



AGUAS SUBTERRANEAS E INGENIERIA CIVIL
Curso 2008/2009

Tema 15
EXCAVACIONES Y AGOTAMIENTOS
DRENAJE EDIFICACION

**FUNDACION CENTRO INTERNACIONAL DE
HIDROGEOLOGIA SUBTERRANEA (*FCIHS*)**

Barcelona 15 de Mayo de 2009.

Alejandro J. Ferrer G.
alejandro.ferrer@ferrersl.com

OBJETIVO

Conciliar el **Análisis teórico y la experiencia práctica** con el objeto de formar especialistas en el ámbito de la **hidrogeología aplicada a las obras de ingeniería civil** afectadas por las aguas subterráneas.



AGUAS SUBTERRANEAS E INGENIERIA CIVIL
Curso 2008/2009

EXCAVACIONES Y AGOTAMIENTOS

INTRODUCCION

- Cualquier conclusión basada en la teoría, debiera ser siempre moderada por el juicio y experiencia. En el caso que coincidan se puede acometer el proyecto con confianza, al margen de otros condicionantes ajenos a los aspectos técnicos, como son el factor económico y el factor tiempo de ejecución, los cuales cobran mayor peso de lo deseable en muchas ocasiones, condicionando el resultado.
- *“Un especialista en control del nivel piezométrico será la persona que entienda y respete la teoría, pero se niega a permitir que esta teoría anule el buen juicio” (J. Patrick Powers. 1992).*

INFORMACION INICIAL PRECISA

Para el diseno de un drenaje en una excavacion es necesaria la siguiente informacion:

- Condiciones Generales
- Condiciones del suelo
- Detalles constructivas / excavacion
- Detalles de ubicacion

CONDICIONES GENERALES

- Situación de la obra, dirección y plano general
- Objetivo del drenaje o agotamiento (dewatering)
- Acuerdos generales de planteamiento y esquemas de detalles
- Programa de construcción
- Clima, registros de lluvia

CONDICIONES DEL SUELO

- Informes de investigación del suelo (*Informes geotécnicos e hidrogeológicos*)
- Experiencias próximas (*pasadas o en curso*)
- Caracterización del suelo completa, y al menos hasta 1,5 veces la profundidad de la excavación (*preferiblemente hasta la base del acuífero a bombear*)
- Registro de variaciones de niveles (*Según estación del año, acciones antrópicas ..*)

CONDICIONES DEL SUELO

- Evidencias de condiciones artesianas.
- Influencias de las mareas.
- Posible contaminación (*aguas agresivas para los sistemas de bombeo –materiales inertes*).

DETALLES DE LA EXCAVACION

- Tipo de trabajo, en avance progresivo o estático (*edificación, depósitos tormentas o colectores obras lineales ..*)
- Tipo y método de excavación, confinada o no, a cielo abierto, en mina, taludes, bataches ..
- Localización de puntos suficientes de descarga (*acequias de riego, red de colectores públicos ..*)

DETALLE DE LA UBICACIÓN DE LA OBRA

- Condiciones de tráfico, limitaciones de acceso por gálibo, proximidad de catenarias...
- Zona de posible inundación (*previsión de desagües – bombeos ...*)
- Bombeo sostenible con el entorno y el medio (*explotaciones próximas – vivero recarga*)
- Condiciones de estabilidad de la obra y de los colindantes (*se verá en el siguiente tema*)

DETALLE DE LA UBICACIÓN DE LA OBRA

- Emisión de ruidos (*bombes 24 h – grupos generadores dB, ...*)
- Suministros (*agua, f.e.m, ventilación forzada ...*)
- Permisos y Licencias (*de perforación, explotación, ocupación, vertidos ...*)

Información inicial necesaria



Modelo conceptual



Sistema de bombeo adecuado



PARAMETROS Y DETALLES ESENCIALES A EFECTOS DE CALCULOS

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

PARAMETROS Y DETALLES

- Identificación de suelos
- Pendientes / Taludes
- Permeabilidad / transmisividad
- Radio de influencia
- Estimación de asentamientos

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

En función del tipo de suelo y de las características de la obra, deberá determinarse el sistema a utilizar (se verá en el siguiente tema).

Debemos concienciar de la necesidad de efectuar ensayos de bombeo para determinar los parámetros hidrogeológicos (Est. Geotécnico es a la cimentación, como Ensayo de bombeo es a la implantación del sistema de bombeo)

Por la falta de ensayos o para el contraste de los resultados
– tablas prácticas

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EN CAMPO.

Table 5 Identification of ground types (from CIRIA Report 97 Trenching practice)

Ground type	Field identification	Soil/rock category
Granular	i Particles visible	Boulders (above 200 mm)
	ii Sands feel gritty	Cobbles (60 to 200 mm)
	iii Visually assess proportions of boulders/cobbles/gravel/sand	Gravel (2 to 60 mm)
		Sand (0.06 to 2 mm)
Cohesive	i Particles not visible	Silt (0.002 to 0.06 mm)
	ii When damp silt and fine sand are shaken in the hand water appears on the surface	
	i Soft clay is easily moulded by fingers	Clay (below 0.002 mm)
	ii Firm clay is moulded by strong finger pressure	
	iii Stiff clay is indented by strong finger pressure	
	iv Fissured clay should be examined for its structure	
	i Decomposing or organic matter	Peat (black, grey or brown clayey or sandy)
	ii Odour	
	iii Fibrous or non-fibrous	
	iv High, medium or low compressibility	
Mixed Soils	By identifying the fine particles (omitting any boulders or cobbles)	Characterised by the dominant particle size and the percentage by weight of material finer than 0.06 mm. In general, more than 35% is a fine soil, less than 35% is a coarse soil.
Fill	i All types of man-placed material	As main soil type (eg clay, sand, gravel, etc.)
	ii Note constituents including unnatural inclusions	
Rock	i In mass stronger than the above soil types	As appropriate to the predominant as a cohesive soil constituents and characteristics
	ii Important to note cementation, structure and orientation (fissures, joints, beddings, layers, etc)	
	iii Closely jointed rock may act as granular material and weathered weak rock as a cohesive soil	



TALUDES TEMPORALMENTE SEGUROS

El ángulo de inclinación para el que un talud permanece *estable*, depende de:

- Tipo y condición de suelo o roca.
- Presencia de agua superficial o subterránea
- Carga en coronación, tráfico rodado ..
- Profundidad de la excavación
- Pendiente, entibación.
- Tiempo de permanencia.

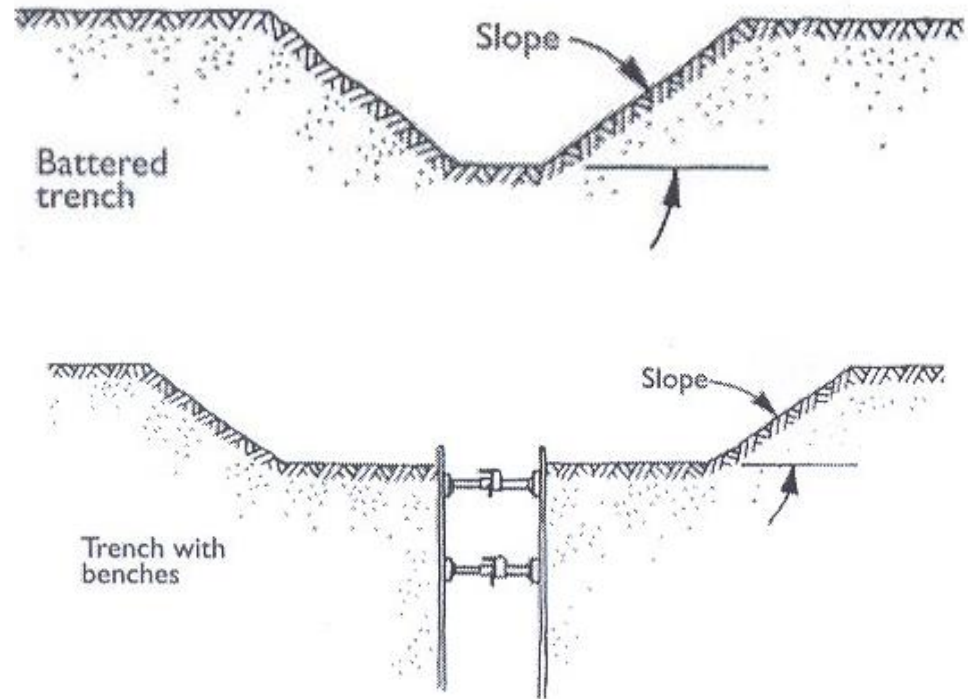
TALUDES TEMPORALMENTE SEGUROS

Los riesgos de colapso:

- Posibles accidentes con resultado incluso de muerte
- Posibles daños a equipos, maquinaria o colindantes
- Rotura de agenda de trabajo

TALUDES TEMPORALMENTE SEGUROS

Debemos prestar especial atención en presencia de arcillas próximas al fondo de la excavación.



TALUDES TEMPORALMENTE SEGUROS

Table 6. Temporary slopes in different types of ground

Ground description		Safe temporary slopes ¹ (degrees from horizontal)	
		'Dry' site ²	'Wet' site ³
Boulders	35/45	30/40	
Cobbles	35/40	30/35	
Gravel	30/40	10/30	
Sand	30/35	10/30	
Silt		20/40	5/20
Soft clay:	Depth of cut ^{4,5,6,7}		
	1.2 to 3 m	30/45	10/20
Firm clay:	3 to 6 m	20/30	
	1.2 to 3 m	35/45	20/25
Stiff clay:	3 to 6 m	30/40	
	1.2 to 3 m	40/45	25/35
	3 to 6 m	35/45	
Mixed soils		Dependent on soil category as characterised by finer constituents	
Peat	Soft non-fibrous	10/20	5/10
	Firm non-fibrous	15/25	10/15
	Firm fibrous	35/40	20/25
	Stiff fibrous	35/45	25/35
Fill		According to category above	
Rock		According to orientation of planes	

Tabla práctica a efectos de evaluar el dimensionamiento por ocupación de la obra

Notes:

- These are guide figures based on and subject to:
a Temporary conditions (ie generally 1 to 14 days)
b Experience on site
c A safety limit of 45 degrees (but see Note 7 below)
d No water seepage that could cause instability or 'boiling'.
- 'Dry' site: minor or no seepage from excavated faces. Minor or no surface run-off.
- 'Wet' site: submerged or widespread seepage from excavated faces.
- Soft clay deposits are frequently stronger within a few metres of ground level due to drying-out. However, the clay crust is fissured for the same reason (note that fissures may not be visible) and is seldom greater than 4 metres deep.
- Fissuring will cause unstable face, although theory may suggest that some clays may stand vertically to 6 meters. Also failure can occur due to underlying soft clay. The slopes given are intended to avoid hazard to workers and are offered as a guide only.
- Flatter or steeper slopes may be appropriate. Check for fissuring and structure of clay, particularly in clay and falling lumps which may endanger workers.
- In practice benching, or side slopes flatter at the top and steeper at the foot may be used.

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

Entre los aspectos esenciales a la hora de determinar cual será el sistema a utilizar está el parámetro de la permeabilidad.

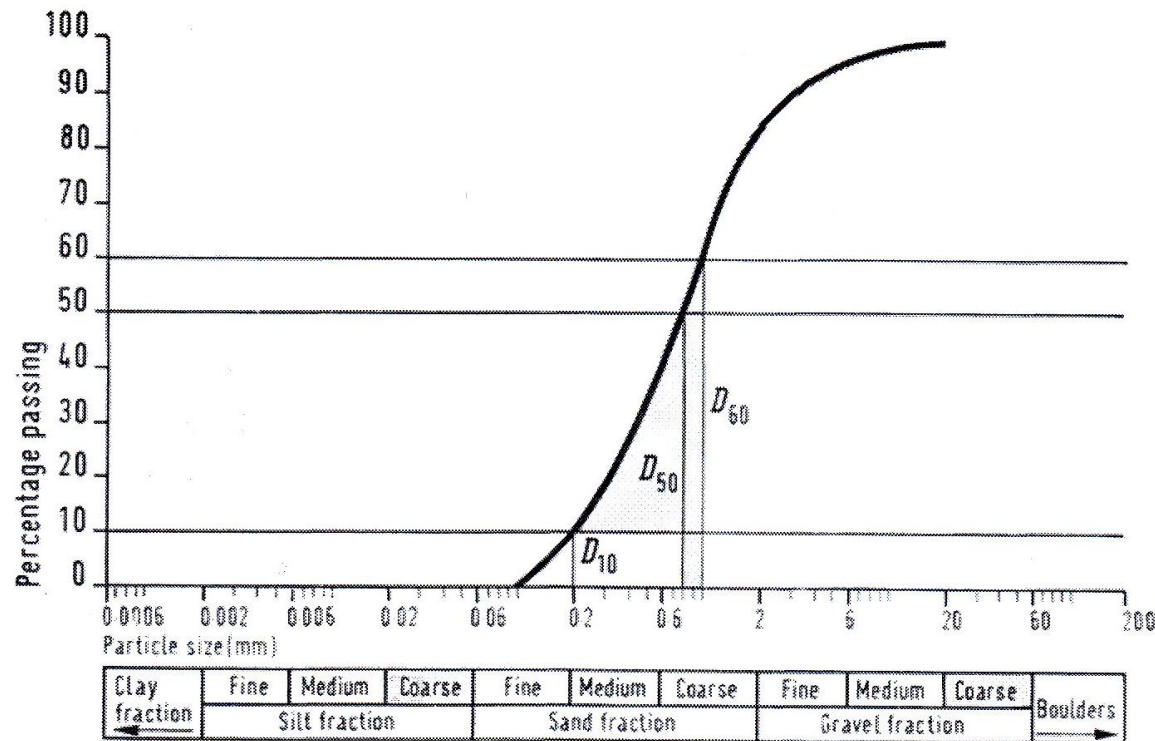
1. Ante la ausencia de Ensayos de bombeo, métodos aproximados como: Tabla genérica

Indicative soil type	Degree of permeability	Permeability m/s
clean gravels	high	$>1 \times 10^{-3}$
sand and gravel mixtures	medium	1×10^{-3} to 1×10^{-5}
very fine sands, silty sands	low	1×10^{-4} to 1×10^{-7}
silt and interlaminated silt/sand/clays	very low	1×10^{-6} to 1×10^{-9}
intact clays	practically impermeable	$<1 \times 10^{-9}$

Horquilla de valores con excesiva incertidumbre, que la hace poco práctica

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

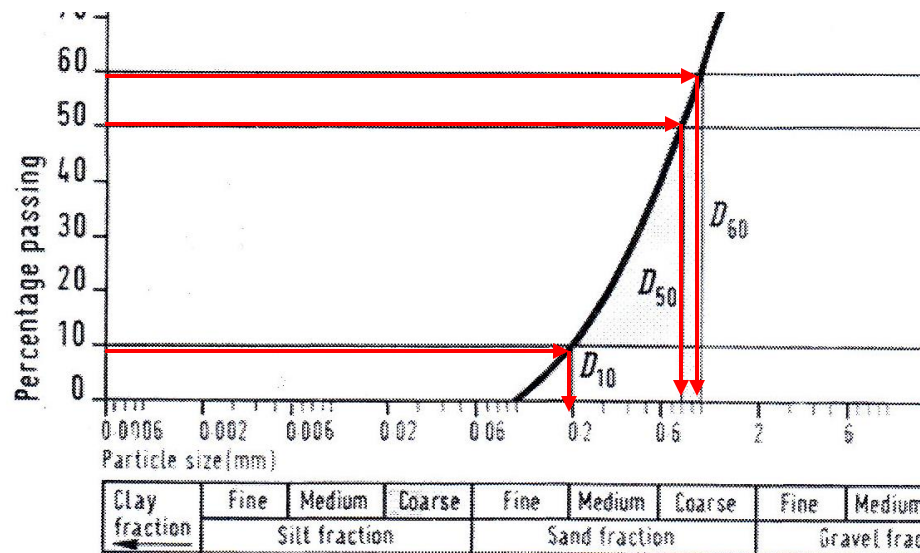
2. A partir de los ensayos granulométricos incluidos en el estudio Geotécnico.



Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

2.1 Determinar el coeficiente de uniformidad: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$



para el ejemplo seria:

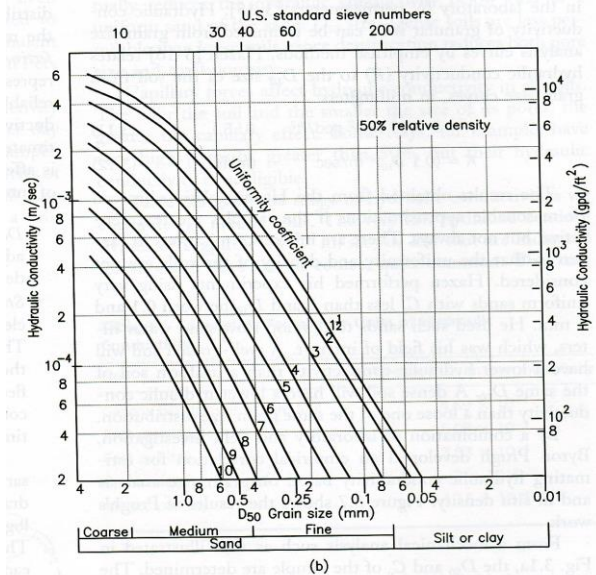
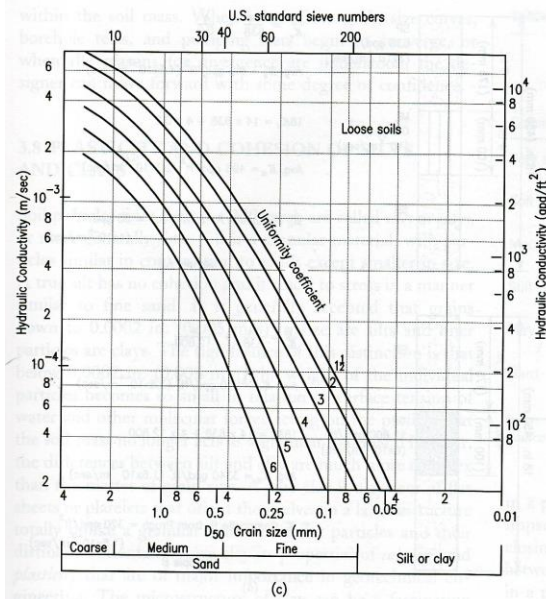
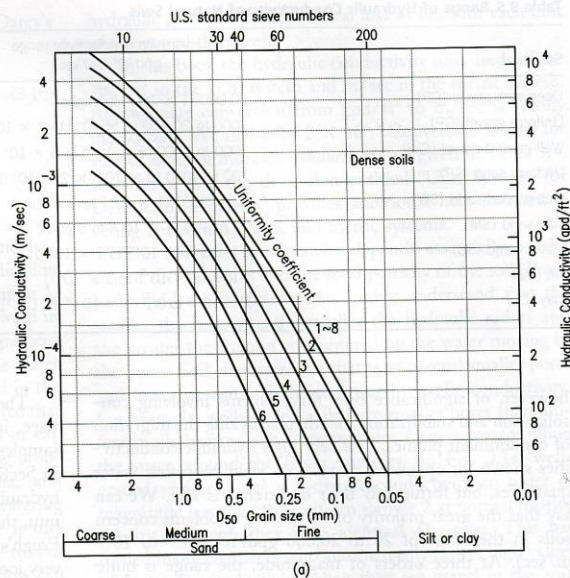
$$C_u = \frac{1,0}{0,2} = 5$$

2.2. Determinar D_{50}

$$D_{50} = 0.8$$

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

2.3 En función de la densidad, entramos en las siguientes tablas y obtenemos groseramente un valor estimado de permeabilidad.



Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

2.3 Contrastar el valor obtenido con los ofrecidos por las ecuaciones de Hazen, Kozeny y Breyev, todas de la forma genérica

$$K = \frac{g}{\nu} C f(n) d_e^2$$

Donde:

$g = 9,807 \text{ m/s}^2$

ν = viscosidad cinemática ($1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 15°C)

C = es un coeficiente adimensional condicionado por la forma del grano, estructura.

$f(n)$ = función de la porosidad.

d_e = tamaño efectivo del grano (generalmente d_{10})

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

Hazen

$$K = \frac{g}{\nu} C_h f(n) d_{10}^2$$

Donde:

$$C_h = 6 \times 10^{-4}$$

$$f(n) = [1 + 10(n - 0,26)]$$

d_{10} = tamaño efectivo del grano en metros

Aplicación para granulares con un coeficiente de uniformidad menor de 5 y un tamaño efectivo de grano $0,1mm < d_{10} < 3mm$

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

Kozeny

$$K = \frac{g}{\nu} C_k f(n) d_{10}^2$$

Donde:

$$C_k = 8,3 \times 10^{-3} \quad f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

Aplicación en arenas gruesas.

ESTIMACIONES DE PERMEABILIDAD

Breyev

$$K = \frac{g}{\nu} C_b d_e^2$$

Donde:

$$C_b = 6 \times 10^{-4} \log \frac{500}{C_u}$$

Se observa que no es función de la porosidad. Es aplicable para muestras pobremente ordenadas (no uniformes) $1 < C_u < 20$ y $0,06 \text{ mm} < d_{10} < 0,6$

ESTIMACIONES RADIO DE INFLUENCIA

Nuevamente por no disponer de ensayos de bombeo, y a falta de mayor información podremos estimar el radio de influencia a partir de la razón empírica:

$$R_0 = Ch\sqrt{k}$$

Donde C es una constante de valor 3000 para pozos y para zanjias o líneas de wp oscila entre 1500 y 2000.

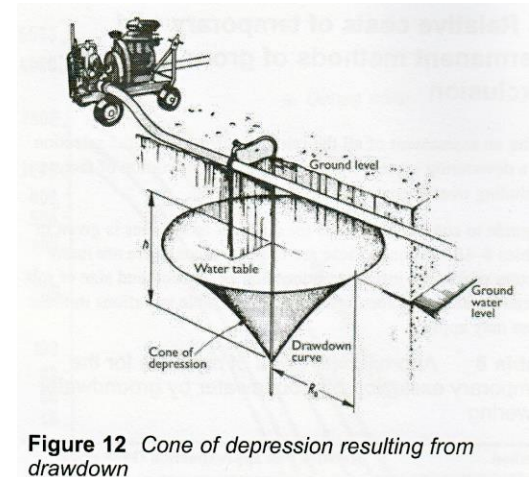


Figure 12 Cone of depression resulting from drawdown

ESTIMACIONES RADIO DE INFLUENCIA

Aplicando Sichart obtenemos:

the centre of the cone can be obtained from Figure 10.

Table 11 Radius of influence for given drawdown and coefficients of permeability

Draw-down in metres (h)	Permeability (m/s)					
	10^{-5}	5×10^{-5}	10^{-4}	5×10^{-4}	10	5×10^{-3}
	Radius of influence (R0) in metres					
1	9	21	30	67	95	212
1.5	14	32	45	101	142	318
2	19	42	60	134	190	424
2.5	24	53	75	168	237	530
3	28	64	90	201	285	636
3.5	33	74	105	235	332	742
4	38	85	120	268	379	849
4.5	43	95	135	302	427	955
5	47	106	150	335	474	1061
5.5	52	117	165	369	522	1167
6	57	127	180	402	569	1273
6.5	62	139	195	436	617	1379
7	66	148	210	470	664	1485
7.5	71	159	225	503	712	1591
8	76	170	240	537	759	1697
8.5	81	180	255	570	806	1803
9	85	191	270	604	854	1909
9.5	90	202	285	637	901	2015
10	95	212	300	671	949	2121
12	114	255	360	805	1138	2546
15	142	318	450	1006	1423	3182

Based on $R_0 = 3000h\sqrt{k}$

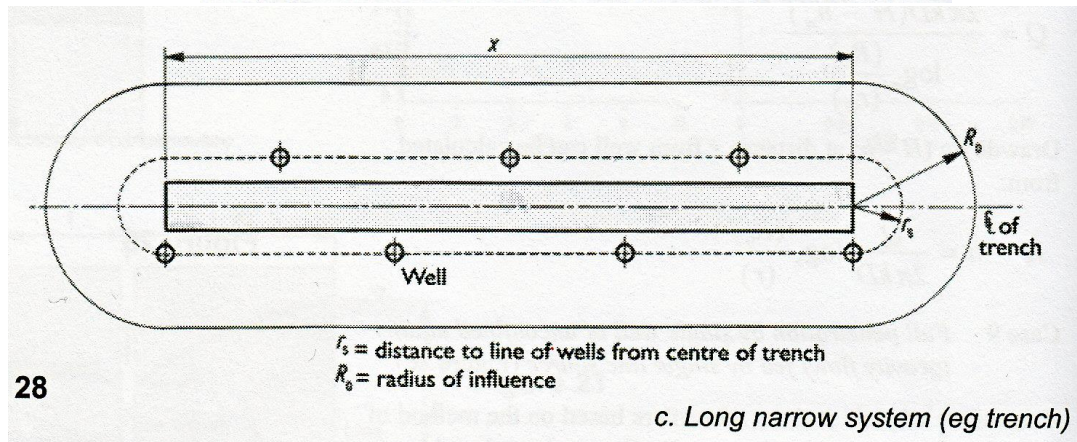
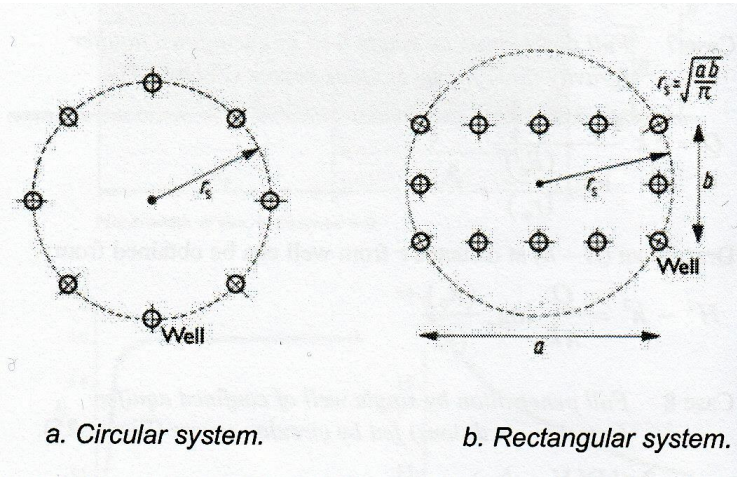
ESTIMACIONES RADIO DE INFLUENCIA

Otras tablas basadas en múltiples experiencias en ensayos de bombeo incluida en la publicación Pozos y Acuíferos (M. Villanueva y A. Iglesias)

VALORES DEL RADIO DE INFLUENCIA (según autores)

Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores posibles del radio de influencia R
Kárstico	Libre	700 m – 1.000 m
	Semiconfinado	1.000 m – 1.500 m
	Cautivo	1.500 m – 2.000 m
Poroso intergranular	Libre	400 m – 700 m
	Semiconfinado	700 m – 900 m
	Cautivo	900 m – 1.200 m
Kárstico y poroso	Libre	500 m – 1.000 m

ESTIMACIONES RADIO EQUIVALENTE



28

ESTIMACION DE ASENTAMIENTOS

El asentamiento vertical de un estrato de suelo uniforme β de espesor D y dureza de compresión en una dirección E'_0 sujeto a un incremento de tensión vertical efectiva $\Delta\sigma'_v$, puede ser calculado según la siguiente expresión :

$$\beta = \frac{D\Delta\sigma'_v}{E'_0} = \frac{D\gamma_w s}{E'_0}$$

asumiendo que la tensión vertical permanece constante, el incremento de la tensión efectiva es igual a la reducción de la presión intersticial o presión de poro, la cual es igual al peso específico del agua, multiplicada por el descenso.

ESTIMACION DE ASENTAMIENTOS

$$\beta = \frac{D\Delta\sigma'_v}{E'_0} = \frac{D\gamma_w s}{E'_0}$$

La ecuación anterior muestra que la magnitud del asentamiento incrementa con el espesor del estrato y el descenso y decrece en la medida que incrementa la dureza de compresión en una dirección . Queda claro que el incremento de la tensión efectiva únicamente se produce en el radio de acción o de influencia y de aquí la relevancia de este valor.

ESTIMACION DE ASENTAMIENTOS

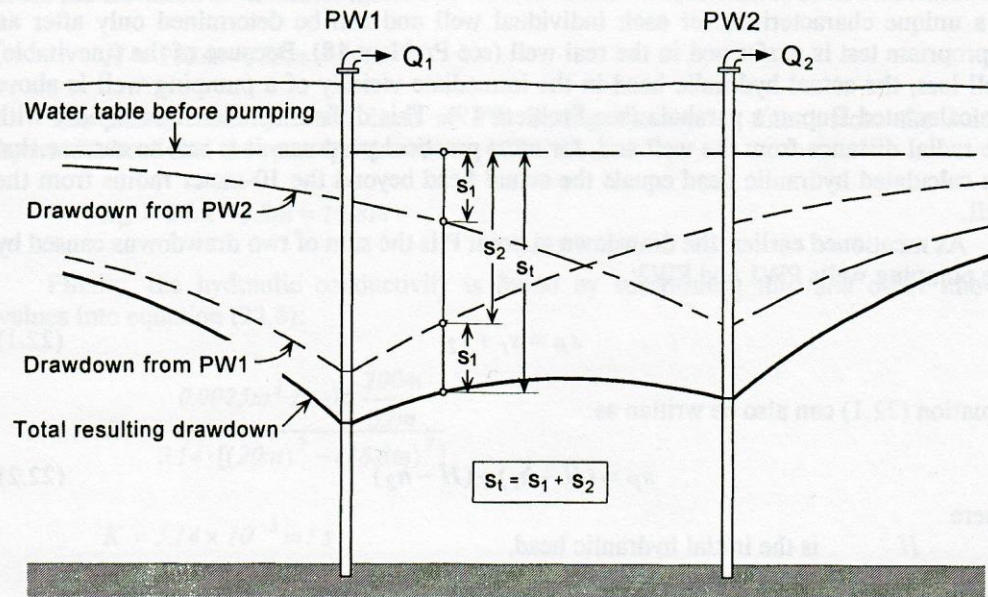
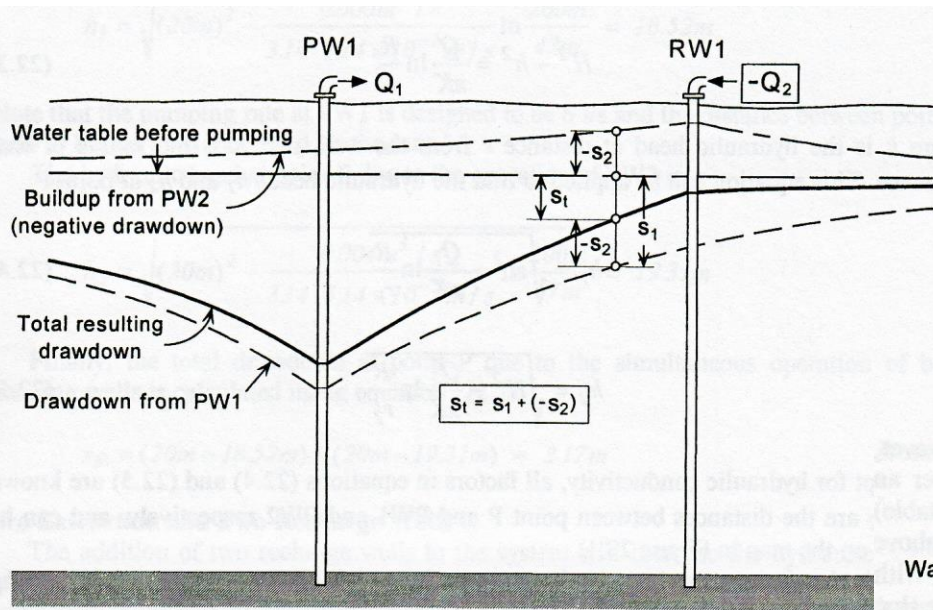
El asentamiento básico es definido como la compresión de un estrato de 1 m de espesor, incrementando la tensión efectiva vertical correspondiente a 1 m de descenso. Para una situación dada, el total de asentamiento en mm puede ser obtenida de multiplicar el asentamiento básico por el descenso y el espesor de suelo, ambos en metros.

E'_0 (MPa)	10	5	10	15	20	25	40	50	75	100	150	200
Asentam. (mm)	10	2	1	0,667	0,5	0,4	0,25	0,2	0,133	0,10	0,067	0,05

ESTIMACION DE ASENTAMIENTOS

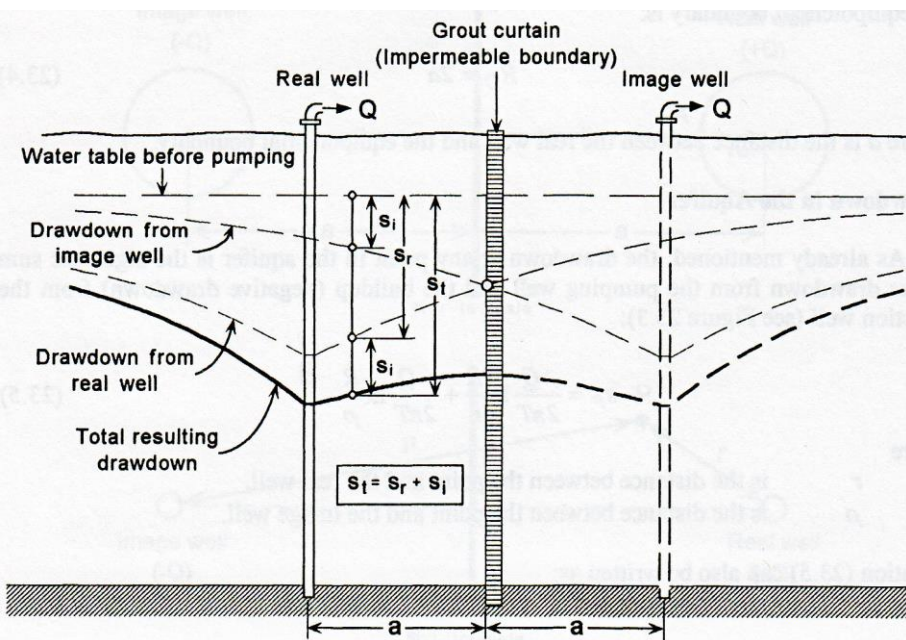
Las experiencias muestran que la mayoría de suelos densos y de grano grueso, o las arcillas fuertemente consolidadas, son lo suficientemente duras como para absorber la acomodación de suelo por el incremento de las tensiones efectivas.

SUPERPOSICION

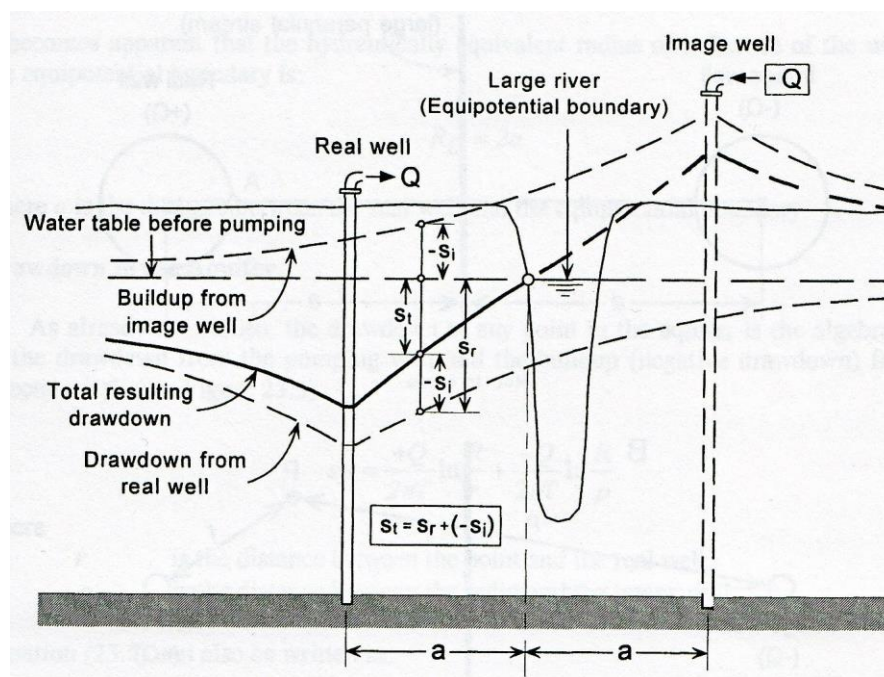


Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

BARRERAS NEGATIVAS / POSITIVAS

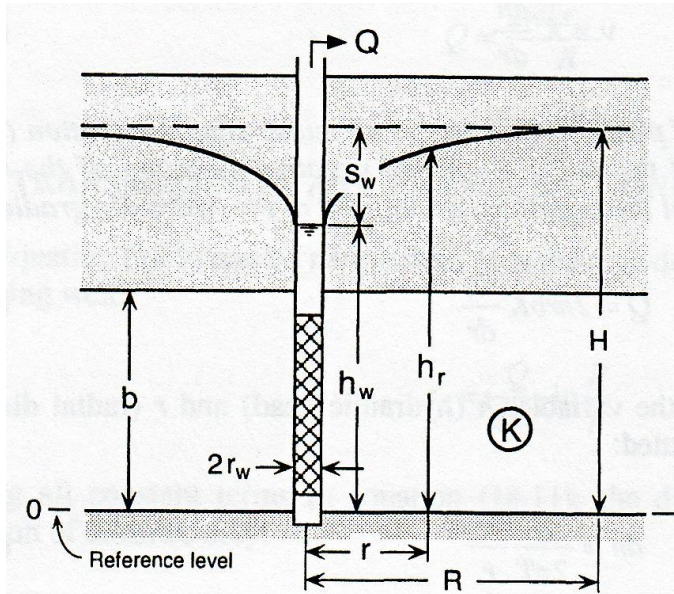


BARRERA NEGATIVA



BARRERA POSITIVA

FORMULACION BASICA



$$Q = A.v \quad A = 2\pi.r.b \quad v = K \frac{dh}{dr}$$

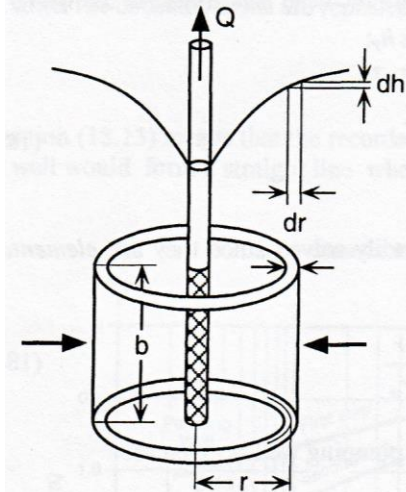
$$Q = 2\pi.b.K \frac{dh}{dr}$$

$$dh = \frac{Q}{2\pi T} \frac{dr}{r}$$

$$\int_{h_w}^h dh = \frac{Q}{2\pi T} \int_{r_w}^r \frac{dr}{r}$$

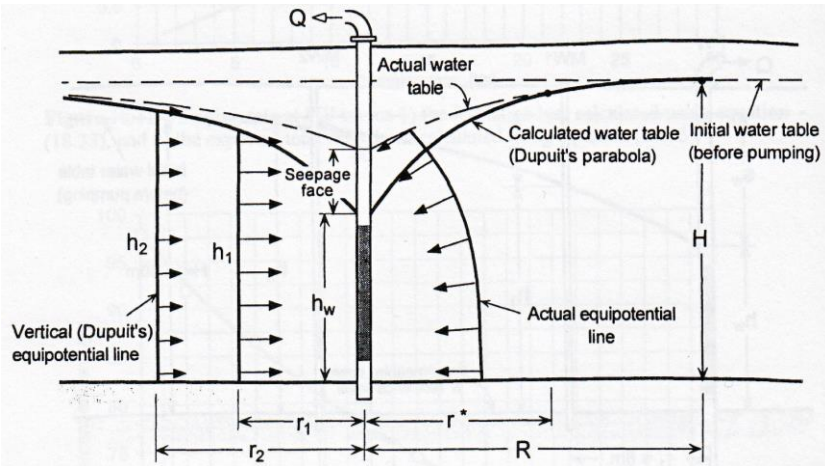
$$h_r - h_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r}{r_w}$$

$$Q = \frac{2\pi T(H - h_w)}{\ln \frac{R}{r_w}}$$



Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

FORMULACION BASICA



$$Q = Av$$

$$A = 2r\pi h \quad v = K \frac{dh}{dr}$$

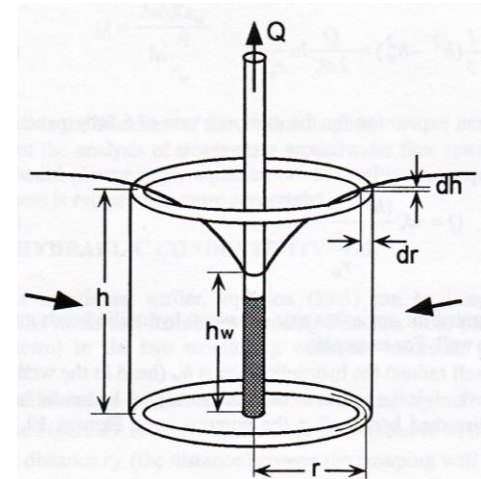
$$Q = 2r\pi h K \frac{dh}{dr}$$

$$h dh = \frac{Q}{2\pi K} \frac{dr}{r}$$

$$\int_{h_w}^h h dh = \frac{Q}{2\pi K} \int_{r_w}^r \frac{dr}{r}$$

$$\frac{1}{2}(h^2 - h_w^2) = \frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{r}{r_w}$$

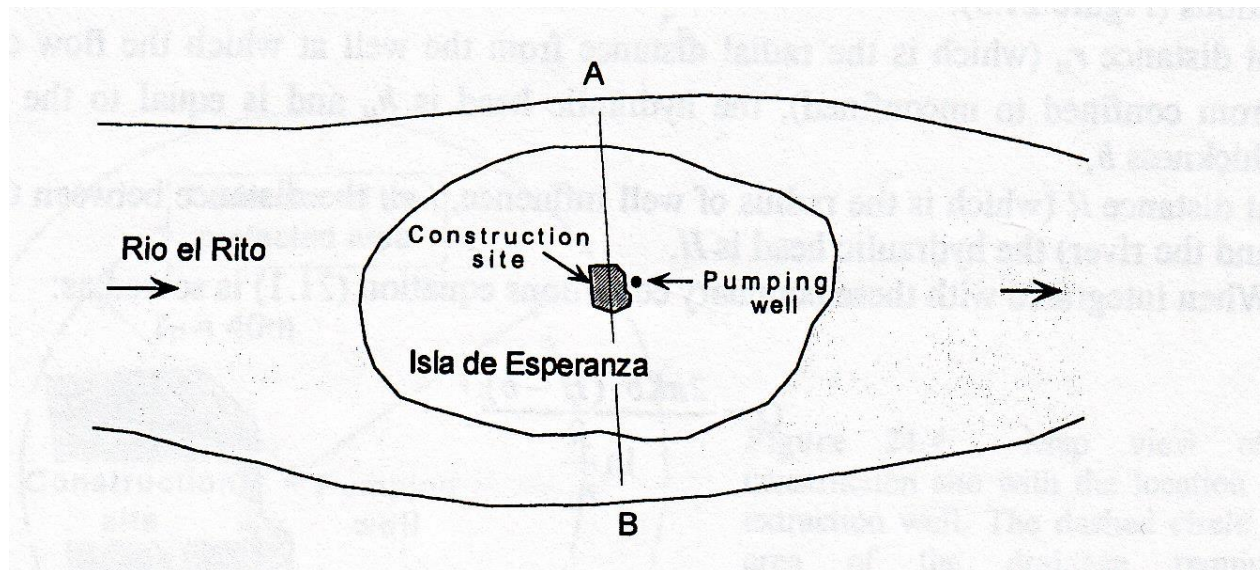
$$Q = \pi K \frac{(H^2 - h_w^2)}{\ln \frac{R}{r_w}}$$



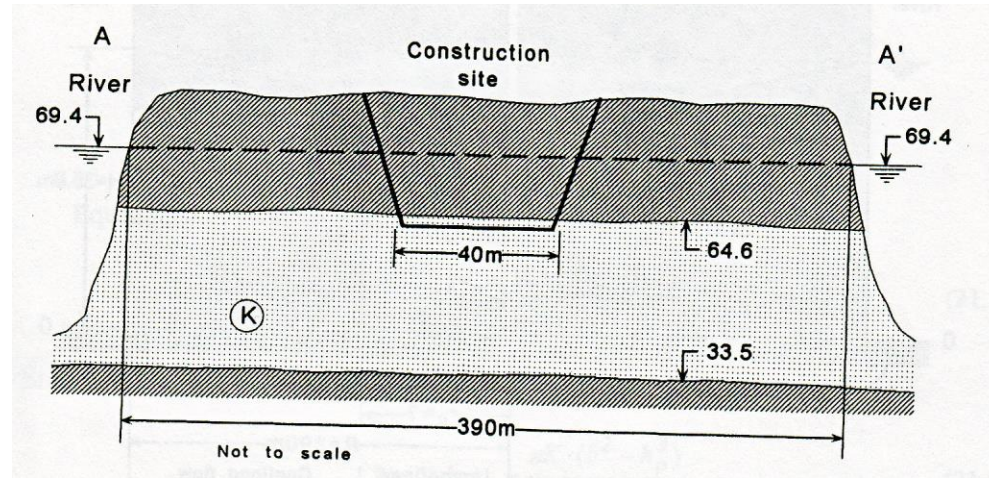
Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

Se pretende, mediante el bombeo en un pozo, provocar el descenso del nivel piezométrico en un área para la ejecución de una obra, en una isla ubicada en un río.



EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE



Existe un acuífero arenoso, cuyo comportamiento natural es confinado, si bien, por exigencias de la cota de excavación, el acuífero deberá cambiar su régimen de comportamiento, ya que la máxima excavación se encuentra 1,5 metros por debajo del techo del acuífero.

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

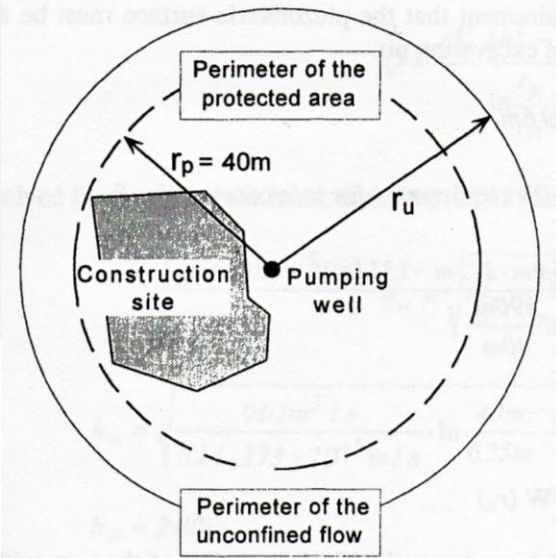
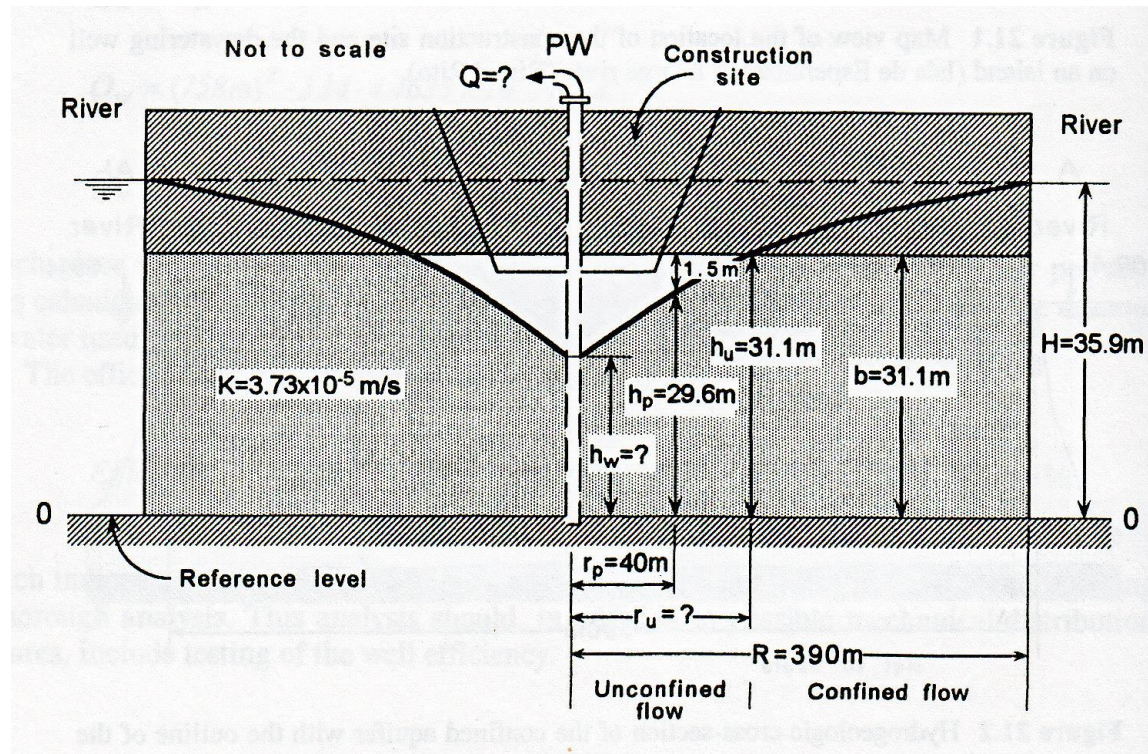
Determinar:

- Caudal que permita la ejecución de la obra con seguridad.

Datos:

- Esquemas / diámetro pozo 500 mm; $K=3,73 \times 10^{-5}$ m/s

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE



Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

De la ecuación de acuífero confinado

$$\ln R - \ln r_u = \frac{2\pi Kb(H - b)}{Q}$$

De la ecuación de acuífero libre

$$\ln r_u - \ln r_p = \frac{\pi K(b^2 - h_p^2)}{Q}$$

y por tanto

$$\ln r_u = \frac{\pi K(b^2 - h_p^2)}{Q} + \ln r_p$$

Por principio de continuidad de flujo, sustituyendo

$$\ln R - \left(\frac{\pi K(b^2 - h_p^2)}{Q} + \ln r_p \right) = \frac{2\pi Kb(H - b)}{Q} \quad \ln R - \ln r_p = \frac{2\pi Kb(H - b)}{Q} + \frac{\pi K(b^2 - h_p^2)}{Q}$$

Despejando Q

$$Q = \frac{\pi K(2Hb - b^2 - h_p^2)}{\ln \frac{R}{r_p}}$$

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

Como h_p tiene que tener un potencial de 1,5 metros por debajo del techo del acuífero $h_p = b - 1,5 = 31,1 - 1,5 = 29,6m$

Sustituyendo, todos los datos conocidos

$$Q = 0,02004 \text{ m}^3 / \text{s} = 20,04 \text{ l} / \text{s}$$

Determinar el Radio de no confinamiento (r_u)

$$\ln \frac{r_u}{r_p} = \frac{\pi K (b^2 - h_p^2)}{Q}, \text{ propiedad logarítmica } \frac{r_u}{r_p} = e^{\frac{\pi K (b^2 - h_p^2)}{Q}} \text{ recordando } e=2,7183$$

Todos los datos conocidos; $r_u=68,2 \text{ m}$.

EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

Determinar el descenso en el pozo

Tomando el régimen libre $\ln r_u - \ln r_p = \frac{\pi K (b^2 - h_p^2)}{Q}$ $Q = \frac{\pi K (b_p^2 - h_w^2)}{\ln \frac{r_p}{r_w}}$

Todos los datos conocidos, despejando $h_w = 2,80 \text{ m}$

Esto implicaría un descenso de $s = H - h_w = 35,9 - 2,80 = 33,1 \text{ m}$

Que no sería posible, ya que representa un descenso de 92,2 %. Además debiéramos tener en cuenta las perdidas de carga. ... no hay suficiente espesor saturado, velocidades de flujo excesivas

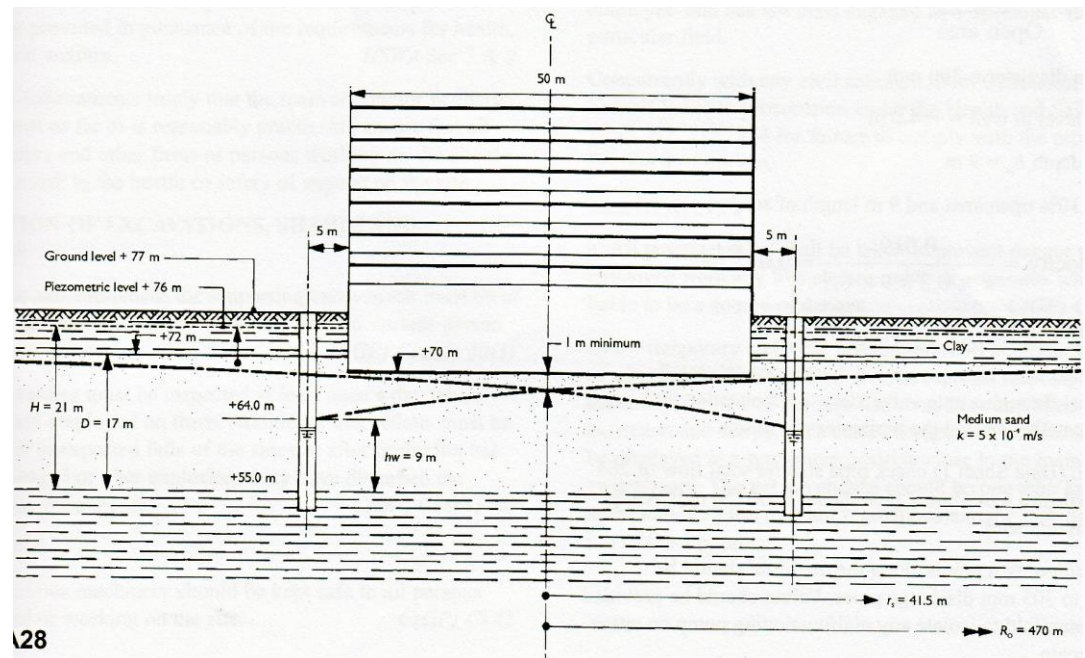
EJERCICIO 1 DISEÑO CON UN POZO SISTEMA CONFINADO/LIBRE

CONCLUSION

Deberá ser planteado un sistema de red de pozos, ya que por superposición resultarán menores descensos en cada uno de los pozos.

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

- Edificio de oficinas con aparcamiento.
- Dimensiones de la obra superficie de 80 x 50 metros,
- Nivel de viales 0 (+77 m)
- Nivel piezométrico -1 (+76 m)
- Máxima excavación -7 m (+70 m)



EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 1

- Estimaremos necesario un descenso del nivel piezométrico a 1 metro por debajo de la máxima excavación, es decir -8 (+69 m), por tanto el nivel debemos provocar un descenso de nivel de 7 m.
- Precisaremos de un conjunto de pozos.

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 1

- Para el cálculo de caudal necesario a bombear en total, asumiremos para los cálculos un solo pozo con un radio equivalente r_s :

$$r_s = \sqrt{\frac{a \times b}{\pi}} = \sqrt{\frac{60 \times 90}{\pi}} = 41.5m ; (\text{otros autores sugieren } r_s = \frac{a + b}{\pi})$$

Donde a = ancho del area + 10 m (5 m por fachada)
 b = largo del area + 10 m (5 m por fachada)

Radio de Influencia $\longrightarrow R_0 = 3000(76 - 69)\sqrt{5 \times 10^{-4}} = 470m$

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 2

- Para el cálculo del nivel piezométrico en el centro de la excavación, conocido el descenso necesario en sus extremos y el Radio de influencia.

Distancia desde el perímetro equivalente al centro = 41.5 m.

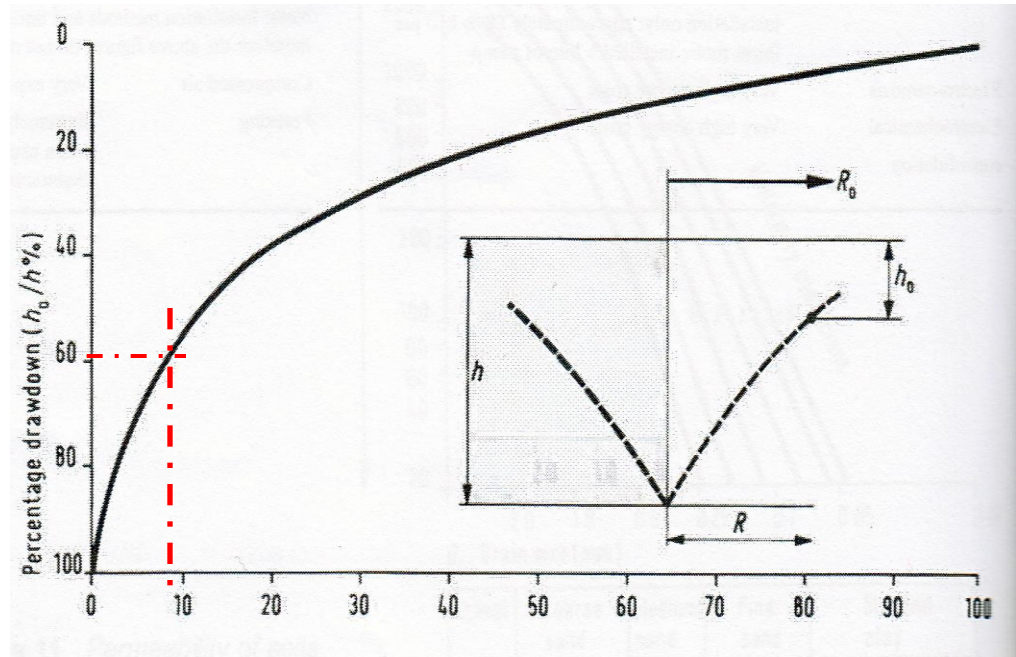
Porcentuales que esta distancia representa sobre el Radio de Influencia (R0)

$$= \frac{41.5 \times 100}{470} = 8.8\%$$

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 2

Entramos con este porcentaje en la siguiente tabla y obtenemos la relación entre el descenso requerido en el perímetro equivalente y el centro del pozo virtual equivalente.



De la figura % de descenso = 58%,
por tanto

$$\frac{7}{0,58} = 12$$

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 3

Calculamos el Caudal (Q) para ese pozo equivalente

$$Q = \frac{2\pi 5 \times 10^{-4} \times 17 \times (21 - 9)}{\log_e \frac{(470)}{41.5}}$$

$$Q = 0.264 m^3 / s = 264 l / s$$

Donde

Q = Caudal a extraer por el pozo (m³/s)

K = Coeficiente de permeabilidad (m/s)

D = Espesor del acuífero (m)

hw = Altura del agua fuera del pozo del bombeo una vez realizado el descenso (m).

R0 = Radio de influencia (m)

rs = Radio equivalente asumido para un solo pozo (m)

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 4

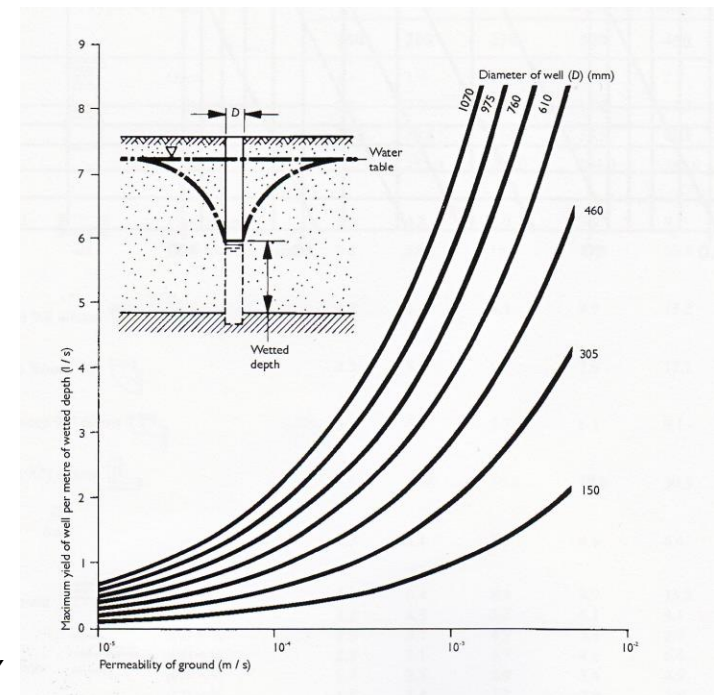
Estimamos un diámetro de pozo (por ejemplo 450 mm) para determinar el rendimiento específico máximo permitido en función de su diámetro

Del grafico para $k = 5 \times 10^{-4}$ m/s

Caudal específico en zona mojada = 2.1 l/s

Profundidad total humedecida

necesaria = $\frac{264}{2.1} = 126m$ aproximadamente



EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 5

Para descender 12 metros el nivel de agua en el pozo -13 m (+64.0 m)

Restan 9 metros hasta la base del acuífero, y por tanto, para pozo totalmente penetrante, 9 metros de zona mojada (suficiente para la instalación de la bomba con resguardo evitando cavitación)

Caudal por pozo = $9 \times 2.1 = 18.9$ l/s

Por tanto, conocido el caudal total (264 l/s) y el caudal por pozo, podríamos determinar el número teórico de pozos.

$$\text{Nº de pozos} = \frac{264}{18.9} = 14 \text{ pozos}$$

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 6

Dado el caudal de bombeo por pozo y conocida la cota geométrica de elevación, deben ser añadidas las perdidas de carga y conocida la altura manométrica, podemos determinar las características del equipo de bombeo adecuado

En el mercado existen multitud de fabricantes/marcas donde consultar la curva óptima. Debemos tener presente el diámetro efectivo de la perforación, por la posible existencia de empaque de grava, a efectos de dimensiones de bomba.

EJERCICIO 2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTIPLES POZOS

Paso 7

Velocidad del flujo en su ingreso al pozo. No debe superar 0,03 m/s

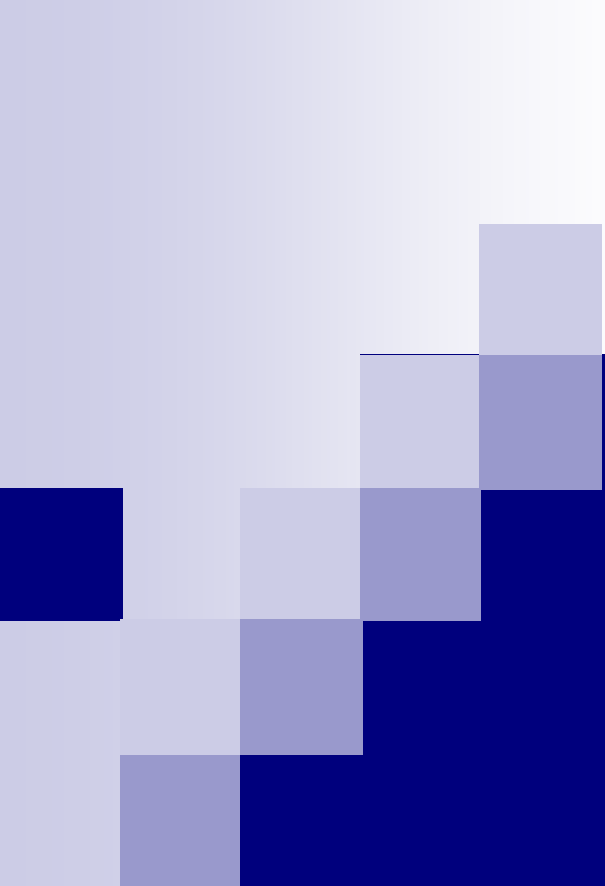
Diámetro tubería filtro 300 mm

Longitud de filtro mojada 9 m

Superficie abierta 10 % (según fabricante)

$$Vel = \frac{Caudal}{Area\ abierta} = \frac{0,019}{\pi \times 0,3 \times 9 \times 0,1} = 0,022 \text{ m/s}$$

- Condición satisfactoria.
- Otros aspectos del dimensionamiento.
- Impulsiones de equipos de bombeo.
- Colectores generales.
- Decantación previo a vertido.
- Elementos de regulación.

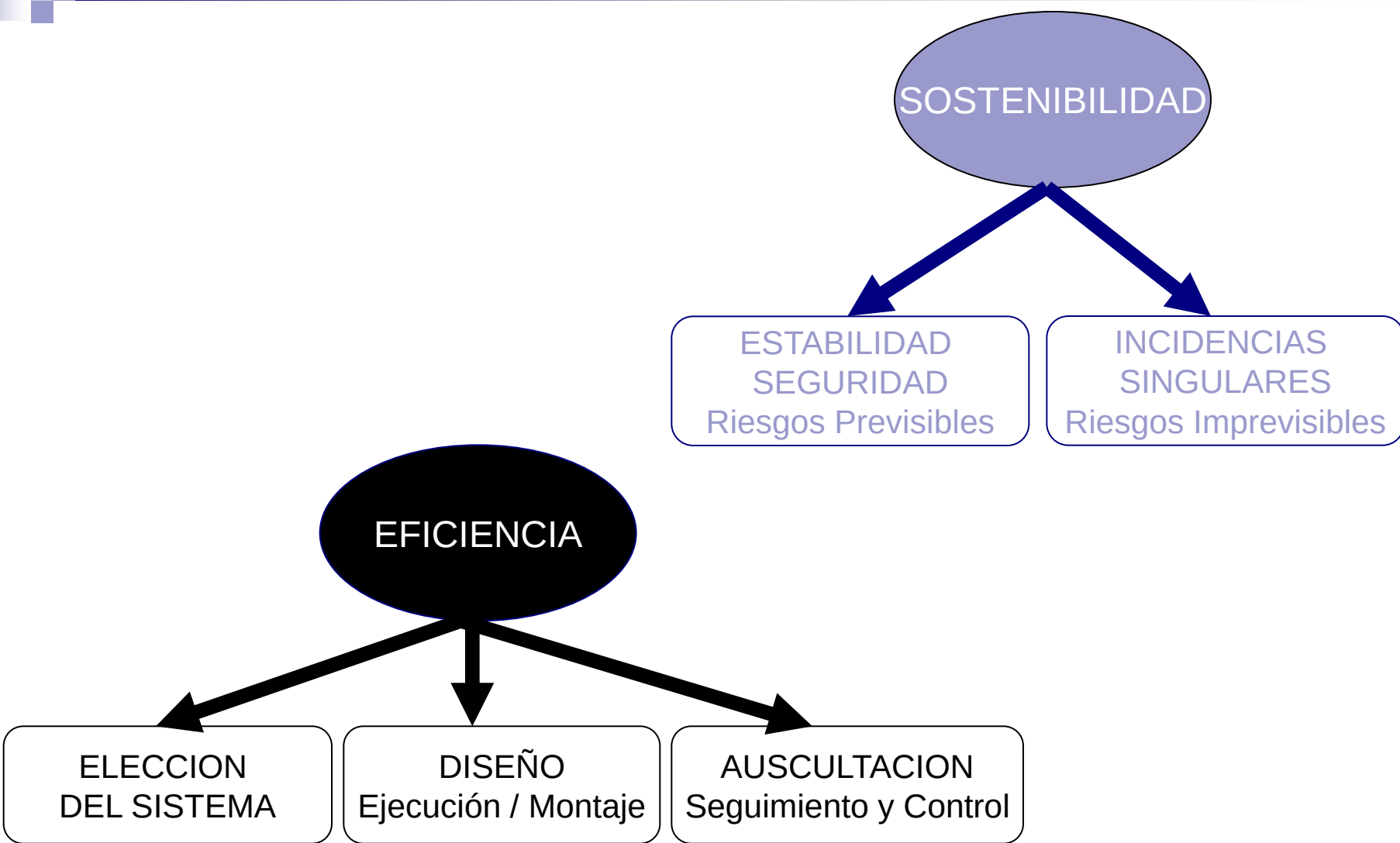


AGUAS SUBTERRANEAS E INGENIERIA CIVIL
Curso 2008/2009

DRENAJE EDIFICACION



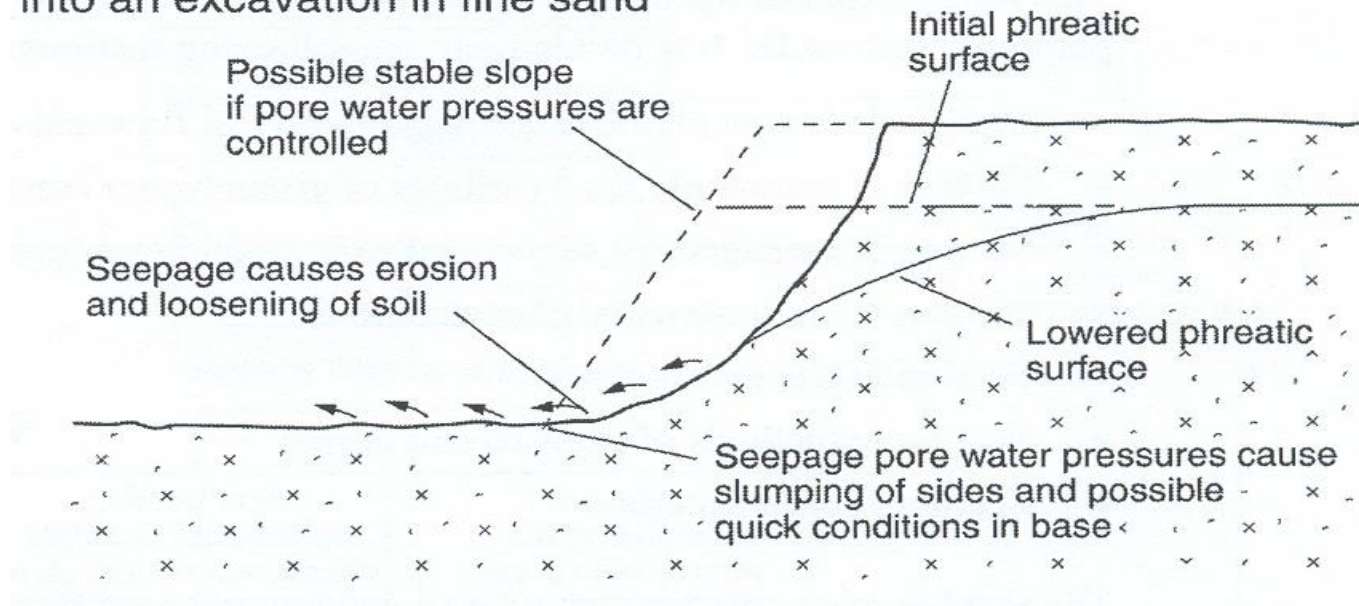
“La construcción de infraestructuras que interaccionen con el agua subterránea precisarán de un ***Descenso Artificial de Nivel Freático***, mediante ***Red de Bombeos*** solos o combinados, que garanticen la ***Estabilidad de la Obra y su Entorno***”.



SOSTENIBILIDAD

Riesgos Previsibles

Slumping of side slopes caused by seepage into an excavation in fine sand



Siria, 1990

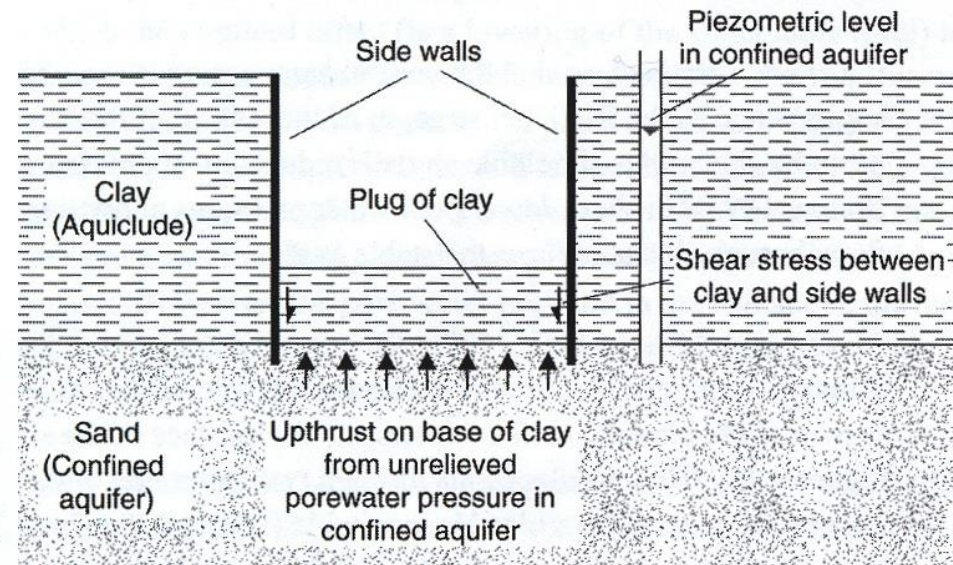
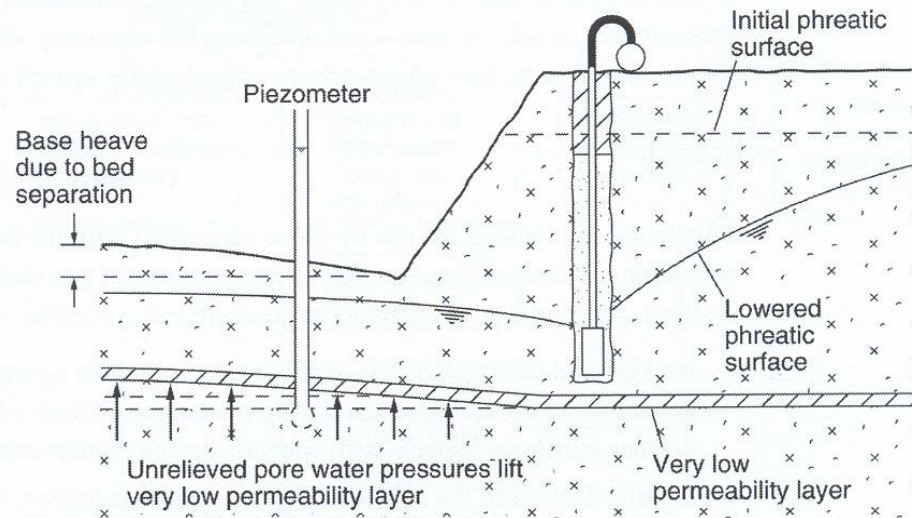
■ Deslizamiento taludes

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

SOSTENIBILIDAD

Riesgos Previsibles

Instability of side slopes

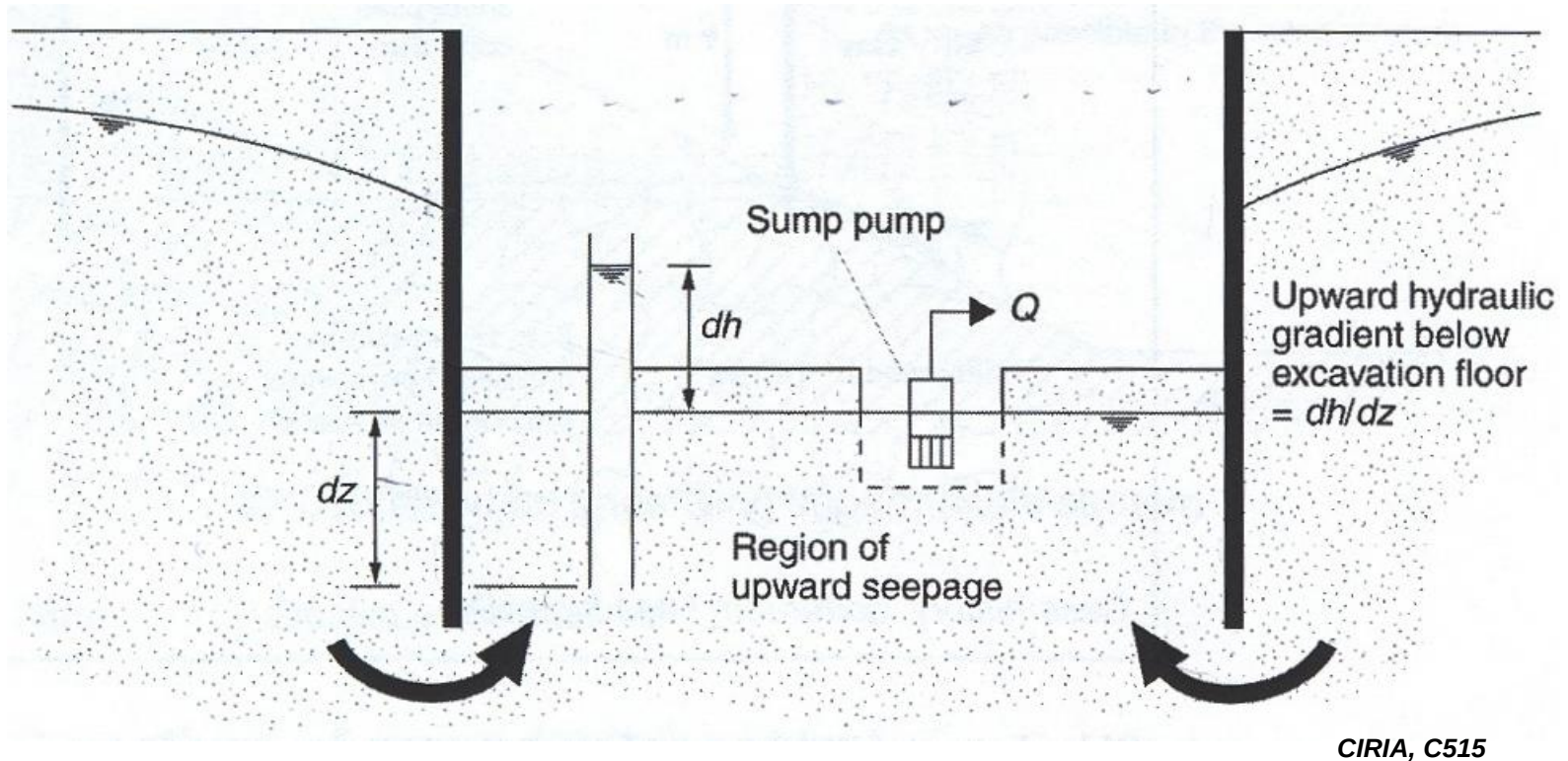


CIRIA, C515

■ Levantamiento/Rotura de Fondo

SOSTENIBILIDAD

Riesgos Previsibles



■ Fluidificación del Suelo / Sifonamiento

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



- Filtraciones laterales

INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



INCIDENCIAS SINGULARES

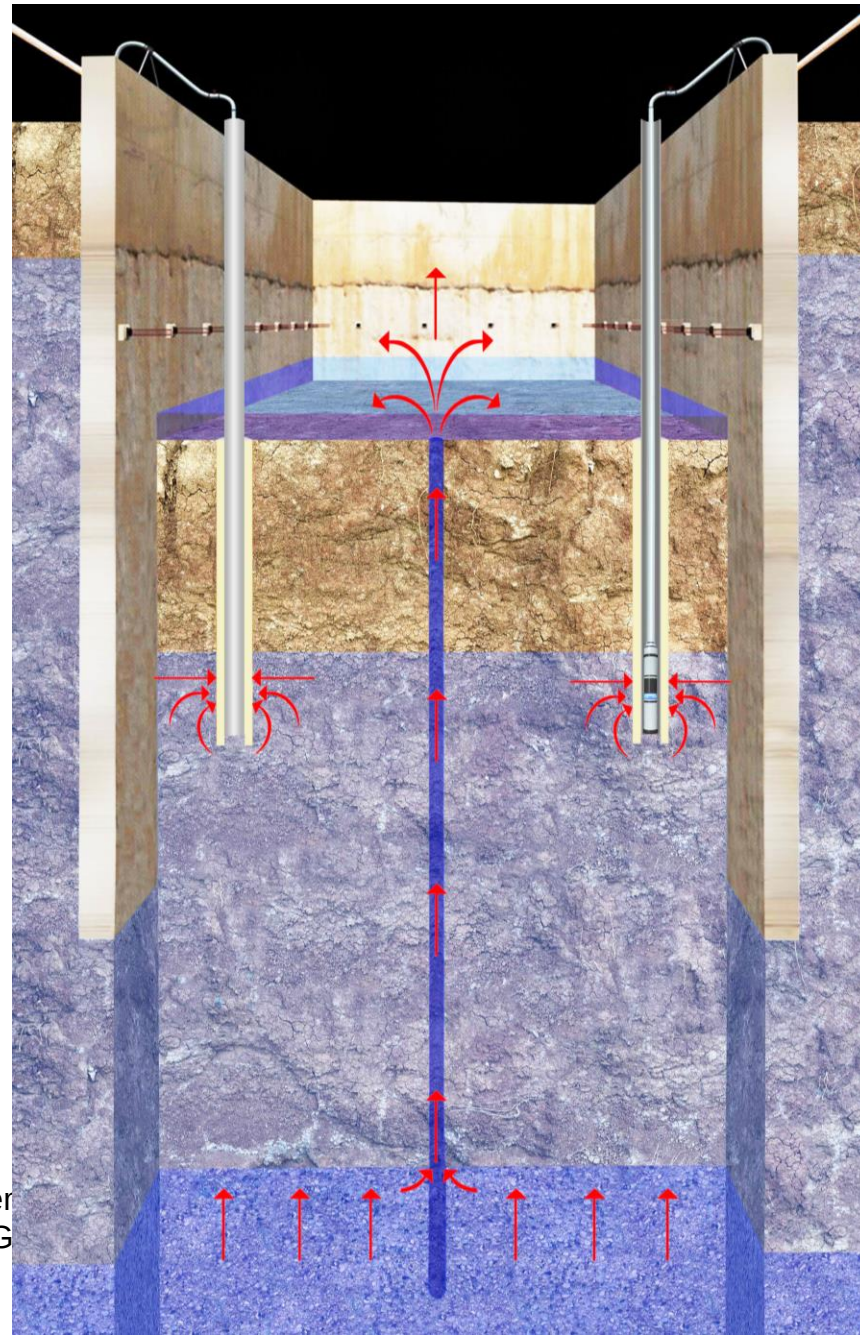
Riesgos Imprevisibles



- Surgencia de estratos subyacentes por acuífero confinado

INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



INCIDENCIAS SINGULARES

Riesgos Imprevisibles



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Asistidos por Vacío “Wellpoint (WP)”
- Bombes Superficiales “Sump Pumping”
- Bombes Profundos Alta Capacidad “High Capacity Well (HCW)”
- Bombes Profundos Baja Capacidad “Low Capacity Well (LCW)”

EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Asistidos por Vacío “Wellpoint (WP)”



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombeos Asistidos por Vacío “Wellpoint (WP)”



- EXC
IENTO
DIFIC

EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Superficiales “Sump Pumping”



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Profundos Alta Capacidad “High Capacity Well (HCW)”



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Profundos
Alta Capacidad “High
Capacity Well (HCW)”



Tema 2
AGOTA

EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombes Profundos Alta Capacidad “High Capacity Well (HCW)”



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombeos Profundos
Baja Capacidad
“Low Capacity Well (LCW)”



EFICIENCIA

Elección del Método

- Bombeos Profundos Baja Capacidad “Low Capacity Well (LCW)”



EFICIENCIA

Elección del Método

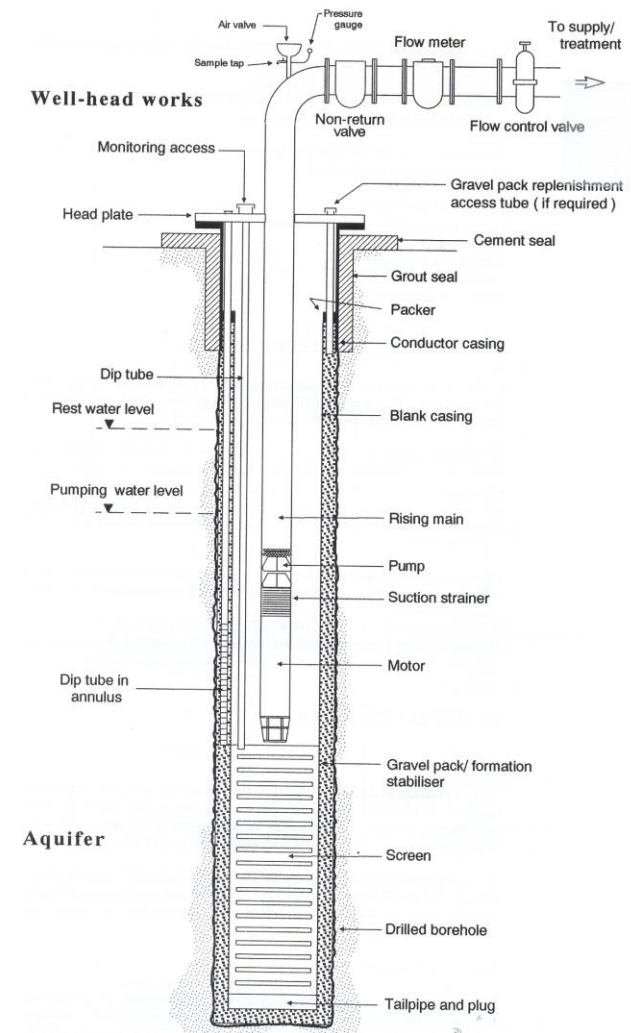
- Bombeos Profundos Baja Capacidad “Low Capacity Well (LCW)”



EFICIENCIA

Diseño

- Elección equipo de bombeo (Caudales esperados)
- Distribución de pozos (Interacción / Distancia a barrera)
- Profundidad de pozo (Drenaje / Subpresión; Cond. Eq. Hidráulico)
- Diámetro de pozo (Caudal esperado)
- Prefiltro/Sello – Filtro (Perdidas de carga; Erosión de suelo)
- Tapa de Fondo – Centradores (Garantía del diseño)

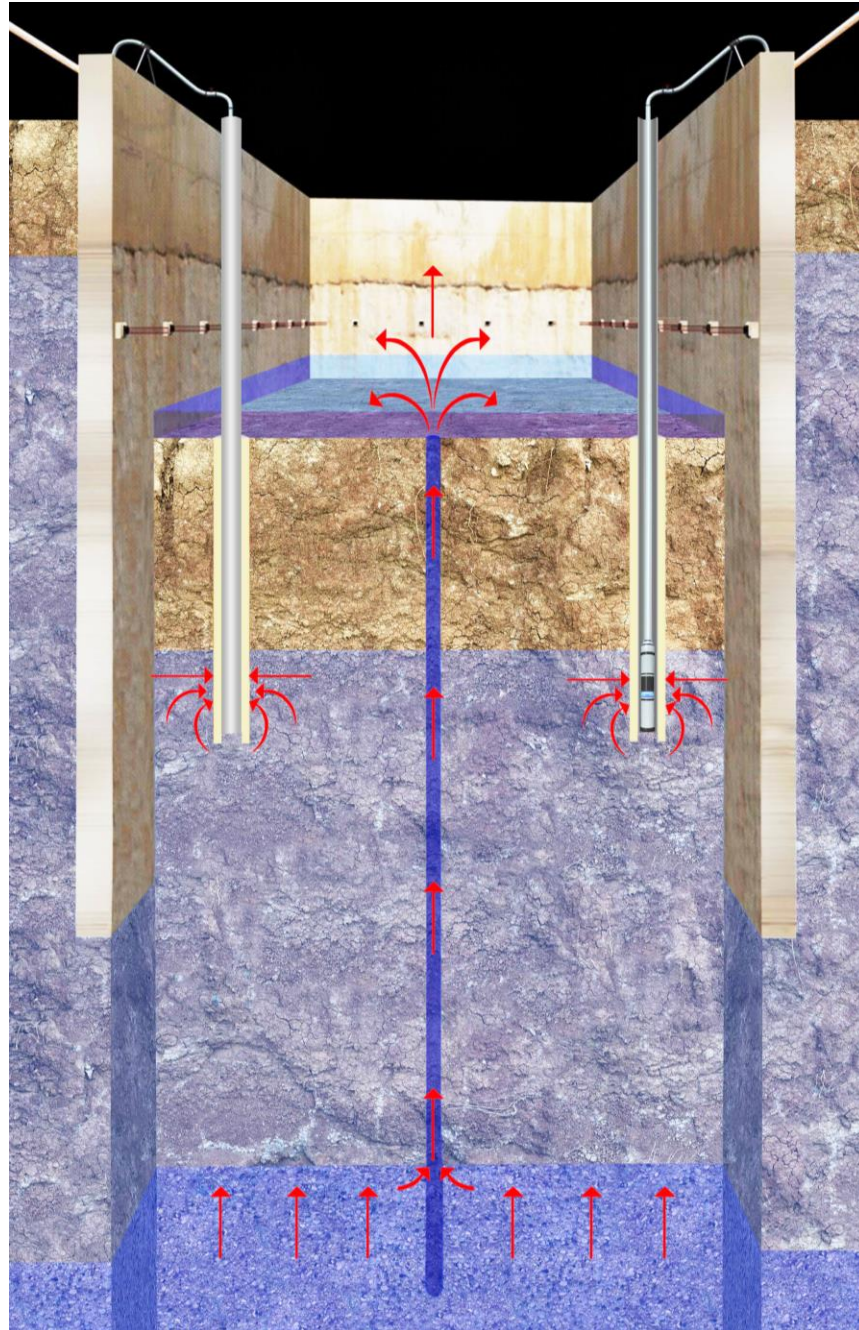


CIRIA, 137

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

EFICIENCIA

Diseño



CASO PRACTICO

■ DESCRIPCION

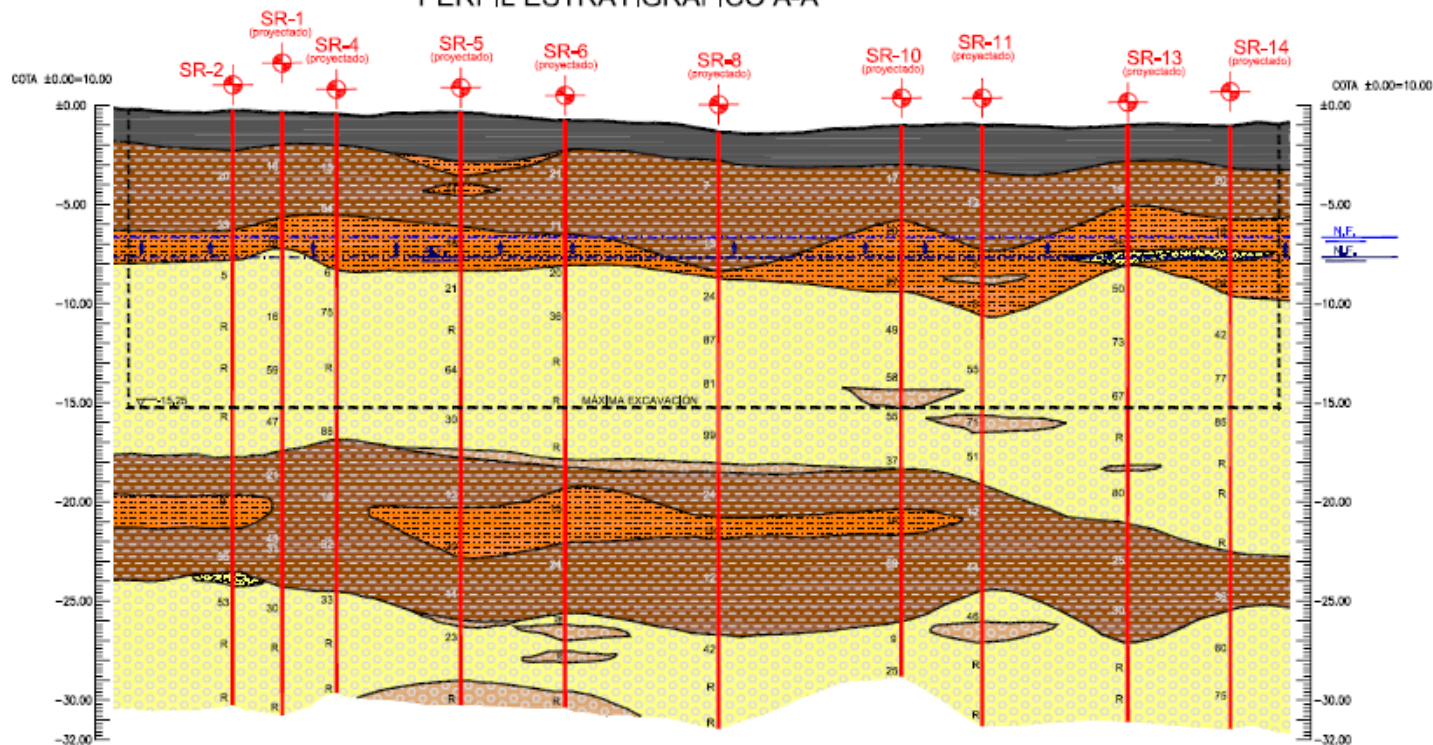
- Situación:
 - Calle Beata Genoveva Torres (junto al estadio de Fútbol Ciudad de Valencia).
- Proyecto:
 - Edificio Comercial de cuatro (4) plantas de sótano, planta baja mas catorce (14) plantas en altura
- Características:
 - Área: 15.000 m²
 - Nivel Piezometrico: -7,75 m.
 - Maxima excavacion: -15,25 m.
 - Pie de Pantallas: -33,00 m.
 - Nivel Piezometrico Objetivo: -19,50 m.
 - Geologia / Geotecnia



CASO PRACTICO

■ Geología / Geotecnia

PERFIL ESTRATIGRÁFICO A-A'



Relleno



Arenas limosas



Arcillas a arenas



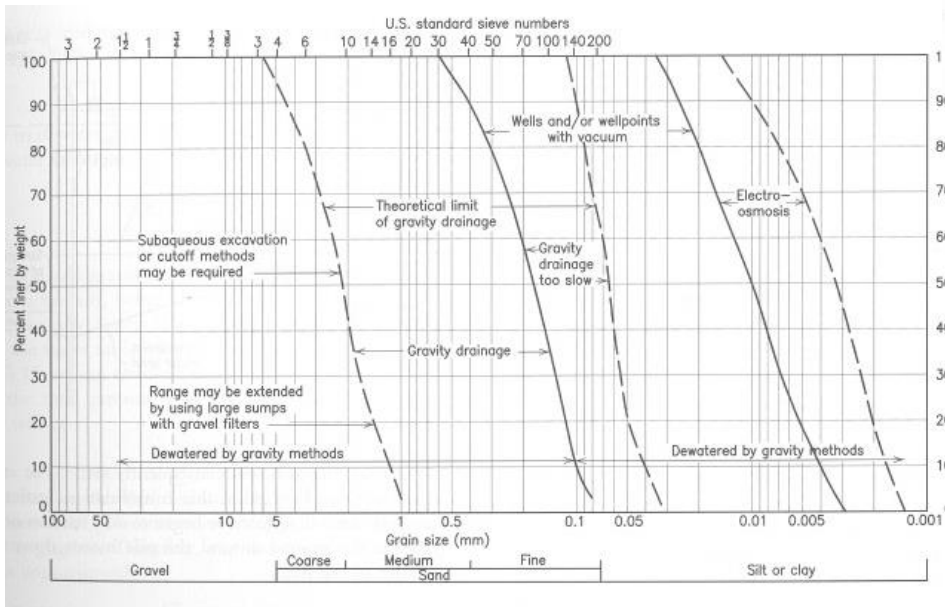
Gravas

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

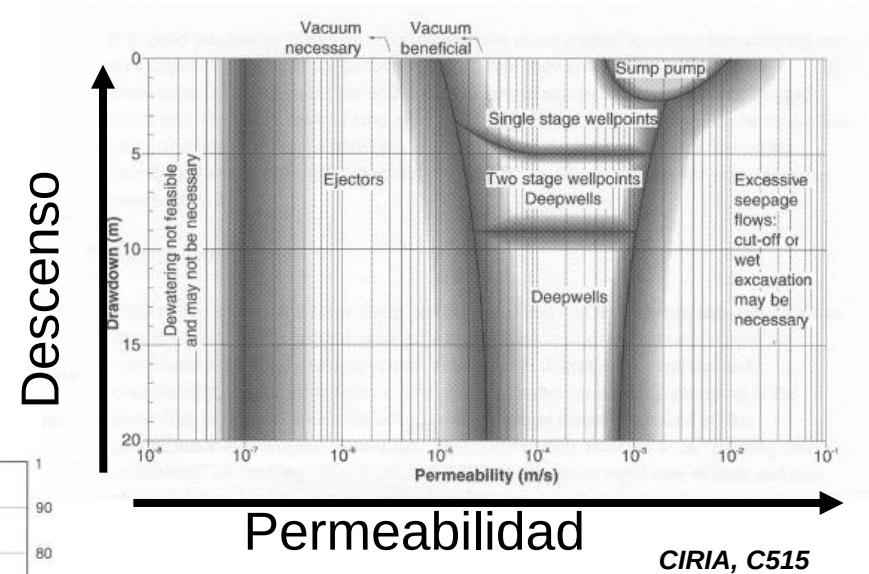
CASO PRACTICO

ANALISIS / ESTUDIO 1.4

■ Diseño Conceptual



CIRIA, C515



CIRIA, C515

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

CASO PRACTICO

ANALISIS / ESTUDIO 2.4

- Modelo Empírico y Analítico
(Experiencias en entorno próximo y Ensayos de bombeo).



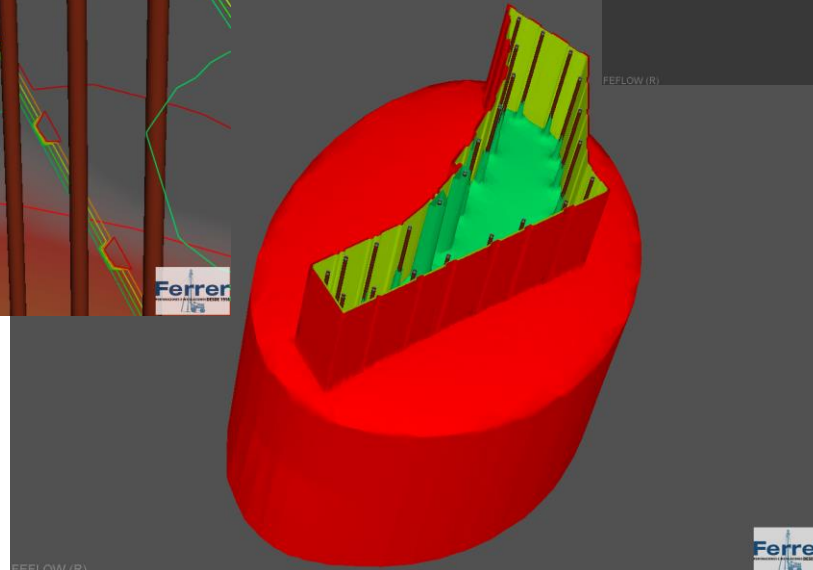
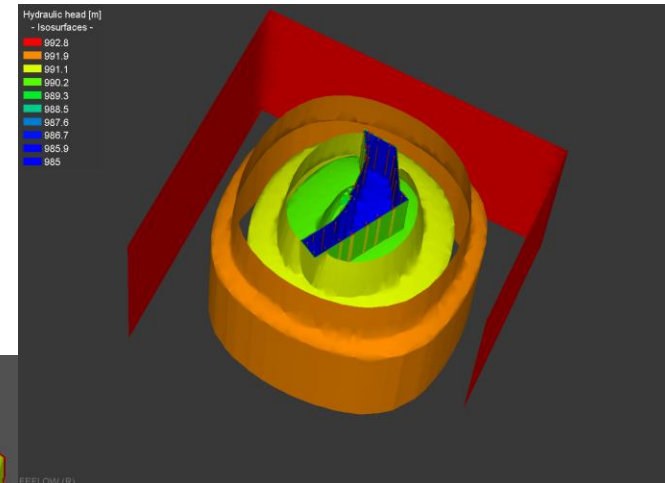
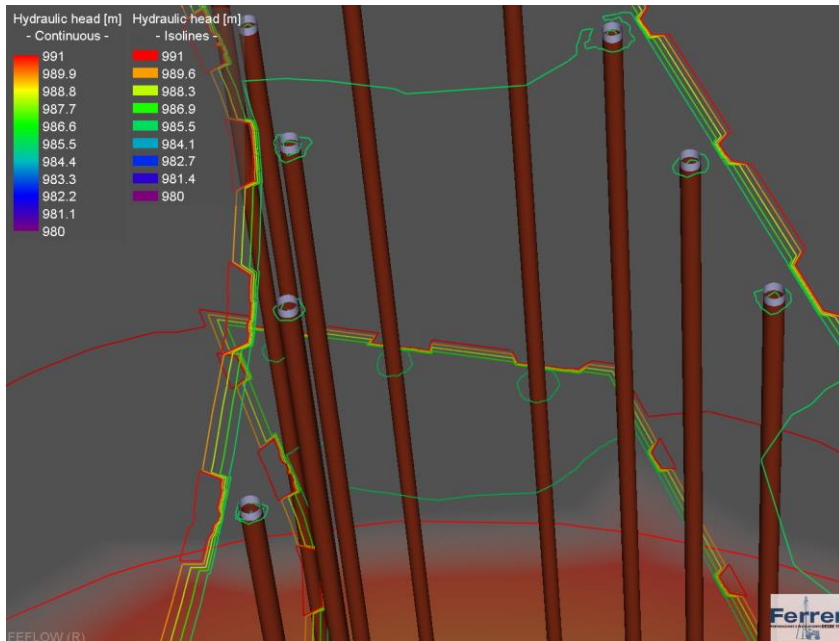
*Aproximación
de los
Parámetros
Hidrogeológicos*

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

CASO PRACTICO

ANALISIS / ESTUDIO 3.4

■ Modelo Numérico (Elementos Finitos)





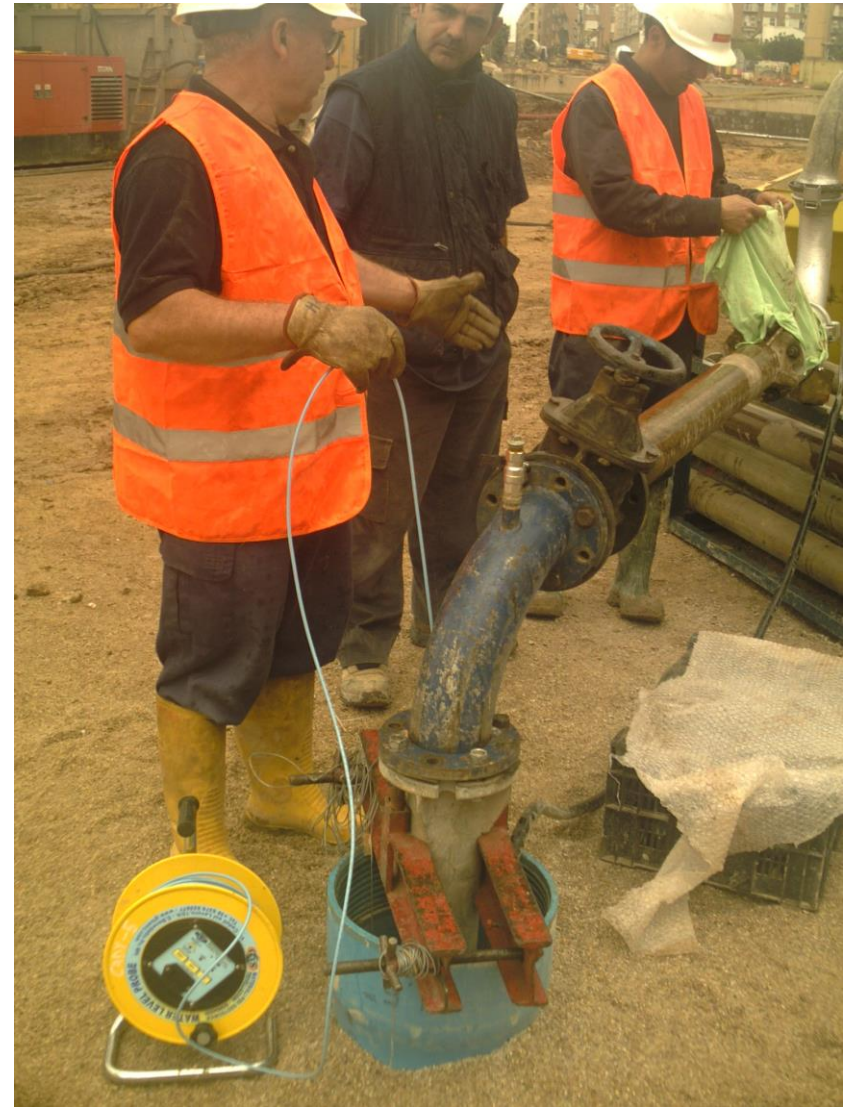
CASO PRACTICO

ANALISIS / ESTUDIO 4.4

- Modelo Virtual

CASO PRACTICO

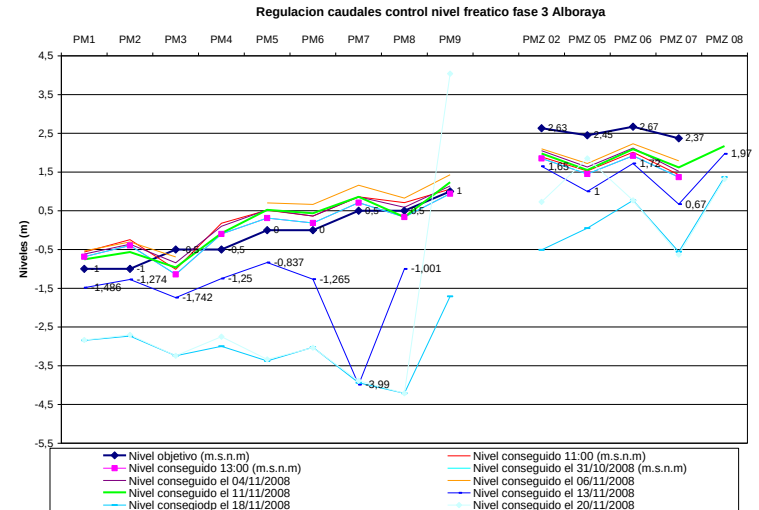
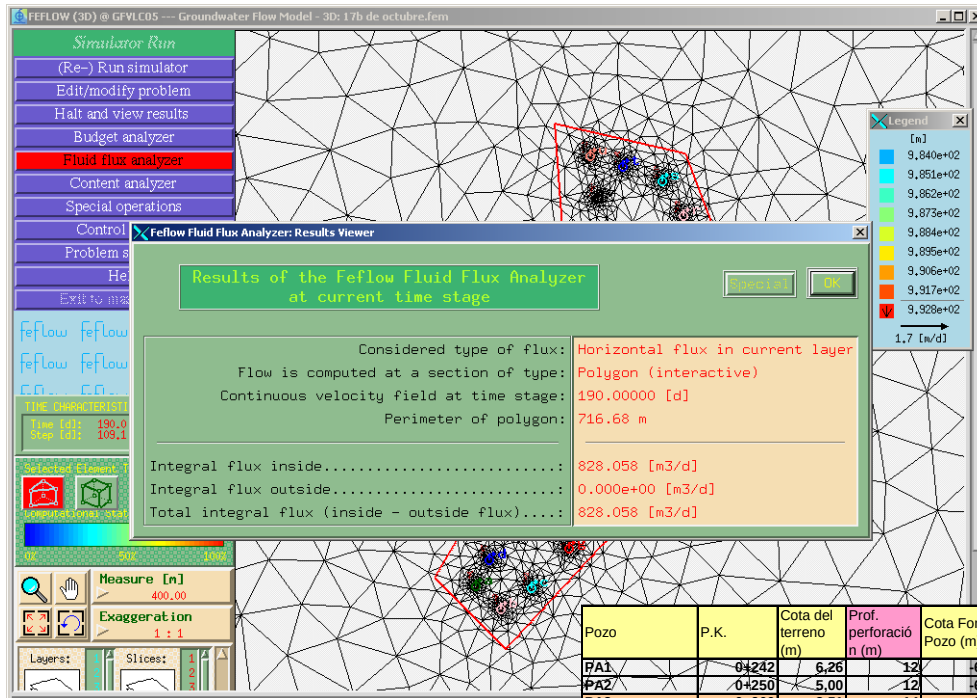
Control y seguimiento



Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

CASO PRACTICO

RESULTADOS



Pozos de pk 0+238 - pk 0+300

					Nivel (m.s.n.m.)							Caudales(l/s)
Pozo	P.K.	Cota del terreno (m)	Prof. perforación (m)	Cota Fondo Pozo (m)	18/09/2008 10:37	18/09/2008 11:10	18/09/2008 17:00	19/09/2008 17:00	22/09/2008 16:00	23/09/2008 17:30	22/09/2008 16:00	
PA1	0+242	6,26	12	-6,00	2,78	-2,67	-3,07	-2,87	-2,97	-2,77	5,96	
PA2	0+250	5,00	12	-6,00	1,25	-2,35	-3,15	-3,04	-3,00	-2,95	3,99	
PA3	0+260	3,51	14	-8,00	2,86	-2,34	-2,64	-2,64	-2,59			
PA4	0+266	3,54	11	-6,00	3,03	-2,72	-3,42	-3,45	-3,27	-3,20	5,43	
PA5	0+272	3,47	11	-6,00	2,98	-2,93	-4,83	-4,81	-4,53	-4,36	7,49	
PA6	0+277	3,39	11	-6,00	0,00	0,00	-5,05	-4,43	-5,05	-4,40	1,09	
PA7	0+282	6,32	11	-6,00	2,97	-2,95	-3,43	-3,62	-3,38	-3,41	7,44	
PA8	0+288	6,21	11	-6,00	2,96	-3,34	-3,74	-3,64	-3,34	-3,33	5,98	
PA9	0+293	5,08	11	-6,00	3,04	-3,23	-4,66	-4,74	-4,71	-4,71	4,99	
PA10	0+297	5,13	11	-6,00	2,01	-4,30	-4,50	-4,54	-4,25	-5,34	5,97	
Pz1	0+264	6,46	6	-0,46	3,16	3,03	2,94	2,94	3,12	3,11		
Pz2	0+264	6,46	13	-6,54	3,18	2,99	2,94	2,99	3,11	3,16		
Pz3	0+269	6,46	9	-2,54	3,17	2,97	2,93	2,97	3,11	3,16		
Pz4	0+269	6,46	11	-4,54	3,22	3,04	2,99	3,08	3,16	3,26		
TOTAL CAUDAL MEDIO											48,33	
											5,37	

Tema 15 - EXCAVACIONES Y
AGOTAMIENTOS / DRENAJE
EDIFICACION

CONCLUSIONES

- **Un adecuado diseño y ejecución de la red de control del nivel freático, mayora las probabilidades de éxito de forma sostenible y eficiente.**
- **Incorporar al proyecto en su fase de estudio el análisis del control del agua subterránea evitara extra costes.**

CONCLUSIONES

- Se deben realizar ensayos de bombeo, con rigurosa precisión, si deseamos reducir fiablemente las incertidumbres.
- El Sistema de control deber ser flexible capaz de incorporar medidas correctoras a las posibles singularidades.



LA BUENA PRAXIS GLOBAL CONDICIONA LA EFECTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL DISEÑO E INSTALACION DE UNA RED DE CONTROL PARA EL DESCENSO ARTIFICIAL DEL NIVEL FREATICO

Barcelona 15 de Mayo de 2009.

Alejandro J. Ferrer G.
alejandro.ferrer@ferrersl.com