

Drenaje (ecuación)

La **ecuación de drenaje** es la [ecuación](#) matemática que describe la relación entre la profundidad de y el espaciamiento entre tubos o zanjas de [drenaje subterráneo](#), la profundidad del [nivel freático](#), la profundidad y la [permeabilidad](#) del suelo.

La ecuación se utiliza para diseñar un sistema de drenaje subterráneo con el fin de solucionar el problema del [agua subterránea](#) elevada, mejorar las condiciones agrarias y promover las cosechas de los [cultivos](#).

Contenido

- [1 La ecuación de Hooghoudt](#)
- [2 Profundidad equivalente](#)
- [3 Uso extendido](#)
- [4 Amplificación](#)
- [5 Véase también](#)
- [6 Referencias](#)

La ecuación de Hooghoudt

Una ecuación de drenaje bien conocida para el [estado estacionario](#) es la de *Hooghoudt*:[\[1\]](#)

$$Q L^2 = 8 K_b d (D_i - D_d) (D_d - D_w) + 4 K_a (D_d - D_w)^2$$

en que:

Q = la velocidad de drenaje en estado estacionario (m/día)

K = la [permeabilidad](#) o [conductividad hidráulica](#) del suelo (m/día)

$K_a = K$ por encima del nivel de drenaje (m/día)

$K_b = K$ por debajo del nivel de drenaje (m/día)

D = profundidad (m)

D_i = profundidad de la capa impermeable (m)

D_d = profundidad del nivel de drenaje (m)

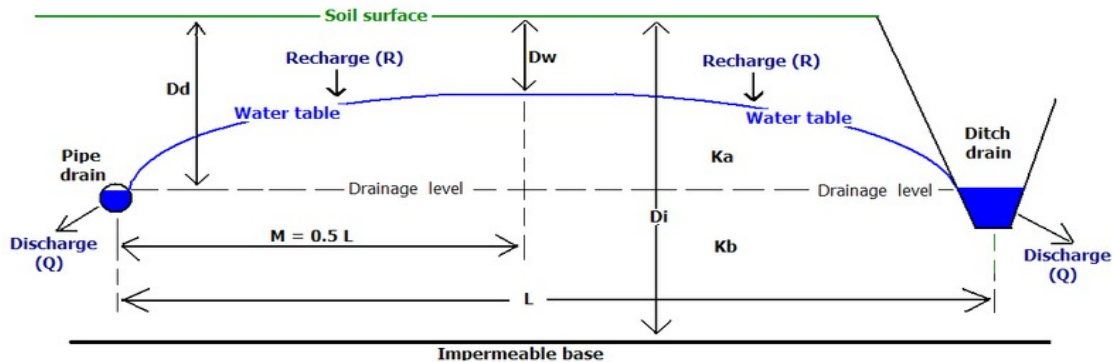
D_w = profundidad en estado estacionario del [nivel freático](#) (napa freática, [tabla de agua](#)) en el medio entre los tubos o zanjas de drenaje (m)

r = radio del tubo de drenaje o radio equivalente de la zanja de drenaje (m)

L = espaciamiento entre los tubos o zanjas de drenaje (m)

d = profundidad equivalente, una función de L , $(D_i - D_d)$, y r

La profundidad equivalente d representa la disminución del espesor del acuífero $(D_i - D_d)$ para simular el efecto de la resistencia al flujo radial hacia el tubo o la zanja de drenaje



Geometry subsurface drainage system by pipes or ditches

D = depth K = hydraulic conductivity L = Drain spacing

Parámetros en un sistema de drenaje subterráneo

El estado estacionario

En el estado estacionario el nivel de la tabla del [agua subterránea](#) se mantiene constante y la velocidad de drenaje (Q) equivale a la velocidad de recarga (R) por la [lluvia](#) o el exceso de [riego](#).

Considerando un plazo largo (por ejemplo una estación del año), el cambio de la cantidad de agua almacenada en la tabla de agua es normalmente pequeña en comparación con la cantidad de agua drenada de modo que la condición del estado estacionario se aproxima suficientemente para poder aplicar la ecuación.

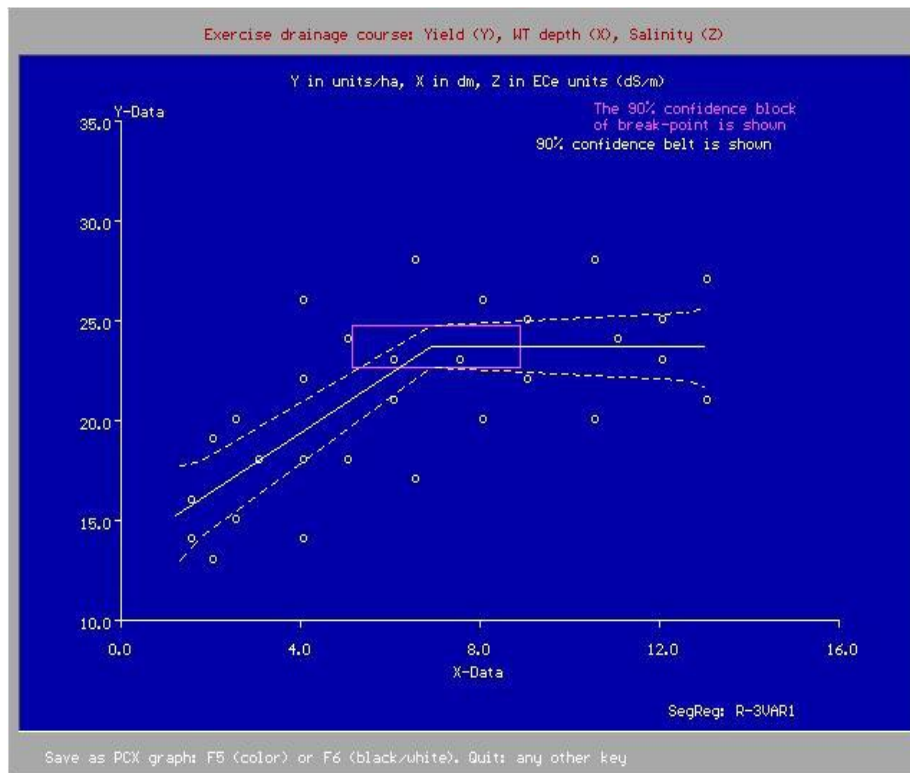
Derivación de la ecuación

Para la derivación de la ecuación, *Hooghoudt* empleó la [ley de Darcy](#), el sumatorio de [funciones equipotenciales](#) circulares y, para determinar la influencia de la capa impermeable, el [método de las imágenes](#). *Hooghoudt* publicó tablas para la determinación de la profundidad equivalente (d), porque la función F en $d = F(L, Di - Dd, r)$ consiste de una serie larga de términos.

Determinando:

- la velocidad Q de drenaje y la recarga promedia de un balance de agua
- la profundidad promedia de la [tabla de agua](#) permisible para las plantas (Dw)
- la conductividad hidráulica (Ka y Kb) por mediciones
- la profundidad (Di) del fondo del [acuífero](#)

se encuentra el espaciamiento requerido de los tubos o zanjas de drenaje en dependencia de su profundidad (Dd) y tamaño (r).



Cosecha de cultivo y profundidad promedio estacional de la tabla de agua

Profundidad equivalente

En 1991 se desarrollo una expresión matemática analítica para la profundidad equivalente (d) que reemplaza a las tablas de Hooghoudt:[2]

$$d = \pi L / 8 \{ \ln(L / \pi r) + F(x) \}$$

donde:

$$x = 2\pi (Di - Dd) / L$$

$$F(x) = \sum 4e^{-2nx} / n (1 - e^{-2nx})$$

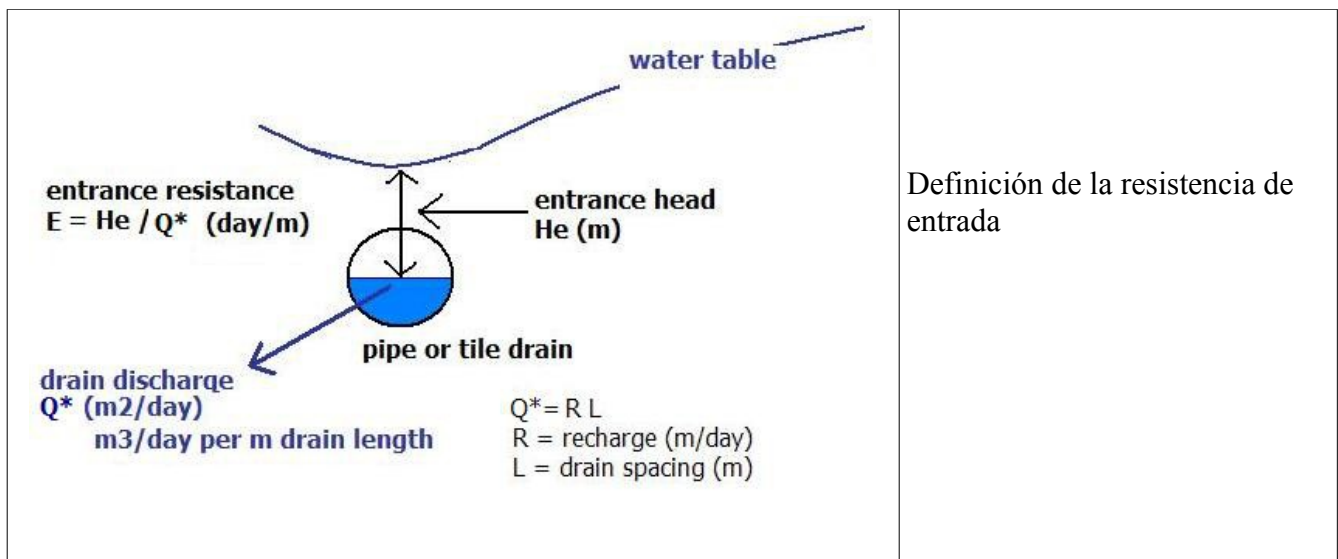
con:

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

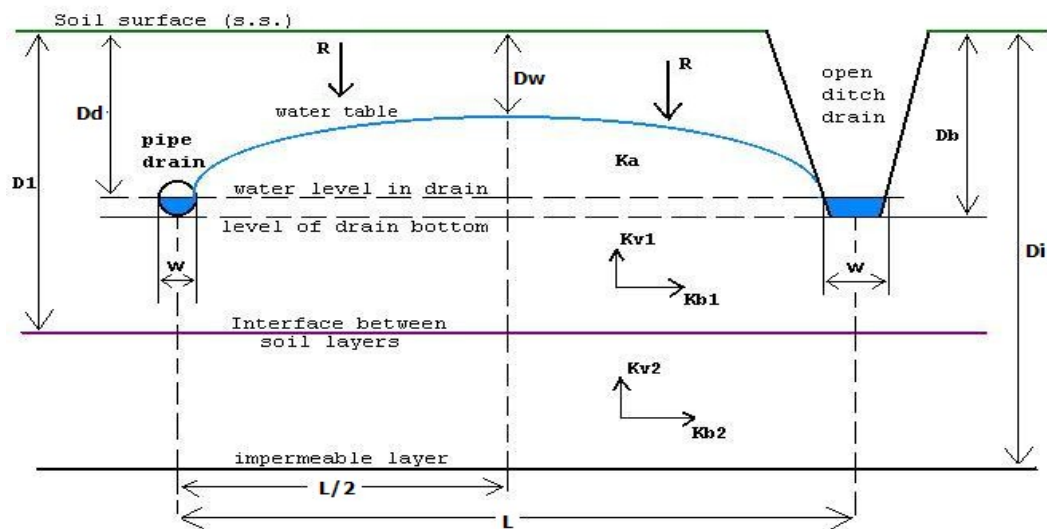
$e = 2.71 \dots$, el número e, base del logaritmo neperiano.

Evitando el problema del cálculo de la profundidad equivalente se puede emplear un solución programada que utiliza un método numérico permitiendo a la vez mostrar la curva completa de la tabla de agua desde el dren hasta el punto en medio entre los drenes.

Ver: <https://www.waterlog.info/ndrain.htm>



Amplificación



Amplificación de los parámetros usados por Hooghoudt

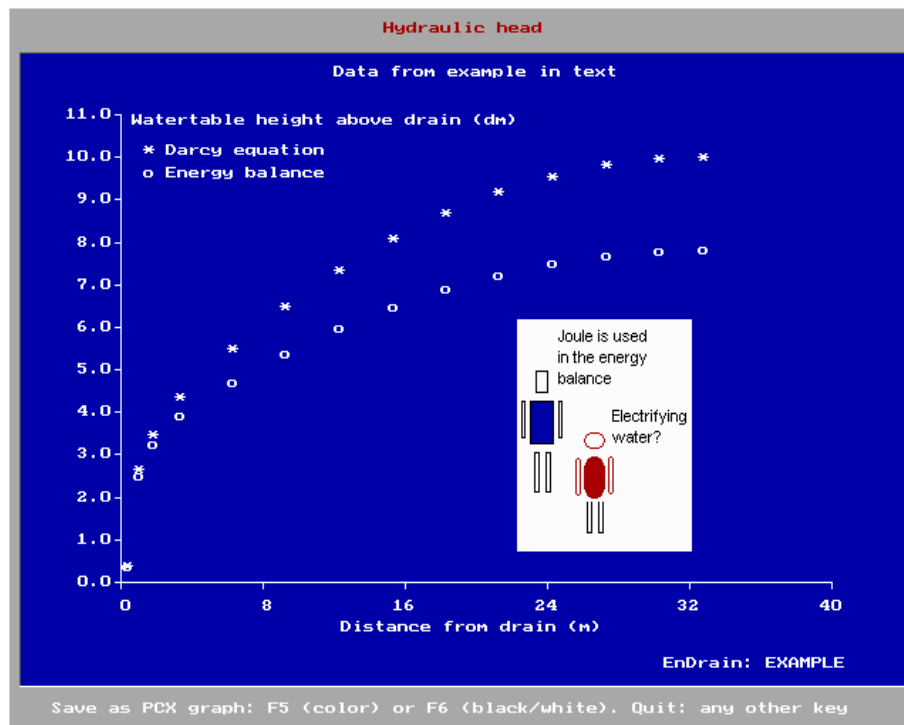
La ecuación de drenaje puede ser amplificada[5] tomando en cuenta :

- la energía adicional asociada con la entrada el agua de percolación
- un acuífero estratificado
- una conductividad hidraulica anisotrópica, siendo la conductividad vertical (K_v) diferente de la horizontal (K_h)
- tubos y zanjas de drenaje de diferentes tamaños con anchura cualquiera
- la resistencia de entrada

La ecuación amplificada de drenaje utiliza el equivalente de la Ley de Joule y se presenta como una ecuación diferencial que precisa una solución numérica para la cual un programa de computadora es indispensable.

La presencia de tal programa ayuda en evaluar rápidamente varias alternativas de diseño y ejecutar un análisis de sensibilidad en cuanto a la influencia de cambios de factores que integran la ecuación.

La figura azul muestra el resultado de un cálculo por computadora con la ecuación amplificada utilizando el programa *EnDrain*. [6] La figura aclara la influencia de la incorporación de la energía asociada con la recarga en comparación con la solución que no incorpora esa energía.



Programa *EnDrain*: drenaje y la forma de la tabla de agua

Alternativa

Existe la posibilidad de simular el movimiento de la napa freática en el transcurso del tiempo bajo la influencia de un recarga (por lluvia o riego) variable.

Ver: <https://www.waterlog.info/rainoff.htm>

Referencias

1. ↑ H.P.Ritzema, 1994, *Subsurface flow to drains*. Chapter 8 in: H.P.Ritzema (ed.), *Drainage Principles and Applications*, Publ. 16, pp. 236-304, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. [ISBN 90 70754 3 39](#)
2. ↑ W.H. van der Molen en J.Wesseling, 1991. *A solution in closed form and a series solution to replace the tables for the thickness of the equivalent layer in Hooghoudt's drain spacing equation*. *Agricultural Water Management* 19, pp.1-16
3. ↑ *Hooghoudt's drainage equation adjusted for entrance resistance and sloping land*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. En la web : [\[1\]](#) . Versión original publicada como : “Interception drainage and drainage of sloping lands” en : *Bulletin of the Irrigation, Drainage and Flood Control Council*, Pakistan, Vol. 5, No. 1, June 1975.
4. ↑ Zeigler, E.R. 1972. *Laboratory tests to study drainage from sloping land*. Report REC ERC 72 4, Engineering and Research Center, Bureau of Reclamation, Denver, Col., U.S.A.
5. ↑ *The energy balance of groundwater flow applied to subsurface drainage in anisotropic soils by pipes or ditches with entrance resistance*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. En la web : [\[2\]](#) . Artículo basado en : R.J. Oosterbaan, J. Boonstra and K.V.G.K. Rao, 1996, “The energy balance of groundwater flow”. Publicado en : V.P.Singh and B.Kumar (eds.), *Subsurface-Water Hydrology*, p. 153-160, Vol.2 of *Proceedings of the International Conference on Hydrology and Water Resources*, New Delhi, India, 1993. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. [ISBN 978-0-7923-3651-8](#) . En la web : [\[3\]](#)
6. ↑ El programa *EnDrain* se baja libremente de la pagina web : [\[4\]](#) , o de : [\[5\]](#)