



cujae

FACULTAD INGENIERÍA CIVIL



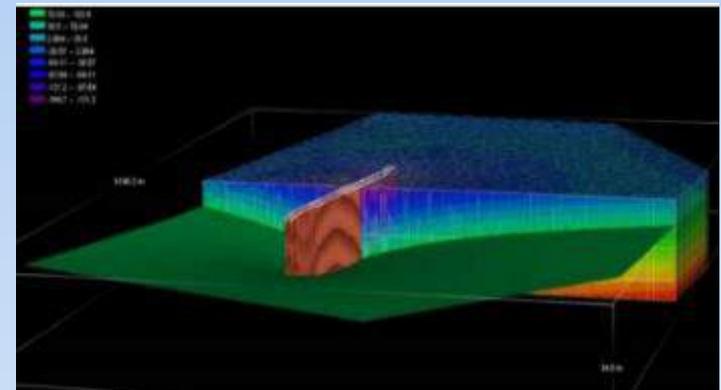
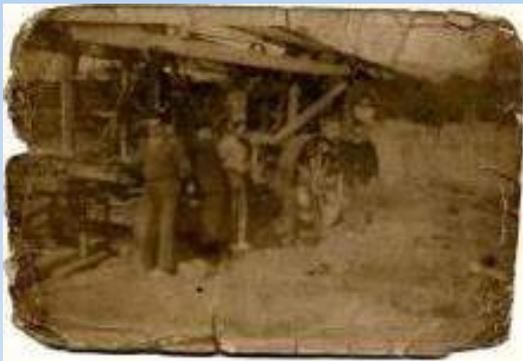
Centro de Investigaciones Hidráulicas

DEWATERING

“ARTE

o

CIENCIA”



“Cualquier conclusión de **base teórica** debe ser siempre atemperada con la **experiencia**; Un proyecto puede acometerse con **seguridad**, cuando las conclusiones teóricas coinciden con las de juicio experto”

M.Sc. ALEJANDRO J. FERRER GRANELL
Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

La Habana, Mayo 2016



Índice

- 1.- *Antecedentes del Dewatering*
- 2.- *Hidrología – Conceptos básicos*
 - 2.1 – *Movimiento del agua en medios porosos*
 - 2.2 – *Soluciones analíticas a la ecuación de flujo*
 - 2.3 – *Hidráulica de captaciones – Pozos*
 - 2.4. – *Ensayos*
 - 2.5. – *Modelos numéricos. (Elementos Finitos)*
- 3.- *Metodologías*
 - 3.1 – *Análisis de la doc. disponible (Ante-Proyecto , geotécnica, ensayos ..*
 - 3.2 – *Definición del sistema de bombeo (método)*
 - 3.2.1. – *Pozos de baja capacidad*
 - 3.2.2. – *Pozos de alta capacidad*
 - 3.2.3. – *Bombeo asistido por vacío*
 - 3.2.4. – *Bombeo “sumidero”*
 - 3.2.5. – *Bombeo superficial*
- 4.- *Aplicaciones. Ventajas-Límites. Cargas vs Flotabilidad*
- 5.- *Riesgos previsibles – imprevisibles*
- 6.- *Daños materiales - malas prácticas*
- 7.- *Daños materiales - vídeos*
- 8.- *Ejemplos con buenas prácticas. – Obras con Plan Dewatering*
- 9.- *Detalles de instalación*
- 10.- *Sesión de consultas*



1.- Antecedentes del Dewatering (1.a)

Se puede afirmar que la técnica de *Dewatering*, desde el punto de vista de “control de agua” ya existe por sus evidencias, desde la cultura Egipcia y Babilónica (acueductos / túneles).

Se tiene constancia de los antiguos drenajes de suelos para transformar suelos inundados en fértiles cultivables

En los años 1770 ya eran implementados sistemas de extracción de agua en minas para extracción de carbón en Inglaterra.

Es destacable que fue **Darcy**, en 1856 quien estableció, a partir de la observación, el comportamiento de flujo a través de un medio poroso.



1.- Antecedentes del Dewatering (1b)

Robert Stephenson, constructor británico del proyecto “*Kilsby Tunnel of London and Birmingham*” presentó sus conclusiones, tras conseguir **estabilizar un suelo de arenas saturadas** (arenas movedizas), mediante 13 pozos con un caudal de bombeo total de 6,800 l/min (113 l/s);

Este túnel fue una de las primeras obras en las que se **implantó un sistema de “pre-drenaje”** que permitiría ejecutar dicha obra en condiciones de seguridad aceptables.

El pre-drenaje con pozos siguió durante los años siguientes, **probablemente no de forma eficiente, pero sí efectiva**, mediante bombas sumergibles.

El sistema de **wellpoint** fue utilizado con éxito en Gary (Indiana), en 1901 y en años sucesivos, en suelos similares, en Atlantic City, New Jersey.

Derivado del éxito de aquellos “pre-drenajes”, se han venido desarrollando diversas técnicas de Dewatering, así como equipamiento (sistemas de bombeo, válvulas, tuberías ...).



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

1.- Antecedentes del Dewatering (1c)

Paralelamente, el **arte** del *Dewatering* requería de mayor **ciencia**, en la medida que era necesario predecir su aplicación con éxito y **seguridad**.

Desde el punto de vista de la mecánica de suelos, en los años 1930, plasmaron su contribución los pioneros Terzaghi, Arthur y Leo Casagrande, Taylor, Peck ...

El crecimiento económico de los años 1950 impulsó el desarrollo **de sistemas de riego e hidrogeólogos** como Muskat, Theis, Jacob, Hantushdesarrollaron técnicas prácticas de pruebas de bombeo y su análisis.

Estos métodos fueron **posteriormente** adaptados para solucionar problemas de ***Dewatering***. Algunas soluciones analíticas a las ecuaciones se presentaron como verdaderos desafíos.

Con la aparición de las computadoras y los desarrollos de métodos numéricos *exprofeso* (*Software*) en los años 1980, es posible evaluar aproximaciones plausibles.



2.- Hidrología – Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos

2.2 – Soluciones analíticas a la ecuación de flujo

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos

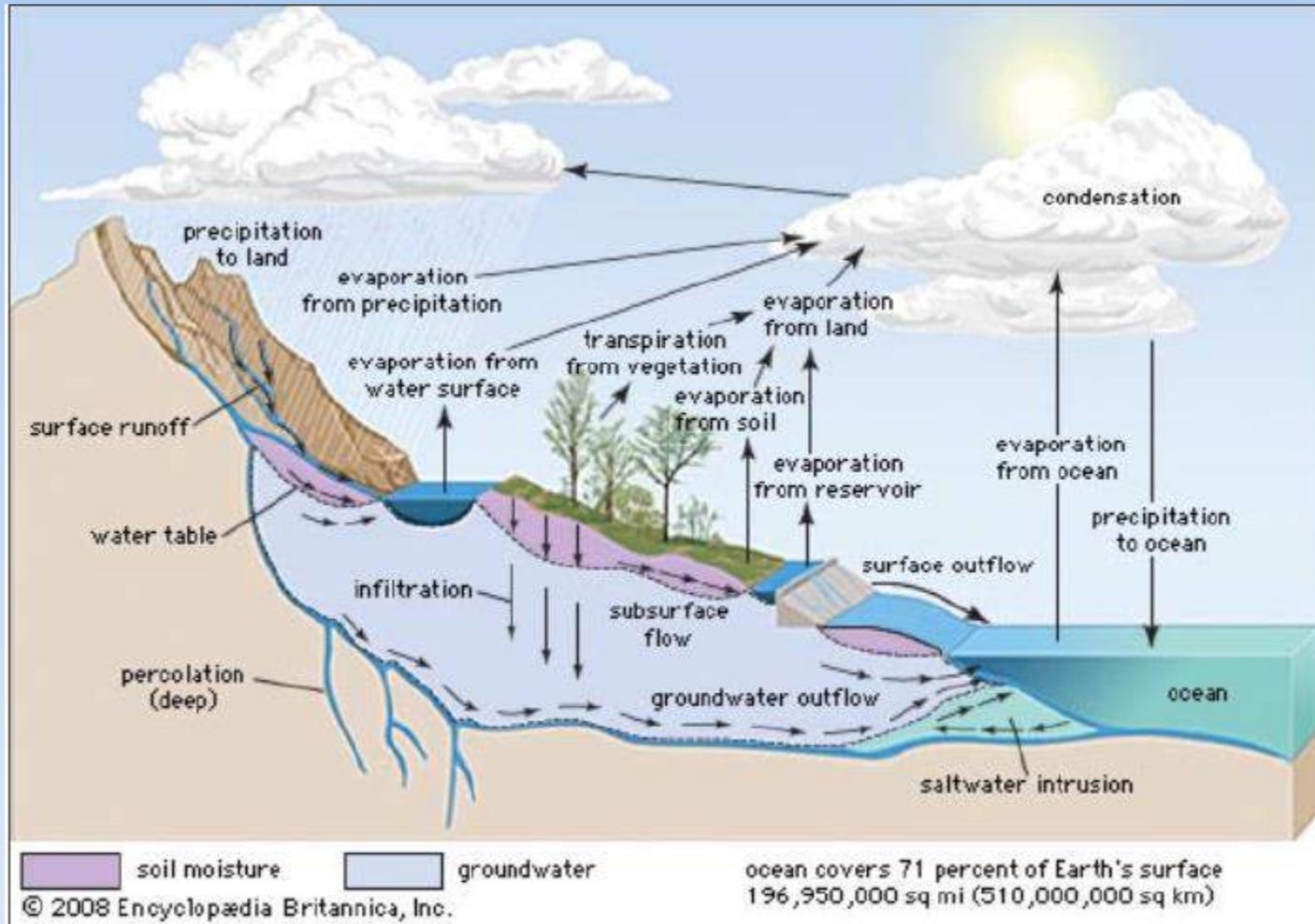
2.4. – Ensayos

2.5. – Modelos numéricos. (Elementos Finitos)



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (2a)





2.- Hidrología – Conceptos básicos (2b)

AGUA EN LA TIERRA

- *Agua salada/salobre - 94 % (Océanos y mares)*

- **Agua dulce – 6 %**
 - *2 % Hielos polares y glaciares*
 - *4 % restante :*
 - **95 % subterránea**
 - *3,5 % lagos, pantanos, marismas, ríos*
 - *1,5 % retenido humedad en el suelo*



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (2c)

FORMACIONES GEOLOGICAS (según su comportamiento con el agua)

- ACUÍFERO:

Formación geológica que permite la circulación de agua por su poros/grietas y cuya cantidad de agua es apreciable y es económicamente aprovechable; Alta Porosidad (S) y Conductividad hidráulica (K). (Gravas, arenas ..)

- ACUÍCLUDO:

Formación geológica que conteniendo agua (aun en saturación), no la transmite, no siendo posible su explotación (cienos, léganos, arcillas deltaicas ..)

- ACUITARDO:

Formación geológicas que conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente. Arcillas limosas; pueden hallarse debajo o encima de un acuífero.

-ACUÍFUGO

Formación geológica que no contiene agua y no la puede transmitir. (Granito no alterado, roca sin meteorizar ni fracturas)



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (2d)

PARAMETROS HIDROGEOLÓGICOS FUNDAMENTALES

- **POROSIDAD:** La **porosidad total** de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía (ocupada por aire o agua) y su volumen total. La **porosidad eficaz**, es aquella parte de huecos que contiene agua que se puede drenar por gravedad

$$\phi_e = \frac{V_v}{V_t}$$

V_v : volumen de huecos
 V_t : volumen total

Influye:

- Forma de los granos
- Disposición de los granos
- Tamaño de los granos

Rangos de valores de la porosidad total

Material	Porosidad (%)
SEDIMENTOS	
Gravas gruesas	24-36
Gravas finas	25-38
Arenas gruesas	31-46
Arenas finas	26-53
Limos	34-61
Arcillas	34-60
ROCAS SEDIMENTARIAS	
Areniscas	5-30
Limolitas	21-41
Calizas, dolomias	0-40
Calizas kársticas	0-40
Pizarra	0-10
ROCAS CRISTALINAS	
Rocas cristalinas fracturadas	0-10
Rocas cristalinas densas	0-5
Basaltos	3-35
Granitos alterado	34-57
Gabros alterado	42-45



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (2e)

- CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Es definida como el cociente entre el caudal específico y su gradiente hidráulico; es función tanto del medio poroso como del medio que lo atraviesa:

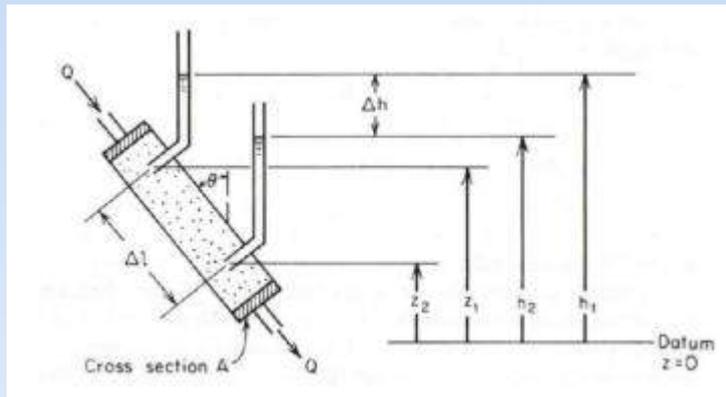
$$K = \frac{Q/A}{\Delta h/\Delta l} \quad (\text{m/s})$$

$$K = (C d^2) \cdot \left(\frac{\rho \cdot g}{\mu} \right)$$

ρ : densidad del fluido
 μ : viscosidad dinámica del fluido
 g : aceleración de la gravedad
 C : constante de proporcionalidad (factor de forma)
 D : diámetro medio del grano

Darcy, en 1856 por métodos empíricos concluyó

$$Q = -K \cdot A \frac{\Delta h}{\Delta l}$$



TIPO DE SUELO	K (m/s)
Grava mal graduada (GP)	$\geq 10^{-2}$
Grava uniforme (GP)	$0,2 \times 10^{-2} : 1 \times 10^{-2}$
Grava bien graduada (GW)	$0,05 \times 10^{-2} : 0,8 \times 10^{-2}$
Arenas uniformes (SP)	$5 \times 10^{-3} : 0,2 \times 10^{-2}$
Arenas bien graduadas (SW)	$10^{-3} : 0,1 \times 10^{-2}$
Arena limosa (SM)	$10^{-3} : 5 \times 10^{-3}$
Arena Arcillosa (SC)	$10^{-6} : 10^{-3}$
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-7} : 10^{-6}$
Arcillas de baja plasticidad (CL)	$10^{-10} : 10^{-7}$



2.- Hidrología – Conceptos básicos (2e)

- TRANSMISIVIDAD

Si el acuífero tiene una sección A, definido con un ancho W y un espesor b, se define como Transmisividad (T), como la relación entre el caudal Q que atraviesa el espesor b del acuífero por unidad de ancho W y el gradiente de la carga Hidráulica:

$$T = K \cdot b = \frac{Q/W}{\Delta h / \Delta l}$$



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (2f)

- COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Se define como el volumen de agua que un volumen unitario de acuífero libera cuando se produce un descenso unitario de altura piezométrica.

En acuíferos libres, el almacenamiento coincide con la porosidad eficaz y varía entre 0,05 y 0,30.

$$S = \gamma \cdot b \cdot (\phi_t \cdot \beta + \sigma)$$

γ : peso específico del agua

b : espesor del acuífero

τ : porosidad total del acuífero

β : coef. compresibilidad dinámica

σ : coef. compresibilidad dinámica vertical

S varía entre 10^{-3} y 10^{-5}



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología – Conceptos básicos (3g)

- TIPOS DE ACUÍFEROS

ACUÍFERO LIBRE (o no confinado o freático)

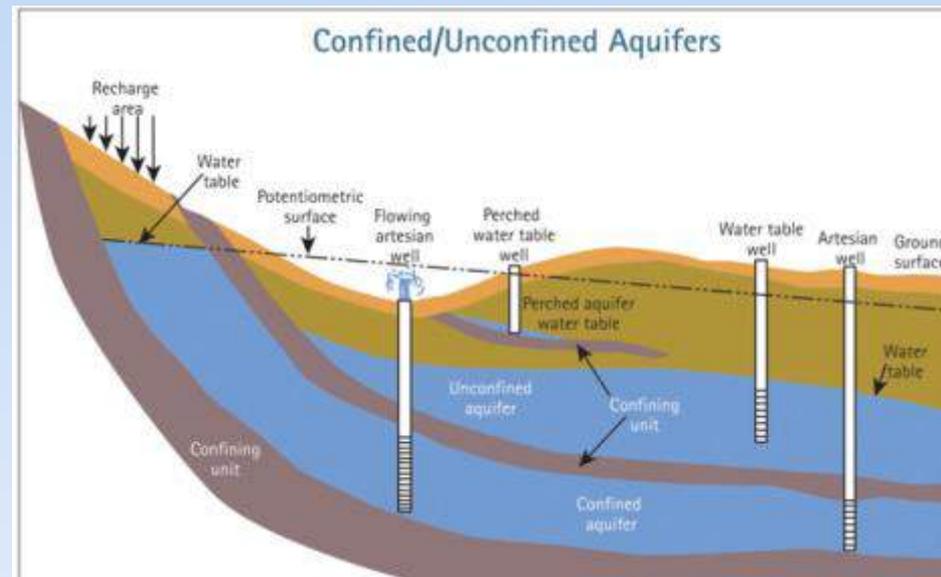
La superficie libre del agua está a presión atmosférica (presión relativa 0)

ACUÍFERO CONFINADO (o cautivo o a presión)

- Agua a presión superior a la atmosférica
- Ascenso rápido del nivel al atravesar su techo
- Posibles surgencias
- Superficie piezométrica ideal

ACUÍFERO SEMICONFINADO

El techo y/o el muro son acuitardos





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos – (2.1.a)

La ley de Darcy establece la relación macroscópica fundamental y a partir de ella puede llegarse a expresar el flujo en forma de ecuaciones diferenciales, definidas por tres parámetros fundamentales; Porosidad (S), Conductividad Hidráulica (K) y Coeficiente de Almacenamiento (S).

La solución de estas ecuaciones es extraordinariamente compleja dada la complicada forma de los poros y canales por los que circula el fluido.

Solo bajo simplificaciones, y en escenarios muy sencillos, será posible resolver algunos casos con formulación matemática analítica; a partir de modelación numérica se pueden resolver situaciones más complejas de forma plausible.



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos – (2.1.b)

Si consideramos un fluido en movimiento, la **ecuación de Bernouilli** entre dos secciones A y B se paradas una distancia S y despreciando los términos de velocidad, se escribe:

HYDRAULIC GRADIENT

- If the fluid is in motion, Bernouilli's equation between sections A and B separated a distance Δs is written:

$$\frac{p_A}{\gamma_A} + z_A = \frac{p_B}{\gamma_B} + z_B + \Delta h$$

- The hydraulic gradient is defined as:

$$i = - \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta s} = - \frac{dh}{ds} = -\text{grad } h$$

La ley de Darcy establece la relación macroscópica fundamental y a partir de ella puede llegarse a expresar el flujo en forma de ecuaciones diferenciales, definidas por tres parámetros fundamentales; Porosidad (S), Conductividad Hidráulica (K) y Coeficiente de Almacenamiento (S).



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

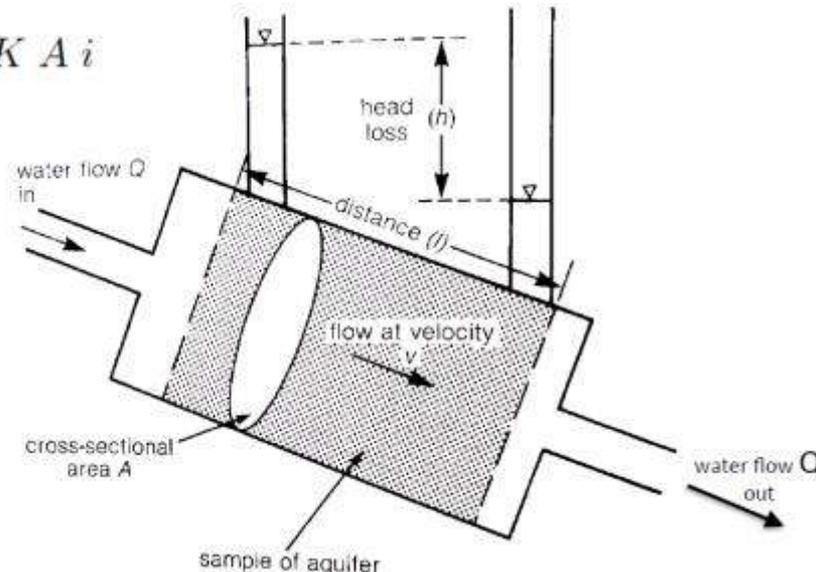
2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos – (2.1.c)

El movimiento del agua en medio poroso por **Darcy** se comporta según

- In 1856 Darcy's experiments lead to:

$$Q = -K A \frac{\Delta h}{L} = -K A i$$



Ley de Darcy, límites validez:

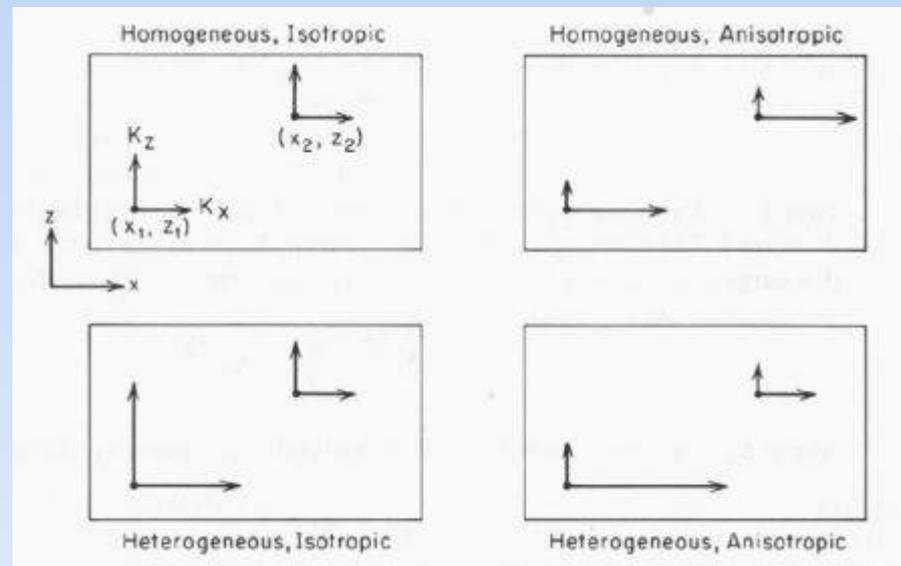
- Ley macroscópica, no de un poro
- Establece relación directa entre la velocidad de flujo en el medio y el gradiente
- No es válida ante velocidades elevadas, Solo es válida ante régimen Laminar (Reynolds)

DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos – (2.1.d)

- Si las propiedades de un medio son independientes de la posición del mismo se dice que ese medio es **homogéneo**.
- Si las propiedades de un medio varían de un lugar a otro se dice que ese medio es **heterogéneo**.
- Si las propiedades de un medio son independientes de la dirección se dice que ese medio es **isótropo**.
- Si las propiedades de un medio dependen de la dirección se dice que ese medio es **anisótropo**.





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.1 – Principios generales del movimiento del agua en medios porosos – (2.1.e)

GENERALIZACION DE LA LEY DE DARCY

La ley de Darcy en una dirección es

$$v = -K \cdot \text{grad } h \quad \text{v: vector velocidad}$$

En medio homogéneo e isótropo $K \neq f(x,y,z)$, en tres direcciones

$$v_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad v_z = -K \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = -K \begin{Bmatrix} \partial h / \partial x \\ \partial h / \partial y \\ \partial h / \partial z \end{Bmatrix} \quad v = -K \cdot \nabla h$$

En medio anisótropo $K = f(x,y,z)$, en tres direcciones

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \partial h / \partial x \\ \partial h / \partial y \\ \partial h / \partial z \end{Bmatrix} \longrightarrow v = -K \cdot \nabla h$$



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.2 – Soluciones analíticas a la ecuación de flujo tres direcciones (2.2.a)

El flujo a través de medios porosos está gobernado por ecuaciones diferenciales, siendo las coordenadas espaciales x, y y z y el tiempo t son las variables independientes y la altura piezométrica h la variable dependiente o función.

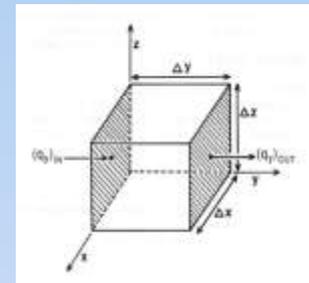
Para derivar las ecuaciones diferenciales se utiliza:

- Ley de Conservación de Masa (Principio de Continuidad)

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) = -S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} + R^*$$

Ley de Darcy

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$



En su adecuada combinación, se obtiene la

ECUACION GENERAL DE FLUJO 3D PARA UN MEDIO POROSO SATURADO CONFINADO ANISOTROPO

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^*$$

K_x, K_y, K_z : componentes de la conductividad hidráulica

h : altura piezométrica

S_s : almacenamiento específico

R^* : fuente o sumidero

t : tiempo



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.2 – Soluciones analíticas a la ecuación de flujo tres direcciones (2.2.b)

ECUACION GENERAL DE FLUJO 3D PARA UN MEDIO POROSO SATURADO **CONFINADO**

Caso particular, cuando el flujo es homogéneo e isótropo $K_x=K_y=K_z=K$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{R^*}{K}$$

y con acuífero confinado de **espesor constante b** , recordando que $T=k.b$

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

Y si es estacionario (**no función del tiempo**) y sin inyecciones ni bombeos, Ecuación de Laplace

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



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.2 – Soluciones analíticas a la ecuación de flujo tres direcciones (2.2.c)

ECUACION GENERAL DE FLUJO 2D PARA UN MEDIO

POROSO SATURADO LIBRE (NO CONFINADO) – Ecuación de Boussinesq

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{S}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Si los descensos son menores, respecto al espesor del acuífero b , se podría considerar constante h , y resultar (linealización de Ec. Boussinesq)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{K \cdot b} \frac{\partial h}{\partial t}$$



2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.2 – Soluciones analíticas a la ecuación de flujo tres direcciones (2.2.e)

Para resolver estas ecuaciones:

- *Se recurre a modelo matemático de la propia ecuación diferencial en combinación con las condiciones de contorno e iniciales.*
- *Si el acuífero es homogéneo e isótropo, y las condiciones de contorno pueden ser descritas a través de ecuaciones algebraicas, el problema se puede resolver analíticamente.*
- *En general, los acuíferos son anisótropos y la solución de la ecuación de flujo se debe realizar por métodos numéricos. (Diferencias Finitas, Elementos Finitos)*



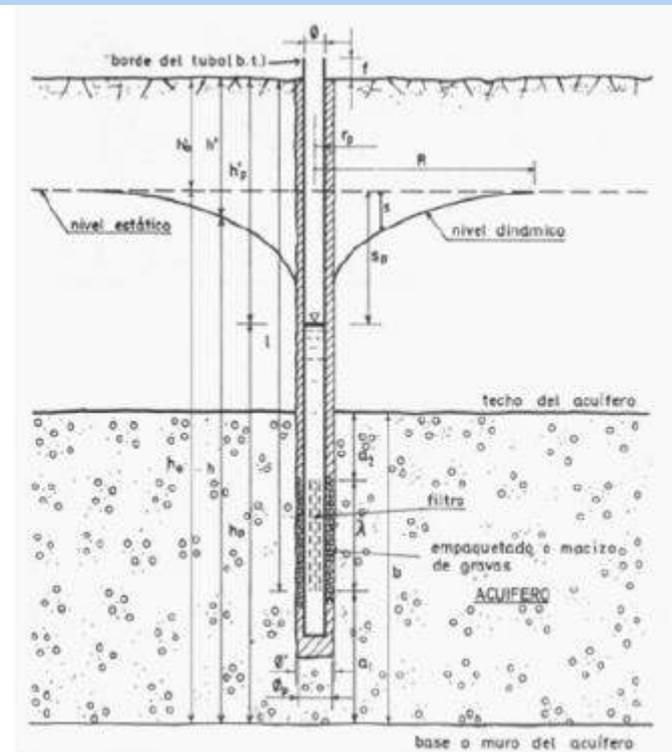
DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.a)

Magnitudes de uso frecuente en un pozo

- l : profundidad útil del pozo
- h : nivel de agua
- s : descenso del nivel
- s_p : descenso del agua en el pozo
- λ : longitud de la zona filtrante
- b : espesor del acuífero
- Φ y r_p : diámetro y radio del pozo
- R : radio de influencia del pozo





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

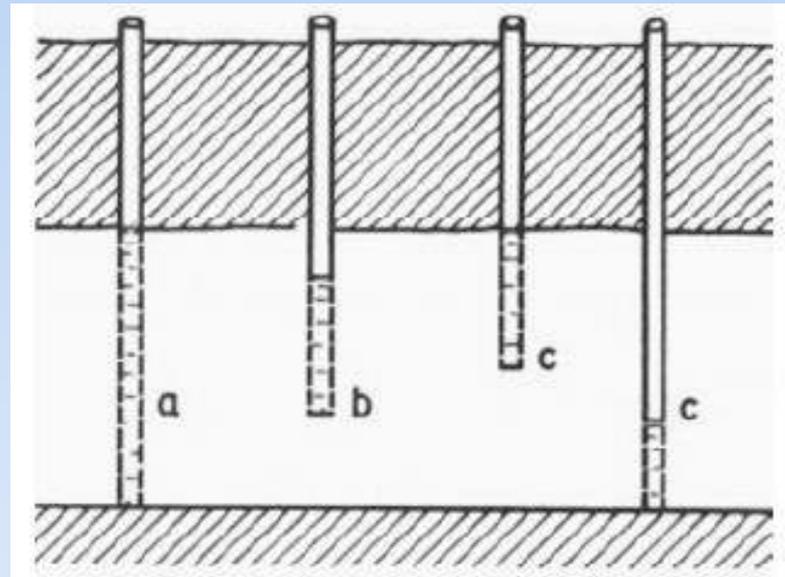
2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.b)

Tipos de pozo

a) *Totalmente penetrante: Zona filtrante alcanza la totalidad del acuífero*

b) *Incompleto: Zona filtro, solo parte del acuífero*

c) *Parcialmente penetrante: incompleto, pero zona filtrante se inicia en el techo o en la base*





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.c)

Para las soluciones analíticas de flujo radial, se asume:

- 1.- *El acuífero es homogéneo e Isótropo*
- 2.- *El agua es de densidad y viscosidad constante*
- 3.- *El espesor del acuífero es constante y la base del mismo es horizontal*
- 4.- *No existe flujo natural: los niveles iniciales del agua son horizontales*
- 5.- *Las superficies equipotenciales son cilindros verticales de sección circular y concéntricos con el pozo; equivale a flujo radial y horizontal*
- 6.- *El coeficiente de almacenamiento es constante en el espacio y en el tiempo*
- 7.- *En todo momento se cumplen las condiciones de validez de la Ley de Dary*
- 8.- *El agua liberada del almacenamiento aparece simultánea y proporcional a la disminución del nivel piezométrico*
- 9.- *El acuífero es de extensión infinita, no existen otras captaciones, con descenso a una distancia dada es cero.*
- 10.- *El pozo es totalmente penetrante*
- 11.- *En régimen transitorio se admite que el radio del pozo es pequeño y el agua almacenada en el pozo no influye en caudal de bombeo.*
- 12.- *No existe pérdida de carga de penetración del agua en el pozo*
- 13.- *El caudal de bombeo es constante.*



DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

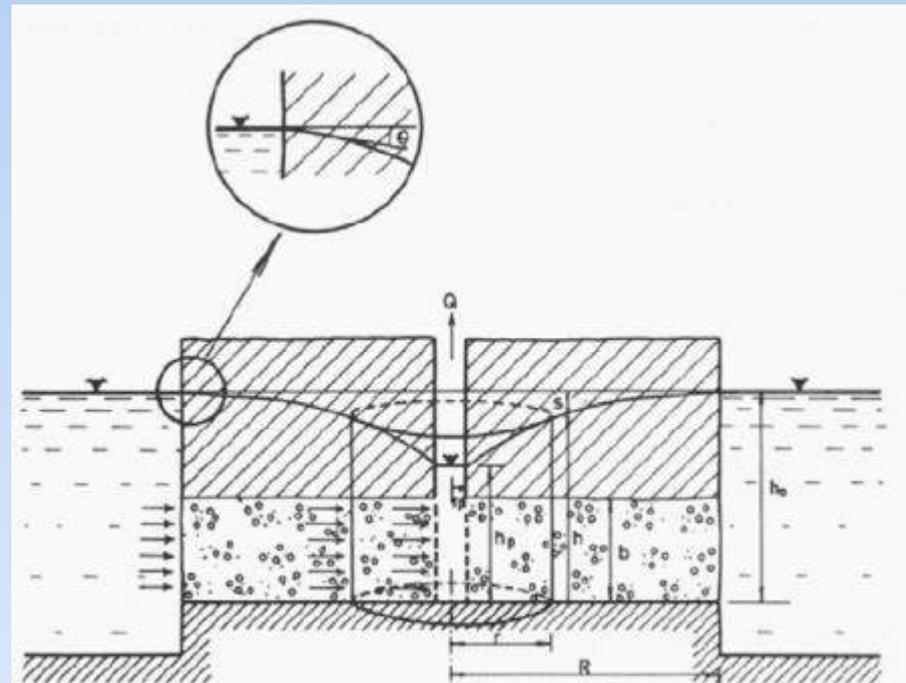
2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.d)

Solución de la ecuación para

POZO EN ACUIFERO CONFINADO – REGIMEN PERMANENTE

$$s = h_o - h = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \ln \frac{R}{r}$$





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.e)

Solución de la ecuación para

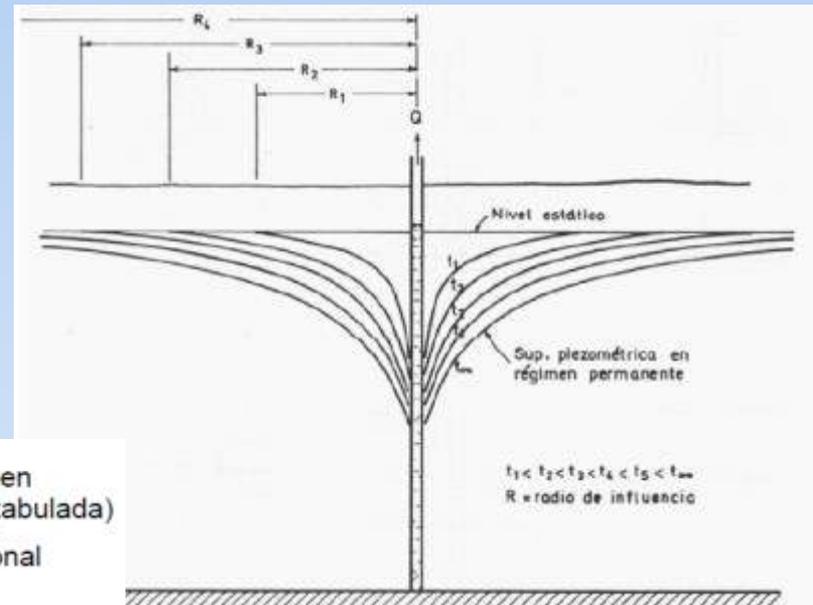
POZO EN ACUIFERO CONFINADO – REGIMEN TRANSITORIO

$$s = h_o - h = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u)$$

Donde:

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx, \text{ con } u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

$W(u)$: función de pozo en acuífero cautivo (tabulada)
 u : parámetro adimensional





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.f)

Solución de la ecuación para

POZO EN ACUIFERO SEMICONFINADO – RÉGIMEN PERMANENTE

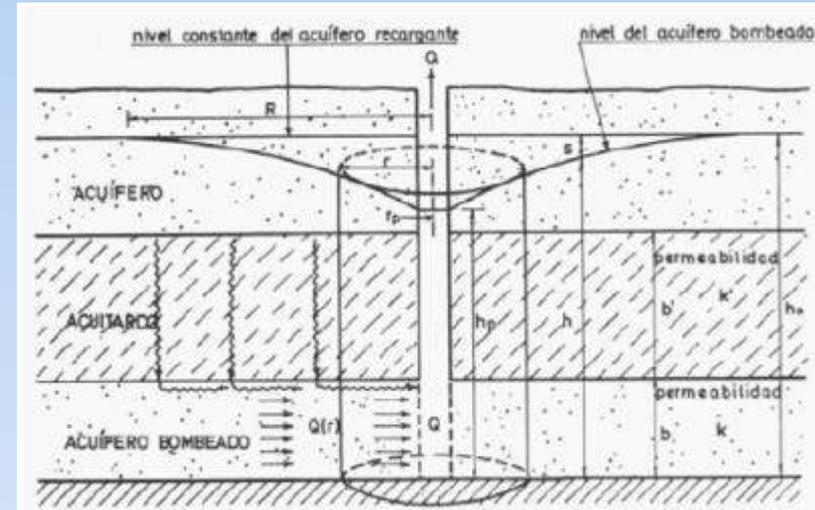
$$s = h_o - h = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \frac{K_o(r/b)}{(r/B)K_1(r/B)} \approx \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} K_o(r/B)$$

K_o y K_1 : funciones de Bessel

B : factor de goteo = $(T/c)^{1/2}$

c : coef. de goteo = K'/b'

Fórmula de De Glee o de Jacob-Hantush





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.g)

Solución de la ecuación para POZO EN ACUIFERO SEMICONFINADO – REGIMEN TRANSITORIO

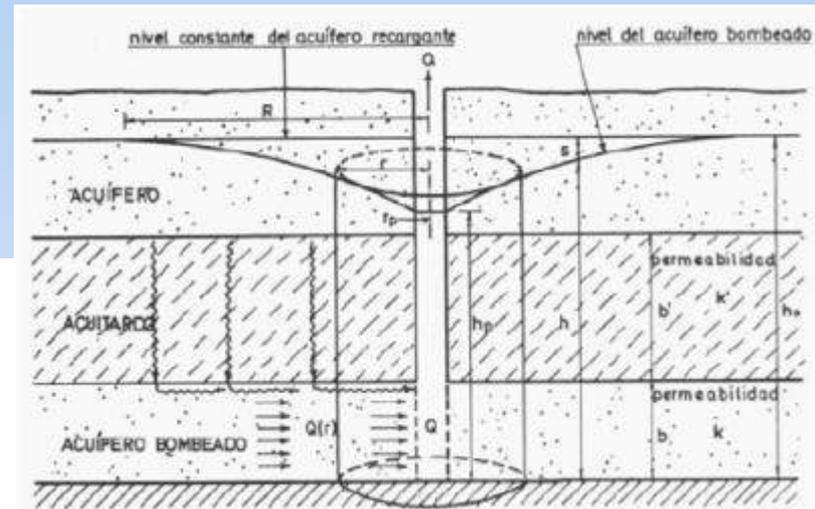
$$s = h_o - h = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u, r/B)$$

llamada **fórmula de Hantush** y donde:

$$W(u, r/B) = \int_u^{\infty} \frac{1}{y} e^{\left(-y - \frac{r^2}{4B^2 y}\right)} dy, \text{ con } u = \frac{r^2 S}{4 \cdot T \cdot t}$$

$W(u, r/B)$: función tabulada

u : parámetro adimensional





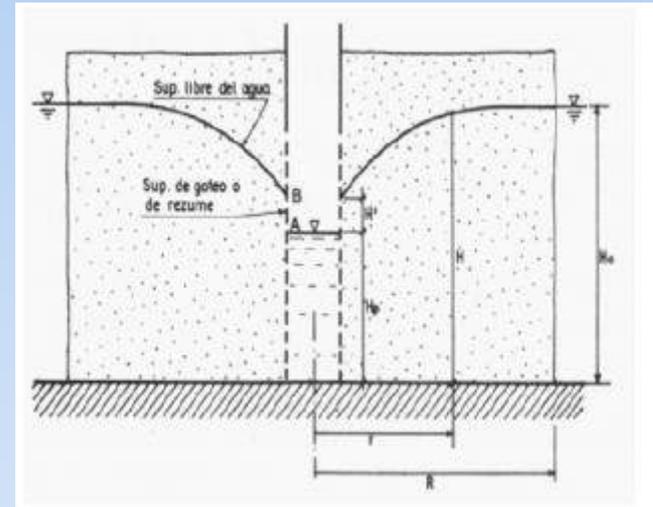
DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.h)

Solución de la ecuación para
POZO EN ACUIFERO LIBRE– RÉGIMEN PERMANENTE

$$H^2 = H_o^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}$$





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.3 – Hidráulica de captaciones – Pozos (2.3.i)

Solución de la ecuación para

POZO EN ACUIFERO LIBRE– REGIMEN TRANSITORIO

- *En un acuífero libre, con un bombeo en régimen transitorio, la Transmisividad (T) no solo varía con el espacio, sin además con el tiempo.*

- *Si los descensos no son grandes en comparación con el espesor del acuífero, pueden aplicarse la formulación de acuíferos confinados y semiconfinados, con los valores:*

$$T = k \cdot H_0 \quad \text{y } S \text{ igual a la porosidad eficaz.}$$



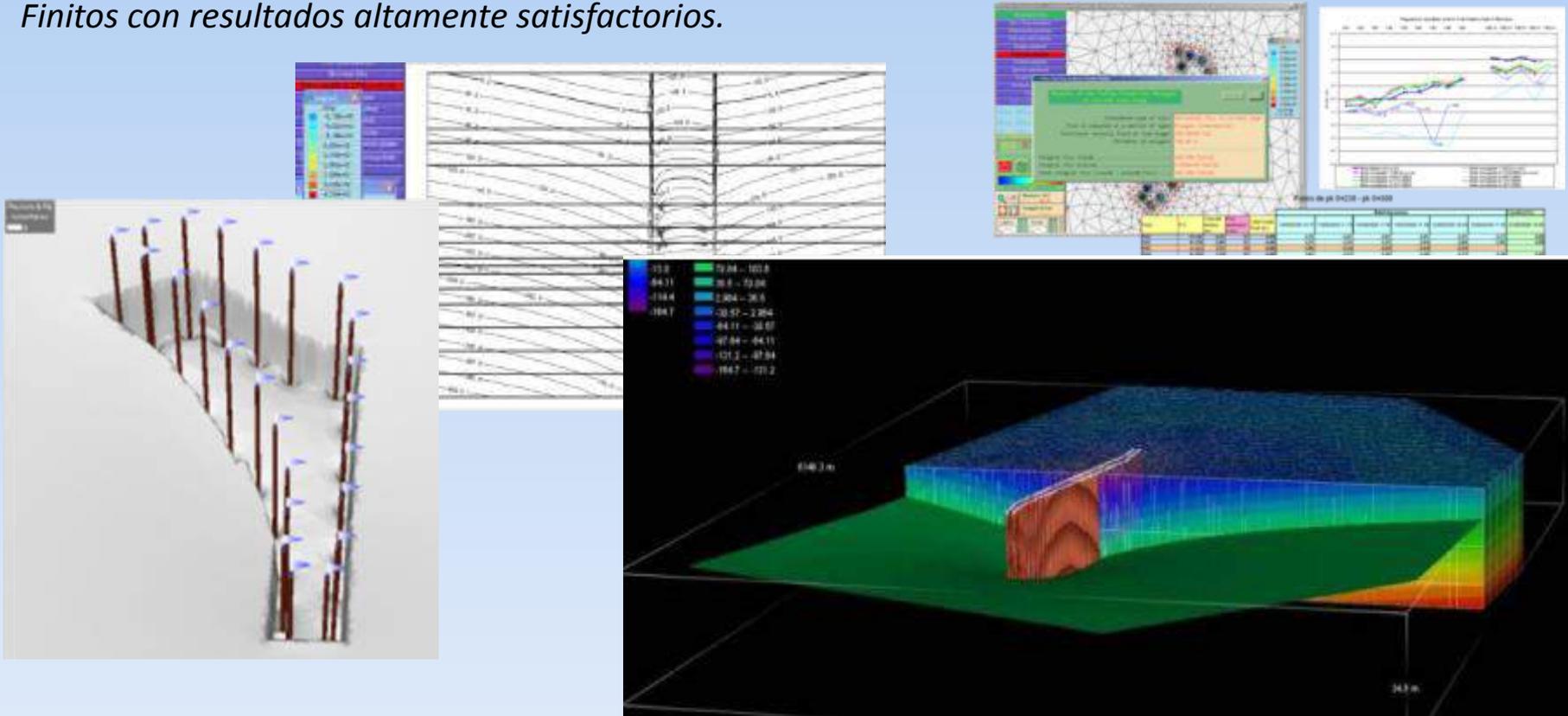
DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

2.- Hidrología. Conceptos básicos

2.5. – Modelos numéricos

En la actualidad, existen diversos códigos de computación “ad hoc” para la resolución de problemas complejos de flujo y transporte en medios porosos.

En esencia existen modelos basados en Diferencias Finitas y en basadas en Elementos Finitos. Nuestra experiencia, fundamentalmente ha sancionado la opción de Elementos Finitos con resultados altamente satisfactorios.





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

3.- Metodologías

3.1 – Análisis de la doc. disponible (Ante-Proyecto , geotécnica, ensayos ..

- Planos anteproyecto – proyecto / diseño
- Detalles constructivos – geometría
- Información geológica
- Información / caracterización geotécnica
- Elementos singulares (anclajes / pilotes prefabricados / “In situ”)
- Coincidencia de bombeos con otras actividades
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos de bombeo
- Plan de excavaciones – Cronograma ejecución
- Impacto medio-ambiente



3.- Metodologías

3.2 – Definición del sistema de bombeo (método)

4.2.1. – Pozos de baja capacidad

4.2.2. – Pozos de alta capacidad

4.2.3. – Bombeo asistido por vacío

4.2.4. – Bombeo “sumidero”

4.2.5. – Bombeo superficial

1. Pozo de baja capacidad (*LCW – Low Capacity Well*)

Cuando se requieren descensos superiores a 5 metros, principalmente en excavaciones en las que existe algún tipo de diafragma (tablestaca, pantallas, muros plásticos, etc.), en suelos de baja a moderada permeabilidad, se precisará de pozos de captación en profundidad



2. Pozo de alta capacidad (*HCW – High capacity wells*)

Al igual que en el planteamiento de pozos de baja capacidad, cuando se requieren descensos superiores a 5 metros, principalmente en excavaciones en las que existe algún tipo de diafragma (tablestaca, pantallas, muros plásticos...), ante suelos de alta permeabilidad, se precisará de pozos de captación en profundidad



3. Bombeo asistido por vacío (*Wellpoint*)

Aplicable en terrenos granulares de diversa densidad y graduación. Su mayor eficiencia, dado su diseño, se presenta en arenas de grano medio, de comportamiento no plástico. Es igualmente aplicable en otros tipos de terrenos (arcillas, arenas mezcladas, limos, etc.), si bien estos terrenos condicionan su diseño de montaje, regulación y ajuste discretizado.



4. Bombeo tipo sumidero (*Sump pumping*)

Se plantea como sistema de menor complejidad y sencillez, si bien requiere tener conocimientos elementales al menos para su implantación, pues en caso contrario, su efectividad será nula. Sus diseños básicos son los de mayor uso y, evidentemente, son de aplicación en situaciones someras en las que se requieren descensos de nivel de poca profundidad.



5. Bombeo superficial extractivo (*Surface pumping*)

Control, regulación y/o desvío de las aguas superficiales, proveniente de la escorrentía de lluvias, y/o trasvases de ríos, lagos, aguas de inundación.



5. Bombeo superficial llenado / desvío (*Surface pumping*)

Control, regulación y/o desvío de las aguas superficiales, proveniente de la escorrentía de lluvias, y/o trasvases de ríos, lagos, aguas de inundación.





4.- Aplicaciones. Ventajas – Límite. Cargas Vs Flotabilidad (4.1)

De obras enterradas en suelos saturados,

Desde su aplicación:

- **Sótanos** aparcamientos (parqueaderos).
- **Túneles**.
- *Pasos enterrados de ferrocarril / carreteras.*
- **Depósitos** de pluviales / reservorios
- **Obras lineales** de instalaciones enterradas (conductos de urbanización (alcantarillado, acueductos, instalaciones en general ...

Desde el punto de vista constructivo:

- **Ahorros** de tiempos, costes directos e indirectos.
- *Mayora la **seguridad** personal y sobre la propia obra durante su construcción.*
- *Aseguramiento del cumplimiento de **plazos** – cronograma constructivo.*
- *Mejora de acabados y **puesta en obra** del concreto y sus sistemas de **impermeabilización**, por ausencia de agua en la excavación.*



4.- Aplicaciones. Ventajas – Límite. Cargas Vs Flotabilidad (4.2)

De obras enterradas en suelos saturados,

Desde el punto de vista de la cimentación

- Reducción de profundidad de las pantallas verticales, por reducción controlada de la presión intersticial, derivado del bombeo interior. Minoración del riesgo de sifonamiento.
- Posible reducción de las cargas hidrostáticas sobre el trasdós de las pantallas verticales con disminución del ancho y/o armado derivado del bombeo exterior. (se deberá analizar, dependiendo del entorno).
- Variante de solución de cimentación, a menor profundidad (**Losa Vs Pilotes**).
- Disminución de transmisión de cargas al suelo por la flotabilidad generada por la sub-presión. (**Carga Vs Flotabilidad**)

Desde el punto de vista de la inversión:

- Incrementa la superficie construida sobre un predio dado.
- Posibilidad de implementar parqueaderos en el subsuelo, manteniendo los locales en plantas bajas para usos comerciales y de esparcimiento.
- Reducción de costes financieros por disminución de tiempos de ejecución
- Viabilizar proyectos con límites en altura de construcción, por causas patrimoniales, históricas, técnicas (aeropuertos próximos . ..).

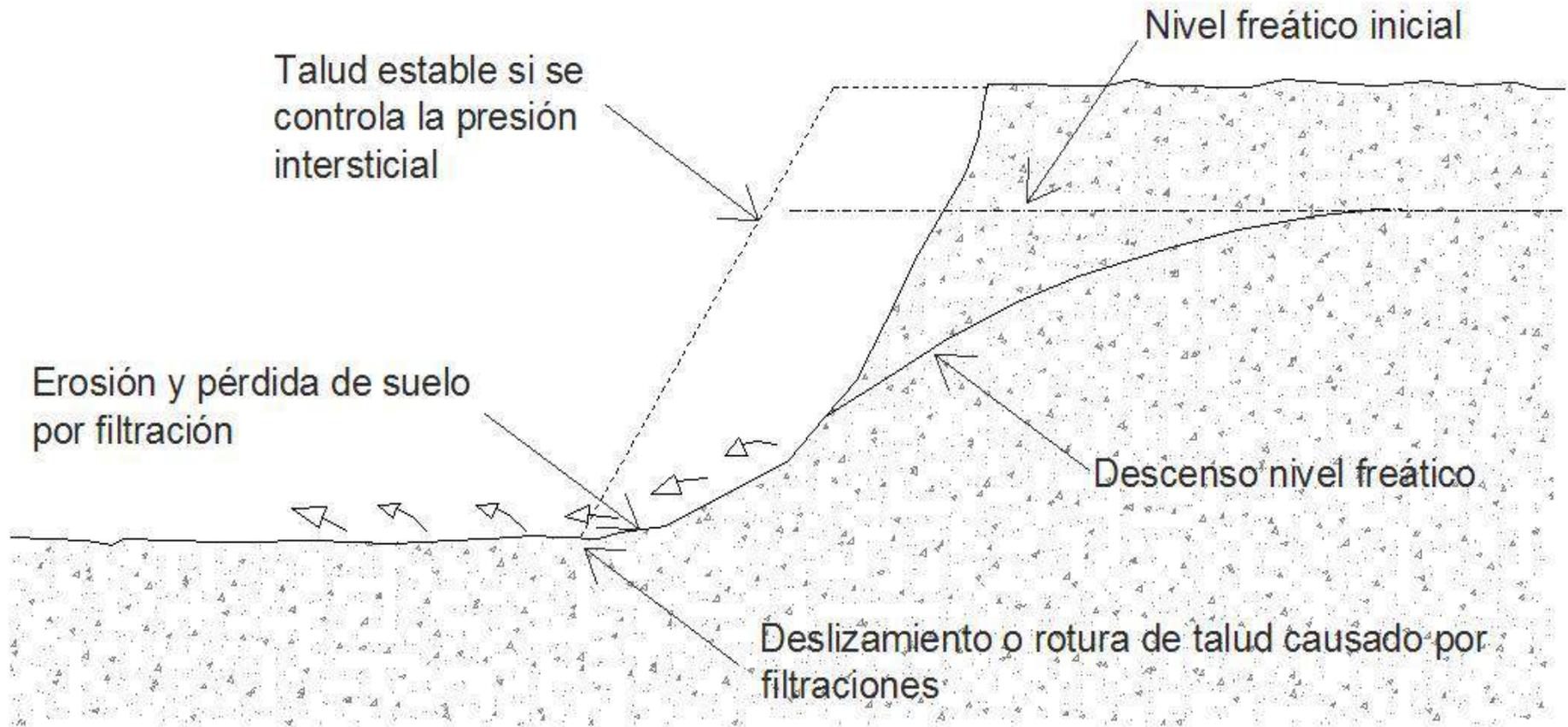


5.- Riesgos previsibles – imprevisibles

- *Deslizamiento / rotura de taludes*
- *Levantamiento / rotura de fondo*
- *Fluidificación de suelos / sifonamiento del terreno*
- *Filtraciones por paramentos verticales / por anclajes / fallos acabados*
- *Surgencias de acuíferos confinados subyacentes (pozos/sondeos previos)*
- *Desbordamiento de cauces*

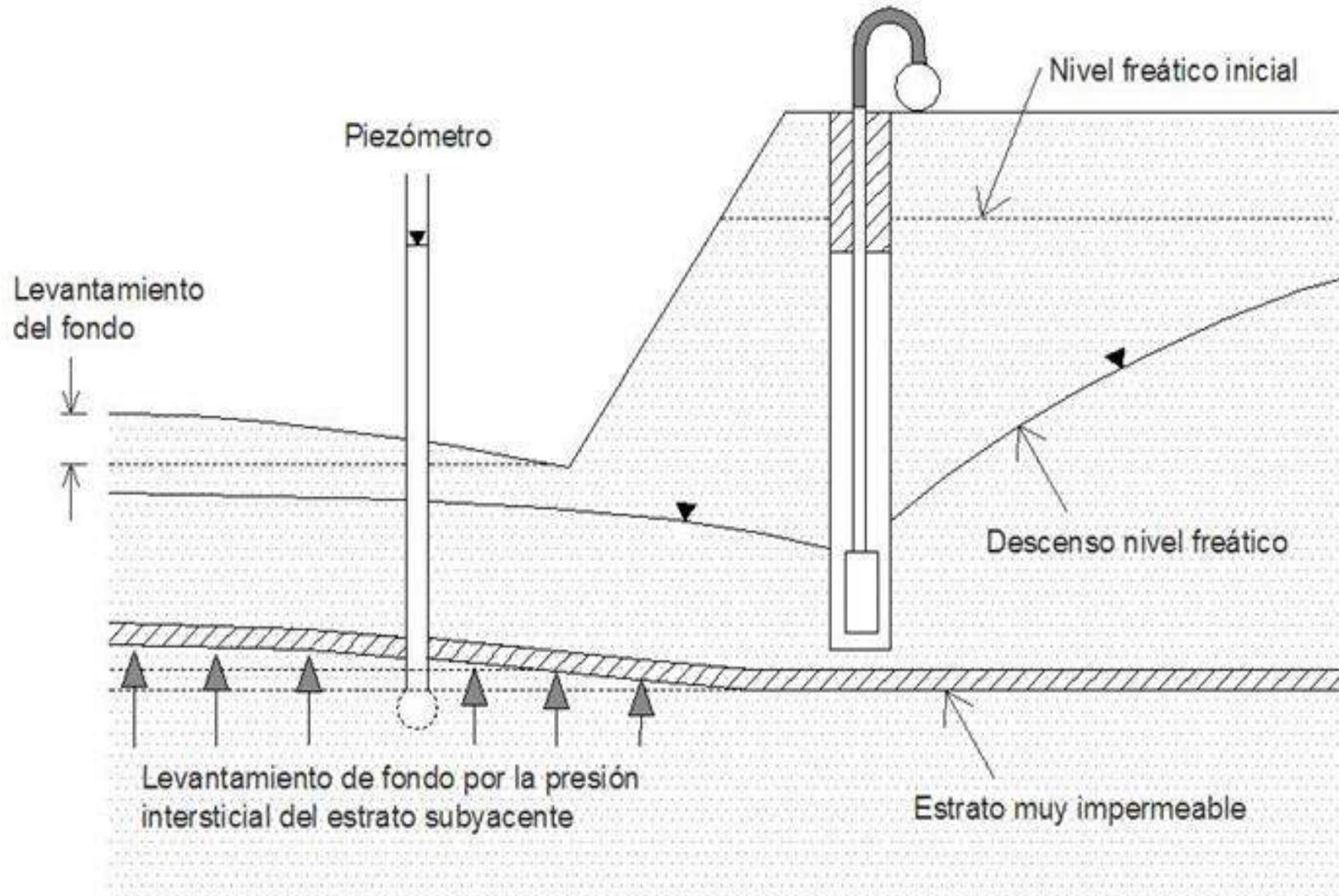


Deslizamiento o rotura de taludes



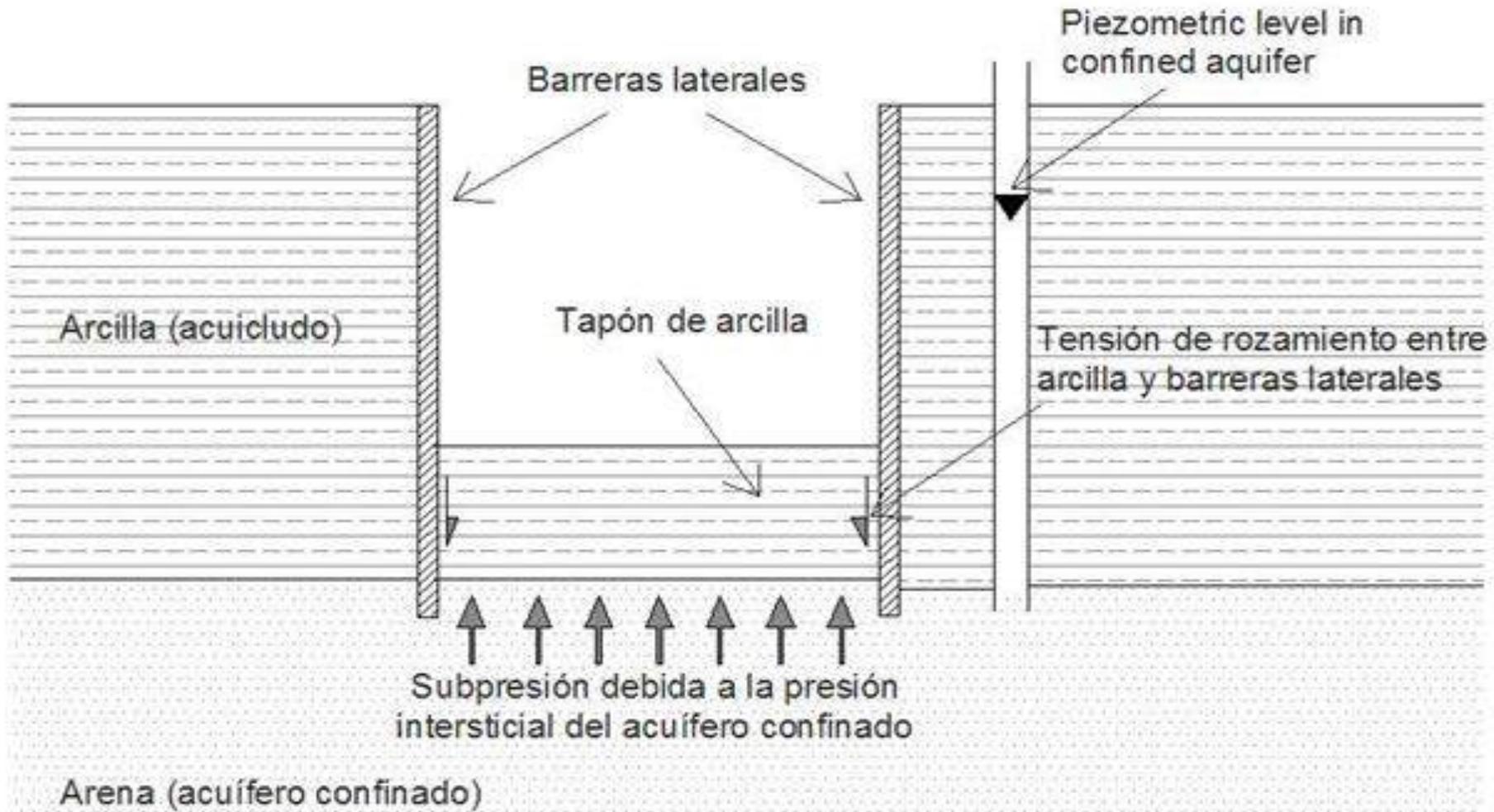


Levantamiento o rotura de fondo



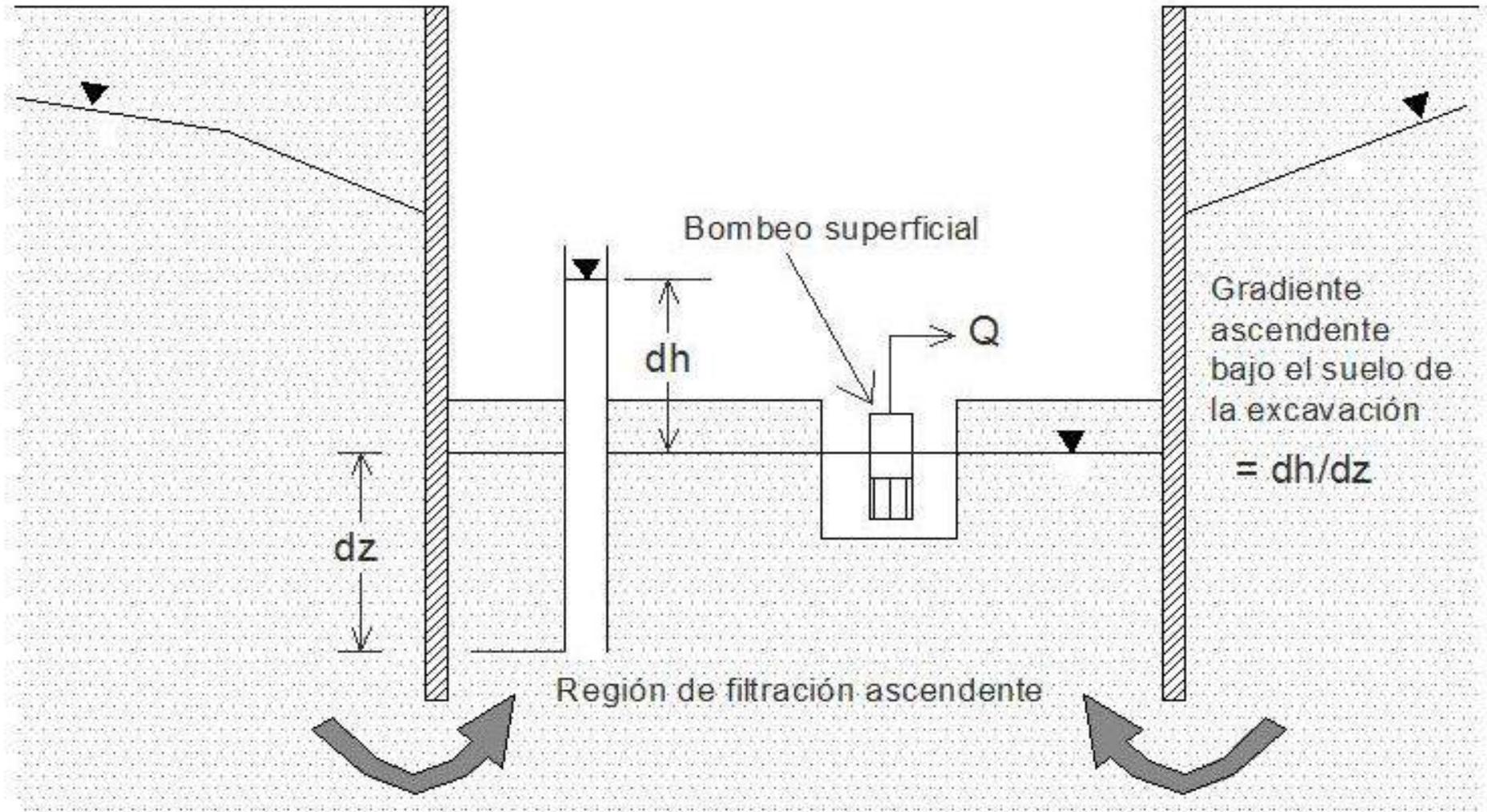


Levantamiento o rotura de fondo





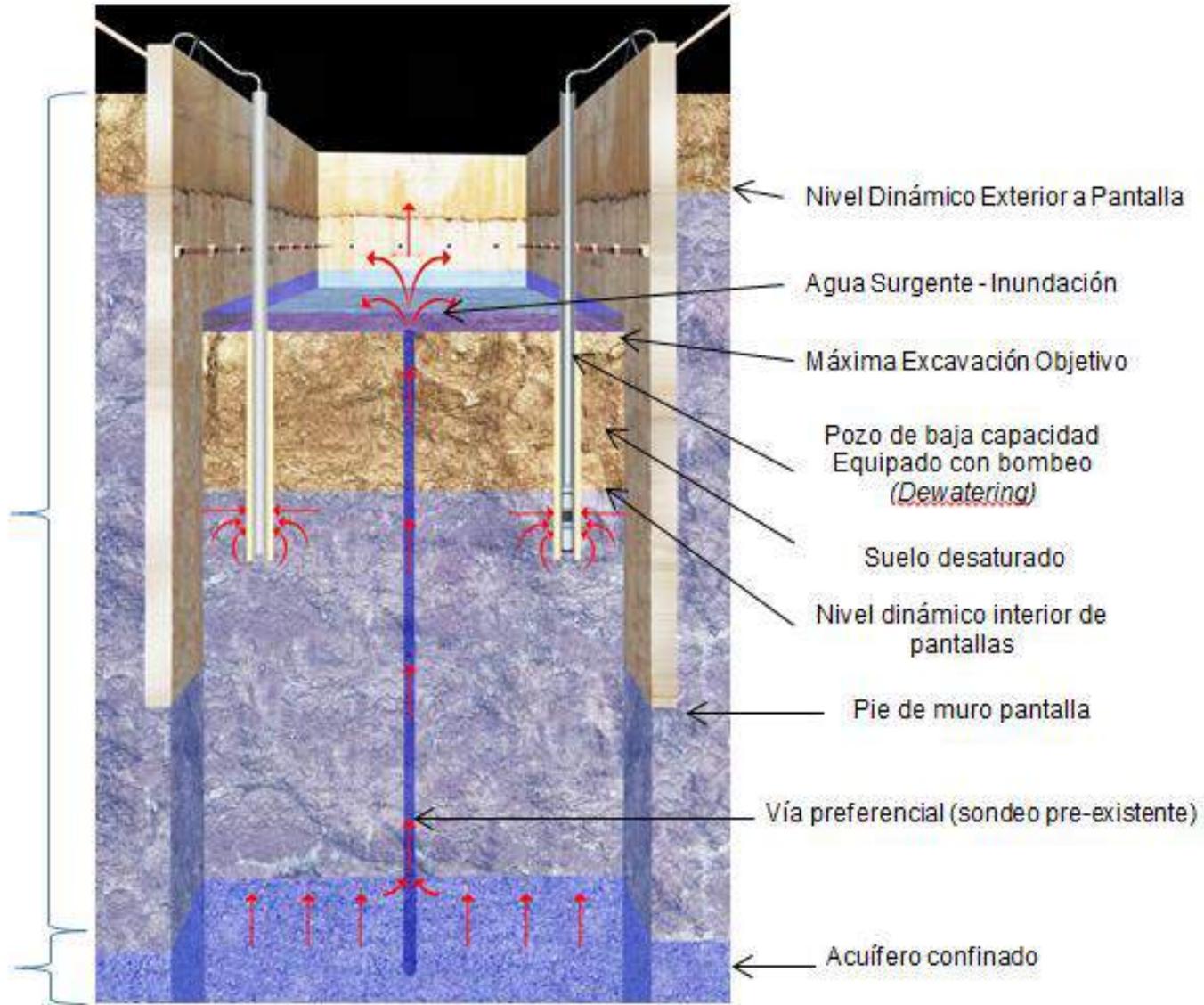
Fluidificación o sifonamiento del suelo



Filtraciones laterales, a través de anclajes, juntas, fallos...



Surgencia procedente de acuífero confinado subyacente



Suelo tipo 1
Conductividad hidráulica, k_1

$$k_2 \gg k_1$$

Suelo tipo 2
Conductividad hidráulica, k_2

Surgencia procedente de acuífero confinado subyacente





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

6.- Daños materiales – Malas prácticas

-

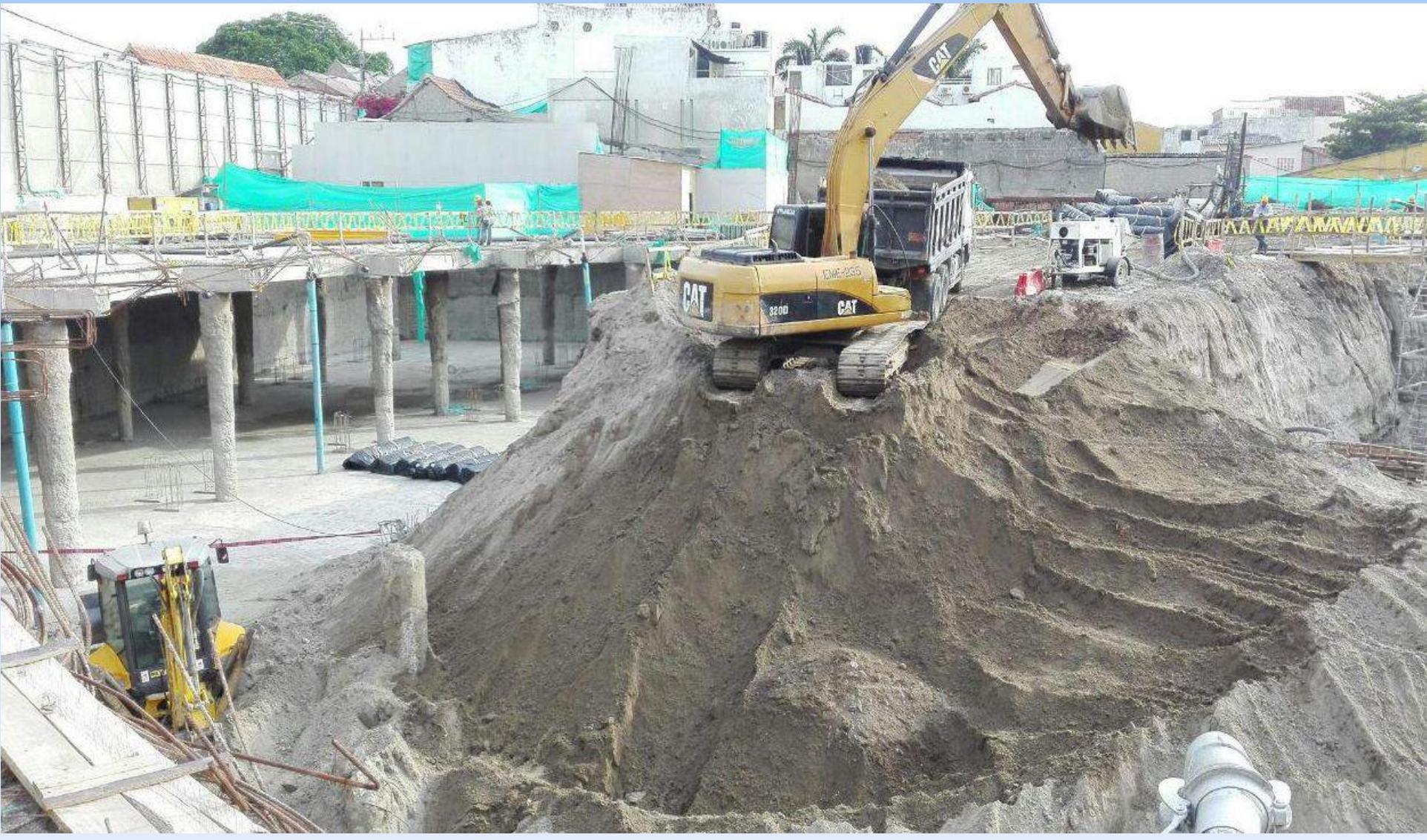
Procedimientos insuficientes / inadecuados



Resultados de malas prácticas – Daños materiales/personales - Pérdidas



Resultados de buenas prácticas – Diseño y Ejecución



Resultados de malas prácticas – Daños materiales/personales - Pérdidas



Resultados de malas prácticas – Daños materiales/personales - Pérdidas



Resultados de malas prácticas – Daños materiales/personales - Pérdidas



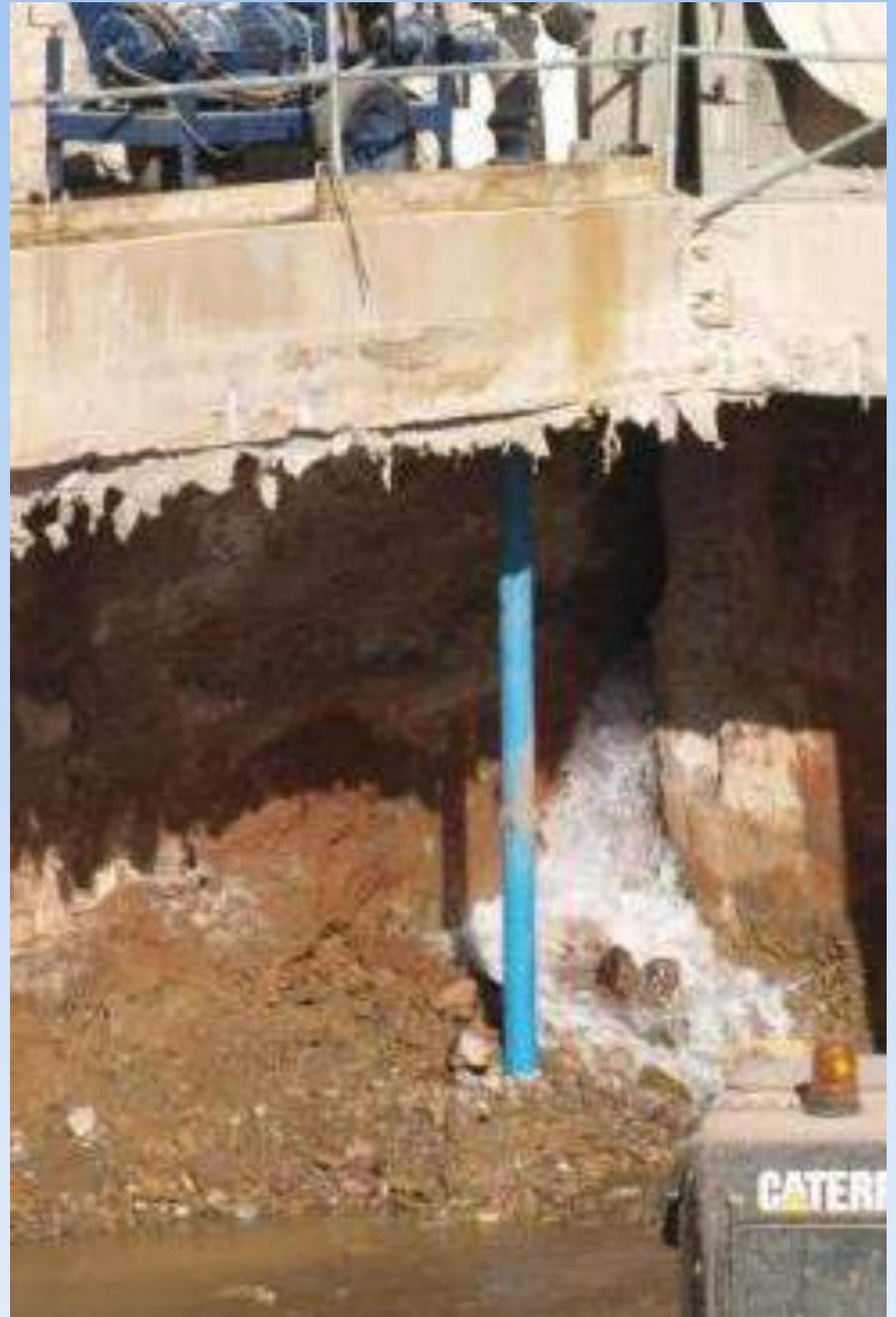
Resultados de malas prácticas – Daños materiales/personales - Pérdidas



Filtraciones laterales, a través de anclajes, juntas, fallos...



Filtraciones laterales, a través de anclajes, juntas, fallos...



Desbordamiento de cauces - inundaciones



Desbordamiento de cauces - inundaciones





7.- Vídeos – Malas Prácticas

- Rotura de Losa por Sub-presión***
- Rotura y Colapso de Pantalla***
- Entradas de agua a excavación por fallos de pantallas.***



8.- Buenas prácticas - Ejemplos

AMPLIACION CANAL DE PANAMA – PAC 4

Panamá



AMPLIACION CANAL DE PANAMA – PAC 4

Panamá



AMPLIACION CANAL DE PANAMA – PAC 4

Panamá



AMPLIACION CANAL DE PANAMA – PAC 4

Panamá



AMPLIACION CANAL DE PANAMA – PAC 4

Panamá



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



CONSORCIO TUNEL CALLAO

Callao – LIMA - PERU



EXCAVACION SOTANOS CADENA HIPOTEL

Palma de Mallorca (Es)



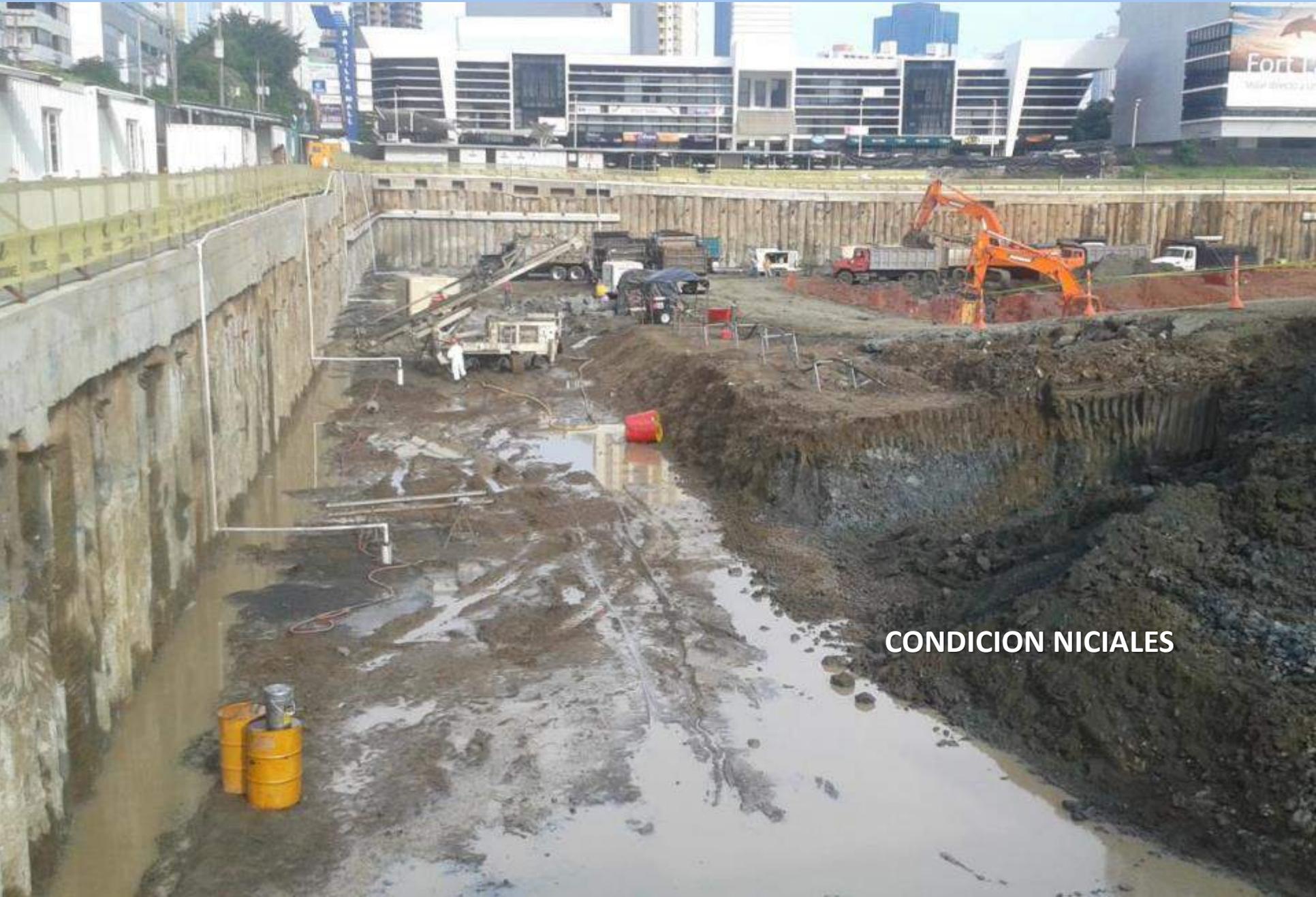
CONDICIONES INICIALES

EXCAVACION SOTANOS CADENA HIPOTEL

Palma de Mallorca (Es)



PACIFIC CENTER
Ciudad de Panamá (PANAMÁ)



CONDICION NICIALES

PACIFIC CENTER
Ciudad de Panamá (PANAMÁ)



UTE METRO 3 ALBORAYA – Soterramiento Línea 3 de Metro Valencia (Es)



**UTE METRO 3 ALBORAYA – Soterramiento Línea 3 de Metro
Valencia (Es)**



**SACYR – Soterramiento Línea Alta Velocidad –Sagrada Familia
Barcelona (Es)**



**SACYR – Soterramiento Línea Alta Velocidad –Sagrada Familia
Barcelona (Es)**



**SACYR – Soterramiento Línea Alta Velocidad –Sagrada Familia
Barcelona (Es)**



FCC - Nuevo Edificio Moll Vell

Palma de Mallorca (Es)



FCC - Edificios I.D.I. - Universidad Politécnica Valencia
Valencia (Es)



EDR - Sótano de edificio de viviendas
La Línea de la Concepción (Es)



VÍAS - Depósito de Tormentas

Gandia (Es)



VALENCIA NATURA PARK, S.L. - Edificio ARENA II
Valencia (Es)



MELILLA - Aparcamiento Isla Talleres

Ciudad autónoma de Melilla (Es)



**BECSA – Aparcamiento C/ Janini
Valencia (Es)**



AARON COHEN – Centro comercial La Zerreuela
Cartagena de Indicas (Colombia)



COL. NTRA. SRA. LORETO - Aparcamiento Subterráneo
Valencia (Es)





Castellón (Es)









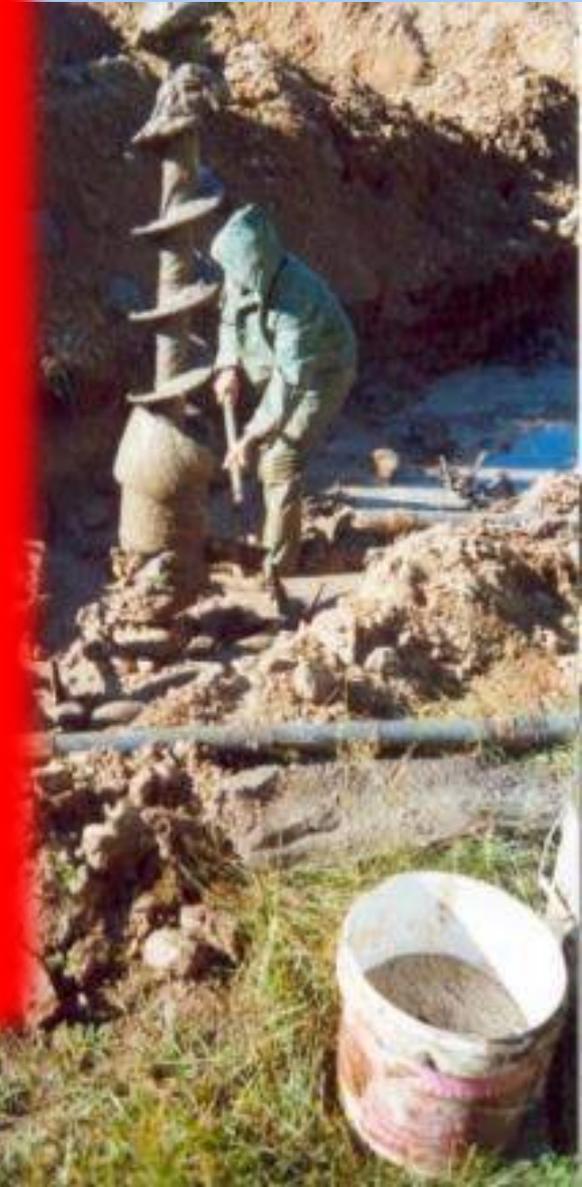
COPISA INDUSTRIAL - Colectores Red Saneamiento

Saidia (Marruecos)



Construcción de prefiltro para colocación de wellpoint

Moncofar (Es)



FCC – UPV Wellpoint multiestadio
Valencia (Es)



CONSORCIO ICA-FCC-MECO – Cimentación Presa – Canal de Panamá
Panamá (Pa)



GUPC – Presas Borinquen 2E, 1W y 2W - Proyecto Pacific Acces Channel
Panamá (Pa)



FCC – Sala de Máquinas - Presa Salto Hidráulico Chiriquí (Panamá)



ECISA - Edificio Mare Nostrum
Valencia (Es)



ECISA - Edificio Mare Nostrum
Valencia (Es)





DEWATERING – “ARTE O CIENCIA”

9.- Detalles de Instalación

Detalles de Instalación

KIT DE CONTROL CAUDAL



Detalles de Instalación

PANEL CONROL



Detalles de Instalación

CONEXION COLECTOR – VALVULA ANTIRETORNO - PRESIION



Detalles de Instalación

COLECTOR DESCARGA EN PRESION



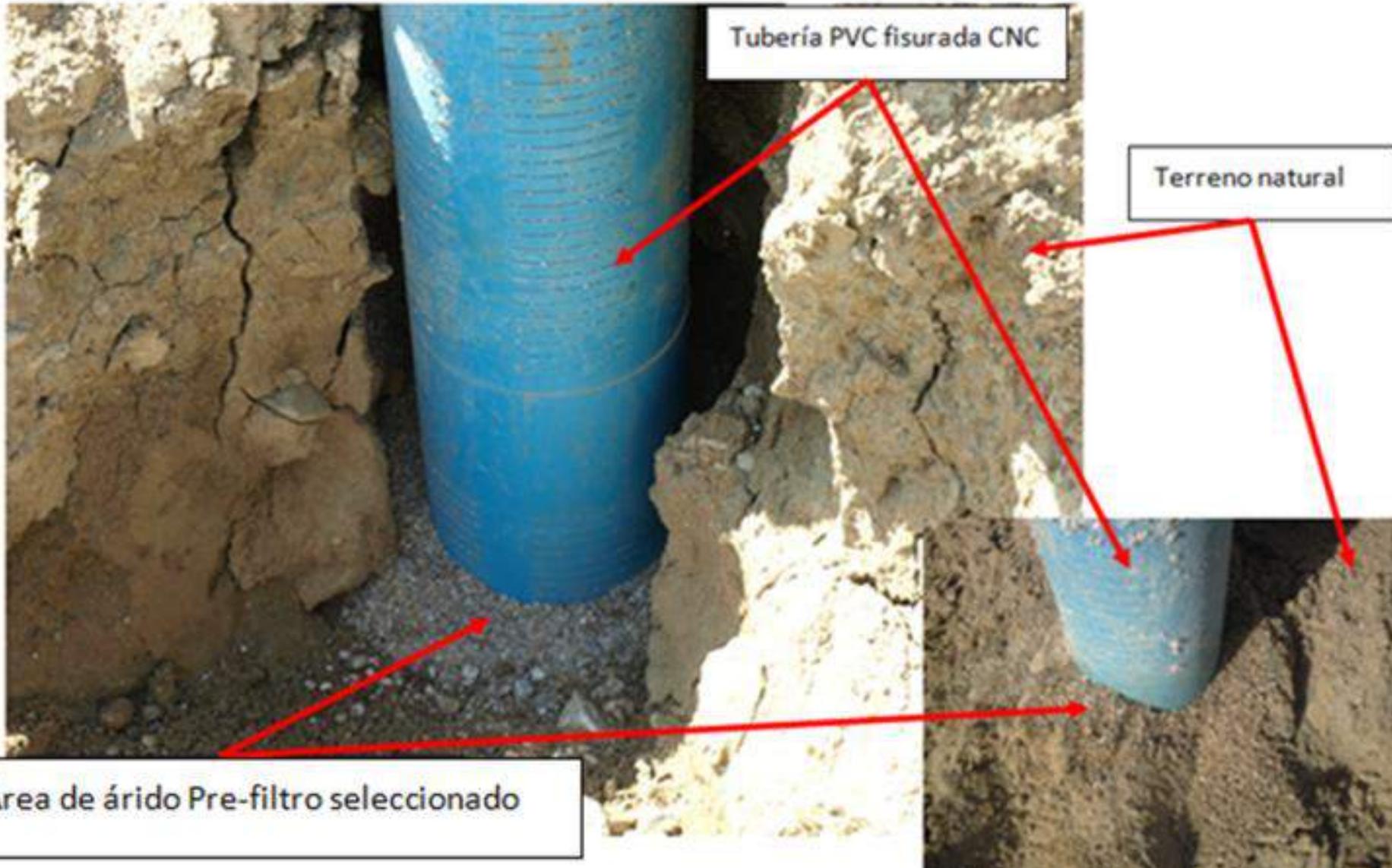
Detalles de Instalación

COLECTOR DESCARGA EN PRESION



Detalles de Instalación

TUBERÍA FILTRO Y PREFILTRO DE ÁRIDO GRADUADO SÍLICE



Detalles de Instalación

TUBERÍA FILTRO Y PREFILTRO DE ÁRIDO GRADUADO SÍLICE



TUBERÍA POLIETILENO CON ENLACE DE UNIÓN RÁPIDO



TUBERÍA POLIETILENO CON ENLACE DE UNIÓN RÁPIDO



TUBERÍA POLIETILENO CON ENLACE DE UNIÓN RÁPIDO



Detalles de Instalación

AJUSTE EN ELEVACIÓN / SEGURIDAD EN OBRA



Pozo original en altura



Pozo acondicionado a excavación

TUBERÍA POLIETILENO CON ENLACE DE UNIÓN RÁPIDO





DECANTADOR – AGUA “CRISTALINA”

Detalles de Instalación







10 - Sesión de consultas..... iii

alejandro.ferrer@ferrersl.com

GRACIAS POR SU ATENCIÓN