + W_{i,j,k} - \epsilon \left[ \frac{b_{i,j,k} - b_{i,j,k-1}}{\Delta t} \right] \right) \right.$$

$$\left. - C'_{i,j,k} W_{i,j,k} \right]$$



**EXPLICACIÓN**

- Posición inicial de la partícula
- Nueva posición de la partícula
- línea y dirección de flujo
- trayectoria calculada de la partícula

Figura 3.1. Vista parcial de una hipotética malla de diferencias finitas mostrando la relación entre el campo de flujo y el movimiento de puntos

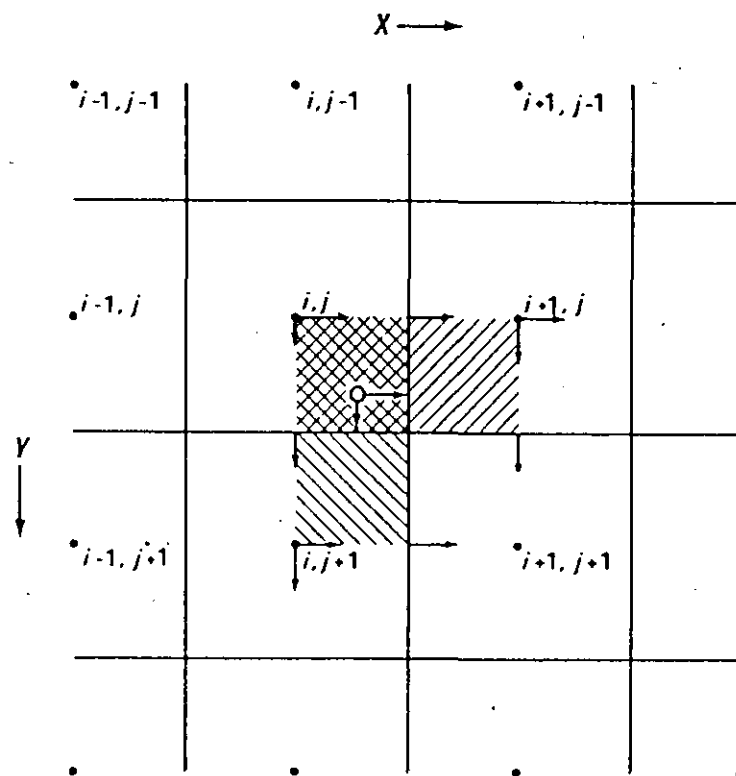


Figura 3.2. Vista parcial de una hipotética malla de diferencias finitas mostrando áreas sobre las cuales la interpolación bilineal es usada para calcular la velocidad en un punto. Nótese que cada área de influencia es igual a 1/2 del área de una celda

MODEL OF SOLUTE TRANSPORT IN GROUND WATER

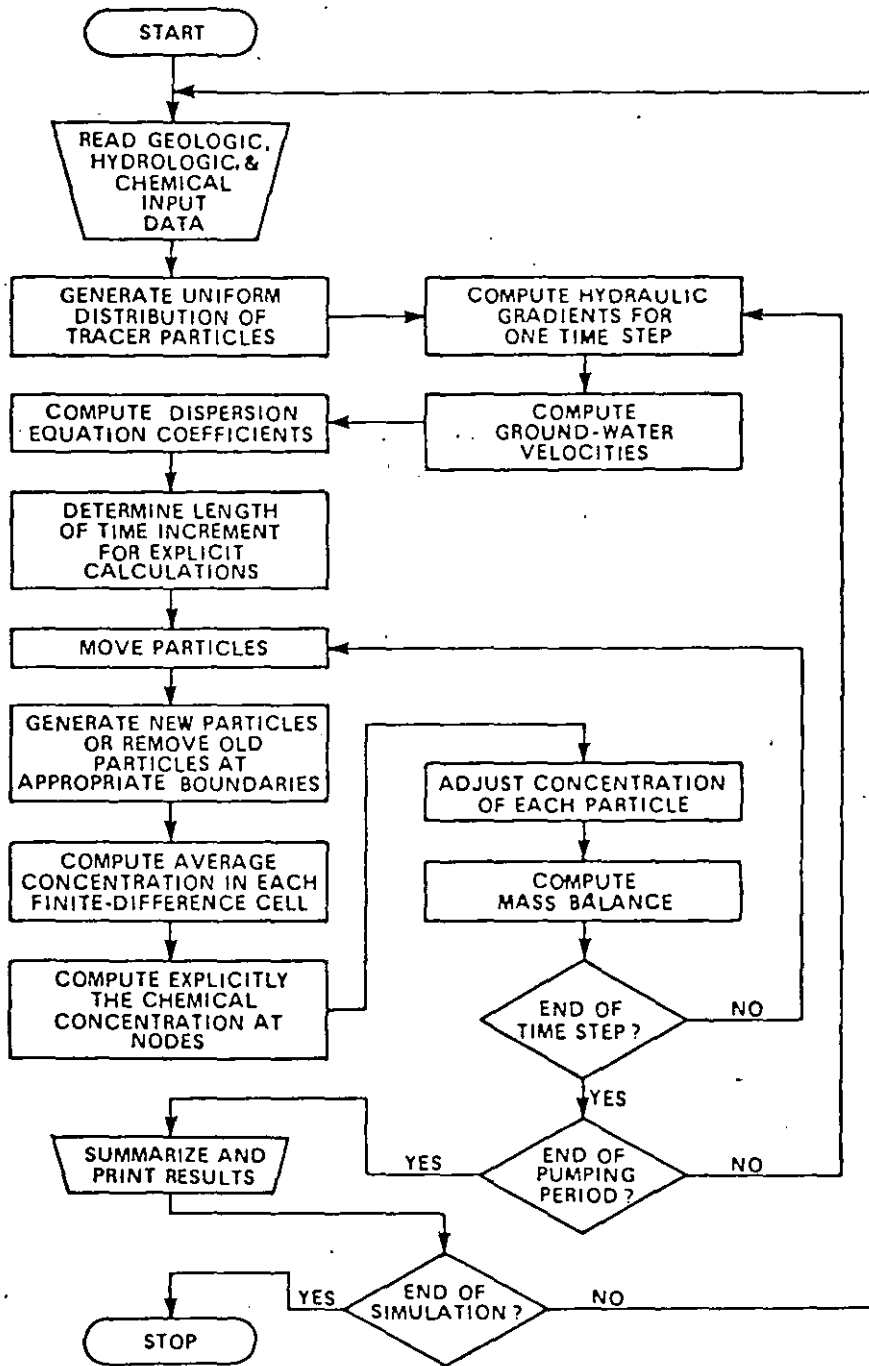


Figura 3.3 Diagrama de flujo simplificado ilustrando las principales etapas en el procedimiento de cálculo



# 4. MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE ECUACIONES LINEALES

## 4.1 Métodos Directos de Resolución de Sistemas de Ecuaciones Lineales

Un muy bien conocido método directo para solución de sistemas de ecuaciones lineales de la forma

$$\sum \{P(I, J) \times F(J)\} = G(I) \quad (I = 1..N)$$

es el *método de eliminación Gaussiana*. En este método la primera ecuación es usada para expresar la primera variable en términos de todas las otras variables, entonces la primera variable es eliminada de todas las ecuaciones subsecuentes. Queda un sistema de  $N-1$  ecuaciones con  $N-1$  variables; el proceso puede ser repetido hasta que solo una ecuación con una variable quede. Esta ecuación puede ser fácilmente resuelta y entonces las ecuaciones previas pueden ser resueltas en una serie de sustituciones hacia atrás.

## 4.2 Métodos Iterativos de Resolución de Sistemas de Ecuaciones Lineales

En esta sección se presenta el *método iterativo de Gauss-Seidel*, con el énfasis puesto en la ejecución en una computadora pequeña. La teoría del Método puede ser encontrada en libros de texto de análisis numérico. El sistema de ecuaciones lineales será escrito como:

$$\sum \{P(I, J) \times F(J)\} = G(I) \quad (I = 1..N) \quad (4.2.1)$$

donde la sumatoria debe ser ejecutada desde  $J=1$  a  $J=N$ .

En el método de Gauss-Seidel una solución inicial estimada es continuamente actualizada corrigiendo la  $I$ -ésima ecuación modificando la variable  $I$ . La estimación inicial puede ser arbitraria, por ejemplo,  $F(I) = 0$  para todos los valores desconocidos de  $F(I)$ . En forma alternativa, se puede hacer alguna estimación razonable para las incógnitas. En general la ecuación (4.2.1) no será satisfecha por la solución estimada. La variable  $F(I)$  será corregida por una cantidad  $DF(I)$ , de modo que la ecuación  $I$  sea satisfecha. Si la solución estimada es representada por  $FA(I)$ , esto significa que

$$\sum \{P(I, J) \times FA(J)\} + P(I, I) \times DF(I) = G(I)$$

La corrección de la incógnita  $DF(I)$  puede ser despejada de la ecuación

$$DF(I) = \left[ G(I) - \sum \{P(I, J) \times FA(J)\} \right] / P(I, I) \quad (4.2.2)$$

El algoritmo Gauss-Seidel consiste en la ejecución repetida de la ecuación (4.2.2) para todos los valores de  $I$ . Puede ser demostrado que el proceso converge si la matriz es positiva

definida. La convergencia es razonablemente rápida si la diagonal principal de la matriz es dominante.

El algoritmo de Gauss-Seidel puede ser ejecutado por las siguientes proposiciones en lenguaje de programación BASIC:

```
1000 FOR K=1 TO NI
1010 FOR I=1 TO N
1020 A=G(I):FOR J=1 TO N: A=A-P(I,J)*F(J):NEXT J
1030 F(I)=F(I)+A/P(I,I):NEXT I:NEXT K
```

El número de iteraciones es  $NI$ , el cual a menudo es asignado con la magnitud del número de ecuaciones  $N$ . Algunas veces el número de iteraciones necesario puede ser mayor, especialmente si la diagonal principal no es dominante. Entonces un método diferente puede ser más eficiente.

Una variante del algoritmo de Gauss-Seidel es el *método de Jacobi*, en el cual todas las correcciones son calculadas primero, y entonces todos los valores de  $F(I)$  son actualizados en un paso. Esto puede ser ejecutado por las siguientes líneas:

```
1000 FOR K=1 TO N
1010 FOR I=1 TO N
1020 A(I)=G(I):FOR J=1 TO N:A(I)=A(I)-P(I,J)*F(J):NEXT J,I
1030 FOR I=1 TO N:F(I)=F(I)+A(I)/P(I,I):NEXT I:NEXT K
```

Este procedimiento requiere un mayor tiempo de cálculo y usa más memoria a causa de que el vector de incrementos tiene que ser almacenado. La convergencia es más lenta. Es por esto que el método de Gauss-Seidel sea usualmente preferido excepto por propósitos especiales.

La experiencia práctica con el método de Gauss-Seidel ha demostrado que la convergencia puede ser mejorada multiplicando la corrección en cada paso por un factor algo mayor que 1. Esto significa que en cada paso el error no se hace igual a cero, sino que por un impulso extra se hace que cambie de signo en anticipación a futuras correcciones. El factor, llamado *factor de sobre-relajación* debe ser menor que 2 y, al menos, igual a 1. El algoritmo ahora es el siguiente:

```
1000 FOR K=1 TO NI
1010 FOR I=1 TO N
1020 A=G(I):FOR J=1 TO N: A=A-P(I,J)*F(J):NEXT J
1030 F(I)=F(I)+R*A/P(I,I):NEXT I:NEXT K
```



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**VI CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**MODULO III:**

**MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

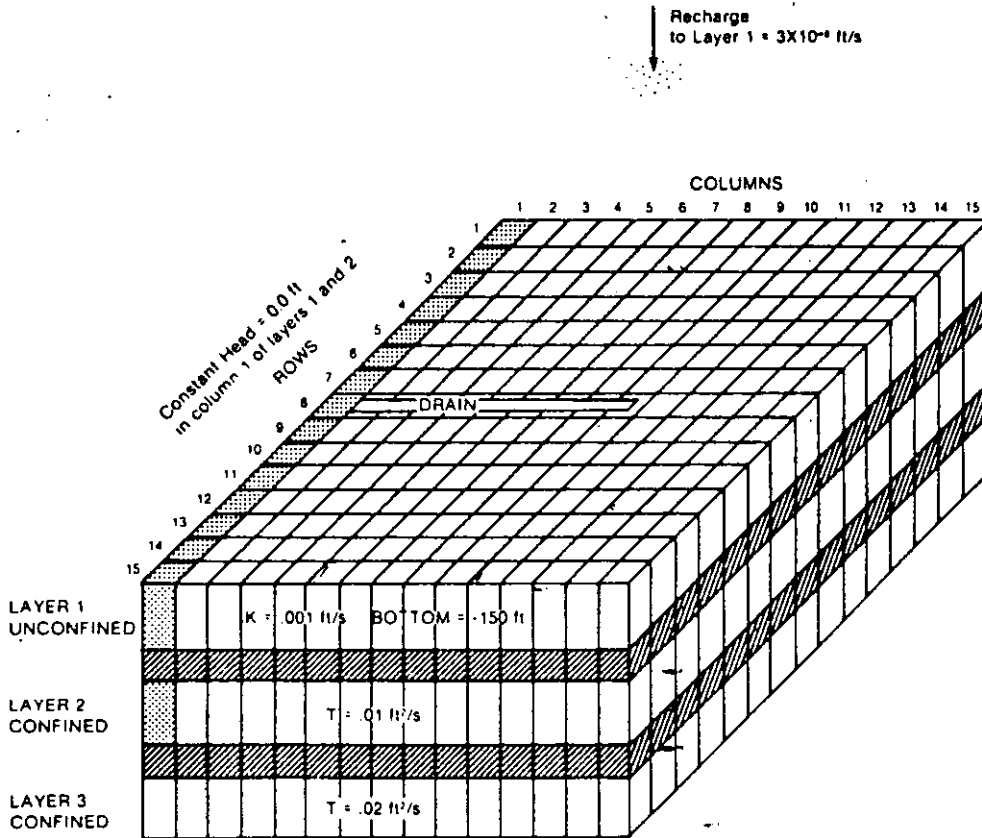
**APPENDIX D  
SAMPLE PROBLEM**

**EXPOSITOR:  
ING. GUILLERMO HERNANDEZ GARCIA**

APPENDIX D

SAMPLE PROBLEM

This sample problem is intended to illustrate input and output from the program. There are three simulated layers, as shown in the accompanying illustration, which are separated from each other by confining layers. Each layer is a square 75,000 feet on a side and is divided by a grid into 15 rows and 15 columns which form squares 5,000 feet on a side. Flow within the confining layers is not simulated, but the effects of the confining layers on flow between the active layers are incorporated in the vertical conductivity (VCONT) terms. Flow into the system is infiltration from precipitation; flow out of the system is to buried drain tubes, discharging wells, and a lake which is represented by a constant-head boundary.



Between layers 1 and 2 vertical hydraulic conductivity divided by thickness =  $2 \times 10^{-4}$ /s

Between layers 2 and 3 vertical hydraulic conductivity divided by thickness =  $1 \times 10^{-4}$ /s

Setting starting heads equal to 0.0, the program was run to get a steady-state solution. The Strongly Implicit Procedure was used to solve the system of difference equations: the error criterion was set at 0.001 feet, the acceleration parameter was set to 1.0, and the maximum number of iterations was set equal to 50. A seed of 0.001 was specified for use in calculating the iteration parameters; 31 iterations were needed to close.

List of Wells

Q = 5 ft<sup>3</sup>/s for each well

<u>Layer</u>	<u>Row</u>	<u>Column</u>
3	5	11
2	4	6
2	6	12
1	9	8
1	9	10
1	9	12
1	9	14
1	11	8
1	11	10
1	11	12
1	11	14
1	13	8
1	13	10
1	13	12
1	13	14

List of Drains

Conductance = 1 ft<sup>2</sup>/s

<u>Layer</u>	<u>Row</u>	<u>Column</u>	<u>Elevation</u>
1	8	2	0.0
1	8	3	0.0
1	8	4	10.0
1	8	5	20.0
1	8	6	30.0
1	8	7	50.0
1	8	8	70.0
1	8	9	90.0
1	8	10	100.0

```

-JOB-
//S2 EXEC PGM=MODEL1,REGION=700K
//STEPLIB DD DSN=VG4E70M.MODZ100,DISP=SHR
// DD DSN=SYS1.FORTG.LINKLIBX,DISP=SHR
//FT06F001 DD SYSOUT=A
//FT01F001 DD *

```

SAMPLE----3 LAYERS, 15 ROWS, 15 COLUMNS, STEADY STATE, CONSTANT HEADS COLUMN . .  
LAYERS 1 AND 2, RECHARGE, WELLS AND DRAINS

```

      3      15      15      1      1      1
11 12 13 0 0 0 0 18 19 0 0 00
      0      0      IAPART,ISTR
      1      1(15I3)      3      IBOUND-1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
      0      1      3      IBOUND-2
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
-1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
      0      1      3      IBOUND-3
999.99
      0      0.      HEAD-1
      0      0.      HEAD-2
      0      0.      HEAD-3
86400.      1      1.      PERLEN,NSTP,TSMULT

```

```

//FT11F001 DD *
1 0 0 0 ISS,IBCFBD
0 1. TRPY
0 5000. DELR
0 5000. DELC
0 .001 HY-1
0 -150. BOT-1
0 2.E-8 VHY/THICK-1
0 .01 T-2
0 1.E-8 VHY/THICK-2
0 .02 T-3

/*
//FT18F001 DD *
1 0 NRCHOP,IRCHBD
1 INRECH
0 3.E-8 RECH-1

/*
//FT19F001 DD *
50 5 MXITER,NPARM
1. .001 0 .001 1 ACCL,ERR,IPCALC,WSEE

//FT13F001 DD *
9 0 MXDRAI,IDRNBD
9 NDRAIN
1 8 2 0. 1.E00
1 8 3 0. 1.E00
1 8 4 10. 1.E00
1 8 5 20. 1.E00
1 8 6 30. 1.E00
1 8 7 50. 1.E00
1 8 8 70. 1.E00
1 8 9 90. 1.E00
1 8 10 100. 1.E00

//FT12F001 DD *
15 0 MXWELL,IWELBD
15 NWELL
3 5 11 -5.
2 4 6 -5.
2 6 12 -5.
1 9 8 -5.
1 9 10 -5.
1 9 12 -5.
1 9 14 -5.
1 11 8 -5.
1 11 10 -5.
1 11 12 -5.
1 11 14 -5.
1 13 8 -5.
1 13 10 -5.
1 13 12 -5.
1 13 14 -5.

```

U.S. GEOLOGICAL SURVEY MODULAR FINITE-DIFFERENCE GROUND-WATER MODEL  
SAMPLE--3 LAYERS,15 ROWS,15 COLUMNS,STEADY STATE,CONSTANT HEADS COLUMN 1,LAYERS 1 AND 2,RECHARGE,WELLS AND DRAINS  
3 LAYERS 15 ROWS 15 COLUMNS

1 STRESS PERIOD(S) IN SIMULATION  
MODEL TIME UNIT IS SECONDS

I/O UNITS:

ELEMENT OF IUNIT: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
I/O UNIT: 11 12 13 0 0 0 0 18 19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

BAS1 -- BASIC MODEL PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM UNIT 1

ARRAYS RHS AND BUFF WILL SHARE MEMORY.

START HEAD WILL NOT BE SAVED -- DRAWDOWN CANNOT BE CALCULATED

5892 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BAS

5892 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000

BCF1 -- BLOCK-CENTERED FLOW PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM UNIT 11

STEADY-STATE SIMULATION

LAYER AQUIFER TYPE

-----  
1 1  
2 0  
3 0

453 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BCF

6345 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000

WEL1 -- WELL PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM 12

MAXIMUM OF 15 WELLS

60 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED FOR WELLS

6405 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000

DRN1 -- DRAIN PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM UNIT 13

MAXIMUM OF 9 DRAINS

45 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED FOR DRAINS

6450 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000

RCH1 -- RECHARGE PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM UNIT 18

OPTION 1 -- RECHARGE TO TOP LAYER

225 ELEMENTS OF X ARRAY USED FOR RECHARGE

6675 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000

SIP1 -- STRONGLY IMPLICIT PROCEDURE SOLUTION PACKAGE, VERSION 1, 12/08/83 INPUT READ FROM UNIT 19

MAXIMUM OF 50 ITERATIONS ALLOWED FOR CLOSURE

5 ITERATION PARAMETERS

2905 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY SIP

9580 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 100000



SAMPLE--3 LAYERS,15 ROWS,15 COLUMNS,STEADY STATE,CONSTANT HEADS COLUMN 1,LAYERS 1 AND 2,RECHARGE,WELLS AND DRAINS

BOUNDARY ARRAY FOR LAYER 1 WILL BE READ ON UNIT 1 USING FORMAT: (1513)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

BOUNDARY ARRAY FOR LAYER 2 WILL BE READ ON UNIT 1 USING FORMAT: (1513)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

BOUNDARY ARRAY = 1 FOR LAYER 3  
 AQUIFER HEAD WILL BE SET TO 999.99 AT ALL NO-FLOW NODES (IBOUND=0).  
 INITIAL HEAD = .0 FOR LAYER 1  
 INITIAL HEAD = .0 FOR LAYER 2  
 INITIAL HEAD = .0 FOR LAYER 3

DEFAULT OUTPUT CONTROL -- THE FOLLOWING OUTPUT COMES AT THE END OF EACH STRESS PERIOD:  
 TOTAL VOLUMETRIC BUDGET  
 HEAD

COLUMN TO ROW ANISOTROPY = 1.000000  
 DELR = 5000.0000  
 DELC = 5000.0000  
 HYD. COND. ALONG ROWS = .9999999E-03 FOR LAYER 1  
 BOTTOM = -150.0000 FOR LAYER 1  
 VERT HYD COND /THICKNESS = .2000000E-07 FOR LAYER 1  
 TRANSMIS. ALONG ROWS = .1000000E-01 FOR LAYER 2  
 VERT HYD COND /THICKNESS = .1000000E-07 FOR LAYER 2  
 TRANSMIS. ALONG ROWS = .2000000E-01 FOR LAYER 3

SOLUTION BY THE STRONGLY IMPLICIT PROCEDURE

-----  
 MAXIMUM ITERATIONS ALLOWED FOR CLOSURE = 50  
 ACCELERATION PARAMETER = 1.0000  
 HEAD CHANGE CRITERION FOR CLOSURE = 0.10000E-02  
 SIP HEAD CHANGE PRINTOUT INTERVAL = 1

5 ITERATION PARAMETERS CALCULATED FROM SPECIFIED WSEED = 0.00100000 :

0.0            0.8221720E+00   0.9683772E+00   0.9943766E+00   0.9990000E+00  
 STRESS PERIOD NO.   1, LENGTH = 86400.00

-----  
 NUMBER OF TIME STEPS = 1  
 MULTIPLIER FOR DELT = 1.000  
 INITIAL TIME STEP SIZE = 86400.00

15 WELLS

LAYER	ROW	COL	STRESS RATE	WELL NO.
3	5	11	-5.0000	1
2	4	6	-5.0000	2
2	6	12	-5.0000	3
1	9	8	-5.0000	4
1	9	10	-5.0000	5
1	9	12	-5.0000	6
1	9	14	-5.0000	7
1	11	8	-5.0000	8
1	11	10	-5.0000	9
1	11	12	-5.0000	10
1	11	14	-5.0000	11
1	13	8	-5.0000	12
1	13	10	-5.0000	13
1	13	12	-5.0000	14
1	13	14	-5.0000	15

9 DRAINS

LAYER	ROW	COL	ELEVATION	CONDUCTANCE	DRAIN NO.
1	8	2	.0	1.000	1
1	8	3	.0	1.000	2
1	8	4	10.00	1.000	3
1	8	5	20.00	1.000	4
1	8	6	30.00	1.000	5
1	8	7	50.00	1.000	6
1	8	8	70.00	1.000	7
1	8	9	90.00	1.000	8
1	8	10	100.0	1.000	9

RECHARGE = .3000000E-07

31 ITERATIONS FOR TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1  
 MAXIMUM HEAD CHANGE FOR EACH ITERATION:

HEAD CHANGE	LAYER, ROW, COL	HEAD CHANGE	LAYER, ROW, COL	HEAD CHANGE	LAYER, ROW, COL	HEAD CHANGE	LAYER, ROW, COL	HEAD CHANGE	LAYER, ROW, COL
-22.41	( 3, 5, 11)	12.48	( 1, 1, 15)	13.39	( 3, 1, 14)	48.21	( 1, 1, 15)	35.90	( 3, 1, 13)
2.482	( 1, 9, 14)	1.430	( 3, 10, 13)	6.214	( 1, 12, 14)	7.411	( 3, 11, 14)	13.66	( 1, 15, 15)
.5503	( 3, 8, 7)	.4821	( 2, 6, 9)	.4711	( 3, 5, 10)	2.019	( 1, 11, 14)	2.302	( 3, 5, 13)
.1108	( 1, 13, 12)	.7059E-01	( 3, 12, 11)	.2819	( 1, 14, 14)	.3141	( 3, 13, 14)	.3321	( 1, 15, 15)
.7855E-02	( 1, 13, 12)	.1586E-01	( 2, 11, 11)	.1777E-01	( 3, 11, 10)	.7911E-01	( 1, 14, 14)	.8500E-01	( 3, 7, 14)
.4169E-02	( 1, 13, 14)	.2555E-02	( 3, 14, 15)	.9771E-02	( 1, 14, 14)	.1082E-01	( 3, 13, 14)	.1030E-01	( 1, 15, 15)
.2426E-03	( 1, 13, 12)								

HEAD IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15					
1	.0 117.4	24.94 121.3	44.01 124.3	59.26 126.4	71.82 127.4	82.52	91.91	100.0	106.9	112.6
2	.0 115.7	24.45 119.6	43.10 122.7	57.98 124.9	70.17 126.1	80.57	90.12	98.40	105.3	111.0
3	.0 112.0	23.45 116.1	41.30 119.6	55.43 122.1	66.78 123.4	76.21	86.51	95.20	102.2	107.6
4	.0 106.1	21.92 110.7	38.61 114.9	51.75 117.9	61.79 119.4	68.03	81.34	90.75	97.64	102.5
5	.0 97.29	19.73 103.1	34.92 108.8	47.32 112.5	57.69 114.3	66.74	77.09	85.76	92.22	96.15
6	.0 93.03	16.51 94.23	29.50 102.1	40.90 106.4	51.30 108.4	61.21	71.19	79.85	86.47	90.82
7	.0 88.60	11.55 91.66	21.10 96.43	31.21 99.82	41.40 101.8	51.84	63.08	72.68	79.95	84.92
8	.0 81.99	3.483 85.00	6.832 89.27	16.25 91.72	26.30 94.33	36.97	52.59	64.31	72.52	77.25
9	.0 73.93	10.54 73.79	19.11 80.84	28.12 80.17	36.92 86.49	45.27	52.95	55.38	65.15	66.07
10	.0 70.39	14.62 72.44	25.86 76.72	35.38 78.26	43.49 81.79	50.11	54.93	57.55	62.95	65.55
11	.0 66.43	17.11 65.45	29.96 72.22	40.01 71.04	47.78 77.62	53.24	55.81	53.33	60.27	59.29
12	.0 67.12	18.68 68.50	32.56 72.29	43.07 73.46	50.81 76.85	55.92	58.33	58.47	61.93	63.18
13	.0 67.22	19.67 65.75	34.24 71.90	45.14 70.35	53.01 76.48	58.04	59.91	56.75	62.59	60.91
14	.0 71.64	20.27 73.18	35.27 75.84	46.48 77.03	54.61 79.09	60.08	63.17	64.52	67.25	68.79
15	.0 74.29	20.56 76.22	35.78 78.22	47.16 79.66	55.48 80.82	61.26	65.02	67.52	69.94	72.01

HEAD IN LAYER 2 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15					
1	.0	24.66	43.73	59.02	71.61	82.32	91.72	99.86	106.7	112.5
	117.2	121.1	124.1	126.2	127.3					
2	.0	24.17	42.83	57.74	69.95	80.36	89.93	98.22	105.1	110.8
	115.5	119.4	122.6	124.8	125.9					
3	.0	23.17	41.03	55.19	66.53	75.77	86.29	95.02	102.0	107.4
	111.8	116.0	119.5	121.9	123.2					
4	.0	21.65	38.34	51.50	61.35	60.17	80.90	90.55	97.45	102.3
	105.4	110.4	114.8	117.7	119.2					
5	.0	19.48	34.65	47.07	57.44	66.30	76.85	85.57	92.00	95.41
	91.09	102.1	108.6	112.4	114.2					
6	.0	16.27	29.24	40.65	51.07	60.98	70.98	79.65	86.28	90.54
	92.06	86.23	101.7	106.2	108.3					
7	.0	11.38	20.95	31.05	41.25	51.70	62.90	72.48	79.76	84.73
	88.35	91.24	96.22	99.65	101.6					
8	.0	4.209	8.330	17.58	27.58	38.25	52.94	64.19	72.34	77.12
	81.81	84.86	89.10	91.59	94.17					
9	.0	10.38	18.96	27.98	36.79	45.16	52.86	56.13	65.08	66.79
	73.87	74.48	80.77	80.84	86.38					
10	.0	14.40	25.61	35.15	43.27	49.91	54.76	57.48	62.79	65.49
	70.24	72.37	76.57	78.20	81.64					
11	.0	16.87	29.70	39.78	47.56	53.05	55.68	54.09	60.20	60.04
	66.37	66.18	72.16	71.75	77.51					
12	.0	18.43	32.31	42.85	50.60	55.73	58.16	58.41	61.78	63.12
	66.98	68.44	72.15	73.40	76.69					
13	.0	19.42	33.98	44.91	52.80	57.85	59.78	57.50	62.53	61.65
	67.16	66.48	71.84	71.06	76.37					
14	.0	20.02	35.02	46.26	54.41	59.88	62.99	64.39	67.08	68.66
	71.48	73.06	75.68	76.91	78.93					
15	.0	20.30	35.52	46.94	55.28	61.07	64.84	67.34	69.76	71.84
	74.11	76.04	78.04	79.49	80.65					

HEAD IN LAYER 3 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15					
1	1.800	24.34	43.36	58.70	71.33	82.06	91.48	99.63	106.5	112.3
	117.0	120.9	123.9	126.0	127.1					
2	1.764	23.85	42.46	57.42	69.66	80.07	89.68	97.99	104.9	110.6
	115.3	119.2	122.4	124.6	125.7					
3	1.691	22.86	40.67	54.87	66.20	75.28	85.98	94.77	101.7	107.2
	111.5	115.7	119.3	121.7	123.0					
4	1.578	21.35	37.98	51.17	60.85	62.69	80.41	90.28	97.19	101.9
	104.1	110.0	114.5	117.5	119.0					
5	1.415	19.18	34.30	46.75	57.10	65.80	76.54	85.30	91.67	94.17
	77.46	100.7	108.2	112.1	114.0					
6	1.176	15.99	28.91	40.33	50.76	60.67	70.70	79.38	86.01	90.12
	90.60	88.55	101.2	106.0	108.0					
7	.8273	11.21	20.79	30.88	41.09	51.55	62.67	72.22	79.50	84.46
	87.98	90.77	95.94	99.41	101.4					
8	.4331	5.131	10.19	19.27	29.19	39.84	53.40	64.07	72.11	76.95
	81.58	84.68	88.88	91.44	93.95					
9	.7543	10.22	18.82	27.84	36.66	45.06	52.78	57.03	65.02	67.64
	73.81	75.31	80.72	81.64	86.24					
10	1.039	14.13	25.29	34.85	42.99	49.65	54.54	57.44	62.61	65.44
	70.05	72.33	76.39	78.15	81.43					
11	1.224	16.59	29.37	39.47	47.28	52.79	55.53	55.01	60.16	60.94
	66.33	67.06	72.13	72.60	77.38					
12	1.341	18.15	31.97	42.54	50.32	55.47	57.94	58.37	61.60	63.08
	66.80	68.41	71.97	73.36	76.49					
13	1.415	19.14	33.65	44.61	52.53	57.60	59.63	58.39	62.48	62.54
	67.12	67.35	71.80	71.90	76.24					
14	1.460	19.73	34.68	45.96	54.13	59.63	62.76	64.74	66.07	67.07
	71.27	72.91	75.47	76.77	78.71					
15	1.481	20.01	35.18	46.63	55.00	60.81	64.59	67.11	69.52	71.61
	73.87	75.82	77.81	79.27	80.42					

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

CUMULATIVE VOLUMES		L**3	RATES FOR THIS TIME STEP		L**3/T
IN:			IN:		
STORAGE =	.0		STORAGE =	.0	
CONSTANT HEAD =	.0		CONSTANT HEAD =	.0	
WELLS =	.0		WELLS =	.0	
DRAINS =	.0		DRAINS =	.0	
RECHARGE =	.13608E+08		RECHARGE =	157.50	
TOTAL IN =	.13608E+08		TOTAL IN =	157.50	
OUT:			OUT:		
STORAGE =	.0		STORAGE =	.0	
CONSTANT HEAD =	.43265E+07		CONSTANT HEAD =	50.075	
WELLS =	.64800E+07		WELLS =	75.000	
DRAINS =	.28011E+07		DRAINS =	32.420	
RECHARGE =	.0		RECHARGE =	.0	
TOTAL OUT =	.13608E+08		TOTAL OUT =	157.49	
IN - OUT =	184.00		IN - OUT =	.21210E-02	
PERCENT DISCREPANCY =		0.00	PERCENT DISCREPANCY =		0.00

TIME SUMMARY AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	SECONDS	MINUTES	HOURS	DAYS	YEARS
TIME STEP LENGTH	86400.0	1440.00	24.0000	1.00000	.273785E-02
STRESS PERIOD TIME	86400.0	1440.00	24.0000	1.00000	.273785E-02
TOTAL SIMULATION TIME	86400.0	1440.00	24.0000	1.00000	.273785E-02

APPENDIX E

ABBREVIATED INPUT INSTRUCTIONS

These input instructions are intended as a quick reference for the experienced user. Most explanations that are contained in the complete input instructions given in package documentation have been omitted. The format of input fields is given only for those records that contain fields that are not 10 characters wide. Each input item, for which format is not given, is identified as either a record or an array. For records, the fields contained in the record are named. For arrays, only the array name is given. Input fields which contain codes or flags are described. All other field and array descriptions have been dropped.

Array Input

The real two-dimensional array reader (U2DREL), the integer two-dimensional array reader (U2DINT), and the real one-dimensional array reader (U1DREL) read one array-control record and, optionally, a data array in a format specified on the array-control record.

FOR REAL ARRAY READER (U2DREL or U1DREL)

Data:	LOCAT	CNSTNT	FMTIN	IPRN
Format:	I10	F10.0	5A4	I10

FOR INTEGER ARRAY READER (U2DINT)

Data:	LOCAT	ICONST	FMTIN	IPRN
Format:	I10	I10	5A4	I10

IPRN--is a flag indicating that the array being read should be printed and a code for indicating the format that should be used. It is used only if LOCAT is not equal to zero. The format codes are different for each of the three modules. IPRN is set to zero when the specified value exceeds those defined in the chart below. If IPRN is less than zero, the array will not be printed.

<u>IPRN</u>	<u>U2DREL</u>	<u>U2DINT</u>	<u>U1DREL</u>
0	10G11.4	10I11	10G12.5
1	11G10.3	60I1	
2	9G13.6	40I2	
3	15F7.1	30I3	
4	15F7.2	25I4	
5	15F7.3	20I5	
6	15F7.4		
7	20F5.0		
8	20F5.1		
9	20F5.2		
10	20F5.3		
11	20F5.4		
12	10G11.4		

LOCAT--indicates the location of the data which will be put in the array.  
 If LOCAT < 0, unit number for unformatted records.  
 If LOCAT = 0, all elements are set equal to CNSTNT or ICONST.  
 If LOCAT > 0, unit number for formatted records.



## Basic Package Input

Input for the Basic (BAS) Package except for output control is read from unit 1 as specified in the main program. If necessary, the unit number for BAS input can be changed to meet the requirements of a particular computer. Input for the output control option is read from the unit number specified in IUNIT(12).

### FOR EACH SIMULATION

1. Record: HEADNG(32)
2. Record: HEADNG (continued)
3. Record: NLAY      NROW      NCOL      NPER      ITMUNI
4. Data:    IUNIT(24)  
Format: 24I3  
(BCF WEL DRN RIV EVT XXX GHB RCH SIP XXX SOR OC)  
      1    2    3    4    5    6    7    8    9    10 11 12
5. Record: IAPART    ISTRT
6. Array:    IBOUND(NCOL,NROW)  
(One array for each layer in the grid)
7. Record: HNOFLO
8. Array:    Shead(NCOL,NROW)  
(One array for each layer in the grid)

### FOR EACH STRESS PERIOD

9. Data:    PERLEN    NSTP    TSMULT

ITMUNI--is the time unit of model data.

0 - undefined	3 - hours
1 - seconds	4 - days
2 - minutes	5 - years

Consistent length and time units must be used for all model data. The user may choose one length unit and one time unit to be used to specify all input data.

IUNIT--is a 24-element table of input units for use by all major options.

IAPART--indicates whether array BUFF is separate from array RHS.

If IAPART = 0, the arrays BUFF and RHS occupy the same space. This option conserves space. This option should be used unless some other package explicitly says otherwise.

If IAPART ≠ 0, the arrays BUFF and RHS occupy different space.

ISTRT--indicates whether starting heads are to be saved.

If ISTRT = 0, starting heads are not saved.

If ISTRT ≠ 0, starting heads are saved.

IBOUND--is the boundary array.

If IBOUND(I,J,K) < 0, cell I,J,K has a constant head.

If IBOUND(I,J,K) = 0, cell I,J,K is inactive.

If IBOUND(I,J,K) > 0, cell I,J,K is active.

HNOFLO--is the value of head to be assigned to all inactive cells.

Shead--is head at the start of the simulation.

PERLEN--is the length of a stress period.

NSTP--is the number of time steps in a stress period.

TSMULT--is the multiplier for the length of successive time steps.

## Output Control Input

Input to Output Control is read from the unit specified in IUNIT(12). All printer output goes to unit 6 as specified in the main program. If necessary, the unit number for printer output can be changed to meet the requirements of a particular computer.

FOR EACH SIMULATION

1. Record: IHEDFM      IDDNFM      IHEDUN      IDDNUN

FOR EACH TIME STEP

2. Record: INCODE IHDDFL IBUDFL ICBCFL

3. Record: Hdpr      Ddpr      Hdsv      Ddsv

(Record 3 is read 0, 1, or NLAY times, depending on the value of INCODE.)

IHEDFM--is a code for the format in which heads will be printed.

IDDNFM--is a code for the format in which drawdowns will be printed.

	0 - (10G11.4)	7 - (20F5.0)
	1 - (11G10.3)	8 - (20F5.1)
positive--wrap	2 - (9G13.6)	9 - (20F5.2)
	3 - (15F7.1)	10 - (20F5.3)
negative--strip	4 - (15F7.2)	11 - (20F5.4)
	5 - (15F7.3)	12 - (10G11.4)
	6 - (15F7.4)	

IHEDUN--is the unit number on which heads will be saved.

IDDNUN--is the unit number on which drawdowns will be saved.

INCODE--is the head/drawdown output code.

If INCODE < 0, layer-by-layer specifications from the last time steps are used. Input item 3 is not read.

If INCODE = 0, all layers are treated the same way. Input item 3 will consist of one record. IOFLG array will be read.

If INCODE > 0, input item 3 will consist of one record for each layer.

IHDDFL--is a head and drawdown output flag.

If IHDDFL = 0, neither heads nor drawdowns will be printed or saved.

If IHDDFL ≠ 0, heads and drawdowns will be printed or saved.

IBUDFL--is a budget print flag.

If IBUDFL = 0, overall volumetric budget will not be printed.

If IBUDFL ≠ 0, overall volumetric budget will be printed.

ICBCFL--is a cell-by-cell flow-term flag.

If ICBCFL = 0, cell-by-cell flow terms are not saved or printed.

If ICBCFL ≠ 0, cell-by-cell flow terms are printed or recorded on disk depending on flags set in the component of flow packages, i.e., IWELCB, IRCHCB, etc.

Hdpr--is the output flag for head printout.

If Hdpr = 0, head is not printed for the corresponding layer.

If Hdpr ≠ 0, head is printed for the corresponding layer.

Ddpr--is the output flag for drawdown printout.

If Ddpr = 0, drawdown is not printed for the corresponding layer.

If Ddpr ≠ 0, drawdown is printed for the corresponding layer.

Hdsv--is the output flag for head save.

If Hdsv = 0, head is not saved for the corresponding layer.

If Hdsv ≠ 0, head is saved for the corresponding layer.

Ddsv--is the output flag for drawdown save.

If Ddsv = 0, drawdown is not saved for the corresponding layer.

If Ddsv ≠ 0, drawdown is saved for the corresponding layer.

## Block-Centered Flow Package Input

Input for the BCF Package is read from the unit specified in IUNIT(:).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: ISS      IBCFCB
2. Data: LAYCON(NLAY) (maximum of 80 layers)  
Format: 40I2  
(If there are 40 or fewer layers, use one record.)
3. Array: TRPY(NLAY)
4. Array: DELR(NCOL)
5. Array: DELC(NROW)

All of the arrays (items 6-12) for layer 1 are read first; then all of the arrays for layer 2, etc.

IF THE SIMULATION IS TRANSIENT

6. Array: sf1(NCOL,NROW)

IF THE LAYER TYPE CODE (LAYCON) IS ZERO OR TWO

7. Array: Tran(NCOL,NROW)

IF THE LAYER TYPE CODE (LAYCON) IS ONE OR THREE

8. Array: HY(NCOL,NROW)

9. Array: BOT(NCOL,NROW)

IF THIS IS NOT THE BOTTOM LAYER

10. Array: Vcont(NCOL,NROW)

IF THE SIMULATION IS TRANSIENT AND THE LAYER TYPE CODE (LAYCON) IS TWO OR THREE

11. Array: sf2(NCOL,NROW)

IF THE LAYER TYPE CODE IS TWO OR THREE

12. Array: TOP(NCOL,NROW)

ISS--is the steady-state flag.

If ISS  $\neq$  0, the simulation is steady state.

If ISS = 0, the simulation is transient.

IBCFCB--is a flag and a unit number.

If IBCFCB > 0, cell-by-cell flow terms will be recorded if ICBCFL  
(see Output Control) is set.

If IBCFCB = 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

If IBCFCB < 0, print flow for constant-head cells if ICBCFL is set.

LAYCON--is the layer type table: 0 - confined, 1 - unconfined,

2 - confined/unconfined (T constant), and 3 - confined/unconfined.

TRPY--is an anisotropy factor for each layer: T or K along a column to T or K along a row.

DELR--is the cell width along rows.

DELC--is the cell width along columns.

sf1--is the primary storage factor.

Tran--is the transmissivity along rows.

HY--is the hydraulic conductivity along rows.

BOT--is the elevation of the aquifer bottom.

Vcont--is the vertical hydraulic conductivity divided by the thickness from a layer to the layer beneath it.

sf2--is the secondary storage factor.

TOP--is the elevation of the aquifer top.

### River Package Input

Input to the River (RIV) Package is read from the unit specified in IUNIT(4).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: MXRIVR IRIVCB

FOR EACH STRESS PERIOD

2. Record: ITMP

3. Record: Layer Row Column Stage Cond Rbot  
(Input item 3 normally consists of one record for each river reach. If ITMP is negative or zero, item 3 is not read.)

IRIVCB--is a flag and a unit number.

If IRIVCB > 0, cell-by-cell flow terms will be recorded.

If IRIVCB = 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

If IRIVCB < 0, river leakage will be printed if ICBCFL is set.

ITMP--is a flag and a counter.

If ITMP < 0, river data from the last stress period will be reused.

If ITMP > 0, ITMP will be the number of reaches active during the current stress period.

### Recharge Package Input

Input to the Recharge (RCH) Package is read from the unit specified in IUNIT(8).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: NRCHOP IRCHCB

FOR EACH STRESS PERIOD

2. Record: INRECH INIRCH

3. Array: RECH(NCOL,NROW)

IF THE RECHARGE OPTION IS EQUAL TO 2

4. Array: IRCH(NCOL,NROW)

NRCHOP--is the recharge option code.

1 - Recharge is only to the top grid layer.

2 - Vertical distribution of recharge is specified in array IRCH.

3 - Recharge is applied to the highest active cell in each vertical column.

IRCHCB--is a flag and a unit number.

If IRCHCB > 0, unit number for cell-by-cell flow terms.

If IRCHCB < 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

INRECH--is the RECH read flag.

If INRECH < 0, recharge rates from the preceding stress period are used.

If INRECH > 0, an array of recharge rates, (RECH) is read.

INIRCH--is similar to INRECH.

### Well Package Input

Input for the Well (WEL) Package is read from the unit specified in IUNIT(2).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: MXWELL IWELCB

FOR EACH STRESS PERIOD

2. Record: ITMP

3. Record: Layer Row Column 0

(Input item 3 normally consists of one record for each well. If ITMP is negative or zero, item 3 is not read.)

MXWELL--is the maximum number of wells used at any time.

IWELCB--is a flag and a unit number.

If IWELCB > 0, unit number for cell-by-cell flow terms.

If IWELCB = 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

If IWELCB < 0, well recharge will be printed whenever ICBCFL is set.

ITMP--is a flag and a counter.

If ITMP < 0, well data from the last stress period will be reused.

If ITMP > 0, ITMP will be the number of wells active during the current stress period.

### Drain Package Input

Input to the Drain (DRN) Package is read from the unit specified in IUNIT(3).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: MXDRN IDRNCB

FOR EACH STRESS PERIOD

2. Record: ITMP

3. Record: Layer Row Col Elevation Cond

(Input item 3 normally consists of one record for each drain.

If ITMP is negative or zero, item 3 will not be read.)

MXDRN--is the maximum number of drain cells active at one time.

IDRNCB--is a flag and a unit number.

If IDRNCB > 0, unit number for cell-by-cell flow terms.

If IDRNCB = 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

If IDRNCB < 0, drain leakage for each cell will be printed whenever ICBCFL is set.

ITMP--is a flag and a counter.

If ITMP < 0, drain data from the last stress period will be reused.

If ITMP > 0, ITMP will be the number of drains active during the current stress period.

## Evapotranspiration Package Input

Input to the Evapotranspiration (EVT) Package is read from the unit specified in IUNIT (5).

FOR EACH SIMULATION

1. Record: NEVTOP IEVTCB

FOR EACH STRESS PERIOD

2. Record: INSURF INEVTR INEXDP INIEVT

3. Array: SURF

4. Array: EVTR

5. Array: EXDP

IF THE ET OPTION IS EQUAL TO TWO

6. Array: IEVT

NEVTOP--is the evapotranspiration (ET) option code.

1 - ET is calculated only for cells in the top grid layer.

2 - The cell for each vertical column is specified by the user in array IEVT.

IEVTCB--is a flag and a unit number.

If IEVTCB > 0, unit number for cell-by-cell flow terms.

If IEVTCB < 0, cell-by-cell flow terms will not be printed or recorded.

INSURF--is the ET surface (SURF) read flag.

If INSURF ≥ 0, an array containing the ET surface elevation will be read.

If INSURF < 0, the ET surface from the preceding stress period will be reused.

INEVTR--is similar to INSURF.

INEXDP--is similar to INSURF.

INIEVT--is similar to INSURF.

## General-Head Boundary Package Input

Input for the General-Head Boundary (GHB) Package is read from the unit specified in IUNIT(7).

For each simulation

1: Record: M X BND            I G H B C B

For each stress period

2: Record: I T M P

3: Record: Layer    Row    Column    Head    Cond  
(Input item 3 normally consists of one record for each GHB.  
if I T M P is negative or 3x0, item 3 is not read.)

M X B N D -- is the maximum number of general-head boundary cells at one time.

I G H B C B -- is a flag and a unit number.

if I G H B C B > 0, unit number for cell-by-cell flow terms.

if I G H B C B = 0, cell by cell flow terms will not be printed or recorded.

if I G H B C B < 0, boundary leakage for each cell will be printed whenever I C B C F L is set.

I T M P -- is a flag and a counter.

if I T M P < 0, GHB data from the preceding stress period will be reused.

if I T M P ≥ 0, I T M P is the number of general-head boundaries during the current stress period.

## Strongly Implicit Procedure Package Input

Input to the Strongly Implicit Procedure (SIP) Package is read from the unit specified in IUNIT(9).

SIP:

for each simulation:

1. Record: MXITER N PARM.

2. Record: ACCL HCLOSE IPCALC WSEED IPRSIP

IPCALC -- is a flag indicating where the iteration parameter seed will come from  
0 - ~~user~~ the seed will be entered by the user.  
1 - the seed will be calculated at the start of the simulation from problem parameters.

IPRSIP -- is the printout interval for SIP.

### Slice - Successive Overrelaxation Package Input

Input to the Slice - Successive Overrelaxation (SOR) package is read from the unit specified in IUNIT(11).

for each simulation

1. Record: MXITER

2. Record: ACCL HCLOSE IPRSOR

IPRSOR -- is the printout interval for SOR.



84 2



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**MODULO III  
MODELOS EN GEOHIDROLOGIA Y CONTAMINACION  
DE ACUIFEROS**

**CONTENIDO :**

**I. INTRODUCCION**

**ING. FEDERICO MEIXUEIRO**

# CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

## Módulo III. Modelos en Geohidrología, Contaminación de Acuíferos.

### Contenido.

#### **1.- Introducción.**

#### **2.- Sistema Operativo.**

- 2.1.- Programas y Archivos.
- 2.2.- Manejo de Archivos.
- 2.3.- Manejo de Directorios.
- 2.4.- Manejo de Discos.
- 2.5.- Manejo de un Editor.

#### **3.- Fundamentos de Programación.**

- 3.1.- Constantes y Variables.
- 3.2.- Proposiciones y Asignaciones.
- 3.3.- Lectura y Escritura.
- 3.4.- Iteraciones y Transferencias.
- 3.5.- Vectores.
- 3.6.- Subprogramas.
- 3.7.- Almacenamiento y Compilación.

#### **4.- Modelos Matemáticos.**

- 4.1.- Qué es un Modelo Matemático.
- 4.2.- Herramientas Computacionales.
- 4.3.- Paquetes de Análisis.
- 4.4.- Lenguajes.

## INTRODUCCION A LAS MICROCOMPUTADORAS.

### **1.- Introducción.**

La finalidad del presente segmento del V Curso Internacional de Contaminación de Acuíferos es la de presentar los fundamentos necesarios y suficientes para la manipulación básica de un modelo matemático elaborado en Software para una computadora personal del tipo compatible con IBM.

Actualmente, la elaboración de modelos matemáticos que simulen la dispersión de elementos contaminantes en un acuífero no es concebible sin la utilización de una computadora. La gran cantidad de procesamiento de información y la gran velocidad de cálculo sólo es posible simultáneamente gracias a las computadoras.

De hecho, una gran cantidad de programas están hechos con tal finalidad o bien existen muchos más que pueden ser utilizados con tal fin, por lo que es indispensable familiarizarse con las técnicas básicas de manejo de microcomputadoras para poder realizar las tareas de procesamiento necesarias para la ejecución de un programa cualquiera.

Dentro de éste segmento, se realizará una descripción somera de un sistema operativo ampliamente difundido para computadores personales compatibles como lo es el Disk Operating System elaborado por Microsoft (MS-DOS), ofreciendo un panorama de su estructura y una referencia de los comandos más usuales.

Asimismo, se ofrecerán fundamentos de programación, aplicables a cualquier lenguaje de programación, pero enfocando el aspecto de compilación al Microsoft Fortran, de un gran uso en la Facultad y el Instituto de Ingeniería, así como en muchos otros centros de enseñanza e investigación de la Ingeniería en México.

Por último, se presentará un esbozo de un modelo matemático, presentando varias de las alternativas que existen en el mercado actual de software para su procesamiento.

## 2.- Sistema Operativo.

En una computadora, la información se proporciona a y se remueve de la unidad de procesamiento central (CPU) a través del uso de "archivos" grabados en disco flexible, disco duro, disco óptico, cinta, etc.

Un grupo de archivos administrativos, que se conocen colectivamente como el "sistema operativo", son necesarios para controlar la operación de la computadora y el manejo de los archivos generados por el usuario.

Visto de otra manera, el sistema operativo puede visualizarse como un intérprete entre el usuario y la computadora para poder administrar la memoria y los periféricos del ordenador por medio de órdenes fácilmente identificables con palabras (en inglés).

En computadoras personales compatibles con IBM es muy común emplear el sistema operativo de Microsoft "Disk Operating System" o más conocido como MS-DOS, que será al que se haga referencia en éste segmento.

En un sistema de disco duro, el sistema operativo deberá estar residente en él, inicializándose cada vez que se enciende el interruptor de la computadora. En caso contrario, se deberá contar con una copia del sistema operativo en disco flexible para inicializar una computadora que no lo contenga.

### 2.1.- Programas y Archivos.

El sistema operativo permite el uso de la memoria a través de unidades variables en tamaño denominadas "archivos", tales archivos pueden contener instrucciones o datos y se hace referencia a él por un único nombre de archivo asignado por el programador. El nombre de archivo se utiliza para la identificación de un archivo para copiarlo, editarlo, renombrarlo, visualizarlo en la pantalla, imprimirlo, almacenarlo, etc. El nombre de archivo puede o no tener una extensión. La forma general del nombre de archivo con extensión es:

NOMBREDEARCHIVO.EXT

El nombre de archivo puede ser cualquier combinación de 1 a 8 letras, números u otros caracteres aceptables, asignados por el programador. La extensión podrá ser cualquier combinación de 1 a 3 letras, números u otros caracteres aceptables. El nombre de archivo y la extensión se separan por un punto. Los siguientes caracteres son aceptables en MS-DOS:

\$ # \$ @ ! ( ) - { } ' ` \_ ; : |

Ni el nombre de archivo ni la extensión podrán contener blancos. El truncamiento del nombre del archivo y de la extensión ocurre en el primer blanco.

Los caracteres ? y \* llamados caracteres globales de nombre de archivo o caracteres comodines pueden usarse en lugar de cualquier caracter de un nombre de archivo y extensión y significan cualquier caracter.

Los nombres de archivo y extensión que se elijan deberán ser descriptivos del contenido del archivo. Las siguientes extensiones reservadas tienen un significado especial para MS-DOS y deberán ser utilizadas con mucho cuidado:

BAT COM EXE SYS

Además, los siguientes nombres de archivo reservados también tienen un significado especial para DOS y no deberán asignarse por el programador en otros contextos:

Nombres de archivos para controlar dispositivos:

CON PRN NUL

LPT1 LPT2 LPT3

AUX COM1 COM2

Nombres de archivos asignados a comandos del sistema DOS:

DIR DEL DISKCOPY TYPE ERASE DISKCOMP RENAME

CLS CHKDSK COPY FORMAT EDLIN

## 2.2.- Manejo de Archivos.

### Cambio de unidad de disco por omisión

Mientras no se indique algo distinto, ya sea por el programador desde el teclado o mediante una instrucción programada, la unidad de disco por omisión es la unidad A, es decir, al terminar de cargarse el sistema operativo aparece la petición A>. Toda la información se copia de o graba en el disco flexible en la unidad de disco A, la cual es la *unidad por omisión*.

La unidad de disco por omisión puede cambiarse de la unidad A a la B y regresar de nuevo a la A con:

A> \_

A>B: \_ ← Para pasar la unidad de disco por omisión de la unidad A a la unidad B, escribase B: y presiónese la tecla ←

B> \_

B>A: \_ ← Para cambiar la unidad de disco por omisión de B a la unidad A, escribase A: y oprímase la tecla ←

A> \_

### Los comandos del sistema DOS

El disco flexible de DOS contiene un procesador de comandos, archivado bajo el nombre y la extensión COMMAND.COM, que controla el hardware de la computadora y maneja el software. El archivo COMMAND.COM puede grabarse en un disco nuevo durante la operación de formateado, la cual se describirá más adelante en este apéndice. El archivo COMMAND.COM incluye los siguientes *comandos internos*, que son necesarios para el programador de FORTRAN:

DIR	TYPE	COPY
RENAME	DELETE	ERASE
CLS	VOL	FILENAME.BAT
AUTOEXEC.BAT	ECHO	

En adición a los comandos internos contiene el archivo COMMAND.COM, el disco de DOS contiene varios *comandos externos*, con extensión COM o EXE, indispensables para el programador FORTRAN:

FORMAT DISKCOPY DISKCOMP CHKDSK EDLIN SORT MORE

La función de los comandos externos e internos seleccionados se analiza en las Secciones C-6 a C-21 de este Apéndice.

La operación que se describe en las Secciones C-6 a C-21 requiere de un disco en la unidad A con el archivo procesador de comandos COMMAND.COM y el comando externo DOS específico. La ejecución de cada uno de los comandos del sistema se inicia cuando se presiona la tecla ←.

### Preparación de un disco flexible para recibir información nueva

Para preparar un disco flexible nuevo para recibir información (*formateado*), úsese el comando externo FORMAT:

- a) A > FORMAT B: ← Borra todos los registros almacenados en el disco de la unidad B y establece la rejilla electrónica de pistas y sectores que se utilizan como "direcciones" para la nueva información.
- b) A > FORMAT B:/S ← /S después de FORMAT B: copia de manera automática el procesador de comandos de datos de DOS COMMAND.COM y ciertos "archivos ocultos" necesarios para cargar el sistema del disco de la unidad A al disco de la unidad B.
- c) A > FORMAT B:/V ← /V luego de FORMAT B: proporciona la etiqueta del disco (con 11 o menos caracteres) elegida por el programador. El punto de petición A > aparece después del formateado y de imprimir la etiqueta en el disco.
- d) A > FORMAT B:/S/V ← Si se quiere pueden emplearse los dos.
- e) A > YQL B: ← Visualiza la etiqueta que se asignó al disco en la unidad indicada, la unidad B en este ejemplo.

**Precaución:** El comando FORMAT borra todos los archivos del disco flexible cuando se formatea. Cualquier archivo que deba salvarse debe copiarse en otro disco antes del formateo.

### Presentación del directorio del contenido de un disco específico

Para exhibir un directorio del contenido de un disco flexible particular, úsese el comando DIR (interno):

- a) A > DIR ← Para cada archivo grabado en el disco de la unidad indicada, la unidad por omisión A en el caso a), la unidad B en el ejemplo b), lista el nombre del archivo, su extensión, el número de

- bytes que se usaron y la fecha y la hora en la que se grabó. Si el directorio contiene más de 23 archivos, la lista se enrolla hasta que aparece la última línea del directorio, el espacio total disponible (bytes) en el disco.
- a) **A> DIR A: =** ←
- b) **A> DIR B: =** ←
- c) **A> DIR B:/P =** ←
- d) **A> DIR B:/W =** ←
- e) **A> DIR | MORE =** ←
- f) **A> DIR | SORT =** ←
- g) **A> DIR \*.FOR | SORT =** ←
- /P detiene el enrollamiento de la lista cuando la pantalla está llena (23 líneas). Para visualizar los siguientes 23 renglones presíonese la tecla ←
- /W muestra sólo los nombres del archivo y la extensión (sin la fecha, la hora, y el tamaño) de todos los archivos grabados en el disco en la unidad específica, en 5 columnas o el ancho de la pantalla. Este comando exhibe en la pantalla al mismo tiempo la lista sin enrollar de todos los archivos del disco.
- El comando MORE visualiza a un tiempo 23 líneas (una pantalla completa). Al oprimir la tecla ← se exhiben los siguientes 23 renglones, etc. El archivo MORE.COM debe estar en el disco cuyo directorio se listará. Nótese el uso del carácter |.
- El comando SORT muestra el directorio en orden alfabético por el nombre del archivo. El archivo SORT.EXE debe estar en el disco cuyo directorio se listará. Obsérvese la utilización del símbolo |.
- Son posibles otras combinaciones del comando DIR. Por ejemplo, DIR \*.FOR | SORT visualiza en orden alfabético todos los archivos con extensión FOR.

Los casos anteriores muestran como unidad por omisión la (A). Esta puede cambiarse por la unidad B como se indica en la Sección C-4.

#### Exhibición del texto de un archivo

Para visualizar el texto de un archivo específico, utilícese el comando TYPE (interno):

- a) **A> TYPE NOMBREDEARCHIVO.EXT =** ←  
o  
**A> TYPE A:NOMBREDEARCHIVO.EXT =** ←
- b) **A> TYPE B:NOMBREDEARCHIVO.EXT =** ←
- Exhibe el texto del archivo grabado en el disco bajo el nombre del archivo y la extensión que se especifican en la unidad de disco correspondiente por unidad por omisión A en el ejemplo a) la unidad B en el caso b)

#### Cambio del nombre o extensión de un archivo

Para cambiar el nombre o la extensión de un archivo particular, utilícese el comando RENAME (interno):

- a) **A> RENAME NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT =** ←  
o  
**A> RENAME A:NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT =** ←
- b) **A> RENAME B:NOMBREVIEJO.EXT NOMBRENUEVO.EXT =** ←

RENAME cambia el nombre del archivo del primer nombre listado por el segundo en la unidad indicada, por ejemplo, NOMBREVIEJO.EXT a NOMBRENUEVO.EXT en la unidad A, en el caso a), la unidad B en el ejemplo b).



## Borrar la pantalla

Empléese el comando CLS (interno) para borrar la pantalla.

A> CLS = ←

Borra la pantalla y después coloca el punto de petición A> y el cursor centelleando en la esquina superior izquierda de la pantalla.

## Borrar en forma permanente un archivo de un disco

Para eliminar un archivo de un disco flexible, empléese alguno de los siguientes dos comandos, DEL o ERASE (internos). (Los dos ejecutan la misma función).

- a) A> DEL NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←      Borra del disco en la unidad por omisión A el archivo específico.  
o  
A> ERASE A:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←      NOMBREDEARCHIVO.EXT.
- b) A> DEL B:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←      Elimina del disco en la unidad B el archivo indicado.  
o  
A> ERASE B:NOMBREDEARCHIVO.EXT = ←      NOMBREDEARCHIVO.EXT.
- c) A> DEL B:PROGRAMA.??? = ←      Usa el carácter "comodín" (?) para borrar todos los archivos cuyo nombre sea PROGRAMA (con cualquier extensión) del disco en la unidad B. El otro "comodín" (\*) también puede emplearse, en ese caso sólo se necesita un asterisco.  
o  
A> ERASE B:PROGRAMA.\* = ←
- d) A> DEL B:\*.BAK = ←      Mediante el carácter "comodín" (\*) se eliminan todos los archivos con la extensión BAK (cualquier nombre de archivo) del disco de la unidad B. El otro carácter "comodín" (?) también puede utilizarse; sin embargo, se requieren 8 signos de interrogación o 1 por cada símbolo del nombre del archivo.  
o  
A> DEL ??????????.BAK = ←

## Duplicación de un archivo específico y almacenamiento con otro nombre

Úsese el comando COPY (interno) para duplicar un archivo particular y almacenarlo con un nombre de archivo distinto, como en:

A> COPY ARCHIVOVIEJO.EXT ARCHIVONUEVO.EXT = ←

Este comando copia el texto de un archivo específico (ARCHIVOVIEJO.EXT) a un archivo nuevo (ARCHIVONUEVO.EXT). El nombre y el contenido del archivo viejo permanecen sin cambio.

**NOTA:** Si hay un archivo con el mismo nombre del archivo nuevo (ARCHIVONUEVO.EXT) en el disco, su contenido se reemplaza por la información del archivo viejo (ARCHIVOVIEJO.EXT).

**Copiar un archivo de un disco flexible en la unidad A a un disco flexible en la unidad B**

Utilícese el comando COPY (interno) para duplicar un archivo de un disco flexible en la unidad A a uno en la unidad de disco B, como:

a) A>COPY NOMBREDEARCHIVO.EXT B: ←

Copia el texto de un archivo específico (NOMBREDEARCHIVO.EXT) del disco fuente en la unidad A, al disco destino en la unidad B y asigna el mismo nombre de archivo NOMBREDEARCHIVO.EXT a la copia

b) A>COPY A:ARCHIVOVIEJO.EXT B:ARCHIVONUEVO.EXT ←

Copia el contenido del archivo indicado (ARCHIVOVIEJO.EXT) del disco fuente en la unidad A, al disco destino. Asigna un nombre de archivo (ARCHIVONUEVO.EXT) al nuevo archivo. El nombre del archivo y el texto en el disco fuente permanece sin cambio

*Nota:* En a) y b) si existe un archivo con el mismo nombre (ARCHIVONUEVO.EXT) en el disco destino, su contenido se sustituye por la información del archivo del disco fuente

**Copiar todos los archivos de un disco flexible en la unidad A a la unidad B**

Para copiar todos los archivos de un disco flexible de la unidad de disco A al disco flexible de la unidad B, un archivo a la vez, úsese el comando COPY (interno) como sigue:

A>COPY \*.\* B: ←

Copia el texto de cada archivo del disco fuente en la unidad A al disco destino en la unidad B. Los archivos se duplican uno a uno y se listan en la pantalla conforme se copian.

**Introducir de manera directa un archivo desde la consola a un disco flexible**

Para introducir de modo directo un archivo desde la consola (teclado) a un disco flexible, empléese el comando COPY (interno) como en:

A>COPY CON B:ARCHIVO.DAT ←

123.456 ←  
987.654 ← } texto del archivo  
1 0.123 ←  
2 1.075 ←  
3 2.375 ←

\*Z ←  
F6 ←

Copia de manera directa el contenido desde la consola (teclado) a el disco en la unidad B. Asigna el nombre del archivo ARCHIVO.DAT

Siguiendo la última línea del texto, presionese F6 entonces oprímase la tecla ← (El presionar F6 causa la aparición de \*Z).

#### Imprimir el texto de un archivo

Úsese el comando COPY (interno) para imprimir el contenido de un archivo específico, como sigue:

```
A> COPY B:NOMBREDEARCHIVO.EXT PRN = ←  
o  
A> COPY B:NOMBREDEARCHIVO.EXT LPT1 = ←
```

Con la impresora activada, este comando hace que la impresora imprima el texto del archivo indicado (NOMBREDEARCHIVO.EXT) del disco en la unidad B).

#### Duplicar un disco flexible

Para duplicar un disco flexible, por ejemplo, copiar el contenido entero del disco flexible a otro disco flexible, utilícese el comando DISKCOPY (externo). Iníciase con un disco flexible que contenga el archivo DISKCOPY.COM en la unidad A.

```
A> DISKCOPY A: B: = ←
```

Respóndase a la petición removiendo el disco DOS de la unidad A e insértese el disco fuente en la unidad A y el disco destino en la unidad B. Este comando formatea el disco de la unidad B y copia el contenido completo del disco en la unidad A (el disco fuente) al disco en la unidad B (el disco destino).

*Precaución:* En DOS 2.10, la ejecución del comando DISKCOPY formatea de manera automática el disco destino. *Toda la información almacenada en el disco en la unidad B se borra.*

#### Comparar y verificar los contenidos de dos discos

Para comparar los contenidos de dos discos y verificar que son idénticos, úsese el comando DISKCOMP (externo). Empiécese con un disco que contenga el archivo DISKCOMP.COM en la unidad A.

```
A> DISKCOMP A: B: = ←
```

Respóndase a la petición retirando el disco DOS de la unidad A e insértese ahí mismo el disco original y la copia en la unidad B. Este comando compara los archivos del disco de la unidad B con los del disco de la unidad A y verifica que sean iguales.

*Nota:* El comando DISKCOMP puede emplearse después de duplicar un disco para asegurarse que los archivos en la copia son idénticos con los archivos del original.

#### Revisar el estado de un disco

Úsese el comando CHDSK (externo) para revisar el estado de un disco:

```
A> CHKDSK B: = ←
```

Proporciona un informe del estado en el disco en la unidad indicada. Revisa los sectores y pistas no utilizados; cuantifica el espacio usado (bytes) e indica el número de bytes disponibles en el espacio restante del disco.

## 2.3.- Manejo de Directorios.

Un disco contiene grupos de archivos denominados directorios. Cuando un directorio contiene tanta información que ya no se puede encontrar fácilmente lo que se desea, se subdivide en subdirectorios.

### Uso de directorios

Los directorios son muy importantes cuando se utiliza un disco duro. Si se utilizan sólo disquetes, los archivos se pueden mantener organizados colocándolos en disquetes distintos. Con un disco duro, que normalmente puede almacenar mucha más información que un disquete, se hace necesario organizar los archivos en categorías, de forma que se puedan encontrar fácilmente.

### El árbol de directorios

Cada disco tiene por lo menos un directorio. Cuando se da formato a un disquete o al disco duro, MS-DOS crea un directorio en el que se almacenan el resto de los archivos y directorios. Este directorio se denomina *directorio raíz*. Se pueden crear subdirectorios del directorio raíz para organizar los archivos. Los directorios y subdirectorios forman una estructura denominada *árbol de directorios*. Se pueden crear subdirectorios dentro de estos subdirectorios para organizar incluso más archivos.

Puede seguir añadiendo directorios en cualquier nivel de la estructura, hasta 512 archivos y directorios en el directorio raíz del disco duro (un directorio raíz en un disquete tiene menos archivos y directorios). No obstante, MS-DOS se ejecuta más lentamente si hay más de 150 archivos y subdirectorios en el mismo directorio.

Hablando con propiedad, el resto de los directorios distintos del directorio raíz son subdirectorios. Sin embargo, es normal utilizar el término *directorio*. En el manual, el término *subdirectorio* se utiliza sólo para dar mayor énfasis a la relación entre dos directorios. Un subdirectorio a veces se denomina *directorio hijo*, y el directorio que lo contiene se denomina con frecuencia *directorio padre*.

## Nombres para directorios

Con excepción del directorio raíz, que siempre se representa por una barra invertida (\), cada directorio tiene un nombre y algunas veces una extensión. Para dar nombre a los directorios se siguen estas reglas:

- El nombre tiene que contener entre 1 y 8 caracteres.
- La extensión puede tener un máximo de 3 caracteres, separados del nombre del directorio por un punto.
- El nombre y la extensión pueden tener cualquier letra desde la A a la Z, números desde el 0 al 9, y los siguientes caracteres especiales: subrayado (\_), símbolo de intercalación (^), símbolo de dolar (\$), tilde (~), signo de exclamación de cierre (!), símbolo de número (#), signo de porcentaje (%), símbolo de unión (&), guión (-), llaves ( { } ), y paréntesis ( ). No se aceptan otros caracteres especiales.
- El nombre no puede contener espacios, barras invertidas (\), comas o puntos. El nombre puede contener caracteres extendidos.
- Dos subdirectorios que estén en el mismo directorio no pueden tener el mismo nombre. Sin embargo, subdirectorios de diferentes directorios pueden tener el mismo nombre.

El directorio actual se indica con su nombre o con un punto. Al directorio padre del directorio actual se le puede nombrar por su nombre o por un doble punto. Cuando se utiliza el comando `dir` para examinar los archivos y directorios de un directorio (diferentes del directorio raíz), se pueden ver estos símbolos en pantalla, que representan los directorios padre e hijo.

## Rutas de acceso

La *ruta de acceso* indica el emplazamiento de un archivo dentro del árbol de directorios. Es el camino que debe seguir MS-DOS, partiendo del directorio raíz, para llegar a un archivo de otro directorio. MS-DOS reconoce rutas de acceso de hasta 66 caracteres, (incluyendo la letra de la unidad y los dos puntos). Por ejemplo suponga que la unidad C tiene este árbol de directorios:

```
[C:\] tree
Lista de directorios en RUTA y estructura del Volumen CESAP
Número de serie del volumen es 1575-6935
C:.
├── DOS
├── ARTE
│   ├── TRABAJO
│   ├── PERSONAL
│   └── ESTUDIO
```

Para llegar hasta los archivos del directorio PERSONAL, MS-DOS debe pasar por los siguientes directorios: raíz (\), ARTE y PERSONAL. Por lo tanto el nombre de la ruta de acceso sería: \arte\personal

La primera barra invertida representa el directorio raíz; la segunda separa el directorio PERSONAL del directorio padre, ARTE.

Para encontrar el directorio PERSONAL, debe escribir primero la ruta de acceso del directorio. Si desea especificar el archivo FIG1.MSP en el directorio \ARTE\PERSONAL, debe agregar a la ruta otra barra invertida y el nombre del archivo:

```
\arte\personal\fig1.msp
```

Puede haber otros archivos denominados FIG1.MSP en otros directorios y puede haber otros directorios denominados \ARTE\PERSONAL en otros discos. Para distinguir específicamente un archivo del resto de los archivos, se tiene que agregar una letra de unidad a la ruta de acceso y al nombre del archivo. Por ejemplo, la ruta de acceso completa del archivo FIG1.MSP del directorio ARTE\PERSONAL de la unidad C es:

```
c:\arte\personal\fig1.msp
```

### La unidad actual

A menos que se indique lo contrario, MS-DOS supone que se quiere utilizar el árbol de directorios en la unidad actual. La letra de la unidad actual normalmente es parte del símbolo del sistema. Si actualmente se está utilizando el directorio raíz de la unidad A y se quiere suprimir el archivo A:\FIG1.MSP, se debe escribir el siguiente comando:

```
del fig1.msp
```

Sólo puede haber una unidad actual a la vez. Para trabajar con los archivos de la unidad que no es la actual, se debe escribir otra letra de unidad seguida por dos puntos y presionar la tecla ENTRAR.

### El directorio actual

El directorio en el que se está trabajando es el directorio actual para esa unidad. MS-DOS puede presentar en pantalla la ruta de acceso del directorio actual como parte del símbolo del sistema. Si se desea realizar alguna operación en un archivo, y se está utilizando actualmente el directorio en el que está el archivo, no se necesita escribir la ruta de acceso del directorio actual. Si C es la unidad actual y \ARTE\PERSONAL es el directorio actual, se puede suprimir el archivo siguiente C:\ARTE\PERSONAL\FIG1.MSP escribiendo lo siguiente: del fig1.msp

Si se está trabajando con dos unidades, cada una de ellas tiene un directorio actual. Suponemos que C es la unidad actual y \ARTE\PERSONAL es el directorio actual. En su disco de la unidad A, suponga que el directorio \FIGS es el directorio actual. Se debe

---

escribir el siguiente comando para copiar el archivo FIG2.MSP desde A:\FIGS a C:\ARTEPERSONAL: `copy a:fig2.msp c:`

A menos que se especifique una ruta de acceso diferente, se trabaja en el directorio actual en cada unidad. Cuando se inicia el sistema se está en los directorios raíces de las unidades del sistema. El directorio actual de una unidad de disquete cambia al directorio raíz si se cambian los discos.

Para trabajar con archivos en un directorio que no es el actual, hay dos opciones: se escribe la ruta de acceso del otro directorio o se hace actual el otro directorio utilizando el comando `cd` (cambio de directorio), que se describe posteriormente.

Si se está trabajando con archivos de programa que no están en el directorio actual, se puede incluir la ruta de acceso del otro directorio en el comando `path`. Vea el tema "Especificación de una ruta de búsqueda" en este capítulo.

Si se quiere escribir la ruta de acceso de otro directorio, se incluye la parte de la ruta de acceso que es diferente desde la ruta de acceso del directorio actual. Si el directorio actual es \ARTE, se puede suprimir el archivo \ARTE\PERSONAL\FIG1.MSP escribiendo el siguiente comando: `del personal\fig1.msp`

En este caso no es necesario escribir la ruta de acceso completa, ya que el archivo que se quiere escribir está en un subdirectorio del directorio actual.

## Modificación del símbolo del sistema

Se puede utilizar el comando `prompt` para modificar la apariencia del símbolo del sistema. A menos que se indique lo contrario, MS-DOS visualiza la letra de la unidad actual seguida de un signo mayor que (>) como símbolo del sistema. Por ejemplo, el siguiente símbolo le indica que la unidad activa es la A: `A>`

Se pueden utilizar varios parámetros con el comando `prompt` para cambiar el símbolo del sistema.

## Presentación del contenido de directorios

Este apartado describe cómo presentar la lista del contenido de directorios utilizando la línea de comandos.

### Presentación de directorios completos.

Para ver el contenido de un directorio, se utiliza el comando `dir`. Para ver el contenido del directorio `C:\TRABAJO` se utiliza éste comando:

```
dir c:\trabajo
```

### Presentación de grupos de nombres de archivos.

Para presentar la lista de un determinado grupo de nombres de archivos de un directorio, se incluyen comodines con el comando `dir`. El siguiente comando presenta una lista de todos los archivos del directorio actual que tengan la extensión `.COM`:

```
dir *.com
```

### Presentación de todos los directorios de un disco.

Para presentar en la pantalla la estructura de un directorio y sus subdirectorios, se utiliza el comando `tree` (árbol). Por ejemplo, el siguiente comando presenta en pantalla la relación entre el directorio `C:\TEMP` y sus subdirectorios:

```
tree c:\temp
```

### Creación de directorios.

Para crear un directorio, se utiliza el comando `md` (`mkdir`). Si el directorio `C:\IMPUESTO\ANUAL` es el directorio actual, el siguiente comando crea un subdirectorio llamado `MENSUAL`:

```
md mensual
```



### Cambio de directorio.

Para desplazarse a un directorio diferente en la unidad actual, se utiliza el comando `cd` (o en su forma ampliada `chdir`). El siguiente comando cambia el directorio actual al directorio `C:\OFICINA\INFORMES`:

```
cd oficina\informes
```

### Eliminación de directorios.

Para eliminar un directorio se utiliza el comando `rd` (`rmdir`), como en el siguiente ejemplo:

```
rd c:\oficina\informes\finanzas
```

El sistema MS-DOS elimina el subdirectorio `FINANZAS` del directorio `C:\OFICINA\INFORMES` de la unidad actual. El directorio que elimina no puede contener ningún archivo o subdirectorio.

### Copia de todos los archivos de un directorio.

Para copiar un solo directorio (sin subdirectorios), se utiliza el comando `xcopy` sin modificadores. Por ejemplo, para copiar todos los archivos del directorio `C:\INFORMES\FINANZAS` al directorio `FINANZAS` de la unidad `A`, se deberá escribir el siguiente comando:

```
xcopy c:\informes\finanzas a:\finanzas
```

## 2.4.- Manejo de Discos.

La información se guarda en discos y permanece intacta hasta que se eliminan. En contraste, la memoria RAM (memoria de acceso aleatorio), proporciona almacenamiento de información que se pierde cada vez que se apaga el ordenador.

### Tipos de discos

Un disquete es un disco flexible y muy delgado que tiene una cubierta protectora de plástico. Un disco duro tiene uno o más discos rígidos apilados uno encima del otro dentro de una caja cerrada completamente. A los discos duros también se los denomina *discos fijos* porque permanecen dentro del sistema. Una vez que se ha instalado el disco duro, no se debe retirar a no ser que esté dañado o se desee sustituir por un disco de mayor capacidad.

La información de los discos se divide en pistas. Cada pista es un círculo concéntrico que puede contener una cierta cantidad de información. Cuantas más pistas tenga un disco, más información puede almacenar. Un disco duro puede almacenar más información que los disquetes porque tiene más caras y más pistas por cara.

Los disquetes varían en cuanto al tamaño y la cantidad de información que pueden contener. A continuación se presenta una lista con los principales tipos de disquetes con los que se puede trabajar en MS-DOS, y la cantidad de información que cada uno puede almacenar:

5 1/4 pulgadas una sola cara/doble densidad	160K
5 1/4 pulgadas una sola cara/doble densidad	180K
5 1/4 pulgadas dos caras/doble densidad	320K
5 1/4 pulgadas dos caras/doble densidad	360K
5 1/4 pulgadas dos caras/cuadruple densidad	1200K ó 1,2 MB
3 1/2 pulgadas dos caras/doble densidad	720K
3 1/2 pulgadas dos caras/cuadruple densidad	1440K ó 1,44 MB
3 1/2 pulgadas dos caras/alta densidad	2880K ó 2,88 MB

La mayor parte de los disquetes tienen etiquetas que indican de qué tipo son. También se puede utilizar el comando `dir` o `chkdsk` para ver la información sobre la capacidad de

almacenamiento de un disco que ya tiene formato.

## Bytes, Kilobytes y Megabytes

El tamaño de los archivos se mide en *bytes*. Un byte es la cantidad de espacio que se necesita para almacenar un solo carácter. Un kilobytes equivale a 1024 bytes. En este manual el *kilobyte* se abrevia como KB. Un megabytes equivale a 1024 K (casi un millón de bytes). En este manual la palabra *megabytes* se abrevia como MB. Por ejemplo, si un disco puede almacenar casi 1,2 millones de bytes de información, es un disco de 1,2 MB.

## Tipos de unidades de disco

No todos los tipos de disquetes son compatibles con todos los tipos de unidades de disco. En general, al disquete se le debe dar un formato con una capacidad menor o igual que la de la unidad en la que se utilice para que el disco y la unidad sean compatibles. Para comprobar si un disco funciona con una determinada unidad, el disco se inserta en la unidad y se utiliza el comando **dir**. Si el disco y la unidad son compatibles o el disco no tiene formato, MS-DOS presenta un mensaje de error que le comunica que hay un fallo general.

MS-DOS ajusta sus operaciones para trabajar con el tipo de unidad de disco que se está utilizando. Para algunos comandos, se incluye un modificador si la unidad de disco y el disquete no tienen la misma capacidad.

## El formato de los discos

Antes de poder utilizar un disco, se debe preparar utilizando el comando **format**. El disco puede tener o no formato previo. Cuando se da formato a un disco, MS-DOS realiza un *formato de seguridad*. Con este formato de seguridad, se puede restaurar el disco a su condición anterior mediante el comando **unformat**, siempre que no se hayan guardado archivos en dicho disco.

Se puede incluir el modificador **/u** con el comando **format** para ejecutar un formato incondicional. Este formato destruye toda la información del disco. Si de forma errónea se da formato a un disco incondicionalmente, todavía se puede recuperar la información perdida siempre que se haya instalado el programa Mirror antes de utilizar el comando **format**. El programa Mirror se describe en la siguiente sección.

---

Cuando se da formato a un disquete o a un disco duro, MS-DOS reserva una pequeña parte del disco para su sistema de registro. El sistema de registro se compone de dos partes: *una tabla de asignación de archivos* (que determina el emplazamiento de cada archivo del disco) y el *directorio raíz* (que almacena el nombre, tamaño, fecha y hora de creación y los atributos de los archivos del disco).

Un *sector* es la unidad de almacenamiento básica de un disco. Cada sector de un disco puede almacenar medio kilobyte de información. Cuando MS-DOS da formato a un disco, MS-DOS verifica cada sector para detectar si tiene algún defecto, y marcarlo para que no pueda almacenar datos en ellos. Cuando MS-DOS almacena un archivo en un disco, utiliza grupos de sectores llamados *unidades de asignación*. El número de sectores por unidad de asignación depende del tamaño del disco.

Si se utiliza un disco duro nuevo, se debe realizar una partición antes de poder darle formato. Mientras se ejecuta el programa de instalación de MS-DOS puede crear particiones y dar formato al disco duro.

## Formato de un disco

### En breve

Para dar formato a un disquete o a un disco duro, se utiliza el comando **format**. Se debe especificar la unidad que contiene el disco al que se quiere dar formato. Por ejemplo, el siguiente comando da formato a un disquete de la unidad A: `format a:`

MS-DOS realiza un formato de seguridad de forma predeterminada. Si se desea deshacer el formato de seguridad, se añade el modificador `/u` al comando **format** el modificador `/u` elimina todos los datos existentes en un disco. Cuando se utiliza el comando **format** con el modificador `/u` para dar formato al disco duro, aparece el siguiente mensaje:

Peligro, todos los datos del disquete de la unidad C: se perderán  
¿Continuar con el formato (S/N)?

Escriba **s** para continuar, o **n** para cancelar el comando.

Utilizando el modificador `/q` con el comando **format**, se puede realizar un formato rápido en un disco con formato previo, lo cual reduce el tiempo que MS-DOS necesita para dar formato a un disco. Sólo se utiliza el modificador `/q` si no se han recibido errores de lectura/escritura en el disco al que se esté dando formato.

Mientras se da formato al disco, MS-DOS presenta un mensaje que indica el porcentaje del disco al que se da formato. Una vez terminado el proceso, se pregunta si se desea dar al disco una *etiqueta del volumen*. Se debe escribir el nombre que se desee dar al disco o presionar la tecla ENTRAR si no se desea una etiqueta.

MS-DOS presenta la siguiente información:

```
1213952 bytes de espacio total en disco
1213952 bytes disponibles en disco
    512 bytes en cada unidad de asignación
    2371 unidades de asignación disponibles en disco
Número de serie del volumen 382C-17F4
```

*Bytes de espacio total en disco* Indica la capacidad de almacenamiento del disco.

*Bytes utilizados por el sistema* Aparece si se han transferido al disco los archivos del sistema de MS-DOS e indica el espacio que ha sido ocupado por los tres archivos del sistema.

*Bytes en sectores defectuosos* Indica la cantidad de espacio que no es posible utilizar debido a sectores defectuosos. Si no hay sectores defectuosos, esta línea se omite. Si un disquete tiene sectores defectuosos, se debe considerar no almacenar archivos importantes o archivos de copia de seguridad en él. La mayor parte de los discos duros tienen un pequeño número de sectores defectuosos.

*Bytes disponibles en disco* Indica el espacio total del disco menos la cantidad de espacio utilizado por los archivos del sistema y los sectores defectuosos. Si el disco no contiene archivos del sistema y no hay sectores defectuosos, este número es igual al número de bytes del espacio total del disco.

*Bytes en cada unidad de asignación y unidades de asignación disponibles en un disco* Indican la forma en que MS-DOS ha dividido el disco para el almacenamiento de los archivos. Si se multiplican las dos cifras de estas líneas, el resultado debe coincidir con la cifra que corresponde al número de "Bytes disponibles en disco".

*El número de serie del volumen* Indica el número de serie asignado al disco. Este número no cambia a menos que se dé nuevamente formato al disco.

La siguiente línea es un símbolo del sistema para dar formato a otro disco. Se escribe *s* para dar formato a otro disco en la misma unidad con los mismos modificadores, o se escribe *n* para volver al símbolo del sistema.

## **Modificación de la capacidad de un disquete**

A menos que se indique lo contrario, MS-DOS supone que el disco que se quiere dar formato tiene la capacidad máxima que corresponde a la unidad. Para dar formato a un disco de menor capacidad, se debe utilizar el modificador */f:*. Por ejemplo, si la unidad A es de 1,2 MB, para discos de 5 1/4 pulgadas y se desea dar formato a un disco de 360 KB, se debe utilizar el siguiente comando:

```
format a: /f:360
```

Algunas de las unidades de disco modernas pueden detectar la capacidad del disquete. Si se dispone de este tipo de unidad, no se necesita especificar estos modificadores.

**NOTA** Existen diferencias de hardware entre unidades de disco, por lo que algunas unidades de 360 KB no pueden leer de manera fiable discos a los que se ha dado formato en una unidad de 1,2 MB con el modificador */f:360*.

## 2.5.- Manejo de un Editor.

Con la finalidad de generar un código para un programa, para revisar listas de resultados, añadir texto a una presentación, etc., se precisa del manejo de un editor de texto.

Para ello, desde las tempranas versiones de MS-DOS, se ha incluido en los diskettes de programas, editores de texto, que aunque un tanto cándidos, son eficientes. Las últimas versiones de MS-DOS incluyen editores (EDIT), que son más refinados y permiten un procesamiento de texto más capaz.

Asimismo, para la edición de texto tipo ASCII (American Standard Code for Information Interchange), se pueden utilizar editores de texto comerciales (WordStar, WordPerfect, Norton Editor, etc).

Tales editores de texto deberán invocarse desde el sistema operativo y contienen reglas internas de operación que pueden consultarse en sus respectivos manuales de referencia o en sus subprogramas de ayuda.

## **3.- Fundamentos de Programación.**

Para un entendimiento claro de las estructuras y funciones de un programa, es necesario conocer varios tópicos referentes a la programación, para tal efecto, se ha escogido para éste segmento, el lenguaje de programación Fortran, el cual es de uso muy extendido; sin embargo, se tratarán los temas de una manera muy general, de tal forma que puedan sin ninguna dificultad ser extendidos a lenguajes tales como Basic, Pascal y otros.

La comprensión completa del lenguaje técnico no es prerequisite para la preparación inteligente de una secuencia lógica de instrucciones (un programa) que puedan usarse en la computadora para resolver algún problema. Sólo se necesita aceptar la premisa de que en un disco flexible o en alguna parte del disco duro existe un conjunto de instrucciones detalladas en lenguaje de máquina que habilitan a la computadora para ejecutar una serie de instrucciones simplificadas orientadas al usuario y

preparadas bajo las reglas del Fortran, Basic, Pascal, etc. Este juego de instrucciones en lenguaje de máquina se origina con un programa compilador.

### 3.1.- Constantes y Variables.

Un valor matemático se representa mediante una serie de dígitos numéricos con o sin punto decimal o signo algebraico. Las constantes que se empleen, podrán ser de tipo real, entero, exponencial, lógico, de carácter, de cadena de caracteres y en algunos casos, definidas por el usuario.

Una cantidad cuyo valor numérico se desconoce temporalmente o que pueda cambiar durante la ejecución de un programa, se llama variable y se expresa por un nombre de variable. El nombre de variable lo crea el programador y dependiendo del sistema de computadora que se utilice podrá consistir de una a varias letras o combinaciones de letras y números.

### 3.2.- Propositiones y Asignaciones.

El lenguaje Fortran usa los caracteres alfabéticos, numéricos y especiales del idioma inglés y de la matemática; las 26 letras del alfabeto inglés, A a Z; los 10 dígitos decimales 0 a 9 y 10 caracteres especiales:

+ - \* / = . , ' ( )

Aunque éstos son los más comunes, existen otros caracteres también disponibles.

Estos caracteres se combinan para formar palabras, números y expresiones que se utilizan para construir proposiciones. Una proposición puede ser una instrucción explícita para que la computadora ejecute una tarea sencilla, por ejemplo leer un valor introducido desde el teclado y asignarlo al nombre de una variable o realizar operaciones aritméticas y asignar el resultado a una variable, repetir una serie de tareas, o imprimir los resultados de un cálculo.



Además, una proposición puede proporcionar información para definir un arreglo, identificar una variable compleja o especificar un formato de salida.

Un programa consiste en una serie detallada de instrucciones y proposiciones organizadas en secuencia lógica para alcanzar resultados predecibles.

Una proposición de asignación es una proposición ejecutable que asigna los valores numéricos de una expresión aritmética a un nombre de variable en una dirección de memoria específica. El símbolo de asignación es el signo = o en ocasiones := (Pascal).

### 3.3.- Lectura y Escritura.

Existen proposiciones ejecutables que proporcionan medios sencillos y directos para suministrar valores de datos a los nombres de las variables que se usan en un programa.

Cuando es necesario que los valores por asignar a los nombres de las variables en la lista se deben leer desde un archivo de datos almacenado en un disco flexible o en disco duro, existen proposiciones específicas para ello.

Los valores en cada registro del archivo de datos deben concordar en número (cantidad), orden y tipo con los nombres de las variables en la lista de lectura. Si el conjunto de datos que se proporciona en un sólo registro excede al número de nombres de las variables en la lista, los valores de datos se asignarán, en el orden correspondiente, hasta que a cada nombre de variable de la lista se la haya asignado un valor. Cualquier dato adicional del registro se ignora.

Existen asimismo proposiciones ejecutables para la salida de datos a la pantalla, impresora o archivo.

### 3.4.- Iteraciones y Transferencias.

Para utilizar todo el potencial de la computadora es necesario saber cómo repetir una secuencia de tareas, tomar decisiones basadas en comparaciones sencillas y saltar a otra proposición específica en el programa. La iteración o repetición de cálculos se llama ciclo y es el resultado de la ejecución de varias transferencias mediante proposiciones de control.

Una proposición de transferencia es una proposición ejecutable que transfiere o ramifica a otra proposición identificada por una etiqueta de proposición única. Una proposición de transferencia puede ser condicional o incondicional. Las proposiciones de transferencia incondicional siempre transfiere a una sólo proposición, mientras que una proposición de transferencia condicional puede transferir a una de varias proposiciones específicas, dependiendo de las condiciones de los datos.

Una proposición de control puede repetir un conjunto particular de proposiciones un determinado número de veces.

Existen y son de gran trascendencia, las proposiciones de transferencia condicional de tipo lógico. Este tipo de proposición emplea expresiones lógicas con operadores relacionales y toma decisiones en función de la relación entre los valores de dos o más variables o expresiones aritméticas.

### 3.5.- Vectores.

Con frecuencia es necesario trabajar con cantidades numéricas que son elementos de un grupo llamado arreglo, y de acuerdo con su forma también se les puede llamar matrices o vectores. Un arreglo es una familia de elementos o cantidades, relacionados, todos asignados al mismo nombre de variable, cada elemento del arreglo se identifica con un subíndice diferente. Las variables que son elementos de un arreglo se conocen como variables con subíndices.

En la mayoría de los lenguajes, antes de que pueda usarse una variable con subíndice en un programa, primero es necesario

definir el arreglo del que forma parte con una proposición de dimensionamiento que establece el arreglo con nombre y número de subíndice (1, 2, n dimensiones), define el máximo valor numérico de cada subíndice y reserva las localidades de almacenamiento para acomodar cada elemento del arreglo.

### 3.6.- Subprogramas.

El motivo principal para usar la computadora en la solución de problemas es reducir el tiempo necesario para hacer cálculos repetitivos. Con frecuencia, planear y escribir un programa de computadora es una tarea laboriosa, consume tiempo y requiere atención cuidadosa para cada detalle de las proposiciones del programa. Cuantas más proposiciones tenga el programa, mayores posibilidades de error existen. Cualquier cosa que pueda hacerse para eliminar proposiciones innecesarias o evite escribir la misma proposición más de una vez, vale la pena.

Muchos programas contienen cálculos que necesitan proposiciones sencillas o que requieren de un segmento de programa con muchas proposiciones para repetirse en ése programa o en programas relacionados. Semejantes rutinas de repetición pueden suprimirse del programa principal y escribirse en forma separada como subprogramas. Después, éstos subprogramas pueden llamarse de un modo individual mediante una proposición sencilla colocada de manera apropiada en el programa principal siempre que se le necesite. El subprograma desarrollado por el programador sirve al mismo propósito para aplicaciones limitadas como las funciones intrínsecas más generalmente aplicables y puede grabarse para usos subsecuentes en otros programas.

### 3.7.- Almacenamiento y Compilación.

Algunos lenguajes, tal como el Fortran, son lenguajes compiladores, es decir, el programa fuente escrito por el programador debe traducirse (compilarse) a un código simbólico o lenguaje de máquina que sea comprensible para la computadora personal. Se requiere de un programa intermedio llamado compilador para hacer ésta operación. Hay diversos compiladores disponibles. El compilador que se usó para la traducción (compilación) del programa ejemplo de éste segmento es el Compilador Microsoft Fortran.

El compilador MS-Fortran consiste en un conjunto de discos flexibles, guía del usuario y un manual de referencia que proporcionan información detallada de los archivos de los discos y la forma en que pueden aplicarse. En ésta sección se muestra de manera somera cómo se realiza la escritura, edición, compilación y ejecución de un programa fuente Fortran de ejemplo (consúltense la guía y el manual del usuario para obtener un conocimiento más completo del compilador Fortran).

## **4.- Modelos Matemáticos.**

### 4.1.- Qué es un Modelo Matemático.

Los modelos matemáticos en geohidrología son una importante herramienta que ayuda a conocer el funcionamiento de los acuíferos. Los modelos pueden utilizarse para simular el funcionamiento de un acuífero, inclusive cuando éste es complejo, incluyendo efectos producidos por barreras, la existencia de límites irregulares, la presencia de heterogeneidades en el subsuelo, etc. Se puede definir tanto el flujo del agua, como el transporte de contaminantes, así como el análisis de la deformación del terreno, como es su hundimiento.

Los modelos matemáticos son un valioso auxiliar en la planeación del manejo de acuíferos, al simular su comportamiento bajo diferentes políticas de operación.

#### 4.4.- Lenguajes.

De manera similar, un ingeniero puede realizar programas de modelado en cualquiera de los lenguajes mencionados u otros.

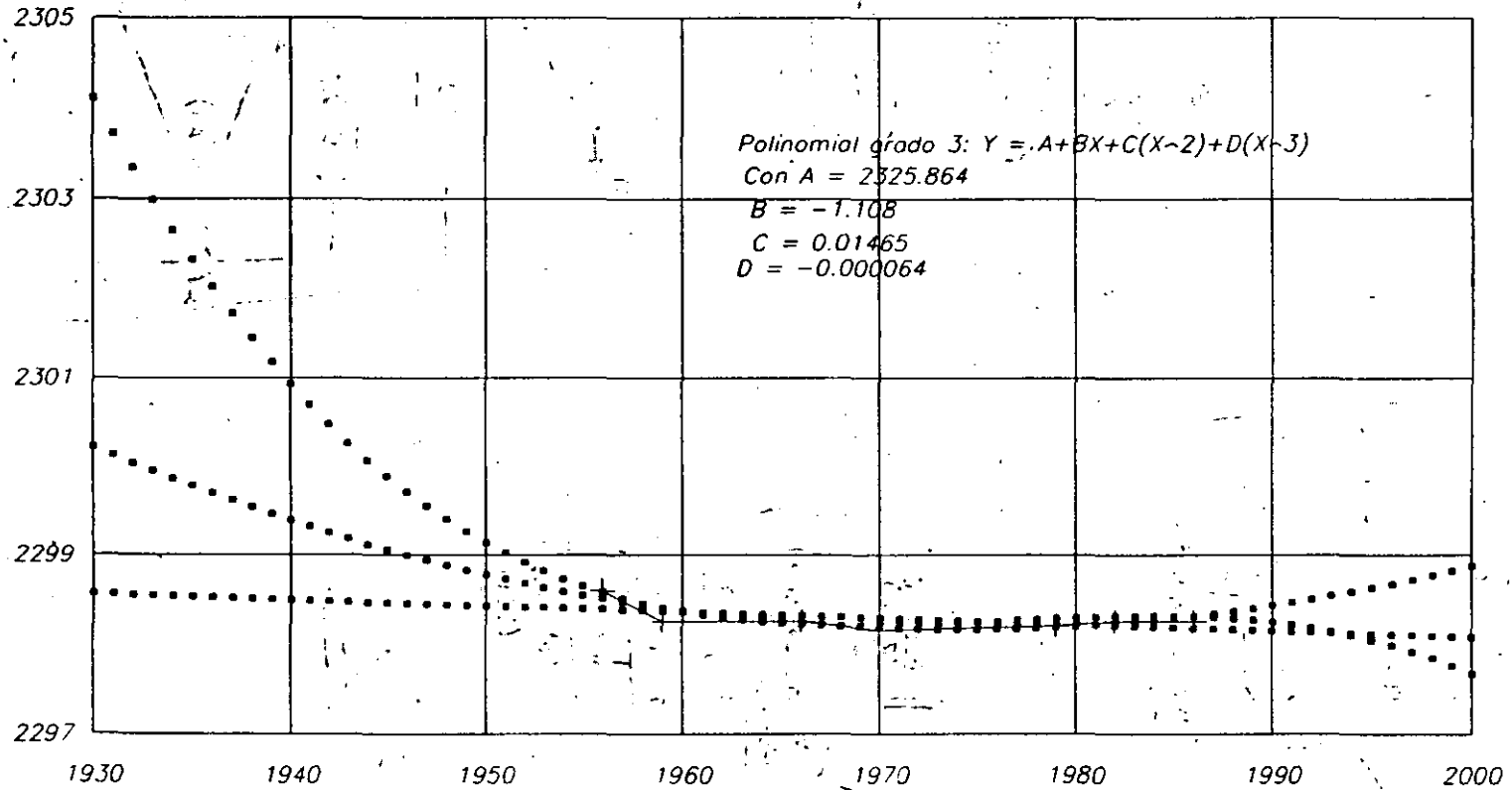
En los Estados Unidos existen empresas que se dedican a la ingeniería de software especializado en geohidrología y contaminación de acuíferos, que trabajan con una alta calidad y resolución. En México, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y otras instituciones de educación superior así como dependencias gubernamentales trabajan con gran éxito del modelado matemático de fenómenos de dispersión de contaminantes.

Elaboró: Ing. F. Meixueiro.

## Figuras.

- 1.- Listado del programa de ejemplo Bubble.
- 2.- Diagrama de flujo del programa de ejemplo Bubble.
- 3.- Análisis de optimización de ejemplo en Harvard Graphics.
- 4.- Análisis de ejemplo en Curfit.

Análisis de Optimización.  
 Hundimiento del Terreno.  
 Elemento 23



+ Observado    ■ Lineal    • Polinomial (2)    ▪ Polinomial (3)

Manual de Hundimientos.  
 D.G.C.O.H.  
 Elaboró: F. Meixueiro.

Polinomial grado 2:  $Y = A + B \cdot X + C \cdot (X-2)$   
 con  $A = 2303.974$   
 $B = -0.157$   
 $C = 0.00106$

Lineal:  $Y = A + B \cdot X$   
 Con  $A = 2298.772$   
 $B = -0.00693$

0 DEGREE COEFFICIENT= 1.828251174120139D-02  
 1 DEGREE COEFFICIENT=-.2780627554617205  
 2 DEGREE COEFFICIENT= 1.549968468439403  
 3 DEGREE COEFFICIENT=-.2807522906759306  
 4 DEGREE COEFFICIENT= 3.840469452319421D-02

FITTED EQUATION IS

$$Y = A + B*X + C*(X^2) + D*(X^3) + E*(X^4)$$

#	X VALUE	Y VALUE	Y CALC	%DEV
1	0	0	1.828251E-02	+100.00
2	.5	.25	.2340495	-6.82
3	1	1.1	1.047841	-4.98
4	2	3.9	4.030488	+3.24
5	3	8.8	8.664279	-1.57
6	4	15.5	15.56898	+0.44
7	5	26.3	26.28608	-0.05

COEFFICIENT OF DETERMINATION = .9999247  
 COEFFICIENT OF CORRELATION = .9999623  
 STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .1478324890398676  
 SATISFACTORY(Y:N)? <Y>

