5ª Edición, 2º Volumen

Ejercicios de

Ingeniería Ambiental

Rafael Mujeriego
Catedrático de Ingeniería Ambiental

ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, febrero de 2011

PRÓLOGO

Esta publicación recoge una serie de ejercicios numéricos planteados en los exámenes de la asignatura de Ingeniería Ambiental, de las titulaciones de Ingeniería de Caminos y de Ingeniería Técnica de Obras Públicas, de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, desde el curso 2002-2003 hasta el curso 2010-2011.

Este segundo Volumen incluye los ejercicios propuestos desde el curso 2008-2009.

Estos ejercicios y sus soluciones recogen la experiencia pedagógica obtenida durante los 32 años en que hemos venido impartiendo esta asignatura en los diversos planes de estudios de ambas titulaciones.

Los soluciones ofrecidas tratan de desarrollar la capacidad de análisis y de síntesis de los alumnos, a la vez que promover su capacidad para presentar sus conocimientos de forma lógica, sintética y ordenada.

La vocación de esta quinta edición de Ejercicios de Ingeniería Ambiental es familiarizar a los alumnos con el contenido y la forma de los ejercicios que habrán de resolver en sus exámenes. La valoración de las soluciones les ha de permitir confirmar los conocimientos adquiridos en clase y durante sus horas de estudio personal, así como aclarar las dudas que puedan surgirles durante su aplicación.

La elaboración de esta colección ha sido posible gracias a la colaboración de los profesores y los alumnos que han participado en el desarrollo y la docencia de las asignaturas. Cualquier comentario, sugerencia o errata que pueda surgir de la lectura de estas soluciones será bienvenida y considerada para las ediciones futuras.

Barcelona, febrero de 2011.

Rafael Mujeriego
Catedrático de Ingeniería Ambiental
rafael.mujeriego@upc.edu

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA INGENIERÍA AMBIENTAL
ETS de Ingenieros de Caminos 1 Parcial 2008-09

2 (20 puntos). La realización de unas cimentaciones, necesarias para la construcción del túnel ferroviario La Puerta de Europa, requiere la refrigeración y la limpieza de diversa maquinaria de obras públicas, de forma continua durante las 24 horas del día. Los procesos de refrigeración y limpieza se realizan tomando y devolviendo agua desde una gran balsa de regulación construida al efecto.

Los procesos de refrigeración y de limpieza NO alteran apreciablemente la concentración de oxígeno disuelto del agua utilizada para este uso, y el tiempo de estancia del agua en estos procesos es insignificante. Sin embargo, el uso del agua para estos fines conlleva una aportación continua a la balsa de materia orgánica biodegradable, estimada en un flujo de 35 kg O_2/día. Por otra pare, la disipación del calor generado por la maquinaria provoca una evaporación del agua de la balsa, que puede cifrarse en un 10% del caudal afluente. Los flujos de agua afluente del río, de salida de agua de la balsa, y de extracción y retorno de los procesos de refrigeración permiten asegurar que la balsa se comporta como un reactor de flujo continuo y mezcla completa.

Con objeto de mantener la balsa en condiciones aerobias, se dispone de una alimentación de agua superficial desde el río Cumbreras en régimen continuo y estable, así como del correspondiente vertido de agua, que se realiza en un punto aguas abajo del río. Para potenciar el proceso biológico natural de mineralización de la materia orgánica, se han instalado en la balsa varios aireadores, capaces de aportar el oxígeno que consumen las bacterias para oxidar parte de la materia orgánica, que les sirve de sustrato.

SABIENDO QUE:

1. La balsa de regulación de agua tiene unas dimensiones útiles de 40 x 20 x 3,0 m^3.
2. El oxígeno disuelto del agua del río Cumbreras (alimentación de la balsa) es de 8,5 mg O_2/L.
3. El oxígeno disuelto del agua de la balsa se debe mantener (como mínimo) en 1,5 mg O_2/L, con objeto de evitar la anaerobiosis (malos olores).
4. El contenido de materia orgánica y de células del agua de alimentación del río Cumbreras es insignificante.
5. La concentración de materia orgánica en el efluente de la balsa de regulación no debe superar 25 mg O_2/L.
6. La degradación de la materia orgánica se realiza exclusivamente por vía biológica, mediante un cultivo bacteriano natural cuyas características cinéticas vienen resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Constantes cinéticas del cultivo biológico heterótrofo obtenido utilizando la materia orgánica como sustrato.

Parámetro	Valor
$\mu_{máx}$	1,60 mg células/mg células.día
K_s	130 mg MO/L
Y	0,65 mg células/mg MO
k_d	0,060 mg células/mg células.día

SE PIDE DETERMINAR:

1. Un dibujo esquemático de la balsa de regulación, con todos los factores necesarios para realizar los balances másicos de materia orgánica y de masa celular.
2. Los balances másicos de materia orgánica disuelta y de masa celular de la balsa de regulación, una vez alcanzado el régimen permanente.
3. La concentración de masa celular presente en el efluente de la balsa de regulación, en mg/L.
4. El caudal de agua de alimentación necesaria para asegurar esas condiciones, en m^3/día.
5. El tiempo medio de estancia del agua en la balsa de regulación, en días.

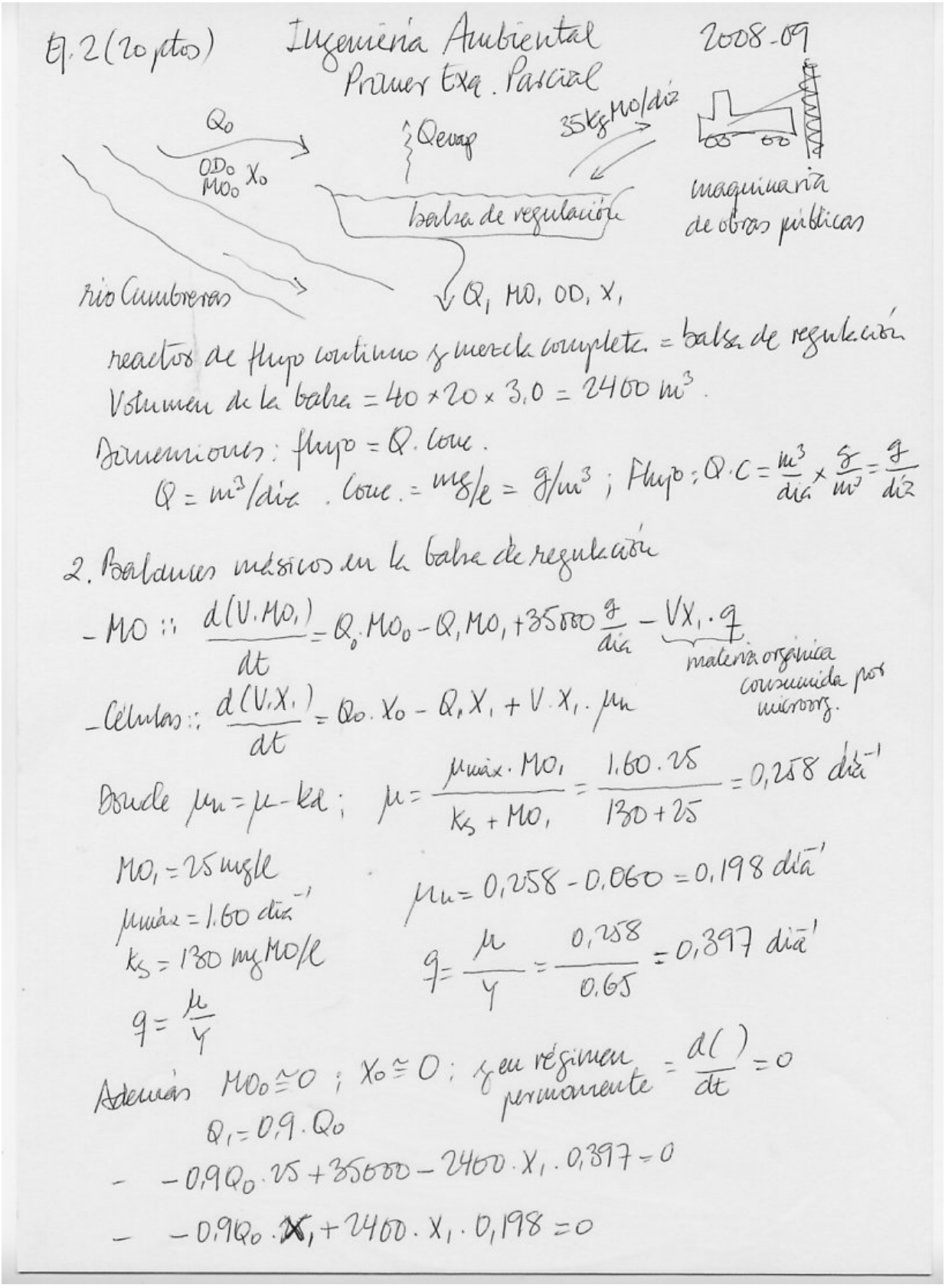
Con objeto de dimensionar los aireadores mecánicos necesarios, se ha estimado que la aportación mínima de oxígeno ha de ser igual al oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Considerando que el aire utilizado tiene un 23,2% en peso de oxígeno, la densidad del aire en condiciones ambiente de temperatura y presión es de 1,2 kg/m^3, y la eficiencia del proceso mecánico de transferencia del oxígeno desde el aire al agua es del 35%,

CC BY NC ND

SE PIDE DETERMINAR:

6. El balance de oxígeno disuelto en la balsa de regulación.
7. La flujo de oxígeno (kg/día) que será necesario aportar a la balsa para mantener esas condiciones.
8. La capacidad volumétrica (m3/día) de las soplantes necesarias para aportar el aire necesario para asegurar dicho proceso de oxidación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas



CC BY NC ND

4. De la segunda expresión:

$$0.9\, Q_0 X_1 = 2400 \cdot X_1 \cdot 0.198 \Rightarrow Q_0 = \frac{2400 \cdot 0.198}{0.9} = 528\ m^3/día$$

3. De la primera expresión:

$$X_1 = \frac{35000 - 0{,}9 \cdot Q_0 \cdot 25}{2400 \cdot 0{,}397} = \frac{23120}{952{,}8} = 24{,}26\ mg\,id./l$$

5. El $T_H = \frac{V}{Q_{ef.}} = \frac{2400\ m^3}{0{,}90 \cdot 528\ m^3/d} = 5{,}05$ día

6. Balance de oxígeno:

$$\frac{d(V \cdot OD_1)}{dt} = Q_0 \cdot OD_0 - Q_1 OD_1 - V \cdot X_1 \cdot q + \text{aportación mecánica} = 0$$

(reg. permanente)

$$\text{Aportación mecánica} = V \cdot X_1 \cdot q + Q_1 OD_1 - Q_0 OD_0 =$$

$$= 2400 \cdot 24{,}26 \cdot 0{,}397 + 0{,}9 \cdot 528 \cdot 1{,}5 - 528 \cdot 8{,}5 =$$

$$= 23114{,}93 + 712{,}80 - 4488 = 19339{,}73\ g/día$$

Flujo necesario mínimo $= 19{,}34\ kg\ Oxig/día$

$$\text{Capacidad volumétrica} = 19{,}34\ \frac{kg\,O_2}{día} \times \frac{100\ kg\,aire}{23{,}2\ kg\,O_2} \times \frac{1\ m^3\,aire}{1{,}2\ kg\,aire} \times \frac{1}{0{,}35} =$$

$$= 198{,}48\ m^3/día.$$

CC BY NC ND

Tabla 2. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. Dibujo	Adjunto
2. Balances	$Q_0 MO_0 - Q_1 MO_1 + 35800 - VX_1 q = 0$ $Q_0 XO_0 - Q_1 X_1 + VX_1 \mu_n = 0$
3. Conc. masa celular X_1	24 mg/l
4. Caudal afluente	530 m^3/día
5. Tiempo retención hidráulica	5,1 días
6. Balance DO	$Q_0 OD_0 - Q_1 OD_1 - VX_1 q + Aportación = 0$
7. Flujo de Oxígeno	19 kg O_2/día
8. Capacidad soplantes	2,0. 100 m^3/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — INGENIERÍA AMBIENTAL
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial 2008-09

3 (15 puntos). El municipio de Aguas Azules ha encargado un estudio experimental para determinar las posibles remodelaciones de su actual sistema de vertido de aguas residuales depuradas, de forma que cumpla las limitaciones de la reciente Directiva Europea sobre calidad de aguas de baños costeras. La Directiva establece los siguientes criterios de valoración:

Aguas de "calidad excelente" 95% de las muestras deben tener < 250 E. coli/100 ml
Aguas de "calidad suficiente" 90% de las muestras deben tener < 500 E. coli/100 ml

La Tabla 3 resume los resultados registrados en el agua de la playa, después de que los efluentes fueron sometidos a dos procesos diferentes de desinfección en sendos reactores de flujo en pistón: Proceso A y Proceso B. Las muestras fueron recogidas de forma sistemática, en dos períodos de tiempo diferentes, tras la aplicación sistemática de cada uno de los dos procesos de desinfección.

Tabla 3. Calidad microbiológica, en E. coli/100 ml, de las aguas de la playa del municipio de Aguas Azules, después de aplicarse cada uno de los dos procesos de desinfección estudiados.

Muestra no.	Proceso A, Ec/100 ml	Proceso B, Ec/100 ml
1	96	320
2	360	380
3	830	310
4	300	320
5	850	430
6	180	260
7	1400	430
8	550	340
9	210	260
10	340	320
11	1600	460
12	550	380

Se desea DETERMINAR:

1. La pertenencia de cada una de esas dos series de valores experimentales a una población normal logarítmica, utilizando el papel de probabilidad adjunto. Deben indicarse claramente las variables representadas en cada eje, con sus unidades, y un título descriptivo de la figura.
2. La distribución normal logarítmica que mejor se ajusta a cada serie de datos experimentales, caracterizada mediante la media y la desviación típica (s = ln XX84 - ln XX50) de cada serie, así como las concentraciones de E. coli que no se sobrepasan en un 90 y 95% de las muestras.
3. La calificación de la calidad del agua que, de acuerdo con los criterios de la Directiva, puede obtenerse con cada uno de los procesos de desinfección, razonando el proceso de calificación. ¿Qué grado de variabilidad proporciona cada uno de los dos procesos de desinfección?¿Qué calificación merecen esas variabilidades? ¿Cuál de los dos procesos de desinfección es más fiable y porqué?

Suponiendo que la eficacia de los dos procesos de desinfección es proporcional a la concentración microbiana inicial (justo antes de aplicar el desinfectante),

Se desea DETERMINAR GRÁFICAMENTE, razonado explícitamente el proceso deductivo utilizado:

4. La distribución normal logarítmica que será necesario alcanzar, mediante la aplicación de una dosis superior de cada desinfectante, de modo que la calidad del agua sea "EXCELENTE" en ambos casos.
5. La inactivación microbiana adicional, en ulog/100 ml, que será necesario conseguir con cada uno de los procesos de desinfección, para conseguir el nivel EXCELENTE de la calidad del agua.

Resumir los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

Ej. 3. (15 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2008-09
Primer Exa. Parcial

1. Ordenamos los valores experimentales para representarlos gráficamente en los papeles de probabilidad normal-log.

Nº de orden	$F(x_i) = \frac{i}{n+1} 100$	Proceso A	Proceso B
1	7.7	96	260
2	15.4	180	260
3	23.1	210	310
4	30.8	300	320
5	38,5	340	320
6	46.2	360	320
7	53.8	550	340
8	61,5	550	380
9	69,2	830	380
10	76,9	850	430
11	84.6	1400	430
12	92,3	1600	460

2. Representamos estas parejas de valores $(F(x_i), x_i)$ en el papel de probabilidad normal-log. adjunto.

La interpolación de una línea recta, con un ajuste bastante satisfactorio, permite concluir que esos valores (Proceso A y Proceso B) pertenecen a ~~todas~~ variables de carácter logarítmico normal.

Las distribuciones así estimadas (las líneas rectas) permiten estimar los diferentes percentiles.

CC BY NC ND

Proceso A: media (X50) = 460 Ec/100 ml
X90 = 1600 Ec/100 ml
X95 = 2400 Ec/100 ml

$S = \ln X84 - \ln X50 = \ln 1250 - \ln 460 = 7.13 - 6.13 = 1.00$

Proceso B: media (X50) = 350 Ec/100 ml
X90 = 460 Ec/100 ml
X95 = 500 Ec/100 ml

$S = \ln X84 - \ln X50 = \ln 435 - \ln 350 = 6.08 - 5.86 = 0.22$

3. Calificación del Agua.

Proceso A: No es excelente, No es suficiente } Insuficiente

Proceso B: No es excelente, Si es suficiente } suficiente

Variabilidad: función de "S"

Proceso A: S = 1.00

Proceso B: S = 0.22

El proceso "mas fiable", con menor variabilidad, con menor valor de "S" es el Proceso B.
Los resultados de unos días y otros son similares.

4. Suponiendo que la desinfección es proporcional a la concentración ~~decaí~~ microorganismos presentes ante la acción del desinfectante y considerando que los reactores son ideales reactores de flujo en pistón, la eficacia del proceso de desinfección será:

$\frac{dN_1}{dt} = -k \cdot N_1 \cdot C$

$N_1 = N_0 \exp(-k \cdot t \cdot C) \rightarrow \log N_1 = \log N_0 - kt \cdot C$

$\ln N_1' = \ln N_0 - k \cdot t \cdot C'$

cc BY NC ND

por tanto, aumentando de forma sistemática la concentración de desinfectante aplicado en los Procesos A y B, conseguiremos unos valores de N', que vendrán representados por una línea recta (distribución logarítmico normal) paralela a la inicial, pero con valores inferiores.

$$\ln N_1 - \ln N_1' = + k\,t\,(c' - c)$$

Las distribuciones correspondientes a una calidad "excelente" pero conservando la "variabilidad temporal" de cada proceso vienen dibujadas en la gráfica / figura 3.

6. Desinfección adicional, medida p.e. mediante el percentil 50%.

Proceso A: $X50 = 460$ Ec/100 ml $\rightarrow X50' = 50$ Ec/100 ml

en ulog/100 ml $\log 460 - \log 50 = 0{,}96$ ulog/100 ml

Proceso B: $X50 = 350$ Ec/100 ml $\rightarrow X50' = 180$ Ec/100 ml

en ulog/100 ml $\log 350 - \log 180 = 0{,}29$ ulog/100 ml

BY NC ND

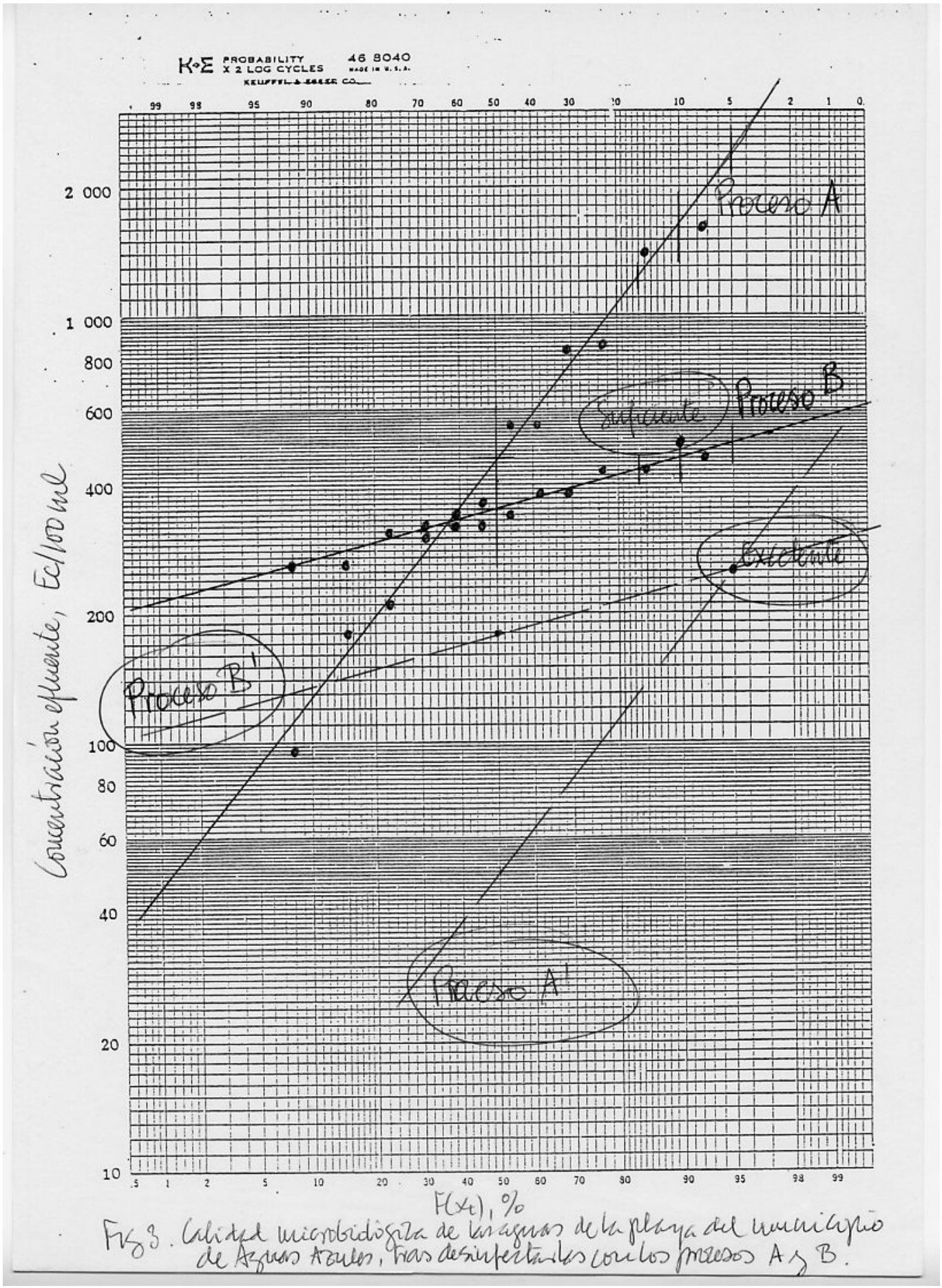


Fig 3. Calidad microbiológica de las aguas de la playa del municipio de Aguas Azules, tras desinfectarlas con los procesos A y B.

CC BY NC ND

Tabla 3. Resumen de Resultados

Parámetro		Valor
1. Pertenencia a distrib. normal-log.		Ademada Proceso A Ademada Proceso B
2. Distribuciones		Figura 3 adjunta.
	Proceso A	X_{50} = 460 EC/100 ml X_{90} = 1600 " X_{95} = 2400 " s = 1,0
	Proceso B	X_{50} = 350 EC/100 ml X_{90} = 460 " X_{95} = 5,0·100 " s = 0,2
3. Calificación del Agua		
	Proceso A	insuficiente
	Proceso B	suficiente
Variabilidad	P-A	baja/pequeña (<1,0)
	P-B	muy baja (<<1.0)
4. Nuevas distribuciones (paralela a iniciales)		Figura 3 adjunta
5. Inactivación adicional		
	Proceso A	0,96 ulog/100 ml
	Proceso B.	0,29 ulog/100 ml

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — INGENIERÍA AMBIENTAL
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial 2008-09

4 (25 puntos). El abastecimiento de agua de la Casa de Turismo Rural "La Masia Vella" se realiza a partir de dos fuentes: 1) el agua de deshielo de una fuente próxima a las instalaciones y 2) un sistema de recogida de aguas de lluvia desde las cubiertas de la Casa y sus instalaciones próximas. La Casa de Turismo Rural dispone de un depósito de 8 x 6 x 5 m^3, donde se almacena el agua necesaria para las estancias periódicas de los visitantes. Unos días antes del puente de la Constitución, el depósito contenía 50 m^3 de agua. Las nevadas registradas en días posteriores permitieron recoger un volumen adicional de agua de deshielo, hasta aumentar las reservas a un total de 200 m^3. La entrada del agua en el depósito genera una turbulencia suficiente como para asegurar su equilibrio con la atmósfera circundante (constante de Henry $k_H = 10^{-1,5}$ $M.atm^{-1}$; $pCO_2 = 10^{-3,5}$ atm) y que el agua se mantiene en esa condición en todo momento.

La calidad de los diferentes tipos de agua viene resumida en la Tabla 4.

Tabla 4. Calidad del agua del Casa de Turismo Rural "La Masia Vella".

Parámetro	Depósito	Deshielo	Lluvia
Alcalinidad	45 mg $CaCO_3$/l	15 mg $CaCO_3$/l	10 mg $CaCO_3$/l
Calcio	25 mg $CaCO_3$/l	10 mg $CaCO_3$/l	5 mg $CaCO_3$/l
Magnesio	15 mg $CaCO_3$/l	5 mg $CaCO_3$/l	0 mg $CaCO_3$/l

DETERMINAR:
1. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada de agua de deshielo, en mg $CaCO_3$/L.
2. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua de deshielo.

Con objeto de asegurar la desinfección del agua del depósito y conferirle una cierta alcalinidad, se desea añadirle dos partes en peso de hidróxido cálcico, $Ca(OH)_2$ y una parte en peso de bicarbonato sódico $NaHCO_3$, de modo que, tras su mezcla con el agua, ésta alcance un pH = 8,1.

DETERMINAR:
3. El peso de hidróxido cálcico y de bicarbonato sódico, en kg, que será necesario añadir.
4. La dureza del agua del depósito tras realizar este tratamiento, en mg $CaCO_3$/L.

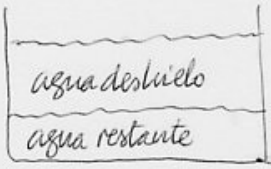
El consumo de agua realizado durante el puente de la Constitución ascendió a 100 m^3 de agua. Las intensas lluvias de la presente semana ha permitido llenar el depósito por completo, con un agua cuya calidad se describe en la Tabla 4 anterior. En estas nuevas condiciones, se pide

DETERMINAR
5. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada del agua de lluvia, en mg $CaCO_3$/L.
6. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua de lluvia.
7. El indice de saturación (IS) del agua del depósito, con respecto a su equilibrio con el $CaCO_3$, tras la entrada de agua de lluvia. ¿Tendrá tendencia a precipitar $CaCO_3$(s)? ¿Cómo se denomina por ello?
8. El diagrama gráfico de equilibrio (escala 14 x 14 cm, aproximadamente) de las tres especies carbonatadas (ácido carbónico, bicarbonato y carbonato) en función del pH del agua, para las condiciones atmosféricas indicadas.
9. El pH obtenido en dicho diagrama para el agua del depósito, en las tres condiciones operativas registradas: antes de la entrada del agua de deshielo, después de la entrada del agua del deshielo, y después de la entrada del agua de lluvia. Debe indicarse detalladamente en el gráfico el proceso seguido para obtener estos tres valores.

$pk_1 = 6,32$; $pk_2 = 10,33$; $pk_s(CaCO_3) = 8,34$
Ca = 40 ; Mg = 24 ; Na = 23 ; O = 16 ; H = 1 ; C = 12 ; S = 32 ; Cl = 35,5
Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

Ej. 4. (25 ptos) Ingeniería Ambiental 2008-09
Primer Exa. Parcial



$V_{total} = 8 \times 6 \times 5 = 240\ m^3$

$[H_2CO_3]_{agua} = k_H \cdot P_{CO_2} = 10^{-5.0}\ M$

1. Alc y dureza son propiedades aditivas.

$$Alc = \frac{50 + 45 + 150 \times 15}{50 + 150} = \frac{2250 + 2250}{200} = \frac{4500}{200} = 22{,}50\ mg\ CaCO_3/l$$

Dureza | Calcio $= \frac{50 \times 25 + 150 \times 10}{50 + 150} = \frac{2750}{200} = 13{,}75$

Magnesio $= \frac{50 \times 15 + 150 \times 5}{50 + 150} = \frac{1500}{200} = 7{,}50$

$\Rightarrow 21{,}25\ mg\ CaCO_3/l$

2. Suponiendo que el pH sea inferior a 8,5 $\Rightarrow Alc \cong [HCO_3^-]$

$$[HCO_3^-] \cong Alc = 22{,}50\ \frac{mg\ CaCO_3}{l} \times \frac{1\ eq}{50\,000\ mg\ CaCO_3} \times \frac{1\ mol\ HCO_3^-}{1\ eq} = 4{,}50 \cdot 10^{-4}\ eq/l$$

$$k_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \; ; \; [H^+] = \frac{k_1 \cdot [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6{,}32} \cdot 10^{-5.0}}{4{,}50 \cdot 10^{-4}} = 1{,}06 \cdot 10^{-8} = 10^{-7{,}97}$$

$pH = 7{,}95\ (< 8{,}5\ !!)$

3. Nuevo $pH = 8{,}1 \Rightarrow$ ¿nueva Alc?

$$Alc \cong [HCO_3^-] = \frac{k_1 \cdot [H_2CO_3]}{[H^+]} = \frac{10^{-6{,}32} \cdot 10^{-5.0}}{10^{-8{,}1}} = 6{,}03 \cdot 10^{-4}\ eq/l = 30{,}13\ mg\ CaCO_3/l$$

Incremento de $Alc = 6{,}03 \cdot 10^{-4} - 4{,}50 \cdot 10^{-4} = 1{,}53 \times 10^{-4}\ eq/l$

$Ca(OH)_2$: $40 \times 1 = 40$; $17 \times 2 = 34$; $74\ g$ — $74\ g\ Ca(OH)_2 : 2\ eq$

$NaHCO_3^-$: $23 \times 1 = 23$; $1 \times 1 = 1$; $12 \times 1 = 12$; $16 \times 3 = 48$; $84\ g$ — $84\ g\ NaHCO_3 : 1\ eq$

CC BY NC ND

$$2p\,\frac{2eq}{74} + 1p\cdot\frac{1eq}{84} = 1{,}53\times10^{-V}\ eq/l \times 200\,000\ l$$

$$\frac{4p}{74}+\frac{p}{84}=\frac{4\cdot84+74}{74\cdot84}\,p=\frac{410p}{6216}=1{,}53\cdot2\cdot10^{-1}$$

$$p=\frac{1{,}53\cdot2\cdot10\cdot6216}{410}=463{,}93\ g \qquad 2p=2\times463{,}93=927{,}85\ g$$

460 g $NaHCO_3$

930 g $Ca(OH)_2$

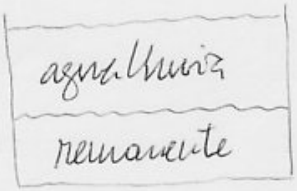
4. Nueva dureza: anterior + aportación de calcio.

Aportación: $\frac{927{,}85\ g\ Ca(OH)_2}{200\,000\ l}\times\frac{1mol}{74g}\times\frac{2eq}{1mol}\times\frac{50\,000\ mg\ CaCO_3}{1eq}=$

$$=\frac{927{,}85\times2\times50\,000}{200\,000\times74}=6{,}27\ mg\ CaCO_3/l$$

Nueva dureza = 21,25 + 6,27 = 27,52 mg $CaCO_3$/l

5.



alcalinidad y dureza son propiedades aditivas.

$$Alc=\frac{100\times30{,}13+140\times10}{100+140}=\frac{3013+1400}{240}=\frac{4412}{240}=18{,}39\ mg\ CaCO_3/l$$

Dureza

Calcio: $\frac{(13{,}75+6{,}27)100+5\times140}{100+140}=11{,}26\ mg\ CaCO_3/l$

Magnesio: $\frac{7{,}50\times100+0\times140}{240}=3{,}13\ mg\ CaCO_3/l$

14,38 mg $CaCO_3$/l

6. Suponiendo que pH < 8,5 $\Rightarrow [HCO_3^-]\cong Alc$

$$[HCO_3^-]\cong Alc=18{,}39\ \frac{mg\ CaCO_3}{l}\times\frac{1eq}{50\,000\ mg}\times\frac{1mol\ HCO_3^-}{1eq}=3{,}68\cdot10^{-4}\ M$$

$$[H^+]=\frac{k_1[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]}=\frac{10^{-6{,}32}\cdot10^{-5{,}0}}{3{,}68\cdot10^{-4}}=1{,}30\cdot10^{-8}\Rightarrow pH=7{,}89\ (<8{,}5!)$$

CC BY NC ND

7. Indice de saturación $IS = pHr - pHs$.

$pHr = 7,89$

$pHs = pk_2 - pk_s + p[HCO_3^-] + p[Ca^{2+}]$

$[HCO_3^-] = 3,68.10^{-4} M \Rightarrow p[HCO_3^-] = 3,43$

$[Ca^{2+}] = 11,26 \frac{mg\,CaCO_3}{l} \times \frac{1\,eq}{50000\,mg} \times \frac{1\,mol\,Ca^{2+}}{2\,eq} = 1,13.10^{-4} M$

$p[Ca^{2+}] = 3,95$

$pHs = 10,33 - 8,34 + 3,43 + 3,95 = 9,37$

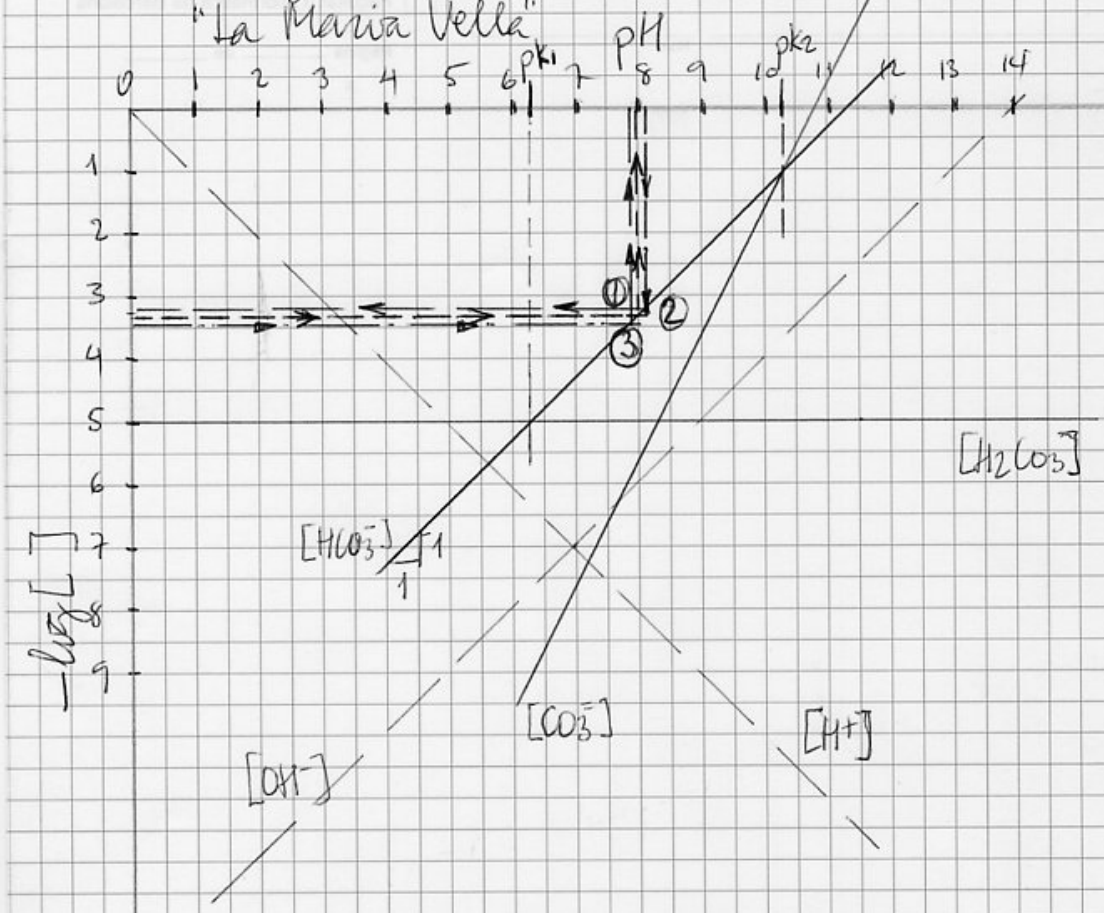
$IS = pHr - pHs = 7,89 - 9,37 = -1,48$ } agua agresiva! Tenderá a disolver $CaCO_3$

8. Diagrama: adjunto

9. Resultados gráficos: indicados (con resolución) en diagrama adjunto.

cc BY NC ND

Diagrama equilibrio del sistema carbonato – bicarbonato del agua del depósito de la Casa de Turismo Rural "La Maria Vella"



$$Alc = [HCO_3^-] + 2[CO_3^=] + [OH^-] - [H^+]$$

cuando $pH \leq 8{,}5 \Rightarrow Alc \cong [HCO_3^-]$

Situación del depósito	$Alc \cong [HCO_3^-]$	$p[HCO_3^-]$	pH
① estado inicial	$4{,}50 \cdot 10^{-4}$	3,35	$\Rightarrow$ 8,0
② primer cambio	$6{,}03 \cdot 10^{-4}$	3,22	$\Leftarrow$ 8,1
③ segundo cambio	$3{,}68 \cdot 10^{-4}$	3,43	$\Rightarrow$ 7,9

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de Resultados

	Parametro	Valor
1.	Alcalinidad primera mezcla	23 mg $CaCO_3$/l
	Dureza primera mezcla	21 mg $CaCO_3$/l
2.	pH (primera mezcla)	8,0
3.	Cantidades añadidas	
	$Ca(OH)_2$	930 g / 0,93 kg
	$NaHCO_3$	460 g / 0,46 kg
4.	Dureza (tras adición)	28 mg $CaCO_3$/l
5.	Alcalinidad (segunda mezcla)	18 mg $CaCO_3$/l
	Dureza (segunda mezcla)	14 mg $CaCO_3$/l
6.	pH (Tras segunda mezcla)	7,9
7.	IS	-1,5 agua agresiva disolverá $CaCO_3$!
8.	Diagrama	adjunto
9.	Resolución gráfica y tabla resumen	adjuntos

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial - Curso 2008-09

2 (25 puntos). Se desea elaborar las normas de explotación de un depósito de regulación de aguas pluviales para el municipio de "Puerto Costero", que está dotada de un sistema de alcantarillado unitario (aguas residuales y aguas de lluvia). El depósito recogerá los caudales de agua producida durante los primeros 40 minutos de cada episodio de lluvia. El objetivo del depósito es retener los sedimentos acumulados en las alcantarillas entre dos episodios de lluvia sucesivos, así como el caudal de agua residual diluida que supera la capacidad de la estación depuradora. El depósito tiene un volumen de 38.000 m^3, suficiente para retener las aguas de escorrentía urbana durante un episodio de lluvia típico.

El criterio básico de explotación es asegurar que las aguas acumuladas en el depósito no producen malos olores. Estudios realizados en la zona indican que las aguas residuales diluidas comienzan a generar malos olores cuando su concentración de oxígeno disuelto es inferior a 0,10 mg O_2/L.

El contenido de materia orgánica de las aguas recogidas por la red unitaria de colectores se ha determinado mediante una campaña de muestreo durante un episodio de lluvia representativo, y se ha valorado en términos de su DBO. La Tabla 2 resume los valores experimentales, obtenidos por un laboratorio acreditado, para la DBO_5 de una disolución patrón de materia orgánica y de una muestra de agua residual recogida del depósito, tras un episodio de lluvia que lo ha llenado por completo.

Tabla 2. Resultados experimentales de los análisis de la DBO_5 del agua residual de Costa Blanca.

Muestra	Volumen V_m, mL	Oxígeno disuelto, mg/L		Muestra	Volumen V_m, mL	Oxígeno disuelto, mg/L	
		OD_m	OD_5			OD_m	OD_5
Agua del depósito	15	7,50	7,10	Disolución	2,0	8,00	5,70
de retención	25	7,50	4,90	patrón	4,0	8,00	3,90
(residual diluida)	35	7,50	3,10		6,0	8,00	1,70
	45	7,50	1,70		8,0	8,00	0,05

Teniendo en cuenta que:
1. Las botellas de incubación tienen un volumen de 250 ± 5 mL.
2. El oxígeno disuelto en el agua de dilución es OD_{b0} = 8,40 mg/L.
3. El agua residual diludia (del depósito) se ha analizado sin añadirle inóculo.
4. La disolución patrón tiene 180 mg/L de glucosa, y 180 mg/L de ácido glutámico.
5. El inóculo utilizado (V_{inoc} = 7,5 mL) para analizar la disolución patrón ha sido el agua residual del depósito.
6. La DBO del agua residual diluida retenida en el depósito se ajusta a la siguiente expresión cinética:

$$DBO_t = DBO_L (1 - 10^{-kt}) \text{ , con } k = 0,11 \text{ día}^{-1}$$

DETERMINAR, expresando los resultados en cifras significativas:
1. La DBO_5 del agua residual diluida retenida en el depósito con motivo del episodio de lluvia, indicando los criterios utilizados para la selección de las lecturas experimentales.
2. La concentración OD_{b1} del inóculo utilizado para determinar la DBO_5 de la disolución patrón.
3. El valor de la DQO y la DBOL de la disolución patrón, indicando las hipótesis utilizadas para obtenerlos.
4. El valor teórico y el valor experimental de la DBO_5 de la disolución patrón, indicando los criterios tenidas en cuenta para la obtención de éste último.
5. Los errores absoluto y relativo de la determinación experimental de la DBO_5.
6. El tiempo, expresado en horas, que el agua contenida en el depósito tardará en alcanza las condiciones límites de generación de olores.
7. El número de bombas hidráulicas necesarias (capacidad unitaria de 0,25 m^3/s) para evacuar el agua del depósito (desde que se llena) antes de que comience a producir olores, incluyendo una bomba de reserva.
8. Un esquema de la instalación del depósito, las bombas y los conductos de evacuación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla utilizando cifras significativas

$$DBO_5 = (OD_b - OD_t)(V_b/V_m) - (OD_{b0} - OD_m)$$

Ácido Glutámico = $C_5H_9O_4N$; Glucosa = $C_6H_{12}O_6$; Ácido acético $C_2H_4O_2$

C = 12 ; H = 1 ; O = 16 ; N = 14

CC BY NC ND

2 ejes. (25 ptos) Ingeniería Ambiental 2008-2009

2º Ex. Parcial

1. Análisis del agua del depósito (sin inóculo)

$$DBO_5 = (OD_{b0} - OD_t)\frac{V_b}{V_m} - (OD_{b0} - OD_m)$$

rechazado $\Delta OD < 2{,}0$ mg/l

$(8{,}40 - 7{,}10)$

$(8{,}40 - 4{,}90)\frac{250}{25} - (8{,}40 - 7{,}50) = 34{,}10$ mg O_2/l

$(8{,}40 - 3{,}10)\frac{250}{35} - (8{,}40 - 7{,}50) = 36{,}96$ mg O_2/l

$(8{,}40 - 1{,}70)\frac{250}{45} - (8{,}40 - 7{,}50) = 36{,}32$ mg O_2/l

$$DBO_5 = \frac{\Sigma}{n} = \frac{107{,}38}{3} = 35{,}79 \text{ mg } O_2/l$$

2. Utilizando ese agua como inóculo:

$$35{,}79 = (OD_{b_0} - OD_{b_1})\frac{V_b}{7.5\,ml} - (OD_{b0} - OD_m) =$$

$$= (8{,}40 - OD_{b_1})\frac{250}{7{,}5} - (8{,}40 - 7.50)$$

$$OD_{b_1} = 8{,}40 - \frac{(35{,}79 + 0{,}9)\,7{,}5}{250} = 8{,}40 - 1.10 = 7{,}30 \text{ mg } O_2/l$$

3. Disolución patrón

Glucosa $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

$6 \times 12 = 72$

$12 \times 1 = 12$

$6 \times 16 = 96$

180 g

$\frac{32}{6}$

192

192 mg O_2 / 180 mg glucosa

Ácido glutámico $C_5H_9O_4N + \frac{9}{2}O_2 \rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + NH_3$

$5 \times 12 = 60$

$9 \times 1 = 9$

$4 \times 16 = 64$

$1 \times 14 = 14$

147

$\frac{16}{9}$

144

144 mg O_2 / 147 mg ác. glut

CC BY NC ND

$DQO_{lig.pot} = 180 \times \frac{192}{180} + 180 \times \frac{144}{147} = 192 + 176,33 = 368,33 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Considerando que son 2 sustancias 100% biodegradables

$DBO_L \equiv DQO = 368,33 \text{ mg O}_2/\text{l}$

4. $DBO_5 \text{ teórica} = DBO_L (1 - 10^{-0,11 \cdot 5}) = 368,33 (1 - 10^{-0,55}) = 264,52 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$DBO_5 \text{ exp.} = (OD_{br} - OD_t) \frac{V_b}{V_m} - (OD_{bo} - OD_m)$

$= (7,30 - 5,70)$ rechazado $\Delta OD < 2 \text{ mg/l}$

$= (7,30 - 3,90) \frac{250}{4,0} - (8,40 - 8,00) = 212,10 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$= (7,30 - 1,70) \frac{250}{6,0} - (8,40 - 8,00) = 232,93 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$= (7,30 - 0,05$ rechazado $OD_t < 1 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$DBO_5 = \frac{\Sigma}{n} = \frac{445,03}{2} = 222,52 \text{ mg O}_2/\text{l}$

5. Error absoluto = Valor exper. − Valor real

$= 222,52 - 264,52 = -42,00 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Error relativo $= \frac{\text{Err. absol}}{\text{Valor real}} = \frac{-42,00}{264,52} \cdot 100 = -15,88\%$

6. Agua en el depósito. Posible consumo de oxígeno

$\Delta OD = 7,50 - 0,10 = 7,40 \text{ mg O}_2/\text{l} \equiv DBO_t$

Ecuación de la cinética de la DBO

$DBO_t = DBO_L (1 - 10^{-0,11 \cdot t})$

y para $t = 5$ días $DBO_5 = 35,97 = DBO_L (1 - 10^{-0,11 \cdot 5})$

CC BY NC ND

Dividiendo ambas igualdades

$$\frac{DBO_t}{DBO_5} = \frac{7{,}40}{35{,}79} = \frac{\cancel{DBO_L}(1-10^{-0{,}11\cdot t})}{\cancel{DBO_L}(1-10^{-0{,}11\cdot 5})}$$

$$1-10^{-0.11\cdot t} = \frac{7.40}{35{,}79}(1-10^{-0{,}11\cdot 5}) = 0{,}15 \; ; \; 10^{-0.11\cdot t} = 1-0{,}15$$

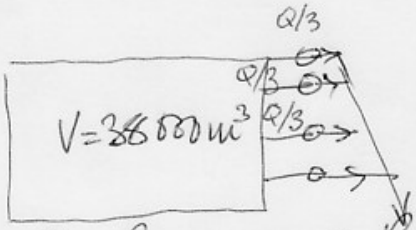
$$-0{,}11\cdot t = \log 0.85 \; ; \quad t = \frac{\log 0{,}85}{-0{,}11} = 0{,}63 \text{ días} = 15{,}23\,h$$

7. $V = Q\cdot t = n\cdot Q_i\cdot t = n\cdot 0{,}25\frac{m^3}{s}\times\frac{3600\,s}{h}\times 15{,}23\,h = 38000\,m^3$

$$n = \frac{38000}{0{,}25\cdot 3600\cdot 15{,}23} = 2{,}77 \text{. Luego } n = 3$$

Se ha supuesto que 40 min de llenado son despreciables frente a las 15,23 h de consumo de oxígeno.

8. Esquema



3 bombas en paralelo
+1 reserva

Los resultados tienen 2 cifras significativas, como resultado de los criterios aplicados a las operaciones (el menor no. de c.s. es 2)

Tabla 2. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. DBO_5	36 mgO_2/l (1 rechazo)
2. OD_{b1}	7,3 mgO_2/l
3. DQO	370 mgO_2/l
DBO_L (100% biod)	370 mgO_2/l
4. DBO_5 teórica	260 mgO_2/l
DBO_5 exp.	220 mgO_2/l (2 rechazos)
5. Error abs.	-42 mgO_2/l
Error relat.	-16%
6. Tiempo evacuación	≈ 15 horas
7. Número bombas	3 + 1 (reserva)
8. Esquema	Adjunto

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Final - Curso 2008-09

2 (25 puntos). La realización de unas obras de remodelación de firmes de carreteras requiere la limpieza de diversos pavimentos y maquinaria de obras públicas, de forma continua durante las 24 horas del día. Los procesos de limpieza se realizan tomando y devolviendo agua desde una gran balsa de regulación construida al efecto. Con objeto de mantener la balsa en condiciones aerobias, se dispone de una alimentación de agua superficial del arroyo "Aguas Bravas" en régimen continuo y estable, así como del correspondiente vertido del agua efluente de la balsa, que se realiza en un punto aguas abajo del arroyo.

Los procesos de limpieza NO alteran apreciablemente la concentración de oxígeno disuelto del agua utilizada para este uso y el tiempo de estancia del agua en estos procesos es insignificante. Sin embargo, el uso del agua para estos fines conlleva una aportación continua a la balsa de materia orgánica disuelta biodegradable, estimada en un flujo de 45 kg O_2/día. Por otra parte, la manipulación del agua durante los procesos de limpieza provoca una evaporación y pérdida de agua, que puede cifrarse en un 15% del caudal afluente a la balsa. Los flujos de agua afluente del arroyo, de salida de agua de la balsa, y de extracción y retorno de los procesos de limpieza permiten asegurar que la balsa se comporta como un reactor de flujo continuo y mezcla completa.

Para potenciar el proceso biológico natural de mineralización de la materia orgánica que ocurre en la balsa, se han instalado varios difusores de aire en ella, capaces de aportar el oxígeno consumido por las bacterias para oxidar parte de la materia orgánica, que les sirve de sustrato.

SABIENDO QUE:
1. La balsa de regulación de agua tiene unas dimensiones útiles de 45 x 25 x 3,0 m^3.
2. El oxígeno disuelto del agua del arroyo "Aguas Bravas" (alimentación de la balsa) es de 8,0 mg O_2/L.
3. El oxígeno disuelto del agua de la balsa se debe mantener (como mínimo) en 1,0 mg O_2/L, con objeto de evitar la aparición de malos olores (anaerobiosis).
4. El contenido de materia orgánica disuelta y de células del agua de alimentación del arroyo es insignificante.
5. La concentración de materia orgánica disuelta en el efluente de la balsa no debe superar 20 mg O_2/L.
6. La degradación de la materia orgánica se realiza exclusivamente por vía biológica, mediante un cultivo bacteriano natural cuyas características cinéticas vienen resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Constantes cinéticas del cultivo biológico heterótrofo obtenido utilizando la materia orgánica como sustrato.

Parámetro	Valor
$\mu_{máx}$	1,50 mg células/mg células-día
K_s	130 mg MO/L
Y	0,65 mg células/mg MO
k_d	0,060 mg células/mg células-día

SE PIDE DETERMINAR:
1. Un dibujo esquemático de la balsa de regulación, con todos los factores necesarios para realizar los balances másicos de materia orgánica disuelta y de masa celular.
2. Los balances másicos de materia orgánica disuelta y de masa celular de la balsa de regulación, una vez alcanzado el régimen permanente.
3. La concentración de masa celular presente en el efluente de la balsa de regulación, en mg/L.
4. El caudal de agua de alimentación necesaria para asegurar esas condiciones, en m^3/día.
5. El tiempo medio de estancia del agua en la balsa de regulación, en días.

Con objeto de dimensionar los difusores de aire necesarios, se ha estimado que la aportación mínima de oxígeno ha de ser igual al oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Considerando que el aire utilizado tiene un 23% en peso de oxígeno, la densidad del aire en condiciones ambiente de temperatura y presión es de 1,2 kg/m^3, y la eficiencia del proceso mecánico de transferencia del oxígeno desde el aire al agua es del 45%,

BY NC ND

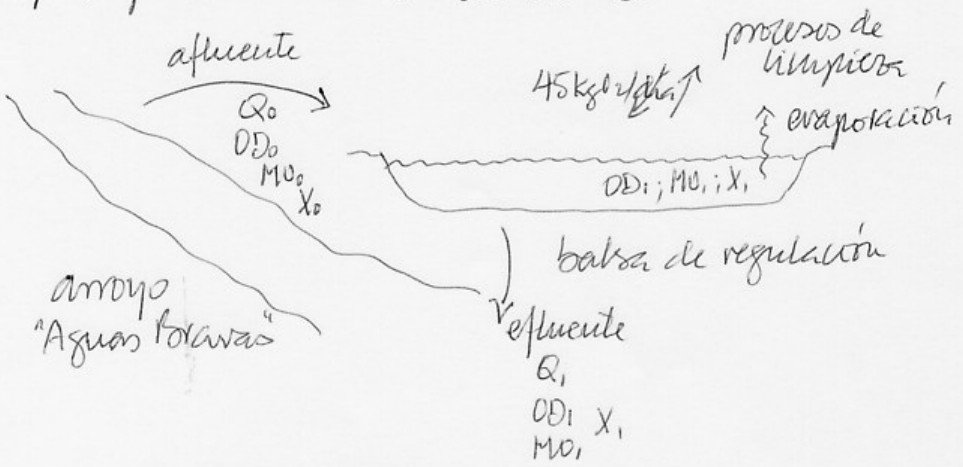
SE PIDE DETERMINAR:

6. El balance de oxígeno disuelto en la balsa de regulación.
7. La flujo de oxígeno (kg/día) que será necesario aportar a la balsa para mantener esas condiciones.
8. La capacidad volumétrica (m3/día) de los difusores de aire necesarios para asegurar el proceso de oxidación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

Ingeniería Ambiental 2008-2009
1er Ex. Final

Ej. 2 (2,5 ptos)



Hipótesis conocidas:

$OD_0 = 8{,}0$ mg O2/l $MO_0 \simeq 0$ mg MO/l $Q \times MO \equiv \frac{m^3}{día} \times \frac{mg}{l} \times \frac{1\,kg}{1000\,mg} \times \frac{1000\,l}{1\,m^3} = g/día$

$OD_1 = 1{,}0$ mg O2/l $MO_1 = 20$ mg O2/l $X_0 \simeq 0$ mg/l

$Q_{recap} = 0{,}15\,Q_0$ $V = 45 \times 25 \times 3{,}0 = 3375\ m^3$

$Q_1 = 0{,}85\,Q_0$

2. Balances másicos de la balsa –

• MO $\frac{d(V \cdot MO)}{dt} = Q_0 \cdot MO_0 + 45000 - Q_1 \cdot MO_1 - q \cdot V \cdot X_1 = 0$ en régimen permanente

• X (células) $\frac{d(V \cdot X_1)}{dt} = Q_0 \cdot X_0 - Q_1 \cdot X_1 + \mu_n X_1 V = 0$

Por otra parte:

$MO_1 = 20$ mg O2/l (sustrato de las células) $\rightarrow \mu = \frac{\mu_{máx} \cdot MO_1}{K_s + MO_1} = \frac{1{,}50 \cdot 20}{130 + 20} = \frac{30}{150} = 0{,}20\ día^{-1}$

$\mu_n = \mu - kd = 0{,}20 - 0{,}06 = 0{,}14\ día^{-1}$

$\mu = Y \cdot q$; $q = \frac{\mu}{Y} = \frac{0{,}20}{0{,}65} = 0{,}31\ día^{-1}$;

4. Balance celular (en régimen permanente)

$Q_0 \cdot X_0^{\,0} - Q_1 X_1 + \mu_n X_1 V = 0 \rightarrow Q_1 = \mu_n V \neq 0{,}85 Q_0 = \mu_n V$

$Q_0 = \frac{\mu_n V}{0{,}85} = \frac{0{,}14 \cdot 3375}{0{,}85} = 555{,}88\ m^3/día$.

CC BY NC ND

3. Balance másico de MO (régimen permanente)

$$Q_0 \overrightarrow{MO_0}^{0} + 45000 - Q_1 MO_1 - q X_1 V = 0$$

$$X_1 = \frac{45000 - Q_1 MO_1}{qV} = \frac{45000 - 0{,}85 \cdot 555{,}88 \cdot 20}{0{,}31 \times 3375} = 33{,}98 \text{ mg/l}$$

5. Sin recirculación $T_H = T_c$; $T_H = \frac{V}{Q_{ef}} = T_c = \frac{1}{\mu_m}$

$$T_H = \frac{3375}{0{,}85 \cdot 555{,}8} = 7{,}14 \text{ día} \Leftrightarrow T_H = \frac{1}{\mu_m} = \frac{1}{0{,}14} = 7{,}14 \text{ día}$$

6. Balance de oxígeno disuelto en la balsa

$$\frac{d(V \cdot OD_1)}{dt} = Q_0 \cdot OD_0 - Q_1 OD_1 - qVX_1 + \text{Aportación} = 0$$

(en régimen permanente)

Aportación $= qVX_1 + Q_1 OD_1 - Q_0 OD_0 =$ (unidades g/día)

$$= 0{,}31 \cdot 3375 \cdot 33{,}98 + 0{,}85 \cdot 555{,}88 \cdot 1{,}0 - 555{,}88 \times 8{,}0 =$$

$$= 35517{,}38 + 472{,}50 - 4447{,}04 = 31577{,}03 \text{ g/día}$$

7. Flujo de oxígeno necesario = 31,577 kg/día

8. Capacidad volumétrica de los difusores de aire:

$$Q_{aire} = 31{,}577 \frac{kg O_2}{día} \times \frac{100 \text{ kg aire}}{23 \text{ kg } O_2} \times \frac{1 m^3 \text{ aire}}{1{,}2 \text{ kg aire}} \times \frac{1}{0{,}45} =$$

$$= \frac{31{,}577 \cdot 100}{23 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}45} = 254{,}24 \text{ m}^3\text{aire/día}$$

CC BY NC ND

Tabla 2. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Esquema	Adjunto
2. Balances (reg. permanente)	
MO_1	$Q_0 MO_0 + 45000 - Q_1 MO_1 - qVX_1 = 0$
X_1	$Q_0 X_0 - Q_1 X_1 + \mu_n X_1 V = 0$
3. X_1	34 mg/l
4. Q_0	560 m^3/día
5. T_H	7,1 día
6. Balance de oxígeno (reg. permanente)	$Q_0 OD_0 - Q_1 OD_1 - qX_1 V + Aport = 0$
7. Flujo de oxígeno	32 kg O_2/día
8. Flujo de aire	250 m^3 aire/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial - 1 Final - Curso 2008-09

3 (25 puntos). Se trata de dimensionar un sistema de desinfección que asegure la calidad sanitaria del agua de una piscina pública ubicada en los jardines del Hotel "Las Arenas". La autorización sanitaria para el mantenimiento y explotación de la piscina establece que:

1. El número máximo de usuarios autorizados será de 100 personas al día, de las cuales se estima que un máximo de 50 estarán permanentemente en el agua (no necesariamente los mismos). La piscina permanecerá abierta al público desde las 8:00 h hasta las 22:00 h.
2. La contaminación media aportada por cada bañista se estima en 9 10^6 CF/persona-hora.
3. La piscina se comporta como un reactor de mezcla completa durante las horas de acceso del público. Durante esas 14 horas, el agua de la piscina se renueva con un flujo estable de agua de pozo equivalente a 50 litros por cada usuario autorizado, además del agua evaporada por la acción solar durante todo el día, estimada en un valor medio de 5 mm/14 horas.
4. El agua de la piscina deberá mantenerse en todo momento a pH = 8,0 y adecuadamente desinfectada, con una concentración máxima de 1 CF/100 mL.

CONSIDERANDO QUE:

1. La piscina tiene una superficie de 45 x 65 m y una profundidad media de 2,80 m.
2. El abastecimiento de agua a la piscina se realiza a partir de agua de pozo, que puede contener una concentración media de hasta 6 x 10^3 CF/100 mL.
3. La aportación de cloro libre se realiza mediante lejía industrial, con un 12,5% de cloro activo. Un 5% del desinfectante presente en la piscina se inactiva cada hora por acción de la luz solar. Además, un 15% del desinfectante añadido durante las horas de baño se inactiva casi instantáneamente por reacción con el amoníaco liberado por los bañistas.
4. El proceso de desinfección obedece a una ley del tipo

$$\frac{dN}{dt} = -kCN$$

N = concentración bacteriana, CF/100 ml

C = concentración de desinfectante, mg Cl_2/L

5. La velocidad de desinfección de varios desinfectantes simultáneos es aditiva.
6. Un estudio experimental realizado con un reactor de flujo discontinuo indica que el 95% de los coliformes fecales contenidos en un agua son inactivados a 20°C mediante una concentración de 0,38 mg Cl2/l como OCl^- al cabo de 20 minutos, o alternativamente con una concentración de 0,02 mg Cl2/l como HOCl al cabo de 5 minutos.

DETERMINAR:

1. El diagrama detallado del reactor experimental y los balances másicos utilizados para determinar las constantes de desinfección.
2. Las constantes de desinfección de ambas especies cloradas, referidas a horas como unidad de tiempo.
3. Un esquema detallado de la piscina (en tanto que reactor) en el que se indiquen claramente todas las variables y factores a tener en cuenta para poder establecer los balances de microorganismos y de desinfectante.
4. Los balances másicos de microorganismos y de desinfectante (detalladamente deducidos) necesarios para calcular la concentración de desinfectante que permite asegura las normas de calidad requeridas.
5. La concentración mínima de cloro activo, en mg Cl_2/l, que debe contener el agua de la piscina, en régimen permanente, para asegurar el cumplimiento de la calidad sanitaria requerida.
6. El caudal de lejía industrial que es necesario añadir al agua de la piscina diariamente, en litros/día.

$pK_{HOCl} = 7,4$ a 20° C.

Resumir los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

Ejer. 3 (25 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2008-2009
1er Final - 2º Parcial

1. Constantes de desinfección; reactor flujo discontinuo

$t=0 \quad N_0$ Balance microorganismos
$t=t \quad N_t$ $\frac{d(VN_t)}{dt} = \cancel{Q_{ent}}^{0} - \cancel{Q_{ef}}^{0} - V(kCN_i)$
V

$$\frac{dN_t}{dt} = -kCN_t \rightarrow \frac{dN_t}{N_t} = -KC\,dt \rightarrow \int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t} = -kC \int_0^t dt$$

$$\ln N_t \Big|_{N_0}^{N_t} = -kC \cdot t \Big|_0^t \; ; \; \ln N_t - \ln N_0 = -kC(t-0)$$

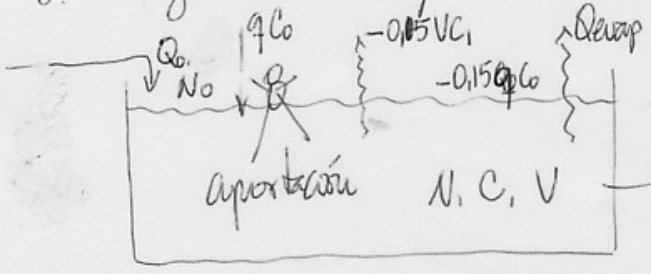
$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kCt \rightarrow \frac{N_t}{N_0} = \exp(-kCt) \; ; \; k = -\frac{1}{Ct} \ln \frac{N_t}{N_0}$$

2. Condiciones experimentales: $\frac{N_t}{N_0} = \frac{100-95}{100} = \frac{5}{100}$

• HOC; $k_{HOC} = -\frac{1}{0{,}02 \cdot 5\,min \times \frac{1h}{60min}} \cdot \ln \frac{5}{100} = 1797{,}44 \frac{l}{mg \cdot h}$

• DCE; $k_{DCE} = -\frac{1}{0{,}38 \cdot 20min \cdot \frac{1h}{60min}} \cdot \ln \frac{5}{100} = 23{,}65 \frac{l}{mg \cdot h}$

3. Diagrama de la piscina:



Consideramos que $q \ll Q_0$
$q \ll Q_{evap}$
$q \ll Q_1$

de modo que
$Q_0 \cong Q_{evap} + Q_1$ (renovación)

BY NC ND

$Q_{evap} = 5\ \frac{mm}{14h} \cdot 45.65\ m^2 = 5\ \frac{l}{m^2 \cdot 14h} \cdot 45.65\ m^2 = \frac{5 \cdot 45.65\ l}{14h} = 1044{,}64\ l/h$

$Q_{resora} = 100\ personas \cdot 50\ \frac{l}{persona} \cdot \frac{1}{14h} = 357\ l/hora$

Q_0 (aporte del pozo) $= (1044{,}64 + 357)\ l/hora = 1401{,}79\ l/hora$

$V = 45.65 \cdot 2{,}80 = 8190\ m^3$.

$N_0 = 6 \cdot 10^3\ CF/100ml = 6 \cdot 10^4\ CF/l$

$N_1 = 1\ CF/100\ ml = 10\ CF/l$

Aportación: $50\ personas \times 9 \cdot 10^6\ CF/pers\cdot hora = 45 \cdot 10^7\ CF/h$

4. Balances másicos en el reactor:

- microorg. (CF) :: $\frac{d(VX_1)}{dt} = Q_0 N_0 + Aport + Q_1 N_1 - (\Sigma k_i C_i) \cdot V \cdot N_1 = 0$ (régimen permanente)

- desinfectante :: $\frac{d(VC_1)}{dt} = q \cdot C_0 - 0{,}05 V C_1 - 0{,}15 q C_0 - Q_1 C_1 = 0$ (régimen permanente)

5. Conc. de desinfectante:

$1401{,}79\ \frac{l}{h} \cdot 6\,10^4\ CF/l + 45 \cdot 10^7\ CF/h - 357\ l/h \cdot 10 - (\Sigma k_i C_i) \cdot 8190 \cdot 10^3 \cdot 10 = 0$

$$\Sigma k_i C_i = \frac{1401{,}79 \cdot 6 \cdot 10^4 + 45 \cdot 10^7 - 3570}{8190 \cdot 10^4} = 6{,}52\ h^{-1}$$

$\Sigma k_i C_i = k_{HOCl} \cdot C_{HOCl} + k_{OCl^-} \cdot C_{OCl^-} = 6.52$

Además $\frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} = \frac{[H^+] C_{OCl^-}}{C_{HOCl}} = 10^{-7{,}4}$; @ pH = 8,0 $\Rightarrow \frac{C_{OCl^-}}{C_{HOCl}} = \frac{10^{-7.4}}{10^{-8.0}} =$

$= 10^{0{,}6} = 3{,}98$

BY NC ND

$$1797{,}44 \cdot \frac{l}{mg \cdot h} \cdot C_{HOCl} + 23{,}65 \frac{l}{mg \cdot h} \cdot 3{,}98 \cdot C_{HOCl} = 6{,}52$$

$$C_{HOCl} = \frac{6{,}52}{1797{,}44 + 23{,}65 \cdot 3{,}98} = 0{,}003 \text{ mg Cl}_2/l$$

$$C_{OCl^-} = 3{,}98\, C_{HOCl} = 0{,}014 \text{ mg Cl}_2/l$$

$$\text{Cloro total} = C_{HOCl} + C_{OCl^-} = 0{,}017 \text{ mg Cl}_2/l$$

6. Caudal de lejía:

$$q \cdot C_0 - 0{,}05 V C_1 - 0{,}15 q C_0 - Q_1 C_1 = 0$$

$$q = \frac{Q_1 C_1 + 0{,}05 V C_1}{0{,}85 C_0} = \frac{357 l/h \cdot 0{,}017 \frac{mg Cl_2}{l} + 0{,}05 \cdot 8190 \cdot 10^3 \frac{l}{h} \cdot 0{,}017 \frac{mg Cl_2}{l}}{0{,}85 \cdot 125000 \text{ mg Cl}_2/l} =$$

$$= \frac{6{,}13 + 7030{,}68}{0{,}85 \cdot 125000} = 0{,}066 \, l/h$$

Caudal diario: $0{,}066 \, l/h \times 14 \, h/día = 0{,}927 \, l/día$

$\simeq 0{,}93 \, l/día$

cc BY NC ND

Tabla 3. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Diagrama reactor	Adjunto
Balance másico	$N_t = N_0 \exp(-kt)$ $\frac{d(VN_t)}{dt} = -VKCN_t$
2. Constantes desinfección	
K_{HOCl}	1800 $\frac{l}{mgCl_2 \cdot h}$
K_{OCl^-}	24 $\frac{l}{mgCl_2 \cdot h}$
3. Esquema piscina	Adjunto
4. Balances másicos	$Q_0N_0 + A_{post} - Q_1N_1 - (\Sigma k_i C_i)VN_1 = 0$ $qC_0 - 0{,}05VC_1 - 0{,}15qC_0 - Q_1C_1 = 0$
5. Conc. mínima desinf.	0,017 $mgCl_2/l$
6. Caudal de lejía	0,93 l/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial 1 Final - Curso 2008-09

4 (10 puntos). Se desea redactar el anteproyecto de las instalaciones de saneamiento autónomo de una parcela tipo de la Urbanización "Casas Blancas". Las ordenanzas municipales permiten la construcción de una vivienda individual por parcela, cuya ocupación media estable se ha estimado en 4 personas por vivienda. Las parcelas tiene una superficie rectangular de 50 x 65 m^2. La dotación media de agua es de 170 litros/hab.día, de los cuales un 75% será de consumo doméstico y el resto se dedicará a riego de jardinería.

CONSIDERANDO QUE:

1. El tiempo medio de permanencia del agua en la fosa séptica ha de ser igual o superior a 3,0 días.
2. La velocidad de acumulación de fango en la fosa séptica se ha estimado en 75 litros/hab-año. El fango se acumula exclusivamente en el fondo del primer compartimento de la fosa.
3. La limpieza del fango contenido en la fosa se realizará una vez cada 2 años.
4. Las normas aplicables para la construcción de la fosa séptica son: 1) una profundidad mínima del agua en la fosa de 1,30 m, 2) dos compartimientos, el primero con 2/3 y el segundo con 1/3 de la capacidad total, 3) una relación largo/ancho = 2,5 y 4) un resguardo de 0,30 m.
5. El sistema de infiltración constará de 2 zanjas iguales y paralelas, separadas 5,0 metros entre sí y en funcionamiento simultáneo, debiendo instalarse otro sistema similar de reserva.
6. El perfil del suelo consta de varios metros de material permeable con una velocidad de infiltración estable aproximada de 4,0 cm/día.
7. La zanja de infiltración tendrá una profundidad total de 1,0 m, con una sección de recubrimiento de suelo vegetal de 0,30 m y estará dotada de una tubería de distribución de 0,15 m de diámetro.

SE DESEA DETERMINAR:

1. El volumen total, en m^3, y las dimensiones geométricas (largo, ancho y alto, en metros) de la fosa séptica.
2. El espesor máximo de fango acumulado, en metros, en el fondo de la fosa, antes de proceder a su limpieza.
3. La longitud, la profundidad y la anchura del sistema de 2 zanjas longitudinales necesarias (configuración operativa básica) para la infiltración del efluente de la fosa séptica.
4. Un esquema geométrico de la sección longitudinal de la fosa séptica, con indicación detallada de todos sus elementos funcionales, en la que se reflejen claramente las dimensiones de cada uno de ellos.
5. Un esquema geométrico de la sección transversal de la zanja de infiltración, con indicación detallada de todos sus elementos funcionales y constructivos, en el que se reflejen las dimensiones de cada uno de ellos.
6. Un plano en planta indicando la posición de la vivienda, de la fosa séptica, del sistema de zanjas de infiltración (operativas y de reserva) y de los elementos necesarios para asegurar el mantenimiento y la explotación de toda la instalación.

Resumir los resultados en una Tabla

utilizando 2 cifras significativas

Incluir un plano esquemático de las instalaciones

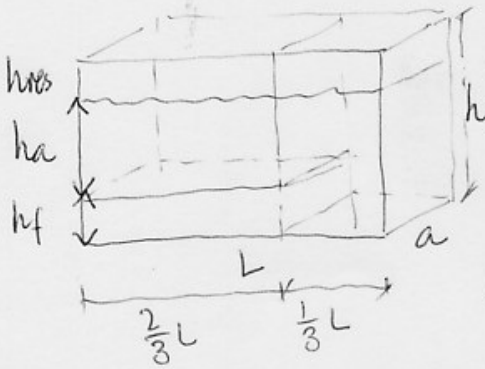
CC BY NC ND

Ej. 4 (10 ptos) Ingeniería Ambiental 2008-2009
1er. Ex. Final

$Q = 170 \frac{l}{hab \cdot dia} \times 0{,}75 \times 4\ hab = 510\ l/dia = 0{,}510\ m^3/dia$

$V_{agua} = Q \cdot T = 0.510\ m^3/dia \times 3\ dia = 1{,}530\ m^3$

$V_{pozo} = Q_f \cdot T_f = 75 \frac{l}{hab \cdot año} \times 4\ hab \times 2\ años = 600\ l = 0{,}600\ m^3$



1) $V_f = \frac{2}{3} L \cdot a \cdot h_f = 0{,}600$

2) $V_a = \frac{2}{3} L \cdot a \cdot h_a + \frac{1}{3} L \cdot a \cdot (h_a + h_f) = 1{,}530$

$h_a = 1{,}3\ m$; $\frac{L}{a} = 2{,}5$; $h_{resg} = 0{,}30\ m$

1) $\frac{2}{3} L \cdot a \cdot h_f = 0{,}600$

2) $\frac{2}{3} L \cdot a \cdot \left[h_a + \frac{1}{2}(h_a + h_f)\right] = 1{,}530$

$$\left\{ \frac{h_f}{h_a + \frac{1}{2}(h_a + h_f)} = \frac{0{,}600}{1{,}530} \right.$$

$1{,}530\, h_f = 0{,}600 \cdot 1.5 \cdot h_a + 0{,}600 \cdot 0{,}5 \cdot h_f$

$(1{,}530 - 0{,}300)\, h_f = 0{,}900\, h_a$; $h_f = \frac{0{,}900 \cdot 1{,}3}{1{,}230} = 0{,}95\ m$

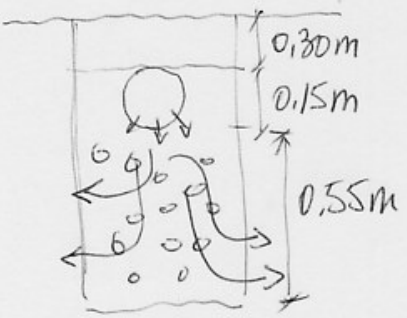
$\frac{2}{3} L \cdot a \cdot h_f = 0{,}600 \rightarrow \frac{2}{3} 2{,}5 a^2 \cdot h_f = 0{,}600 \rightarrow a^2 = \frac{0{,}600 \cdot 3}{2 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}95} = 0{,}38$

$a = 0{,}62\ m \quad L = 2{,}5\, a = 1{,}54\ m \quad h_t = 1{,}30 + 0{,}95 + 0{,}30 = 2{,}55$

$V_{total} = 0{,}62 \times 1{,}54 \times 2{,}55 = 2{,}43\ m^3$

3. Zanjas de infiltración

CC BY NC ND



Superficie filtrante × veloc. filtración =

= 2 zanjas × 2 lados/zanja × 0,55 m

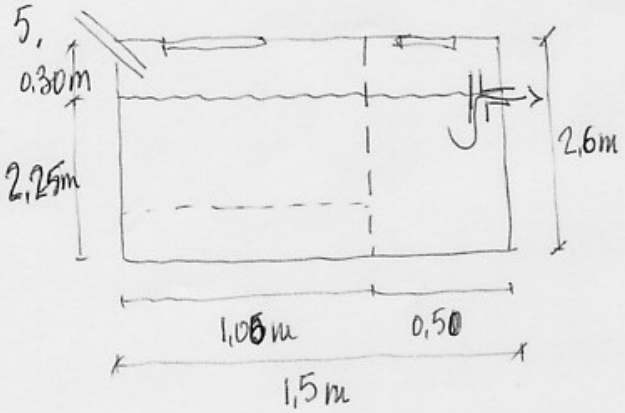
× Longitud × $4{,}0 \times 10^{-2}$ m/día =

= $4 \times 0{,}55 \times L \times 4 \times 10^{-2}$ m³/día

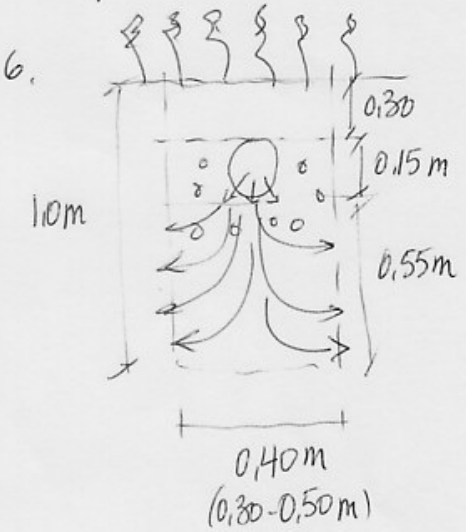
$Q_{filtrado} = 0{,}510$ m³/día → $L = \dfrac{0{,}510}{4 \times 0{,}55 \times 4 \times 10^{-2}} = 5{,}80$ m

La anchura de la zanja se determina en función de la maquinaria disponible; entre un mínimo (tamaño del tubo) y un ancho razonable: 30-50 cm. No influye en el proceso de infiltración.

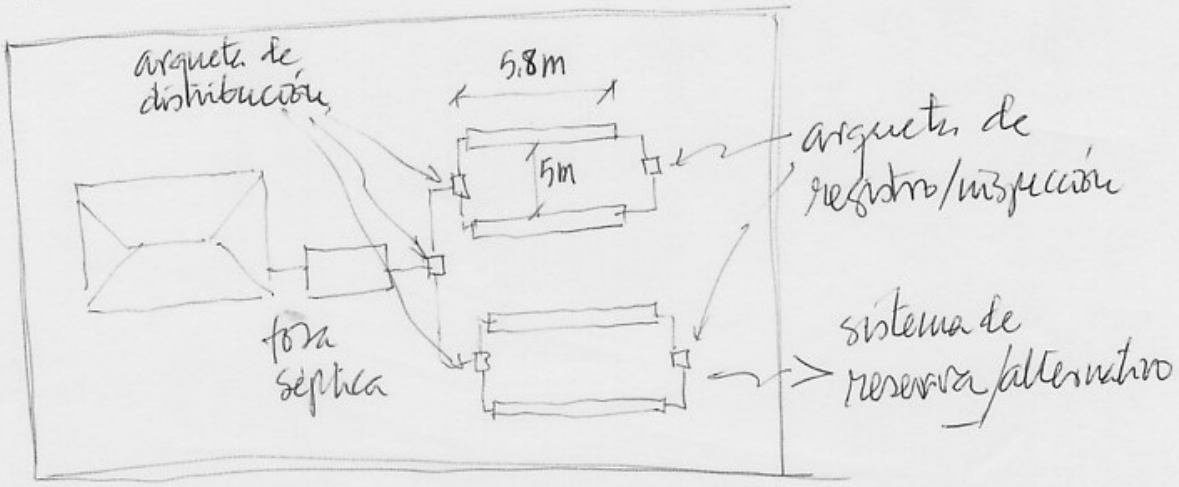
5.



6.



7. Planta del sistema



cc BY NC ND

Tabla 4. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor	
1. Fosa séptica	$1,5 \times 0,60 \times 2,60\ m^3$ $Vol = 2,4\ m^3$	✓
2. Espesor de fango h_f	0,95 m	✓
3. Zanja de infiltración 2 zanjas de (otras 2 de reserva)	$5,8 \times 0,40 \times 1,0\ m^3$	✓
4. Esquema fosa	adjunto	✓
5. Esquema zanja	adjunto	
6. Esquema instalación	adjunto	✓

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Final - Curso 2008-09

2 (20 puntos). Las obras de construcción de una nueva estación de tren AVE requieren la refrigeración y limpieza de diversa maquinaria de obras públicas, de forma continua durante las 24 horas del día. Los procesos de refrigeración y limpieza se realizan tomando y devolviendo agua desde una gran balsa de regulación construida al efecto. Con objeto de mantener la balsa en condiciones aerobias, se dispone de una alimentación de agua superficial del arroyo "Aguas Tranquilas" en régimen continuo y estable, así como del correspondiente vertido del agua efluente de la balsa, que se realiza en un punto aguas abajo del mismo arroyo.

Los procesos de refrigeración y limpieza NO alteran significativamente la concentración de oxígeno disuelto del agua. El tiempo de estancia del agua en estos procesos es insignificante. Sin embargo, el uso del agua para estos fines conlleva una aportación continua de materia orgánica disuelta fácilmente biodegradable, estimada en 55 kg O_2/día. La manipulación del agua durante los procesos de refrigeración y limpieza provoca una pérdida por evaporación y pérdidas, cifrada en un 20% del caudal afluente a la balsa. Los flujos de agua afluente del arroyo, efluente de la balsa, y de extracción y retorno de los procesos de limpieza se realizan de tal manera que aseguran un comportamiento de la balsa como un reactor de flujo continuo y mezcla completa.

Para potenciar el proceso biológico natural de mineralización de la materia orgánica que tiene lugar en la balsa, se han instalado varios difusores de aire en ella, capaces de aportar el oxígeno consumido por las bacterias para oxidar la materia orgánica contenida en el agua y que les sirve de sustrato.

SABIENDO QUE:

1. La balsa de regulación de agua tiene unas dimensiones útiles de 40 x 30 x 3,0 m^3.
2. El oxígeno disuelto del agua del arroyo "Aguas Tranquilas" (alimentación de la balsa) es de 8,5 mg O_2/L.
3. El oxígeno disuelto del agua de la balsa se debe mantener en 0,5 mg O_2/L, para evitar anaerobiosis.
4. El contenido de materia orgánica biodegradable disuelta en el agua de alimentación es de 5,0 mg O_2/L.
5. El contenido de células del agua de alimentación del arroyo es insignificante.
6. La concentración de materia orgánica disuelta en el efluente de la balsa no debe superar 15 mg O_2/L.
7. La degradación de la materia orgánica se realiza exclusivamente por vía biológica, mediante un cultivo bacteriano natural cuyas características cinéticas han sido determinadas experimentalmente (Tabla 2).

Tabla 2. Constantes cinéticas del cultivo biológico heterótrofo obtenido utilizando la materia orgánica como sustrato.

Parámetro	Valor
$\mu_{máx}$	1,45 mg células/mg células-día
K_S	140 mg MO/L
Y	0,60 mg células/mg MO
k_d	0,050 mg células/mg células-día

SE PIDE DETERMINAR:

1. Un dibujo esquemático (lo más realista posible)de la balsa de regulación, con todos los factores necesarios para realizar los balances másicos de materia orgánica disuelta y de masa celular.
2. Los balances másicos de materia orgánica disuelta y de masa celular de la balsa de regulación, una vez alcanzado el régimen permanente.
3. El caudal de agua de alimentación necesario para asegurar esas condiciones, en m^3/día.
4. La concentración de masa celular presente en el efluente de la balsa de regulación, en mg/L.
5. El tiempo medio de estancia del agua en la balsa de regulación, en días.
6. La tasa de evaporación equivalente desde la superficie de la balsa, en mm/día.

Considerando que los difusores de aire necesarios han de aportar, como mínimo, un flujo de oxígeno igual al oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Considerando que el aire utilizado tiene un 23% en peso de oxígeno, su densidad en condiciones normales (temperatura y presión) es de 1,2 kg/m^3, y la eficiencia del proceso mecánico de transferencia del oxígeno desde el aire al agua es del 65%,

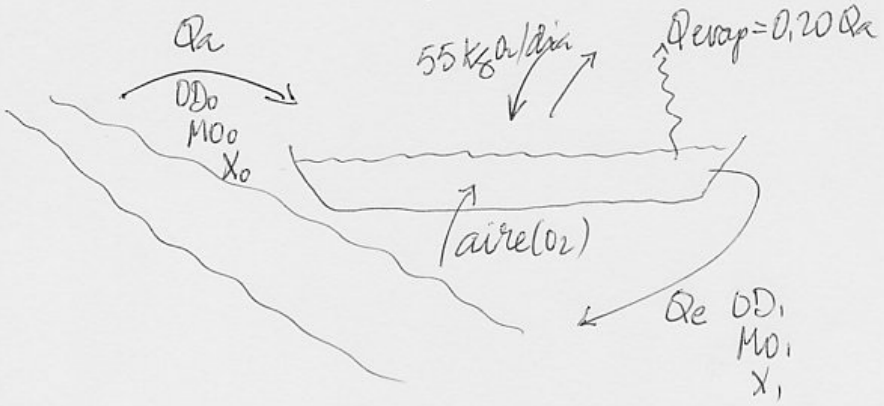
BY NC ND

SE PIDE DETERMINAR:

7. El balance de oxígeno disuelto en la balsa de regulación.
8. La flujo de oxígeno (kg/día) que será necesario aportar a la balsa para mantener esas condiciones.
9. La capacidad volumétrica (m3/día) de los difusores de aire necesarios para asegurar el proceso de oxidación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

Ej. 2. (2 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2º Final 2008-07



Volumen = 40 × 30 × 3 = 3600 m³

Variables: Qa, Qe, Qevap = 0,20 Qa → Qe = 0,80 Qa

OD ≡ ODo = 8,5 mgO2/l ; OD1 = 0,5 mgO2/l

células ≡ Xo ≅ 0 ; X1 = desconocido

MO ≡ MOo = 5 mgO2/l ; MO1 = 15 mgO2/l ; aporte = 55 kgO2/día

Unidades de flujo Q·MO = Q(m³/día) × MO(mg/l) =

= Q(m³/día) × MO(g/m³) = g/día

Balances másicos:

2a Materia orgánica "sustrato" :: $\frac{d(V \cdot MO_1)}{dt} = Q_a \cdot MO_o + 55000 - Q_e MO_1 - q X_1 V$

2b células :: $\frac{d(V X_1)}{dt} = Q_a \overset{0}{\cancel{X_o}} - Q_e \cdot X_1 + \mu_n X \cdot V$

en condiciones de régimen permanente o estacionario :: $\frac{dC}{dt} = 0$

2b. $-Q_e X_1 + \mu_n X_1 V = 0 \rightarrow \mu_n = \frac{Q_e}{V}$

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot MO_1}{K_s + MO_1} = \frac{1,45 \cdot 15}{140+15} = \frac{21,75}{155} = 0,140\ día^{-1}$$

$$\mu_n = \mu - k_d = 0,140 - 0,050 = 0,090 \quad ; \quad \frac{1}{\mu_n} = 11,071\ día$$

$$\mu = Y \cdot q \rightarrow q = \frac{\mu}{Y} = \frac{0,140}{0,60} = 0,234\ día^{-1}$$

3. $$Q_e = V \cdot \mu_n = 3600 \cdot 0,090 = 325,161\ m^3/día$$

$$Q_a = \frac{Q_e}{0,80} = \frac{325,161}{0,80} = 406,452\ m^3/día$$

4. $$X_1 = \frac{Q_a \cdot MO_0 + 55000 - Q_e \cdot MO_1}{q \cdot V} = \frac{406,452 \cdot 5 + 55000 - 325,161 \cdot 15}{0,234 \cdot 3600} =$$

$$= \frac{52\,154,843}{842,400} = 61.912\ mg/l$$

5. Sistema sin recirculación $T_H = T_c = \frac{1}{\mu_n} = 11,071\ día$ $\quad T_H = \frac{V}{Q_e} = \frac{3600}{325} = 11,07$

6. Evaporación: $\frac{0,2 \cdot Q_a\ m^3/día}{40 \times 30\ m^2} = \frac{0,2 \cdot 406,452}{1200} = 0,068\ m/día =$ $68\ mm/día$

7. Balance de oxígeno: (régimen permanente)

$$\frac{d(V \cdot OD_1)}{dt} = Q_a \cdot OD_0 + \text{aportación}(g/día) - Q_e \cdot OD_1 - qX_1 \cdot V = 0$$

$$\text{aportación} = Q_e \cdot OD_1 + qX_1 V - Q_a \cdot OD_0 = 325,161 \cdot 0,5 + 0,234 \cdot 61,912 \times 3600 -$$

$$- 406,452 \cdot 5 = 162,581 + 52\,154,669 - 3454,842 =$$

$$= 48\,862,408\ g\,O_2/día = 48,862\ kg\,O_2/día$$

$$= 49\ kg\,O_2/día$$

CC BY NC ND

9. Flujo de aire $= 48{,}862 \frac{kg\,O_2}{día} \times \frac{100\,kg\,aire}{23\,kg\,O_2} \times \frac{1\,m^3}{1{,}2\,kg\,aire} \times \frac{1}{0{,}65} =$

$= 272{,}365\ m^3\,aire/día$

Tabla 2. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Dibujo esquema	Adjunto
2. Balances (rég. estac.)	$Qa\,MO_0 + 55000 - Qe\,MO_1 - qX_1V = 0$ $Qa\,X_0 - Qe\,X_1 + \mu_m X_1 V = 0$
3. Caudal afluente Q_a	410 m^3/día
4. Conc. celular, X_1	62 mg/l
5. Tiempo residencia hidr.	11 días
6. Tasa evaporación	68 mm/día
7. Balance de oxígeno (rég. estacionario)	$Qa\,OD_0 + Aport - Qe\,OD_1 - qX_1V = 0$
8. Flujo de oxígeno	49 kg O_2/día
9. Capacidad difusores de aire	270 m^3/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Final - Curso 2008-09

3 (20 puntos). Se desea realizar un anteproyecto de los procesos de floculación, decantación y filtración con arena de la planta de potabilización de agua del municipio de Valles Verdes.

El Pliego de Bases para la redacción del proyecto establece que:

1. La población del municipio es15.000 habitantes y su dotación media de agua es de 140 litros/hab.día.
2. El proceso de floculación constará de 2 reactores de mezcla completa con T = 10 minutos cada uno, de forma cilíndrica, con diámetro igual a la altura del agua y un resguardo de 0,25 m.
3. La turbiedad media del agua afluente es de 50 UNT.
4. La turbiedad media del agua efluente será de 5 UNT.
5. Los decantadores han de ser iguales, de planta rectangular y base horizontal, con un tiempo de estancia hidráulica de 2,5 horas y una relación largo/ancho de 4,0. La longitud máxima de los decantadores ha de ser 10 m, debiendo adoptarse un número mínimo de 3 decantadores activos. No se proyectará ningún decantador adicional de reserva.
6. Los filtros de arena rápidos han de ser iguales, de planta rectangular y base horizontal, con una carga hidráulica superficial de 8 m/hora, una relación largo/ancho de 2,0 y una longitud máxima de 5,0 m. Deberá adoptarse un filtro adicional a los estrictamente necesarios (en estado de fuera de servicio), como medida de fiabilidad del proceso.
7. La distribución de frecuencias, f(v), de la velocidad de decantación de los flóculos obtenidos en el proceso de coagulación-floculación es la esquematizada en la figura 3.

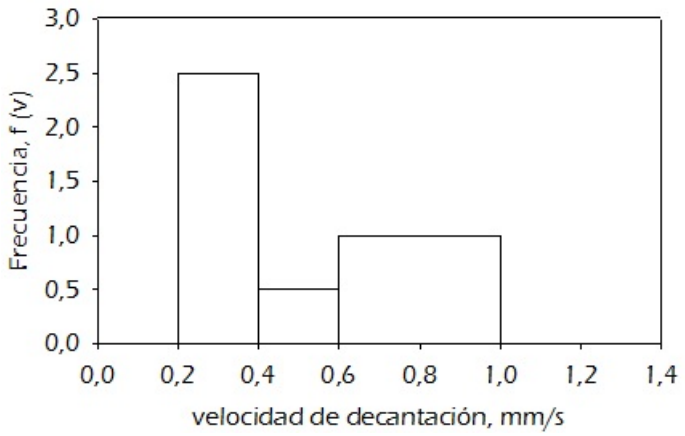


Figura 3. Distribución de frecuencias de la velocidad de decantación

SE DESEA DETERMINAR:

1. El diámetro y la altura de cada uno de los 2 floculadores necesarios, expresados en metros.
2. La expresión gráfica de la distribución acumulada de frecuencias de la velocidad de decantación.
3. La carga hidráulica superficial del decantador, en m^3/m^2.día, que asegure el nivel de calidad efluente requerido, de acuerdo con el modelo de decantación de Hazen.
4. El número y las dimensiones de los decantadores necesarios, expresadas en metros.
5. El número y las dimensiones de los filtros de arena necesarios, expresadas en metros.
6. La expresión algebraica y la representación gráfica de la distribución de frecuencias de la velocidad de decantación de las partículas que salen en el efluente del decantador.
7. Un esquema en planta de la distribución de los decantadores y filtros, con indicación de los conductos necesarios, desde que el agua llega a los floculadores hasta que el caudal total sale de los filtros.

Resumir los resultados en una Tabla
Utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

Ej. 3. (20 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2º Ex. Final 2008-09

Caudal = 15000 hab. 140 l/hab. día = 2100 m³/día

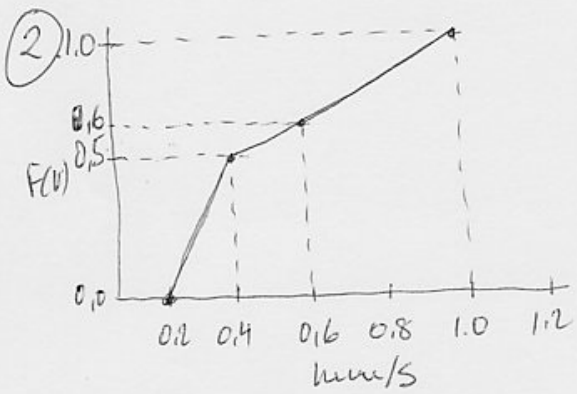
① Floculadores: $V_{agua} = Q \cdot T = 2100 \frac{m^3}{día} \cdot 10 \text{ min} \cdot \frac{1 día}{24,60 \text{ min}} = 14,583 m^3$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_{agua} = \frac{\pi D^2 \cdot D}{4} = \pi \frac{D^3}{4} = 14,583 \rightarrow D^3 = \frac{4 \cdot 14,583}{\pi} = 18,568$$

$$D = \sqrt[3]{18,568} = 2,648 \text{ m.} \quad H_a = D = 2,648$$

$H_{cota} = 2,648 + 0,25 = 2,898$ m

$V_{cota} = 15,960 m^3$

② 

Primera tentativa de $v_0 = 0,4$ mm/s

Eliminación de turbiedad

$$\text{requerida} = \frac{50-5}{50} = \frac{45}{50} = 0,90$$

para $v_0 = 0,40$ $\quad Area = 0,4 \cdot 1,0 - \frac{1}{2}(0,4-0,2) \cdot 0,5 =$

$$= 0,4 - \frac{0,2 \cdot 0,5}{2} = 0,40 - 0,05 = 0,35$$

③ $\text{Retención} = \frac{Area}{V_0} = \frac{0,35}{0,40} = 0,875$ luego $v_0 < 0,40$

Ecuación de la recta entre 0,20 y 0,40 mm/s.

$$\frac{F-0}{v_0 - 0,2} = \frac{0,5-0}{0,40-0,20} = \frac{0,50}{0,20} \rightarrow F = \frac{0,50}{0,20}(v_0 - 0,20)$$

para $v_0 < 0,40 \rightarrow Area = v_0 \times 1,0 - \frac{1}{2}(v_0 - 0,2)\frac{0,5}{0,2}(v_0 - 0,20)$

También $\text{retención} = \frac{Area}{V_0} \rightarrow Area = \text{reten} \cdot V_0 = 0,90 \cdot v_0$

CC BY NC ND

$V_0 - \frac{0,5}{0,4}(V_0 - 0,2)^2 = 0,9\,V_0$; $0,4\,V_0 - 0,5(V_0 - 0,2)^2 = 0,36\,V_0$

$0,4\,V_0 - 0,36\,V_0 - 0,5\,V_0^2 - 0,5 \cdot 0,2^2 + 2 \cdot 0,5 \cdot V_0 \cdot 0,2 = 0$

$0,24\,V_0 - 0,5\,V_0^2 - 0,02 = 0$; $0,5\,V_0^2 - 0,24\,V_0 + 0,02 = 0$

$V_0 = \frac{0,24 \pm \sqrt{0,24^2 - 4 \cdot 0,5 \cdot 0,02}}{2 \cdot 0,5} = 0,24 \pm 0,133$ → 0,373 mm/s ✓

→ 0,107 mm/s (fuera de intervalo de validez 0,2-0,4)

carga hidráulica: $0,373 \frac{mm}{s} \times \frac{86400\,s}{día} \times \frac{1m}{1000\,mm} = 32,198\,m^3/m^2\,día$

4. Decantadores (colocados en paralelo)

dimensión máxima: $S = L \cdot A = 10 \cdot \frac{10}{4} = 25\,m^2$

Superficie necesaria: $\frac{\text{Caudal}}{\text{carga hidr.}} = \frac{2100\,m^3/día}{32,198\,m^3/m^2\,día} = 65,221\,m^2$

Luego $n = \frac{65,221\,m^2}{25\,m^2/ud} = 2,6$ → tomaremos $n = 3$

superficie unitaria: $\frac{65,221\,m^2}{3} = 21,74\,m^2$

superficie $= L \cdot A = L \cdot \frac{L}{4} = 21,74 \rightarrow L^2 = 4 \times 21,74$ → $L = 9,325\,m$, $A = 2,331\,m$

$V = Q \cdot T = 2100\,m^3/día \times 2,5\,h \times \frac{1\,día}{24\,h} = 218,750\,m^3$

$V = S \cdot H \rightarrow H = \frac{V}{S} = \frac{218,750}{65,221} = 3,354\,m$

5. Superficie necesaria: $S = \frac{Q}{\text{carga}} = \frac{2100\,m^3/día}{8\,\frac{m}{h} \times \frac{24\,h}{1\,día}} = \frac{2100}{8 \times 24} = 10,938\,m^2$

superficie unitaria máxima: $L \times A = 5 \times \frac{5}{2} = \frac{25}{2} = 12,5\,m^2$

Luego 1 (ud) filtro será suficiente (con otro de reserva)

BY NC ND

filtro necesario $S = \frac{2100}{8 \times 24} = 10{,}938\ m^2 = L \cdot \frac{L}{2} = \frac{L^2}{2}$ $\Big| \begin{matrix} L = 4{,}677\ m \\ A = 2{,}339\ m \end{matrix}$

6. Expresión algebraica: retención parcial $\frac{V}{V_0} f(V)dV$

salida parcial $\left(1 - \frac{V}{V_0}\right) f(V)dV$

nueva distribución $f'(V) = K \cdot \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) f(V) = k\left(1 - \frac{V}{V_0}\right) 2{,}5$

condición de distribución de frecuencias $\int_0^{V_0} f'(V)dV = 1{,}0$

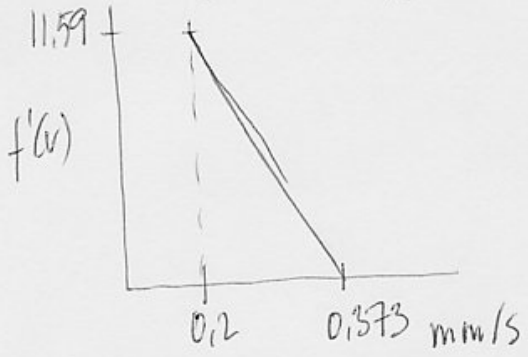
$$1 = \int_{0{,}2}^{0{,}373} k\left(1 - \frac{V}{V_0}\right) 2{,}5\, dV = 2{,}5k\left[V - \frac{V^2}{2V_0}\right]\Bigg|_{0{,}2}^{0{,}373} =$$

$$= 2{,}5k\left[0{,}373 - 0{,}2 - \frac{0{,}373^2}{2 \cdot 0{,}373} + \frac{0{,}2^2}{2 \cdot 0{,}373}\right] = 0{,}100 \cdot k$$

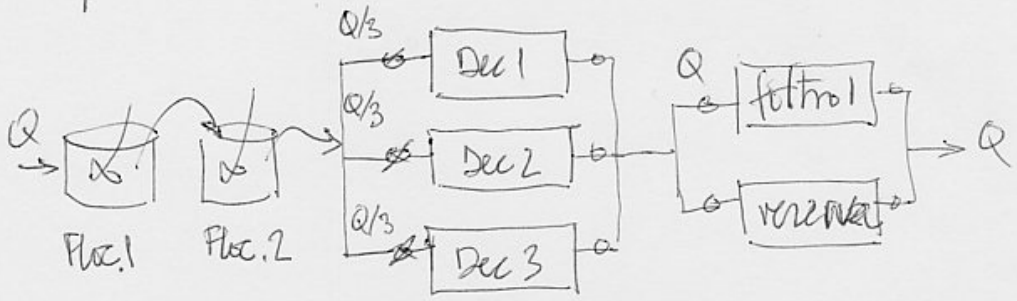
luego $k = \frac{1}{0{,}100} = 10$ $\qquad f'(V) = 25\left(1 - \frac{V}{0{,}373}\right) = 25 - 67V$

$V = 0{,}20 \rightarrow f'(V) = 11{,}595$

$V = 0{,}373 \rightarrow f'(V) = 0$



7. Esquema de la instalación:



cc BY NC ND

Tabla 3. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. Floculadores	D = 2,6 m H = 2,9 m V = 15 m^3
2. Expresión gráfica	adjunta
3. Carga hidráulica	32 $m^3/m^2.día$ (0,37 mm/s)
4. Decantadores	n = 3 9,3 x 2,3 x 3,4 m^3
5. Filtros de arena	n = 1 + 1(reserva) = 2 4,7 x 2,3 m^2
6. Expresión algebraica	f'(v) = 25 - 67 · V
" gráfica	adjunta
7. Diagrama de flujo	adjunto

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Final - Curso 2008-09

4. (20 puntos). Se desea elaborar el anteproyecto del sistema de desinfección del agua de abastecimiento del municipio de Pueblo Antiguo. La captación se realiza en un arroyo que ha registrado episodios de contaminación microbiana en el pasado. El proceso de desinfección consistirá en una inyección continua de cloro líquido al inicio de la impulsión. El agua así tratada circulará por una tubería que vierte en un depósito de regulación cilíndrico, desde donde el agua es impulsada para su distribución.

Las características básicas del sistema de abastecimiento son las siguientes:

1. El municipio tiene 4.500 habitantes y su dotación media de agua es de 130 litros/hab-día.
2. El agua tiene una alcalinidad suficiente para mantener un pH = 8,1 en todo momento.
3. La calidad microbiológica del agua del arroyo ha llegado a alcanzar una concentración máxima de 8×10^6 CF/100 ml. Por otra parte, la calidad microbiana del agua a la salida de la tubería (antes de verter al depósito) no deber superar 10 CF/100 ml. El desinfectante presente en el efluente de la tubería continúa ejerciendo la inactivación de esos indicadores durante la estancia del agua en el depósito.
4. El agua de abastecimiento público (efluente del depósito) tendrá una concentración indetectable de coliformes fecales en 100 ml (inferior a 1 CF/100 ml).
5. La tubería tiene un diámetro interior de 110 mm y una longitud de 550 metros desde el inicio de la impulsión hasta el punto de vertido en el depósito, y puede considerarse como un reactor ideal de flujo en pistón. El bombeo se realiza de forma continua durante las 24 horas del día.
6. El depósito es cilíndrico, tiene un volumen total de 900 m^3 y puede considerarse como un reactor ideal de mezcla completa, sin perdidas significativas de agua.

CONSIDERANDO QUE:

1. La concentración de desinfectante en el agua de la tubería se mantiene constante.
2. La velocidad de desinfección de varios desinfectantes simultáneos es aditiva.
3. El proceso de desinfección obedece a una ley del tipo:

$$\frac{dN}{dt} = -k\,C\,N$$

N = concentración bacteriana, organismos/100 ml, donde

C = concentración de desinfectante, mg Cl_2/L

4. La masa de desinfectante presente en el depósito de regulación se inactiva a un ritmo de 45% por hora.
5. La desinfección se realiza con hipoclorito sódico, con un contenido de cloro activo del 5,5%.
6. Un estudio experimental realizado con un reactor de flujo continuo y mezcla completa indica que el 95% de los coliformes fecales contenidos en un agua son inactivados a 20°C mediante una concentración de 4,5 mg Cl_2/L como OCl^- al cabo de 10 minutos, o alternativamente con una concentración de 0,15 mg Cl_2/L como HOCl al cabo de 5 minutos. Además, pK HOCl = 7,4 a 20° C.

SE DESEA DETERMINAR:

1. El diagrama del ensayo experimental y los balances másicos utilizados para determinar las constantes de desinfección.
2. Las constantes de desinfección de ambas especies cloradas, referidas a horas como unidad de tiempo.
3. Un esquema del sistema de desinfección, indicando claramente todas las variables y factores a tener en cuenta para poder establecer los balances de microorganismos y de desinfectante.
4. Los balances másicos de microorganismos y de desinfectante utilizados para determinar la concentración de desinfectante necesaria en el agua durante su recorrido por la tubería (supuesta constante).
5. La concentración mínima de desinfectante, en mg/l Cl_2, que debe tener el agua al inicio de la tubería de impulsión para asegurar que, en régimen permanente, el agua tiene la calidad microbiológica requerida a su llegada al depósito regulador.
6. El caudal de lejía necesario, en litros/día, que debe inyectarse al inicio de la tubería.
7. La concentración de desinfectante, en mg/l Cl_2, que quedará en el agua de abastecimiento a la salida del depósito regulador, en régimen permanente.
8. La calidad microbiológica del agua de abastecimiento a la salida del depósito regulador. ¿Cumplirá con el límite de potabilidad establecido? ¿Qué medida cabría adoptar en caso contrario?
9. El tiempo (expresado en horas) de garantía de abastecimiento de que dispone el municipio, en caso de que se interrumpa la captación desde el arroyo.

Resumir los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

Ejerc. 4 (20 ptos) Ingeniería Ambiental 2008-09
2º Ex. Final

1. Ensayo experimental para determinar constantes

Balance $\frac{d(VN_1)}{dt} = Q \cdot N_0 - Q \cdot N_1 - (\Sigma k_i C_i) N_1 V$

en reg. permanente $\frac{d(\,)}{dt} = 0$

$\Rightarrow \quad Q N_0 = Q N_1 + k_i C_i \cdot N_1 V; \quad N_0 = N_1 (1 + k_i C_i \cdot T)$

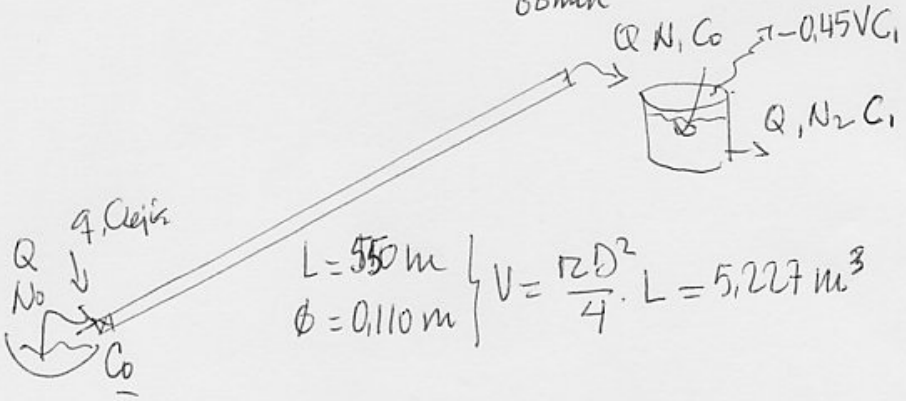
$N_0 = 100 \quad N_1 = 5 \qquad k_i = \frac{1}{C_i \cdot T}\left(\frac{N_0}{N_1} - 1\right)$

2.

HOCl :: $K_{HOCl} = \frac{1}{0{,}15 \cdot 5\,min \cdot \frac{1h}{60\,min}} \left(\frac{100}{5} - 1\right) = 1520 \frac{l}{mg \cdot h}$

OCl :: $K_{OCl} = \frac{1}{4{,}5 \cdot 10\,min \cdot \frac{1h}{60\,min}} \left(\frac{100}{5} - 1\right) = 25{,}33 \frac{l}{mg \cdot h}$

3.



$\left.\begin{array}{l} L = 550\,m \\ \phi = 0{,}110\,m \end{array}\right\} V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L = 5{,}227\,m^3$

4. Balances en tubería (flujo en pistón)

$\frac{d(VN_t)}{dt} = \cancel{Q}^{\,0} - \cancel{Q}^{\,0} - (\Sigma k_i C_i) N_t V \Rightarrow \frac{dN_t}{dt} = -(\Sigma k_i C_i) N_t$

integrando entre $t = 0 \quad N = N_0 \rightarrow t = T \quad N = N_1$

$\frac{dN_t}{N_t} = -(\Sigma k_i C_i) dt \rightarrow \ln N_t \Big|_{N_0}^{N_1} = -(\Sigma k_i C_i) t \Big|_0^T$

CC BY NC ND

$$\ln \frac{N_1}{N_0} = -(\Sigma k_i C_i) T \; ; \; \frac{N_1}{N_0} = \exp\left[-(\Sigma k_i C_i) T\right]$$

Balance de desinfectante (se considera que permanece constante)

$$Q \cdot 0 + q \cdot C_{lejía} = (Q+q) C_o \; ; \text{ suponiendo } q \ll\ll Q$$

$$q \cdot C_{lejía} = Q \cdot C_o$$

5. $N_0 = 8 \cdot 10^6$ CF/100 ml

$N_1 = 10$ CF/100 ml

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{5{,}227\ m^3}{4580 \cdot 0{,}130 \frac{m^3}{día} \times \frac{1\ día}{24\ h}} = 0{,}214\ h$$

$$\Sigma k_i C_i = \frac{-1}{T} \ln \frac{N_1}{N_0} = -\frac{1}{0{,}214} \cdot \ln \frac{10^1}{8 \cdot 10^6} = \frac{13{,}59}{0{,}214} = 63{,}516$$

$$\frac{[H^+][ClO^-]}{[HClO]} = \frac{[H^+]\, C_{ClO^-}}{C_{HClO}} = k = 10^{-7{,}40} \Rightarrow \frac{C_{ClO^-}}{C_{HClO}} = \frac{10^{-7{,}40}}{10^{-8{,}10}} = 10^{0{,}70} = 5{,}012$$

$$\Sigma k_i C_i = 1520 \cdot C_{HClO} + 25{,}33 \cdot 5{,}012 \cdot C_{HClO} = 63{,}516$$

$$C_{HClO} = \frac{63{,}516}{1520 + 25{,}33 \cdot 5{,}012} = 0{,}039\ mg\ Cl_2/l$$

$$C_{ClO^-} = 5{,}012 \cdot C_{HClO} = 5{,}012 \cdot 0{,}039 = 0{,}193\ mg\ Cl_2/l$$

$$\text{Cloro total} = C_{HClO} + C_{ClO^-} = 0{,}232\ mg\ Cl_2/l$$

6. Caudal de lejía: (q)

$$Q \cdot C_o \cong q \cdot C_{lejía} \; ; \; q = \frac{Q \cdot C_o}{C_{lejía}} = \frac{585000\ l/d \times 0{,}232\ mg\ Cl_2/l}{55000\ mg\ Cl_2/l} = 2{,}466\ l/d$$

7. Balances en depósito regulador (régimen permanente)

$$\frac{d(VC)}{dt} = Q \cdot C_o - Q \cdot C - 0{,}45 \cdot 24 \cdot V \cdot C = 0$$

$$C = \frac{Q \cdot C_o}{Q + 0{,}45 \cdot 24 \cdot V} = \frac{585 \cdot 0{,}232}{585 + 0{,}45 \cdot 24 \cdot 900} = 0{,}0132\ mg\ Cl_2/l$$

8. Calidad microbiológica: balance de microrg. (reg. permanente)

$$\frac{d(VN_2)}{dt} = Q \cdot N_1 - Q \cdot N_2 - (\Sigma k_i C_i) V \cdot N_2 = 0$$

$$N_1 = N_2 [1 + (\Sigma k_i C_i) T_{dep}]; \quad T_{dep} = \frac{V}{Q} = \frac{900 m^3}{24,375 m^3/h} = 36,923 h$$

$$N_2 = \frac{N_1}{1 + (\Sigma k_i C_i) \cdot 36,923}$$

$$Cole^- + C_{HOCl} = 0,0132$$

$$C_{HOCl} [1 + 5,012] = 0,0132$$

$$Cole^- = 5,012 C_{HOCl}$$

$$C_{HOCl} = \frac{0,0132}{6,012} = 0,0022 mgCl_2/l$$

$$Cole^- = 5,012 \times 0,0022 = 0,011 mgCl_2/l$$

$$N_2 = \frac{10}{1 + [1520 \times 0,0022 + 25,33 \times 0,011] \cdot 36,923} = \frac{10}{134,739} = 0,081 CF/100ml$$

Cumple con la calidad requerida (<1 CF/100ml). De todo modo, bastaría con añadir una cantidad ligeramente superior de cloro, al inicio de la tubería.

9. Considerando que $T_{tubería} = 0,214 h$ y $T_{depósito} = 36,923 h$ la garantía de suministro viene determinada por la capacidad del depósito (agua almacenada, en el caso de que se interrumpiera el servicio de bombeo.

Tiempo de garantía = 36,92 horas.

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de Resultados

Parámetros	Valor
1. Diagrama Balance	Adjunto $N_0 = N_1(1 + k_1 C_1 T)$
2. Constantes K_{OCl^-}	$25 \frac{l}{mg_{Cl_2} \cdot h}$
K_{HOCl}	$1500 \frac{l}{mg_{Cl_2} \cdot h}$
3. Esquema instalación	Adjunto
4. Balances de microorg.	$N_0 = N_1 \exp[(\Sigma k_i C_i) T]$ $q_{lejía} = Q \cdot C_0$
5. Concentración mínima desinfectante C_0	0,19 mg_{Cl_2}/l
6. Caudal de lejía	2,5 l/día
7. Concentr. desinf. Salida del depósito	0,013 mg_{Cl_2}/l
8. Calidad microbiol. salida del depósito	0,081 CF/100 ml (< 1 CF/100 ml)
de otro modo, sería necesario añadir mayor C_0	
9. Tiempo de garantía	37 horas

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial - Curso 2009-10

2 (20 puntos). La Tabla 2 muestra los valores de las constantes cinéticas de un cultivo biológico heterótrofo, obtenidos experimentalmente en el laboratorio, utilizando un agua residual como sustrato.

Tabla 2. Constantes cinéticas de un cultivo biológico heterótrofo utilizando agua residual como sustrato.

Parámetro	Valor
$q_{máx}$	2,65 mg DBO_5/mg células.día
K_S	230 mg DBO_5/L
Y	0,65 mg células/mg DBO_5
k_d	0,050 mg células/mg células.día

Los técnicos de Consultora Ambiental S.A. han elaborado un anteproyecto de un prototipo de demostración para la depuración de un caudal de 500 L/día de agua residual, constituido por un reactor biológico de flujo continuo, agitado de modo que pueda ser considerado un reactor de mezcla completa, y un decantador posterior dotado de recirculación celular.

El anteproyecto se ha redactado considerando que:

1. El agua residual afluente tiene una DBO_5 de 350 mg/L.
2. El efluente depurado ha de estar conforme con la Directiva europea: DBO_5 de 25 mg/L.
3. El factor de recirculación $R = Q_r/Q$ será de 0,65.
4. El modelo de Monod estima adecuadamente el proceso de crecimiento celular.
5. La concentración celular en el afluente puede considerarse nula ($X_0 \cong 0$).
6. El proceso biológico ha alcanzado estado permanente.
7. La concentración estimada de células en el caudal de recirculación será X_r = 7.700 mg/L.

DETERMINAR:

1. Los balances másicos de substrato (S) y de materia celular (X) del reactor biológico, deducidos algebraicamente en un esquema detallado del reactor.
2. El tiempo medio de permanencia celular T_C , en días.
3. La concentración de células en el reactor X_1 necesaria para mantener el nivel de tratamiento requerido.
4. El tiempo medio de permanencia hidráulico T_H , en horas.
5. El volumen del reactor necesario, en litros.
6. El rendimiento de eliminación de la DBO_5, expresado en %.

Con objeto de evaluar las implicaciones derivadas de la futura utilización del efluente depurado para riego agrícola, los técnicos responsables de este estudio desean valorar la ampliación que deberá realizarse en el futuro, de modo que el efluente de la planta de depuración tenga una DBO_5 de 10 mg/l, suponiendo además que la campaña de ahorro de agua que se está realizando con motivo de la sequía hará que la DBO_5 del agua afluente aumente un 10% y el caudal afluente disminuya un 10% sobre los valores considerados inicialmente. Los proyectistas han supuesto también que las concentraciones celulares en el líquido del reactor X_1 y en el flujo de recirculación X_r se mantendrán constantes.

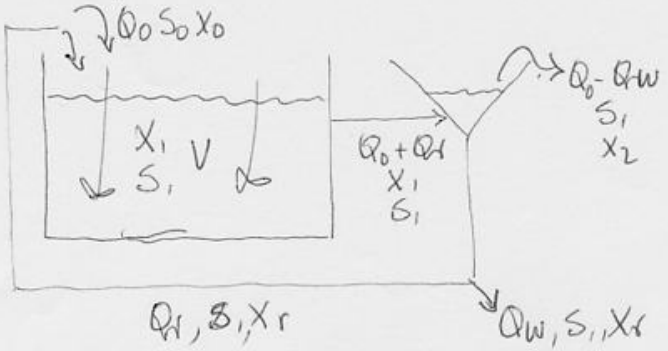
DETERMINAR:

7. El nuevo tiempo de permanencia celular (en días) necesario.
8. El nuevo tiempo de permanencia hidráulica (en horas) necesario.
9. El nuevo volumen del reactor necesario, en litros, y la variación (con signo) porcentual que eso significa, con respecto al volumen inicial.
10. El nuevo factor de recirculación $R = Q_r/Q$ con el que habrá de funcionar la planta.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

2º Ejercicio (2 puntos) — Ing. Ambiental 3º — Primer Ex. Parcial — 2009-10



$Q_0 = 500$ mg/l
$S_0 = 350$ mg/l
$S_1 = 25$ mg/l
$X_0 \simeq 0$

1. Balances másicos en el reactor biológico:

a) Sustrato: $\frac{d(VS_1)}{dt} = Q_0 S_0 + Q_r S_1 - (Q_0 + Q_r) S_1 - V \cdot X_1 \cdot q$

b) células: $\frac{d(VX_1)}{dt} = Q_0 X_0 + Q_r X_r - (Q_0 + Q_r) X_1 + V \cdot X_1 \cdot \mu_n$

considerando que $X_0 \simeq 0$ y que el sistema está en régimen estacionario/permanente $\frac{d(\ )}{dt} = 0$

a) $Q_0 S_0 - Q_0 S_1 - V X_1 q = 0$

b) $Q_r X_r - (Q_0 + Q_r) X_1 + V \cdot X_1 \cdot \mu_n = 0$

2. Las condiciones del crecimiento biológico vienen determinadas por la ecuación/el modelo de Monod (M-M-M).

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S_1}{K_S + S_1} \quad ; \quad \mu = Y \cdot q \rightarrow \mu_{max} = Y \cdot q_{max}$$

$\mu_{max} = 0{,}65 \times 2{,}65$ mg/mg-día $= 1{,}723$ día^{-1}

$$\mu = \frac{0{,}65 \times 2{,}65 \times 25}{230 + 25} = \frac{43{,}06}{255} = 0{,}17 \text{ día}^{-1} \rightarrow q = \frac{\mu}{Y} = 0{,}26 \text{ día}^{-1}$$

$\mu_n = \mu - k_d = 0{,}17 - 0{,}050 = 0{,}12$ día^{-1}

Por definición $\mu_n = \frac{1}{T_C} \Rightarrow T_C = \frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{0{,}12} = 8{,}41$ día

CC BY NC ND

3. Resolviendo el sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas

$$Q_r X_r - Q_o X_1 - Q_1 X_1 + \mu_n X_1 V = 0$$

$$Q_o S_o - Q_o S_1 - q X_1 V = 0 \quad \rightarrow \quad X_1 V = \frac{Q_o (S_o - S_1)}{q}$$

$$(Q_o + Q_r) X_1 = Q_r X_r + \mu_n X_1 V = Q_r X_r + \mu_n \frac{Q_o (S_o - S_1)}{q}$$

$$X_1 = \frac{Q_r X_r + \mu_n \frac{Q_o (S_o - S_1)}{q}}{Q_o + Q_r} = \frac{\frac{Q_r}{Q_o} X_r + \mu_n \frac{S_o - S_1}{q}}{1 + \frac{Q_r}{Q_o}} =$$

$$= \frac{0{,}65 \times 7700 + 0{,}12 \cdot \frac{350 - 25}{0{,}26}}{1 + 0{,}65} = \frac{5005 + 150}{1{,}65} = 3124{,}24 \text{ mg/l}$$

4. $T_H = \frac{V}{Q}$; $\frac{V}{Q} = \frac{S_o - S_1}{q \cdot X_1} = \frac{350 - 25}{0{,}26 \cdot 3124} = 0{,}40 \text{ día}^{-1} = 9{,}60 \text{ h}$

5. $V = Q \cdot T_H = 500 \text{ l/día} \cdot 0{,}40 \text{ día} = 200 \text{ litros}$

6. Rendimiento de eliminación (degradación, oxidación)

$$R = \frac{S_o - S_1}{S_o} 100 = \frac{350 - 25}{350} 100 = 92{,}86\ \%$$

7. La remodelación de la planta ha de permitir alcanzar $S_1 = 10$ mg/l

Considerando que $S_o'(DBO_5) = 350 \times 1{,}10 = 385$ mg/l

$$Q_o = 500 \cdot (1 - 0{,}10) = 500 \times 0{,}90 = 450 \text{ l/día}$$

Las nuevas condiciones del crecimiento biológico:

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S_1}{K_S + S_1} = \frac{0{,}65 \cdot 2{,}65 \cdot 10}{230 + 10} = 0{,}072 \text{ día}^{-1} \rightarrow q = \frac{\mu}{Y} = 0{,}110 \text{ día}^{-1}$$

$$\mu_n = \mu - k_d = 0{,}072 - 0{,}050 = 0{,}022 \text{ día}^{-1}$$

por definición $T_C = \frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{0{,}022} = 45{,}93$ día

BY NC ND

8. El nuevo $T_H = \frac{V'}{Q'} = \frac{S_0' - S_1'}{q X_1} = \frac{385 - 10}{0{,}110 \times 3124} = 1{,}091$ día $=$
$= 26{,}19$ horas

9. $V = Q' \cdot T_H = 450$ l/día $\times 1{,}091$ día$' = 491{,}066$ litros

Variación $= \frac{491 - 200}{200} \times 100 = +145\,\%$

10. El nuevo factor $R = \frac{Q_r}{Q}$, obtenido del balance másico celular

$Q_r(X_r - X_1) = Q' X_1 - \mu_n X_1 V'$

$\frac{Q_r}{Q} = \frac{X_1 - \mu_n X_1 V/Q'}{X_r - X_1} = \frac{1 - \mu_n T_H'}{\frac{X_r}{X_1} - 1} = \frac{1 - 0{,}022 \cdot 1{,}091}{\frac{7700}{3124} - 1} = 0{,}666$

Tabla 2. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. Balances másicos	$Q_0 S_0 - Q_0 S_1 - V X_1 q = 0$ $Q_r X_r - (Q_0 + Q_r) X_1 + V X_1 \mu_n = 0$
2. T_C	8,4 días
3. X_1	3100 mg/l
4. T_H	9,6 horas
5. Volumen	$2{,}0 \cdot 10^2$ litros
6. Rendimiento	93 %
7. T_C	46 días
8. T_H	26 horas
9. Volumen aumento	490 litros +150 %
10. Factor recirculación	0,67

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial - Curso 2009-10

3 (15 puntos). El municipio de Rocas Verdes ha encargado un estudio experimental para determinar las posibles remodelaciones de su actual sistema de gestión del vertido aguas residuales depuradas, de forma que pueda cumplir las limitaciones de la Directiva Europea sobre calidad de aguas de baño costeras. La Directiva establece los siguientes criterios de valoración de las zonas de baño:

Aguas de "calidad excelente" 95% de las muestras deben tener < 250 E. coli/100 ml
Aguas de "calidad suficiente" 90% de las muestras deben tener < 500 E. coli/100 ml

La Tabla 3 resume la calidad microbiológica del agua en la zona de baño tomada como referencia, después de que el efluente depurado fuera sometido a dos procesos diferentes de desinfección: Proceso A y Proceso B. Los procesos de desinfección se realizaron utilizando el conducto de vertido del agua depurada, que puede considerarse con un reactor de flujo en pistón. Las muestras fueron recogidas de forma sistemática, en dos períodos de tiempo diferentes, durante los que se aplicó separadamente cada uno de los dos procesos de desinfección.

Tabla 3. Calidad microbiológica, en E. coli/100 ml, de las aguas de la playa del municipio de Rocas Verdes, tras la aplicación de cada uno de los dos procesos de desinfección estudiados.

Muestra no.	Proceso A, Ec/100 ml	Proceso B, Ec/100 ml
1	120	110
2	280	150
3	520	190
4	920	240
5	240	150
6	460	190
7	800	240
8	2800	320
9	320	160
10	800	200
11	1400	290
12	560	200
13	1400	250

Se desea DETERMINAR:

1. La pertenencia de cada una de esas dos series de valores experimentales a una población normal logarítmica, utilizando el papel de probabilidad adjunto. Deben indicarse claramente las variables representadas en cada eje, con sus unidades, y un título descriptivo de la figura.
2. La distribución normal logarítmica que mejor se ajusta a cada serie de datos experimentales, caracterizada mediante la concentración mediana y la desviación típica (s = ln XX84 - ln XX50) de cada serie, así como las concentraciones de E. coli que no se sobrepasan en un 90 y 95% de las muestras.
3. La calificación de la calidad del agua que, de acuerdo con los criterios de la Directiva, puede obtenerse con cada uno de los procesos de desinfección, razonando el proceso de calificación. ¿Qué valor de la variabilidad tiene cada uno de los dos procesos de desinfección?¿Qué calificación merece cada una de esas variabilidades? ¿Cuál de los dos procesos de desinfección es más fiable y por qué? ¿Cuál de ellos sería preferible y por qué?

Suponiendo que la velocidad de desinfección con la que actúan ambos procesos es proporcional a la concentración microbiana inicial (justo antes de aplicar el desinfectante),

Se desea DETERMINAR GRÁFICAMENTE, razonado explícitamente el proceso deductivo utilizado:

4. La distribución normal logarítmica que será necesario alcanzar, mediante la aplicación de una dosis superior de desinfectante, de modo que la calidad del agua sea "EXCELENTE" en ambos casos.
5. La inactivación microbiana adicional, en ulog, que será necesario conseguir con cada uno de los procesos de desinfección, para alcanzar un nivel EXCELENTE de la calidad del agua.

Resumir los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

3r. Ejerc. (15 puntos) Ing. Ambiental 2009-10
Primer Ex. Parcial

1. Ordenamos los valores experimentales para poder representarlos gráficamente en un papel de probabilidad normal.
Utilizamos el estimador de frecuencias acumuladas definido por la fórmula $F(x_i) = \frac{i}{n+1} 100\ \%$

Valores Experimentales

No. de orden, i	F(xi)	Proceso A	Proceso B
1	7,1	120	110
2	14,3	240	150
3	21,4	280	150
4	28,6	320	160
5	35,7	460	190
6	42,9	520	190
7	50,0	560	200
8	57,1	800	200
9	64,3	860	240
10	71,4	920	240
11	78,6	1460	250
12	85,7	1480	290
13	92,9	2800	320

$$F(x_1) = \frac{1}{13+1} 100 = \frac{100}{14} = 7,14\%$$

El ajuste tan satisfactorio de los datos experimentales a unas líneas rectas confirma que las muestras pertenecen a dos poblaciones de valores que se distribuyen mediante una distribución normal logarítmica.

2. Las líneas rectas obtenidas por interpolación visual de los

BY NC ND

puntos representados en el papel de probabilidad normal constituyen la representación gráfica de dos distribuciones de probabilidad normal logarítmicas.
Los valores característicos de estas distribuciones son los siguientes:

Proceso A

mediana (X50) = 600 E.coli/100ml
$S = \ln 1600 - \ln 600 = 1{,}0$
X90 = 2100 E.coli/100 ml
X95 = 3000 E.coli/100 ml

Proceso B

mediana (X50) = 200 E.coli/100 ml
$S = \ln 280 - \ln 200 = 0{,}34$
X90 = 310 E.coli/100 ml
X95 = 340 E.coli/100 ml

3. Considerando la posición de cada una de las distribuciones con respecto a los límites de calidad de la Directiva, la calidad del agua registrada puede designarse como:

Proceso A: No excelente No suficiente → insuficiente
Proceso B: No excelente Sí suficiente → suficiente

La variabilidad de cada una de las distribuciones (procesos) viene reflejada por su desviación típica "S"

Proceso A: S = 1,0 baja variabilidad (< 1,0)
Proceso B: S = 0,34 muy baja variab. (<< 1,0)

El Proceso B es más fiable (menos variable) que el Proceso A (más variable), en razón de los valores de "S"
El Proceso B es preferible al Proceso A en razón de su mayor fiabilidad, además de ofrecer una mejor calidad del agua desinfectada.

cc BY NC ND

4. Considerando que el proceso de desinfección tiene lugar en el conducto de vertido (reactor de flujo en pistón) y que sigue un modelo del tipo

$$\frac{dN}{dt} = -K \cdot N$$

la integración del balance microbiano en un reactor de flujo en pistón resulta en una expresión como esta:

$t=0 \quad N=N_0$
$t=T \quad N=N_1$

$$\ln \frac{N_1}{N_0} = -KT \rightarrow \ln N_1 - \ln N_0 = -KT$$

$$\ln N_0 - \ln N_1 = KT$$

Una modificación sistemática (permanente) de las condiciones de desinfección (la concentración de desinfectante) modificará el valor de "K" haciendo que los nuevos valores de N_1 se desplacen (diferencien) de los valores N_0 en una misma cantidad. Gráficamente, esto significará que los valores de $\ln N_1$ (nuevos) serán paralelos a los valores de $\ln N_0$ (iniciales): la nueva distribución (línea recta) será paralela e inferior a la obtenida con el ensayo inicial de cada uno de los procesos.

Para obtener un agua de calidad "Excelente" deberá obtenerse una distribución (línea recta) paralela a la inicial y que pase por el punto $X95 = 250$ E.Coli/100ml

La figura 3 muestra las nuevas distribuciones así obtenidas.

5. La inactivación microbiana adicional puede obtenerse por diferencia entre los valores de cualquier percentil para cada pareja de distribuciones. Así por ejemplo utilizando los valores del percentil 50 (mediana):

BY NC ND

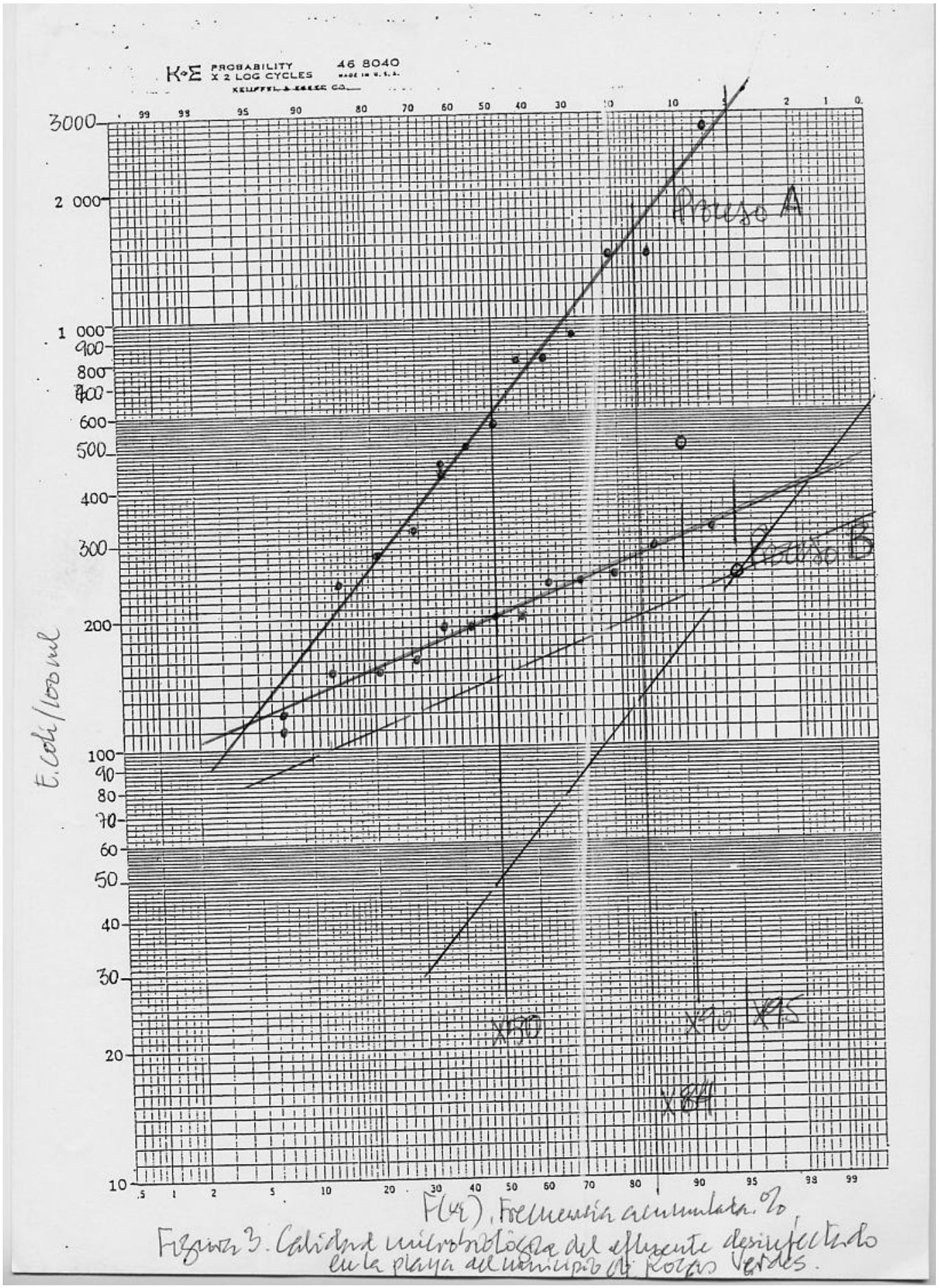


Figura 3. Calidad microbiológica del efluente desinfectado en la playa del municipio de Roses Verdes.

cc BY NC ND

Proceso A: $\log 600 - \log 50 = 1{,}08$ ulog

Proceso B: $\log 200 - \log 145 = 0{,}14$ ulog

Obviamente, el Proceso B estaba más próximo que el Proceso A de alcanzar el nivel de calidad "Excelente" y por tanto requerirá una inactivación adicional menor (0,14) que la de aquel (1,08).

Tabla 3. Resumen de resultados.

Parámetro		Valor	
1. Pertenencia		Conformada gráficamente (Figura 3 adjunta)	
2. Distribuciones		Dibujadas en Figura 2.	
Valores		Proceso A	Proceso B
	X_{50}	$6{,}0\ 10^2$	$2{,}0 \cdot 10^2$ E.C./100 ml
	S	1,0	0,34
	X_{90}	$2{,}1\ 10^3$	$3{,}1 \cdot 10^2$ E.C./100 ml
	X_{95}	$3{,}0 \cdot 10^3$	$3{,}4 \cdot 10^2$ E.C./100 ml
3. Calificación normativa		Proceso A	Proceso B
		insuficiente	suficiente
Variabilidad "S"		1,0	0,34
		baja (<1)	muy baja (<<0,0)
fiabilidad		menor	mayor
preferible		menos	más
4. Nueva distribución paralela a la inicial (razonado en texto)		Dibujada en Figura 3.	
5. Inactivación adicional			
	Proceso A	1,1 ulog	
	Proceso B	0,14 ulog	

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial - Curso 2009-10

4 (25 puntos). El abastecimiento de agua de la Casal de Vacances Mont Blanc se realiza a partir de dos fuentes: 1) el agua de deshielo de los tejados de las instalaciones y 2) un arroyo de montaña situado en las proximidades de la propiedad. El Casal dispone de un depósito de 6 x 5 x 4 m^3, donde se almacena el agua necesaria para las estancias periódicas de los visitantes. A principios del mes de diciembre, el depósito contenía 40 m^3 de agua. Las lluvias y nevadas registradas antes del puente de la Constitución permitieron recoger un volumen adicional de agua de deshielo, hasta alcanzar un volumen total de 100 m^3. La entrada del agua en el depósito genera una turbulencia suficiente como para asegurar su equilibrio con la atmósfera circundante (constante de Henry $k_H = 10^{-1,5}$ $M.atm^{-1}$; $pCO_2 = 10^{-3,5}$ atm) y que el agua se mantiene en esa condición en todo momento.

La calidad de los diferentes tipos de agua viene resumida en la Tabla 4.

Tabla 4. Calidad del agua del Casal de Vacances Mont Blanc.

Parámetro	Depósito	Deshielo	Arroyo
Alcalinidad	50 mg $CaCO_3$/l	10 mg $CaCO_3$/l	15 mg $CaCO_3$/l
Calcio	30 mg $CaCO_3$/l	5 mg $CaCO_3$/l	4 mg $CaCO_3$/l
Magnesio	15 mg $CaCO_3$/l	0 mg $CaCO_3$/l	2 mg $CaCO_3$/l

DETERMINAR:

1. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada del agua de deshielo, en mg $CaCO_3$/L.
2. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua de deshielo.

Con objeto de promover la desinfección del agua del depósito y conferirle una cierta alcalinidad, se desea añadirle tres partes en peso de hidróxido cálcico, $Ca(OH)_2$ y una parte en peso de bicarbonato sódico $NaHCO_3$, de modo que, tras su mezcla con el agua, ésta alcance un pH = 8,15.

DETERMINAR:

3. El peso de hidróxido cálcico y de bicarbonato sódico, en gramos, que será necesario añadir.
4. La dureza del agua del depósito tras realizar este tratamiento, en mg $CaCO_3$/L.

El consumo de agua realizado durante el puente de la Constitución ascendió a 40 m^3 de agua. En los días posteriores, los caudales circulantes por el arroyo han permitido llenar el depósito por completo con un agua cuya calidad se describe en la Tabla 4 anterior. En estas nuevas condiciones, se pide

DETERMINAR

5. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada del agua del arroyo, en mg $CaCO_3$/L.
6. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua del arroyo.
7. El indice de saturación (IS) del agua del depósito, con respecto a su equilibrio con el $CaCO_3$, tras la entrada del agua del arroyo. ¿Tendrá tendencia a precipitar $CaCO_3$(s)? ¿Cómo se denomina por ello?
8. La sustancia que convendrá añadir, de entre $Ca(OH)_2$, $CaCl_2$ y NaCl, para aumentar el índice de saturación, sin modificar la alcalinidad del agua, explicando como se consiguen esos dos objetivos.
9. La cantidad de esa sustancia que será necesario añadir al agua del depósito para que su índice de saturación sea + 0,05. Expresar el resultado en kilogramos.
10. La nueva dureza del agua así obtenida, en mg $CaCO_3$/L.
11. El volumen de ácido sulfúrico 0,010 N que será necesario añadir para valorar la alcalinidad de una muestra de 250 ml del agua final del depósito, indicando la forma de determinar el punto final de la valoración y el fundamento de estre criterio de decisión.

$pk_1 = 6,32$; $pk_2 = 10,33$; $pk_s(CaCO_3) = 8,34$

Ca = 40 ; Mg = 24 ; Na = 23 ; O = 16 ; H = 1 ; C = 12 ; S = 32 ; Cl = 35,5

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

4° Ejer. 25 puntos — Ing. Ambiental, Primer Ex. Parcial — 2009-10

Volumen: $6 \times 5 \times 4 = 120\ m^3$

$[H_2CO_3] = k_H \cdot p_{CO_2} = 10^{-1,5} \times 10^{-3,5} = 10^{-5,0}\ M$

$\Delta V = 100 - 40 = 60\ m^3$

Agua del depósito = $40\ m^3$

Agua de deshielo = $60\ m^3$

1. La alcalinidad y la dureza de un agua son propiedades aditivas:

$$Alc = \frac{40 \times 50 + 60 \times 10}{40+60} = \frac{2000+600}{100} = \frac{2600}{100} = 26\ mg\ CaCO_3/l$$

$$Calcio: \frac{40 \times 30 + 60 \times 5}{40+60} = \frac{1200+300}{100} = \frac{1500}{100} = 15\ mg\ CaCO_3/l$$

$$Magnesio: \frac{40 \times 15 + 60 \times 0}{40+60} = \frac{600+0}{100} = 6\ mg\ CaCO_3/l$$

Dureza = calcio + magnesio = $21\ mg\ CaCO_3/l$

3. Suponiendo que el pH del agua es inferior a 8,5, podemos considerar que $[HCO_3^-] \simeq Alc = 26\ \frac{mg\ CaCO_3}{l} \times \frac{1\ eq}{50000\ mg} \times \frac{1\ mol\ HCO_3^-}{1\ eq} =$

$$= \frac{26}{50000}\ mol/l = 52 \times 10^{-5}\ M$$

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}; \quad [H^+] = \frac{K_1 [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6,32} \cdot 10^{-5,0}}{52 \cdot 10^{-5}} = 9,20 \cdot 10^{-9} = 10^{-8,04}$$

pH = 8,04 (cumple la hipótesis)

3. Nueva alcalinidad. Considerando que su pH será 8,15 podemos igualmente considerar que $Alc \simeq [HCO_3^-]$

El nuevo valor de $[HCO_3^-]$

$$[HCO_3^-] = \frac{K_1 [H_2CO_3]}{[H^+]} = \frac{10^{-6,32} \cdot 10^{-5,0}}{10^{-8,15}} = 6,76 \cdot 10^{-4}\ mol/l =$$

$$= 33,80\ mg\ CaCO_3/l$$

CC BY NC ND

La nueva alcalinidad será por tanto $6{,}76 \cdot 10^{-4}$ eq/l

El incremento de alcalinidad necesario:

$$\Delta Alc = 6{,}76 \cdot 10^{-4} - 52 \cdot 10^{-5} = 1{,}56 \cdot 10^{-4} \text{ eq/l}$$

Compuestos utilizados:

$Ca(OH)_2$ :: $1 \times 40 = 40$, $2 \times 17 = 34$, 74 g — $\frac{2 \text{ eq}}{74 \text{ g}}$ — 3p (gramos)

$NaHCO_3$ :: $1 \times 23 = 23$, $1 \times 1 = 1$, $1 \times 12 = 12$, $3 \times 16 = 48$, 84 — $\frac{1 \text{ eq}}{84 \text{ g}}$ — 1p (gramos)

Balance de equivalentes:

$$3p \frac{2}{74} + 1p \frac{1}{84} = 1{,}56 \cdot 10^{-4} \text{ eq/l} \cdot 100.000 \text{ l}$$

$$\frac{6p \times 84 + p \times 74}{74 \cdot 84} = \frac{6 \cdot 84 + 74}{74 \cdot 84} \quad p = 15.6 \; ; \; p = 167{,}77 \text{ g}$$

Luego $Ca(OH)_2 \rightarrow 3p = 503{,}30$ g

$NaHCO_3 \rightarrow 1p = 167{,}77$ g

4. La nueva dureza = dureza anterior + calcio añadido

$$503{,}30 \text{ g } Ca(OH)_2 \times \frac{2 \text{ eq}}{74 \text{ g}} \times \frac{50000 \text{ mg } CaCO_3}{1 \text{ eq}} \times \frac{1}{100000 \text{ l}} = 6{,}80 \text{ mg } CaCO_3/\text{l}$$

Nueva dureza $= 21 + 6{,}80 = 27{,}8$ mg $CaCO_3$/l

5. Se sacan (extraen) 40 m^3 de agua del depósito, luego quedan 60 m^3. Para llenarlo, fue necesario incorporar (añadir) 60 m^3 de agua del arroyo.

BY NC ND

$$Alc = \frac{60 \times 33{,}8 + 60 \times 15}{60+60} = \frac{2928}{120} = 24{,}40 \text{ mg } CaCO_3/l$$

$$Calcio: \frac{60(15+6{,}80)+60 \cdot 4}{60+60} = \frac{1548}{120} = 12{,}90 \text{ mg } CaCO_3/l$$

$$Magnesio: \frac{60 \cdot 6 + 60 \cdot 2}{60+60} = \frac{480}{120} = 4{,}0 \text{ mg } CaCO_3/l$$

$$Dureza = 12{,}90 + 4{,}0 = 16{,}90 \text{ mg } CaCO_3/l$$

6. El nuevo pH, suponiendo que sea inferior a 8,5, se puede obtener considerando que $Alc \cong [HCO_3^-]$

$$[H^+] = \frac{K_1 \cdot [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6{,}32} \cdot 10^{-5{,}0}}{24{,}40/50000} = 9{,}81 \cdot 10^{-9} = 10^{-8{,}01}; \quad pH = 8{,}01$$

7. Indice de saturación = IS = $pH_r - pH_s$

$$pH_s = pk_2 - pk_s + p[HCO_3^-] + p[Ca^{2+}]$$

$$[HCO_3^-] = \frac{24{,}40}{50000} \text{ mol/l} = 4{,}88 \cdot 10^{-4} \rightarrow p[HCO_3^-] = 3{,}31$$

$$[Ca^{2+}] = 12{,}90 \frac{\text{mg } CaCO_3}{l} \times \frac{1 \text{ mol } Ca^{2+}}{100000} = 1{,}29 \cdot 10^{-4} \rightarrow p[Ca^{2+}] = 3{,}89$$

$$pH_s = 10{,}33 - 8{,}34 + 3{,}31 + 3{,}89 = 9{,}19$$

$$IS = 8{,}01 - 9{,}19 = -1{,}18 \rightarrow \text{agua agresiva, disolverá } CaCO_3$$

8. Convendrá añadir $CaCl_2$: aumenta la concentración de calcio (disminuye el pH_s) y no aporta la alcalinidad pues aporta tantos cationes (Ca^{2+}) como negativos ($2Cl^-$)

9. Nuevo pH_s; $0{,}05 = pH_r - pH_s$; $pH_s = pH_r - 0{,}05 = 8{,}01 - 0{,}05 = 7{,}96$

Nueva conc. de calcio

$$p[Ca^{2+}] = 7{,}96 - 10{,}33 + 8{,}34 - 3{,}31 = 2{,}66; \quad [Ca^{2+}] = 10^{-2{,}66} \text{ M}$$

CC BY NC ND

Incremento de calcio = $10^{-2,66} - 1,29 \cdot 10^{-4} = 2,06\,10^{-3}$ M

$2,06 \cdot 10^{-3} \frac{mol}{l} \times \frac{100000\ mg CaCO_3}{1\ mol} = 205\ mg CaCO_3/l$

Material necesario:

$CaCl_2$ $1 \times 40 = 40$, $2 \times 35,5 = 71$, $\frac{111}{111}$

$\frac{1\ mol\ Ca^{2+}}{111\ g\ CaCl_2}$

masa de $CaCl_2 = 2,06 \cdot 10^{-3} \frac{mol\ Ca^{2+}}{l} \times 120000\ l \times \frac{111\ g\ CaCl_2}{1\ mol} =$

$= 2,06 \cdot 10^{-3} \times 120000 \times 111 = 27439,20\ g$

10. Nueva dureza:

nuevo calcio: $10^{-2,166} \frac{mol}{l} \times \frac{100000\ mg CaCO_3}{1\ mol} = 218,78$

dureza = calcio + magnesio = 218,78 + 4,10 = 222,78 mg $CaCO_3/l$

11. Es una valoración volumétrica: $V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$

$Vol_{dil} \times 0,010 \cdot eq/l = 250\ ml \cdot \frac{24,40}{50000}\ eq/l$

$Vol\ (ml) = \frac{250 \times 24,40}{50000 \cdot 0,010} = 12,20\ ml$

El punto final de la valoración (cuando Alc = 0) se alcanzará cuando el pH de la muestra de agua alcance un pH = 8,65, porque ese es el pH de un agua libre de alcalinidad en equilibrio con el CO_2 (atmosférico) por lo que es necesario agitar suavemente la muestra durante la valoración.

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Alcalinidad	26 mg $CaCO_3$/l
Dureza	21 mg $CaCO_3$/l
2. pH	8,0
3. Peso de $Ca(OH)_2$	$5,0 \times 10^{2}$ g
Peso de $NaHCO_3$	$1,7 \times 10^{2}$ g
4. Nueva dureza	28 mg $CaCO_3$/l
5. Alcalinidad	24 mg $CaCO_3$/l
Dureza	17 mg $CaCO_3$/l
6. pH	8,0
7. Índice de Saturación	-1,2 agresiva disolverá $CaCO_3$
8. Adición	$CaCl_2$ no modifica Alc
9. Masa añadida	27 kg
10. Nueva dureza	220 mg $CaCO_3$/l
11. Volumen de ácido @ pH=5,65 ≡ Alc=0	12 ml

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial - Curso 2009-10

2 (15 puntos). La Tabla 2 resume los valores experimentales obtenidos por un laboratorio acreditado para la DBO_5 de una disolución patrón de 140 mg/L de ácido glutámico, 140 mg/L de glucosa y 140 mg/L de ácido acético, junto con una muestra de agua residual obtenida de la red de alcantarillado de un polígono industrial.

Tabla 2. Resultados experimentales de los análisis de DBO_5.

Muestra	Volumen V_m, mL	Oxígeno disuelto, mg/L	
		OD_m	OD_5
Disolución patrón	2,5	6,90	6,10
	5,0	6,90	3,45
	7,5	6,90	0,75
Agua residual, diluida 1:5	2,0	4,90	7,00
	4,0	4,90	5,55
	6,0	4,90	3,60
	8,0	4,9	1,65

Sabiendo que:

1. Las botellas de incubación tienen un volumen de 300 ± 5 mL.
2. El oxígeno disuelto en el agua de dilución es OD_{b0} = 8,90 mg/L.
3. El inóculo utilizado para analizar la muestra patrón ha sido el efluente de una planta depuradora de aguas urbanas, con DBO_5 de 20 (± 0,5) mg/L, con oxígeno disuelto OD = 1,90 mg/L y del cual se ha inoculado a cada botella un volumen V = 8,0 mL.
4. El agua residual diluida se ha analizado sin añadirle inóculo.

DETERMINAR, EXPRESANDO LOS RESULTADOS CON CIFRAS SIGNIFICATIVAS:

1. La DQO teórica de la disolución patrón, describiendo las reacciones de oxidación y los cálculos correspondientes.
2. La DBO_L teórica de la disolución patrón, indicando las hipótesis utilizadas para su determinación.
3. El valor de la DBO_5 teórica de la disolución patrón, suponiendo aplicable una ley del tipo:
$$DBO_t = DBO_L (1 - 10^{-kt}) \text{ , con } k = 0{,}12 \text{ día}^{-1}$$
4. El valor estimado de OD_{b1} correspondiente a la adición del inóculo.
5. El valor experimental de la DBO_5 de la disolución patrón. ¿Es necesario añadir inóculo a la disolución patrón durante su análisis? ¿Por qué motivo? Indicar claramente los valores experimentales que no son aceptables en la determinación numérica.
6. El error absoluto y el error relativo registrados al determinar la DBO_5 de la disolución patrón.
7. El valor experimental de la DBO_5 del agua residual obtenida directamente de la red de alcantarillado. Indicar claramente los valores experimentales que no son aceptables en el cálculo.
8. La tendencia que mostrarían los valores de OD_5 indicados en la Tabla 2 si la muestra de agua residual contuvieran sustancias tóxicas: ¿serían los valores de OD_5 superiores o inferiores a los indicados en la Tabla 4? ¿Cómo se explicaría ese comportamiento diferente?
9. El volumen máximo de agua residual diluida que podría añadirse a una botella de Winkler de modo que el resultado experimental fuera aceptable.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla
utilizando las cifras significativas apropiadas

$$DBO_5 = (OD_b - OD_t)(V_b/V_m) - (OD_{b0} - OD_m)$$

Ácido Glutámico = $C_5H_9O_4N$; Glucosa = $C_6H_{12}O_6$; Ácido Acético: $C_2H_4O_2$

C = 12 ; H = 1 ; O = 16 ; N = 14

BY NC ND

2° Parcial (15 puntos) Ingeniería Ambiental 2009-1o

① • Ácido glutámico.

$C_5H_9O_4N + \frac{9}{2}O_2 \rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + NH_3$

$5\times12 = 60$, $9\times1 = 9$, $4\times16 = 64$, $1\times14 = 14$, 147 — 16, 9, 144

$140\ mg/l \times \frac{144\ gO_2}{147\ gA.G.} = 137,14\ mgO_2/l$

• Glucosa

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

$6\times12 = 72$, $12\times1 = 12$, $6\times16 = 96$, 180 — 32, 6, 192

$140\ mg/l \times \frac{192\ gO_2}{180\ g\ Gluc.} = 149,33\ mgO_2/l$

• Ácido acético

$C_2H_4O_2 + 2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$

$2\times12 = 24$, $4\times1 = 4$, $2\times16 = 32$, 60 — 32, 2, 64

$140\ mg/l \times \frac{64\ gO_2}{60\ gA.A.} = 149,33\ mgO_2/l$

$DBO_{Total} = 435,81\ mgO_2/l$

2. Considerando que esos tres compuestos son 100% biodegradables podemos considerar que $DBO_L \equiv DQO$

3. $DBO_5 = 435,81\left(1 - 10^{-0,12.5}\right) = 435,81\,(1 - 0,25) = 326,34\ mgO_2/l$

4. DBO_5 del inóculo $= 20\ mgO_2/l$ (2 cif. signif.)

$$20 = (OD_{bo} - OD_{b_1}) \cdot \frac{V_b}{8,0} - (OD_{bo} - OD_{inóc.}) =$$

$$= (8,90 - OD_{b_1}) \frac{300}{8,0} - (8,90 - 1,90)$$

$OD_{b_1} = 8{,}90 - (20+7)\frac{8.0}{300} = 8{,}90 - 0{,}72 = 8{,}18$ mgO_2/l

5. Es necesario añadir inóculo (microorganismos):

a) la muestra patrón no contiene: ha sido preparada asépticamente

b) los microorganismos son los agentes (imprescindibles) del ensayo.

Los criterios de validez del ensayo son:

a) Consumo de oxígeno $(OD_{b_1} - OD_6) \geq 2$ mgO_2/l

b) oxígeno residual $OD_6 > 1{,}0$ mgO_2/l

$DBO_5 = (8{,}18 - 6{,}10)\frac{300}{2{,}5} - (8{,}90 - 6{,}90) = 247{,}60$

$(8{,}18 - 3{,}45)\frac{300}{5.0} - (8{,}90 - 6{,}90) = 281{,}80$

$(8{,}18 - 0{,}75$

$DBO_5 = \frac{\Sigma}{n} \neq = 264{,}70$ mgO_2/l

6. Error absoluto: $\frac{V_{exp} - V_{real}}{n} = 264{,}70 - 326{,}34 = -61{,}64$ mgO_2/l

Error relativo: $\frac{V_{exp} - V_{real}}{V_{real}} 100 = \frac{-61.64}{326{,}34} 100 = -18{,}89\%$

7. Este análisis NO necesita inóculo (tiene microorganismos)

$DBO_5 = (8{,}90 - 7{,}00)\frac{300}{2} - (8{,}90 - 4{,}90) = 281{,}00$ no válido (< 2 mg/l)

$(8{,}90 - 5{,}55)\frac{300}{4} - (8{,}90 - 4{,}90) = 247{,}25$

$(8{,}90 - 3{,}60)\frac{300}{6} - (8{,}90 - 4{,}90) = 261{,}60$

$(8{,}90 - 1{,}65)\frac{300}{8} - (8{,}90 - 4{,}90) = 267{,}88$

$DBO_5 = \frac{\Sigma}{n} = 258{,}71$ mgO_2/l

DBO_5 (agua residual sin dilución) $= 5 \times 258{,}71 = 1293{,}55$ mgO_2/l

BY NC ND

8. La presencia de sustancias tóxicas afectaría la viabilidad y desarrollo de los microorganismos del inóculo, lo que resultaría en un menor consumo de oxígeno (menor capacidad para mineralizar el sustrato). Los valores de OD_5 serían mayores que los observados en la experimentación de la Tabla 2. El incremento del OD_5 sería tanto mayor cuanto mayor fuese la proporción del volumen de muestra (por mayor aportación de las sustancias tóxicas). En resumen la DBO_5 experimental sería menor cuanto mayor fuera el volumen de muestra utilizado.

9. El criterio a respetar es: $OD_t \geq 1{,}0$ mg/l

$$258{,}71 = (8{,}90 - 1{,}0)\frac{300}{V_m} - (8{,}90 - 4{,}90)$$

$$V_m = \frac{7{,}90 \times 300}{258{,}71 + 4} = 9{,}02 \text{ ml}$$

Nota: los resultados tienen 2 cifras significativas pues el volumen de muestra tiene 2 cifras signif. mientras que los valores de OD tienen 3 cifs. signif.

CC BY NC ND

Tabla 2. Resumen de resultados.

Parámetro	Valor
1. $DBO_{teórica}$	440 mg O_2/l
2. DBO_L	440 mg O_2/l (100% biodegradable)
3. DBO_5	330 mg O_2/l
4. OD_{b_1}	8,2 mg O_2/l
5. $DBO_{5\,exp.}$	260 mg O_2/l
6. Error abs. Error relat.	-6,0·10 mg O_2/l -19%
7. $DBO_{5\,exp.}$	1300 mg O_2/l
8. Tendencia	creciente
9. Volumen	9,0 ml

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Final - Curso 2009-10

2 (20 puntos). La realización de unos túneles ferroviarios requiere la refrigeración de diversa maquinaria de obras públicas, de forma continua durante las 24 horas del día. El proceso de refrigeración se realiza extrayendo y devolviendo agua desde una gran balsa de regulación construida al efecto. La balsa se alimenta de forma continua con agua superficial captada del río Llano, próximo a la balsa. El agua efluente de la balsa se vierte al río, en un punto aguas abajo del punto de captación inicial.

El proceso de refrigeración NO altera la concentración de oxígeno disuelto del agua y el tiempo de estancia del agua en el proceso de refrigeración es insignificante. Sin embargo, el uso del agua conlleva una aportación continua a la balsa de materia orgánica, estimada en un flujo de 40 kg O_2/día, de los cuales un 80% aproximadamente es biodegradable y el resto es no biodegradable. La disipación del calor generado por la maquinaria provoca una evaporación del agua de la balsa, equivalente a un 12% del caudal afluente.

Para potenciar la mineralización biológica de la materia orgánica biodegradable aportada a la balsa, se dispone de varios aireadores que aportan el oxígeno consumido por las bacterias para oxidar la materia orgánica biodegradable, que les sirve de sustrato. Los flujos de agua afluente y efluente a la balsa y de extracción y retorno de la refrigeración hacen que ésta se comporte como un reactor de flujo continuo y mezcla completa.

SABIENDO QUE:
1. La balsa de regulación de agua tiene unas dimensiones útiles de 40 x 20 x 2,0 m^3.
2. El oxígeno disuelto del agua del río Llano (alimentación de la balsa) es de 8,0 mg O_2/L.
3. El oxígeno disuelto del agua de la balsa se debe mantener (como mínimo) en 1,0 mg O_2/L, con objeto de evitar la anaerobiosis (malos olores).
4. El contenido de materia orgánica y de células en el agua captada del río Llano es insignificante.
5. La concentración de materia orgánica biodegradable en el efluente de la balsa de regulación no debe superar 20 mg O_2/L.
6. La degradación de la materia orgánica se realiza exclusivamente por vía biológica, mediante un cultivo bacteriano natural cuyas características cinéticas vienen resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Constantes cinéticas del cultivo biológico heterótrofo obtenido utilizando la materia orgánica como sustrato, medida en términos del oxígeno disuelto equivalente.

Parámetro	Valor
$\mu_{máx}$	1,70 mg células/mg células.día
K_S	130 mg MO/L
Y	0,65 mg células/mg MO
k_d	0,050 mg células/mg células.día

SE PIDE DETERMINAR:
1. Un esquema de la balsa de regulación, con todos los factores necesarios para realizar los balances másicos de materia orgánica y de masa celular.
2. Los balances másicos de materia orgánica biodegradable y de células en la balsa, en régimen permanente.
3. El caudal de agua de alimentación necesaria para asegurar esas condiciones, en m^3/día.
4. La concentración de masa celular en el efluente de la balsa de regulación, en mg/L.
5. El tiempo medio de estancia del agua en la balsa de regulación, en días.
6. La concentración total de materia orgánica (biodegradable y no biodegradable) del efluente, en mg/L.

Para dimensionar los aireadores mecánicos necesarios, se ha estimado que la aportación mínima de oxígeno ha de ser igual al oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable. El aire utilizado tiene 23,2% en peso de oxígeno, la densidad del aire en condiciones normales de presión y temperatura es 1,2 kg/m^3, y la eficiencia del proceso de transferencia de los aireadores es del 45%,

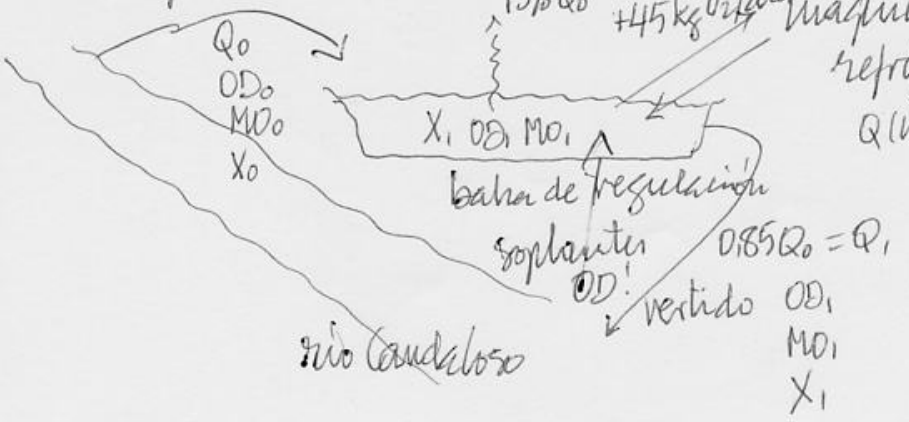
SE PIDE DETERMINAR:
7. El balance de oxígeno disuelto en la balsa de regulación.
8. La flujo de oxígeno (kg/día) que será necesario aportar a la balsa para mantener esas condiciones.
9. La capacidad volumétrica (m3/día) de las soplantes necesarias para aportar el aire necesario para el proceso de oxidación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

BY NC ND

2º Ej. (15 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2009-10
Pco Final

1.



Q (m³/día) × MO (mg/l) = g/día

$OD_0 = 8{,}6$ mg O2/l
$OD_1 = 1{,}0$ mg O2/l
$MO_0 \cong 0$ mg O2/l
$X_0 \cong 0$ mg/l
$MO_1 \leq 25$ mg O2/l

2. Balances másicos de

- materia orgánica disuelta $\frac{d(V \cdot MO_1)}{dt} = Q_0 \cdot MO_0 - 0{,}85 Q_0 MO_1 + 45000\ g/día - q X_1 V$
- materia celular $\frac{d(V \cdot X_1)}{dt} = Q_0 \cdot X_0 - 0{,}85 Q_0 X_1 + \mu_n X_1 V$

En régimen permanente ($\frac{d(-)}{dt} = 0$) y con valores conocidos, los balances quedan reducidos/simplificados así:

- $-0{,}85 Q_0 MO_1 + 45000 - q X_1 V = 0$
- $-0{,}85 Q_0 X_1 + \mu_n X_1 V = 0 \rightarrow -0{,}85 Q_0 = \mu_n V$

Por otra parte: $\mu_n = \mu - k_d$ y $\mu = \frac{\mu_{max} \cdot MO_1}{K_s + MO_1}$, $\mu = Y \cdot q$

$\mu = \frac{1{,}65 \times 25}{140 + 25} = \frac{1{,}65 \times 25}{165} = 0{,}250\ día^{-1} \rightarrow \mu_n = 0{,}250 - 0{,}05 = 0{,}20\ día^{-1}$

Adeveán: $V = 50 \times 25 \times 2{,}5 = 3125\ m^3$.

4. $-0{,}85 Q_0 = \mu_n V$; $Q_0 = \frac{\mu_n V}{0{,}85} = \frac{0{,}20 \cdot 3125}{0{,}85} = 735{,}294\ m^3/d$

$0{,}85 Q_0 = \mu_n V$

BY NC ND

3. $-0{,}85 Q_0 M O_1 + 45000 - q X_1 V = 0$ $\quad q = \frac{\mu}{Y} = \frac{0{,}250}{0{,}70} = 0{,}357\ d^{-1}$

$q X_1 V = 45000 - 0{,}85 Q_0 M O_1$

$X_1 = \frac{45000 - 0{,}85 Q_0 M O_1}{qV} = \frac{45000 - 0{,}85 \cdot 735{,}294 \cdot 25}{0{,}357 \cdot 3125} = 26{,}330$ mg/l

5. Como NO hay recirculación celular $T_C = T_H$ y $T_C = \frac{1}{\mu n}$

Luego $T_H = T_C = \frac{1}{\mu n} = \frac{V}{0{,}85 Q_0} = \frac{3125}{0{,}85 \cdot 735{,}294} = 5{,}0$ días

$\frac{1}{0{,}20} = 5{,}0$ días

6. Balance másico de oxígeno:

$\frac{d(V \cdot OD_1)}{dt} = Q_0 OD_0 - 0{,}85 Q_0 OD_1 + \text{aport.} - q X_1 V = 0$ (reg. perm.)

(aportación mecánica externa)

Aportación mecánica $= q X_1 V + 0{,}85 Q_0 OD_1 - Q_0 OD_0 =$

$= 0{,}357 \cdot 26{,}330 \times 3125 + 0{,}85 \cdot 735{,}294 \cdot 10 - 735{,}294 \cdot 8{,}6 =$

$= 29{,}374{,}41 + 625{,}60 - 6323{,}53 = 23{,}675{,}88$ g/día

Aportación: 23,675 kg O_2/día → 24 kg O_2/día

Capacidad de los soplantes =

$= 23{,}675 \frac{kg\ O_2}{día} \times \frac{100\ kg\ aire}{23{,}2\ kg\ O_2} \times \frac{1\ m^3}{1{,}2\ kg\ aire} \times \frac{1}{0{,}35} =$

$= 242{,}97 \frac{m^3\ aire}{día} \rightarrow 240\ m^3/día$

CC BY NC ND

Tabla 2. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Esquema	adjunto
2. Balances (reg. permanente)	$-0{,}85 Q_0 M_0 + 45000 - gVX_1 = 0$ $-0{,}85 Q_0 X_1 + \mu_n X_1 V = 0$
3. Concentr. de células X_1	26 mg/l
4. Caudal afluente, Q_0	740 m^3/d
5. Tiempo medio entrada hidráulica	5,0 días
6. Balance de oxígeno (reg. permanente)	$Aport = gX_1V + 0{,}85 Q_0 OD_1 - Q_0 OD_0$
7. Flujo de oxígeno	24 kg O_2/d
8. Capacidad soplantes	240 m^3/d

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial -1 Final - Curso 2009-10

3 (20 puntos). Se desea realizar un anteproyecto de los procesos de floculación, decantación y filtración con arena de la planta de potabilización de agua del municipio de Torres Blancas.

El Pliego de Bases para la redacción del proyecto establece que:

1. La población del municipio es 20.000 habitantes y su dotación media de agua es de 150 litros/hab.día.
2. El proceso de floculación constará de 2 reactores de mezcla completa con T = 7,5 minutos cada uno, de forma cilíndrica, con diámetro igual a la altura del agua y un resguardo de 0,30 m.
3. La turbiedad media del agua afluente es de 45 UNT.
4. La turbiedad media del agua efluente será de 5 UNT.
5. Los decantadores han de ser iguales, de planta rectangular y base horizontal, con un tiempo de estancia hidráulica de 2,5 horas y una relación largo/ancho de 3,2. La longitud máxima de los decantadores ha de ser 12 m, debiendo adoptarse un número mínimo de 2 decantadores activos. No se proyectará ningún decantador adicional de reserva.
6. Los filtros de arena rápidos han de ser iguales, de planta rectangular y base horizontal, con una carga hidráulica superficial de 6 m/hora, una relación largo/ancho de 2,5 y una longitud máxima de 6,0 m. Deberá adoptarse un filtro adicional a los estrictamente necesarios (en estado de fuera de servicio), como medida de fiabilidad del proceso.
7. La distribución de frecuencias, f(v), de la velocidad de decantación de los flóculos obtenidos en el proceso de coagulación-floculación es la esquematizada en la figura 3.

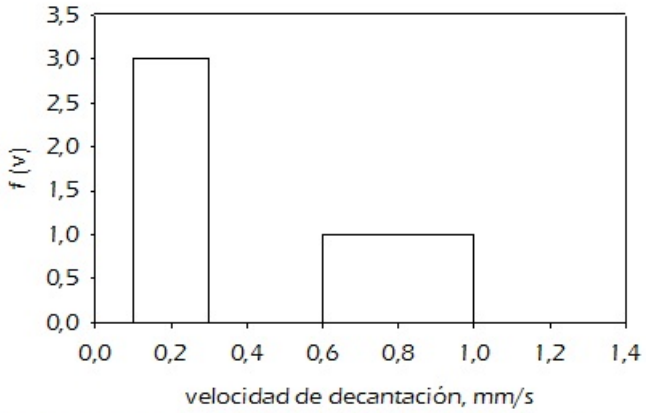


Figura 3. Distribución de frecuencias de la velocidad de decantación.

SE DESEA DETERMINAR:

1. El diámetro y la altura de cada uno de los 2 floculadores necesarios, expresados en metros.
2. La expresión gráfica de la distribución acumulada de frecuencias de la velocidad de decantación.
3. La carga hidráulica superficial del decantador, en m^3/m^2.día, que asegure el nivel de calidad efluente requerido, de acuerdo con el modelo de decantación de Hazen.
4. El número y las dimensiones de los decantadores necesarios, expresadas en metros.
5. El número y las dimensiones de los filtros de arena necesarios, expresadas en metros.
6. La expresión algebraica y la representación gráfica de la distribución de frecuencias de la velocidad de decantación de las partículas que salen en el efluente del decantador.
7. Un esquema en planta de la distribución de los decantadores y filtros, con indicación de los conductos necesarios, desde que el agua llega a los floculadores hasta que el caudal total sale de los filtros.

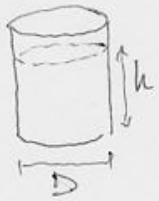
Resumir los resultados en una Tabla
Utilizando 2 cifras significativas

BY NC ND

3er. Ej. (20 puntos) Ingeniería Ambiental 3º 2009-10
2º Parcial - 1er Final

$Q = 20000\ hab \times 150\ l/hab.día = 3000000\ l/d = 3000\ m^3/d$

1. $V = Q \cdot T = 3000 \frac{m^3}{d} \times 7{,}5\ min \times \frac{1\ h}{60\ min} \times \frac{1\ d}{24\ h} = 15{,}625\ m^3$

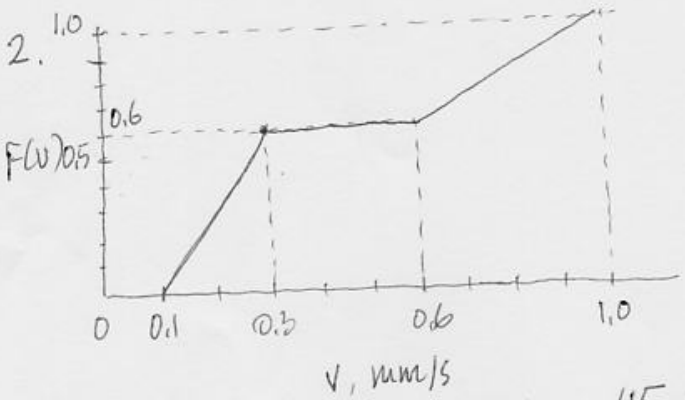


$V = \pi \frac{D^2}{4} \cdot h = \pi \frac{D^2}{4} \cdot D = \pi \frac{D^3}{4} = 15{,}625$

$D^3 = \frac{4 \times 15{,}625}{\pi} = 19{,}894 \rightarrow D = 2{,}71\ m$

$H = 2{,}71 + 0{,}30 = 3{,}01\ m$

2.



$0{,}3 - 0{,}1 = 0{,}2$
$0{,}2 \times 3{,}0 = 0{,}6$

$1{,}0 - 0{,}6 = 0{,}4$
$0{,}4 \times 1{,}0 = 0{,}4$

$\frac{0{,}4}{1{,}0}$ ✓

3. Una proporción de retención: $\frac{45 - 5\ unt}{45\ unt} 100 = 88{,}89\%$

Una propuesta de solución: $v_0 = 0{,}30\ mm/s$

Area (izquierda y superior a $F(v)$) $= 0{,}3 \times 1{,}0 - \frac{1}{2} 0{,}2 \cdot 0{,}6 = 0{,}24$

Retención: $\frac{Area}{v_0} = \frac{0{,}24}{0{,}30} = 0{,}80$ inferior a 88,89%

Luego hemos de rebajar v_0!

Ecuación de la recta $F(v)$ $[0{,}1; 0{,}3]$

$v = 0{,}1 \quad F(0{,}1) = 0$
$v = 0{,}3 \quad F(0{,}3) = 0{,}6$

$\frac{F(v) - 0}{v - 0{,}1} = \frac{0{,}6 - 0}{0{,}3 - 0{,}1}$; $F(v) = 3(v - 0{,}1)$

BY NC ND

$$\text{Área} = V_0 \times 1{,}0 - \frac{1}{2}(V_0 - 0{,}1)\cdot 3(V_0 - 0{,}1) = V_0 - \frac{3}{2}(V_0 - 0{,}1)^2$$

$$\text{Retención} = \frac{\text{Área}}{V_0} = \frac{V_0 - 1{,}5(V_0 - 0{,}1)^2}{V_0} = 0{,}8889$$

$$V_0 - 1{,}5(V_0^2 + 0{,}01 - 0{,}2V_0) = 0{,}8889\, V_0$$

$$1{,}5V_0^2 - V_0 - 0{,}3V_0 + 0{,}015 + 0{,}8889 V_0 = 0$$

$$1{,}5V_0^2 - 0{,}411 V_0 + 0{,}015 = 0 \qquad V_0 = \frac{0{,}411 \pm \sqrt{0{,}411^2 - 4\times 1{,}5 \times 0{,}015}}{2\times 1{,}5}$$

$$V_0 = \frac{0{,}411 \pm 0{,}281}{3{,}0} = \begin{cases} \nearrow 0{,}231 \\ \searrow 0{,}043 \end{cases} \qquad V_0 = 0{,}231 \text{ mm/s}$$

$$V_0 = 0{,}231 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \times \frac{86400\,\text{s}}{\text{d}} \times \frac{1\,\text{m}}{10^3\,\text{mm}} = 19{,}94\ \text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$$

4. Superficie necesaria:

$$V_0 = \frac{Q}{S}\ ;\ S = \frac{Q}{V_0} = \frac{3000\ \text{m}^3/\text{d}}{19{,}94\ \text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}} = 150{,}49\ \text{m}^2$$

Condiciones: $L/a = 3{,}2$ $\quad L \le 12\,\text{m}$

En condiciones máximas: $n\,L\,a = n\,12\,\frac{12}{3{,}2} = 150{,}49$

Luego hemos de adoptar $n = 4$. $\quad n = 3{,}344$

$$S = 150{,}49 = 4 \times L \times \frac{L}{3{,}2} \rightarrow L^2 = \frac{150{,}49 \times 3{,}2}{4} = 120{,}392$$

$$\text{Altura} = \frac{\text{Vol.}}{\text{Sup.}} = \frac{3000\ \text{m}^3/\text{d}\cdot 2{,}5\,\text{h}\times\frac{1\,\text{d}}{24\,\text{h}}}{150{,}49\ \text{m}^2} = 2{,}077\ \text{m}$$

$L = 10{,}972\,\text{m}$

$a = 3{,}429\,\text{m}$

Dimensiones: $L = 11\,\text{m}$; $a = 3{,}4\,\text{m}$; $h = 2{,}1\,\text{m}$

5. Filtros: Condiciones $L \le 6{,}0\,\text{m}$ $\quad \frac{L}{a} = 2{,}5$

$$V_0 = \frac{Q}{S}\ ;\ S = \frac{3000\ \text{m}^3/\text{d}}{6\ \frac{\text{m}}{\text{h}}\ \frac{24\,\text{h}}{\text{d}}} = 20{,}83\ \text{m}^2$$

CC BY NC ND

En condiciones máximas:

$$20{,}83\ m^2 = n \cdot 6 \cdot \frac{6}{2{,}5};\quad n = 1{,}45 \quad \text{luego } n = 2$$

$$2 \times b \times \frac{L}{2{,}5} = 20{,}83;\quad L^2 = \frac{20{,}83 \times 2{,}5}{2} = 26{,}04;\quad L = 5{,}1\ m$$

$$a = 2{,}0\ m$$

incluiremos 1 filtro adicional (reserva!)

6. Función de partículas efluentes [entre 0,1 y 0,231]

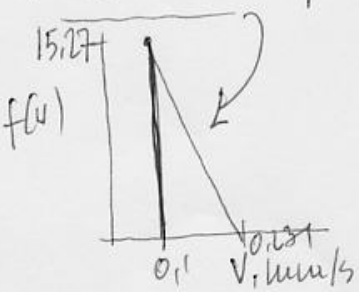
$$f'(v) = k \cdot \left(1 - \frac{v}{v_0}\right) \quad f(v) = k \cdot 3\left(1 - \frac{v}{v_0}\right) \qquad (v_0 = 0{,}231)$$

La integral entre (0,1; 0,231) debe ser igual a 1,0

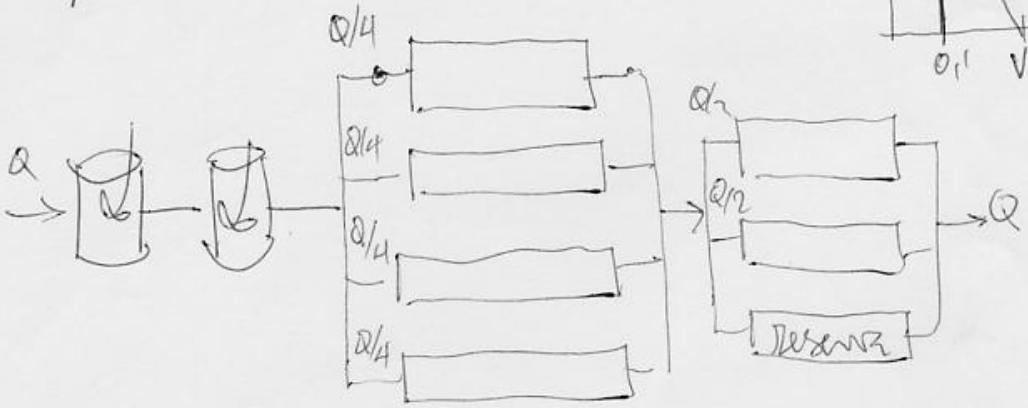
$$\int_{0{,}1}^{0{,}231} 3k\left(1 - \frac{v}{v_0}\right) dv = 3k\left[1 - \frac{v^2}{2v_0}\right]_{0{,}1}^{0{,}231} = 3k\left[0{,}131 - \frac{0{,}231^2 - 0{,}1^2}{2 \times 0{,}231}\right] = 1{,}0$$

$$3k(0{,}131 - 0{,}094) = 3k\,0{,}037 = 1;\quad k = 8{,}974.$$

$$f'(v) = 3 \cdot k\left(1 - \frac{v}{0{,}231}\right) = 26{,}92 - 116{,}54\,v \rightarrow 27 - 120\,v = f'(v)$$



7. Esquema:



cc BY NC ND

Tabla 3. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Floculadores	$D = 2{,}7\ m$ $H = 3{,}0\ m$
2. Distribución	gráfica adjunta
3. Carga hidráulica	$2{,}0 \times 10\ m^3/m^2 \cdot d$
4. Decantadores	$n = 4$ $L = 11\ m$ $a = 3{,}4\ m$ $h = 2{,}1\ m$
5. Filtros	$n = 2 + 1$ (reserva) $L = 5{,}1\ m$ $a = 2{,}0\ m$
6. Distrib. frecuencias	$f'(v) = 27 - 120 \cdot v$ gráfica adjunta
7. Esquema	adjunto

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Parcial -1 Final - Curso 2009-10

4 (25 puntos). Se trata de dimensionar un sistema de desinfección que asegure la calidad sanitaria del agua de una piscina pública ubicada en los jardines del Hotel "Las Arenas". La autorización sanitaria para el mantenimiento y explotación de la piscina establece que:

1. El número máximo de usuarios autorizados será de 150 personas al día, de las cuales se estima que un máximo de 60 estarán permanentemente en el agua (no necesariamente los mismos). La piscina permanecerá abierta al público desde las 8:00 h hasta las 22:00 h.
2. La contaminación media aportada por cada bañista se estima en 7×10^9 CF/persona-hora.
3. La piscina se comporta como un reactor de mezcla completa durante las horas de acceso del público. Durante las 14 horas de servicio público, el agua de la piscina se renueva con un flujo estable de agua de pozo equivalente a 50 litros (totales) por cada usuario autorizado, además del agua evaporada por la acción solar durante todo el día, estimada en un valor medio de 4 mm/14 horas.
4. El agua de la piscina deberá mantenerse en todo momento a pH = 7,9 y adecuadamente desinfectada, con una concentración máxima de 1 CF/100 mL.

CONSIDERANDO QUE:

1. La piscina tiene una superficie de 40 x 60 m y una profundidad media de 3,0 m.
2. El abastecimiento de agua a la piscina se realiza a partir de agua de pozo, que puede contener una concentración media de hasta 4×10^5 CF/100 mL.
3. La aportación de cloro libre se realiza mediante lejía industrial, con un 12,5% de cloro activo. Un 15% del desinfectante presente en la piscina se inactiva cada hora por acción de la luz solar. Además, un 8% del desinfectante añadido durante las horas de baño se inactiva casi instantáneamente por reacción con el amoníaco liberado por los bañistas.
4. El proceso de desinfección obedece a una ley del tipo

$$\frac{dN}{dt} = -kCN$$

N = concentración bacteriana, CF/100 ml

C = concentración de desinfectante, mg Cl_2/L

5. La velocidad de desinfección de varios desinfectantes simultáneos es aditiva.
6. Estudios realizados en un reactor de flujo discontinuo indican que el 90% de los coliformes fecales contenidos en un agua son inactivados en 5 minutos, a 20°C, mediante una concentración de 1,20 mg Cl_2/l de OCl^-, o alternativamente por una concentración de 0,015 mg Cl_2/l de HOCl.

DETERMINAR:

1. El diagrama detallado del reactor experimental y los balances másicos utilizados para determinar las constantes de desinfección.
2. Las constantes de desinfección de ambas especies cloradas, referidas a horas como unidad de tiempo.
3. Un esquema detallado de la piscina (en tanto que reactor) en el que se indiquen claramente todas las variables y factores a tener en cuenta para poder establecer los balances de microorganismos y de desinfectante.
4. Los balances másicos de microorganismos y de desinfectante (detalladamente deducidos) necesarios para calcular la concentración de desinfectante que permite asegura las normas de calidad requeridas.
5. La concentración mínima de cloro activo, en mg Cl_2/l, que debe contener el agua de la piscina, en régimen permanente, para asegurar el cumplimiento de la calidad sanitaria requerida.
6. El caudal de lejía industrial que es necesario añadir al agua de la piscina diariamente, en litros/día.

$pK_{HOCl} = 7{,}4$ a 20°C.

Resumir los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

4º Ej. (25 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2009-10
2º Parcial - 1er Final

1.

$t=0 \quad N_0$
$t=t \quad N_t$

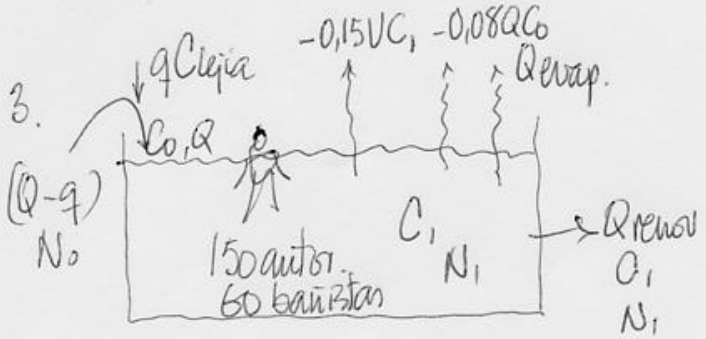
$$\frac{d(VN_1)}{dt} = -KCN_1V \rightarrow \frac{dN_1}{N_1} = -KCdt$$

$$\int_{N_0}^{N_T} \frac{dN_1}{N_1} = -KC\int_0^T dt \; ; \; \ln\frac{N_T}{N_0} = -KCT \; ; \; N_T = N_0 \exp(KCT)$$

2º. $$K = -\frac{\ln \frac{N_T}{N_0}}{CT} \; ; \; HOCl \; ; \; K_{HOCl} = -\frac{\ln 10/100}{0{,}015 \cdot 5 \cdot \frac{1}{60}} = \frac{2{,}303}{0{,}001} = 1842{,}0 \; \frac{l}{mgCl_2 \cdot h}$$

$$OCl^- \; ; \; K_{OCl^-} = -\frac{\ln 10/100}{1{,}20 \cdot 5 \cdot \frac{1}{60}} = \frac{2{,}303}{0{,}100} = 23{,}026 \; \frac{l}{mgCl_2 \cdot h}$$

3.



$V = 40 \times 60 \times 3{,}0 = 7200 \; m^3$

atención → $q_{lejía} \ll Q_{af} = Q_{renov} + Q_{evap}$

$$Q_{renov} = 150 \text{ autorizados} \times 50 \frac{l}{autor} \times \frac{1}{14 \text{ horas}} = 535{,}714 \; l/h$$

$$Q_{evap} = 40 \times 60 \; m^2 \times 4 \frac{l}{m^2} \times \frac{1}{14 \text{ horas}} = 685{,}714 \; l/h$$

$$Q = Q_{renov} + Q_{evap} = 535{,}714 + 685{,}714 = 1221{,}429 \; l/h$$

si suponemos que $q \ll Q$, la aportación de colif será $\approx Q \cdot N_0$

CC BY NC ND

4. Balances másicos en la piscina:

· microorg.: $\frac{d(VN_1)}{dt} = (Q - \cancel{q}^{\,0})N_0 - Q_{recirc} \cdot N_1 + Aport - \Sigma k_i C_i \cdot N_1 \cdot V$

· biocida (lejía): $\frac{d(VC_1)}{dt} = Q \cdot C_0 - Q_{recirc} \cdot C_1 - 0{,}15 VC_1 - 0{,}08 Q C_0$

en condiciones de régimen permanente $\frac{d(\,)}{dt} = 0$

Aportación: 60 bañistas $\times$ 7×10^9 CF/bañista-hora $= 42\,10^{10}$ CF/h

$\frac{[ClO^-][H^+]}{[HOCl]} = 10^{-7{,}4}$; pH = 7,9 $\rightarrow$ $\frac{[ClO^-]}{[HOCl]} = \frac{C_{ClO^-}}{C_{HOCl}} = \frac{10^{-7{,}4}}{10^{-7{,}9}} = 10^{0{,}5} = 3{,}16$

$C_{ClO^-} = 3{,}16\, C_{HOCl}$

5. Balance microbiano

$$1221{,}43 \cdot 4 \cdot 10^6 + 42 \cdot 10^{10} - 535{,}714 \cdot 10 = (1842 \cdot C_{HOCl} + 23 \cdot C_{ClO^-})\,10 \cdot 7{,}2 \cdot 10^6$$

$$C_{HOCl} = \frac{1221{,}43 \cdot 4 \cdot 10^6 + 42 \cdot 10^{10} - 535{,}714 \cdot 10}{(1842 + 23 \cdot 3{,}16)\,7{,}2 \cdot 10^7} = \frac{424{,}885 \times 10^9}{1914{,}68} = 3{,}082 \text{ mg Cl}_2/\ell$$

$C_{ClO^-} = 3{,}16 \cdot C_{HOCl} = 9{,}739$ mg Cl$_2$/ℓ

$C_1 = C_{HOCl} + C_{ClO^-} = 12{,}82$ mg Cl$_2$/ℓ

6. Balance de biocida:

$Q C_0 = q_{lejía} \cdot C_{lejía}$

$(1 - 0{,}08) Q C_0 = (1 - 0{,}08) q_{lejía} \cdot C_{lejía} = Q_{recirc} \cdot C_1 + 0{,}15 \cdot V C_1$

$$q_{lejía} = \frac{535{,}714 \cdot 12{,}82 + 0{,}15 \cdot 7{,}2 \cdot 10^6 \cdot 12{,}82}{125000 \cdot 0{,}92} = 120\ \ell/h \quad (< 1221\ \ell/h)$$

$q_{diario} = 120{,}456 \times 14$ horas $= 1686{,}384\ \ell$/día

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Diagrama balance	adjunto $\frac{d(VN_1)}{dt} = -KCN_1V$
2. Constantes de desinfección	$k_{THM} = 1800\ l/mg\,Cl_2 \cdot h$ $k_{OTC} = 23\ l/mg\,Cl_2 \cdot h$
3. Esquema de la piscina	adjunto
4. Balances (reg. permanente) microorganismos biocida	$QN_0 - Q_r N_1 + A_{port} - \Sigma k_i C_i N_i V = 0$ $QC_0 - Q_r C_1 - 0{,}15VC_1 - 0{,}08QC_0 = 0$
5. Concentr. cloro activo	13 mg Cl_2/l
6. Caudal diario de biocida	1700 l/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
ETS de Ingenieros de Caminos

Ingeniería Ambiental
2 Final - Curso 2009-10

2 (20 puntos). La realización de unos túneles ferroviarios requiere la refrigeración de diversa maquinaria de obras públicas, de forma continua durante las 24 horas del día. El proceso de refrigeración se realiza extrayendo y devolviendo agua desde una gran balsa de regulación construida al efecto. La balsa se alimenta de forma continua con agua superficial captada del río Llano, próximo a la balsa. El agua efluente de la balsa se vierte al río, en un punto aguas abajo del punto de captación inicial.

El proceso de refrigeración NO altera la concentración de oxígeno disuelto del agua y el tiempo de estancia del agua en el proceso de refrigeración es insignificante. Sin embargo, el uso del agua conlleva una aportación continua a la balsa de materia orgánica, estimada en un flujo de 40 kg O_2/día, de los cuales un 80% aproximadamente es biodegradable y el resto es no biodegradable. La disipación del calor generado por la maquinaria provoca una evaporación del agua de la balsa, que puede cifrarse en un 12% del caudal afluente.

Para potenciar la mineralización biológica de la materia orgánica biodegradable aportada a la balsa, se dispone de varios aireadores que aportan el oxígeno consumido por las bacterias para oxidar la materia orgánica biodegradable, que les sirve de sustrato. Los flujos de agua afluente y efluente a la balsa y de extracción y retorno de la refrigeración hacen que ésta se comporte como un reactor de flujo continuo y mezcla completa.

SABIENDO QUE:

1. La balsa de regulación de agua tiene unas dimensiones útiles de 40 x 20 x 2,0 m^3.
2. El oxígeno disuelto del agua del río Llano (alimentación de la balsa) es de 8,0 mg O_2/L.
3. El oxígeno disuelto del agua de la balsa se debe mantener (como mínimo) en 1,0 mg O_2/L, con objeto de evitar la anaerobiosis (malos olores).
4. El contenido de materia orgánica y de células en el agua captada del río Llano es insignificante.
5. La concentración de materia orgánica biodegradable en el efluente de la balsa de regulación no debe superar 20 mg O_2/L.
6. La degradación de la materia orgánica se realiza exclusivamente por vía biológica, mediante un cultivo bacteriano natural cuyas características cinéticas vienen resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Constantes cinéticas del cultivo biológico heterótrofo obtenido utilizando la materia orgánica como sustrato, medida en términos del oxígeno disuelto equivalente.

Parámetro	Valor
$\mu_{máx}$	1,70 mg células/mg células.día
K_S	130 mg MO/L
Y	0,65 mg células/mg MO
k_d	0,050 mg células/mg células.día

SE PIDE DETERMINAR:

1. Un esquema de la balsa de regulación, con todos los factores necesarios para realizar los balances másicos de materia orgánica y de masa celular.
2. Los balances másicos de materia orgánica biodegradable y de células en la balsa, en régimen permanente.
3. El caudal de agua de alimentación necesaria para asegurar esas condiciones, en m^3/día.
4. La concentración de masa celular en el efluente de la balsa de regulación, en mg/L.
5. El tiempo medio de estancia del agua en la balsa de regulación, en días.
6. La concentración total de materia orgánica (biodegradable y no biodegradable) del efluente, en mg/L.

Para dimensionar los aireadores mecánicos necesarios, se ha estimado que la aportación mínima de oxígeno ha de ser igual al oxígeno consumido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable. El aire utilizado tiene 23,2% en peso de oxígeno, la densidad del aire en condiciones normales de presión y temperatura es 1,2 kg/m^3, y la eficiencia del proceso de transferencia de los aireadores es del 45%,

SE PIDE DETERMINAR:

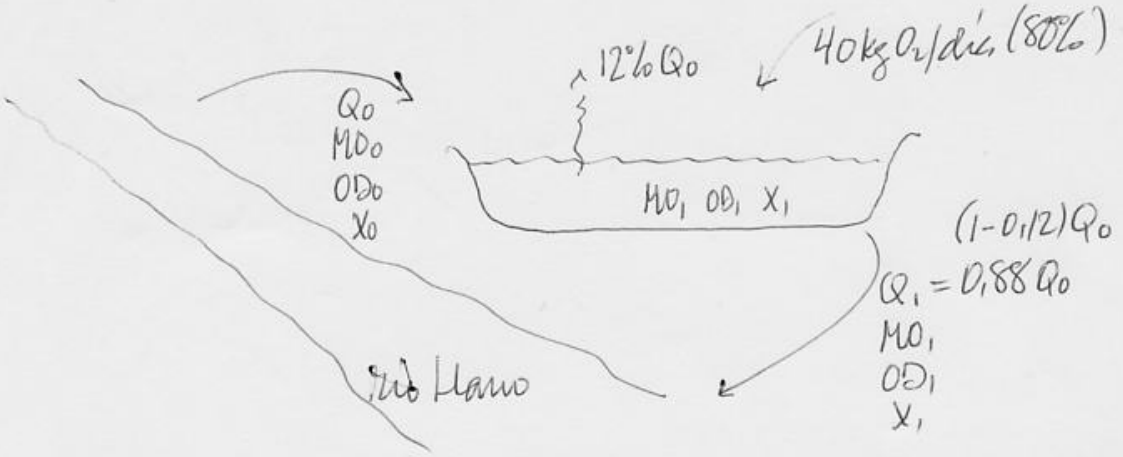
7. El balance de oxígeno disuelto en la balsa de regulación.
8. La flujo de oxígeno (kg/día) que será necesario aportar a la balsa para mantener esas condiciones.
9. La capacidad volumétrica (m3/día) de las soplantes necesarias para aportar el aire necesario para el proceso de oxidación.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

BY NC ND

(20 puntos) Ingeniería Ambiental 3º 2009-10

2º Ex. Final



Volumen: $40 \times 20 \times 2,0 = 1600\ m^3$

Superficie: $40 \times 20 = 800\ m^2$

$OD_0 = 8,0\ mg O_2/l$ $\quad MO_0 \cong 0$

$OD_1 = 1,0\ mg O_2/l$ $\quad X_0 \cong 0$

MO (mat. org. biodegradable)

$MO_1 = 20\ mg O_2/l = 20\ g O_2/m^3$

Aporte MO biodeg. $= 40 \times 0,80 = 32\ kg O_2/d$

2. Balances másicos:

· MO biodegr.: $\dfrac{d(V \cdot MO_1)}{dt} = Q_0 \cdot MO_0 + Aporte - Q_1 MO_1 - q \cdot V \cdot X_1 = 0$

$\dfrac{d(V \cdot X_1)}{dt} = Q_0 \cdot X_0 - Q_1 X_1 + \mu_n X_1 V = 0$

régimen permanente

3. Del balance de materia celular, en régimen permanente,

$Q_0 X_0 - Q_1 X_1 + \mu_n X_1 V = 0 \qquad Q_1 = \mu_n V$ donde $Q_1 = 0,88 Q_0$

$\mu = \dfrac{\mu_{max} \cdot MO_1}{K_S + MO_1} = \dfrac{1,70 \cdot 20}{130 + 20} = \dfrac{34,00}{150} = 0,227\ día^{-1}$

$\mu_n = \mu - k_d = 0,227 - 0,050 = 0,177\ día^{-1}$ $\qquad \mu = Y \cdot q$

$\dfrac{1}{\mu_n} = \dfrac{1}{0,177} = 5,66\ día$ $\qquad q = \dfrac{\mu}{Y} = \dfrac{0,227}{0,65} = 0,349$

CC BY NC ND

$$Q_1 = 0{,}88\,Q_0 = \mu_n V \rightarrow Q_0 = \frac{\mu_n V}{0{,}88} = \frac{0{,}177 \cdot 1600}{0{,}88} = 321{,}2\ m^3/d$$

4. Del balance de materia orgánica biodegr. (régimen permanente)

$$Q_0 \overset{\rightarrow 0}{MO_0} + 32000\ g/d - Q_1 MO_1 - q X_1 V = 0$$

$$X_1 = \frac{32000 - 0{,}88 \cdot 321{,}2 \cdot 20}{0{,}349 \cdot 1600} = \frac{26346}{558{,}4} = 47{,}18\ mg/l$$

5. En ausencia de recirculación celular

$$T_h = T_c \;;\; T_c = \frac{1}{\mu_n} \rightarrow T_h = \frac{1}{\mu_n} = 5{,}66\ día \rightarrow 5{,}7\ día$$

6. Materia orgánica no biodegr. (régimen permanente)

$$MO_{nb} = \frac{40000\ g/día \cdot 0{,}20}{0{,}88 \cdot Q_0} = \frac{8000\ g/d}{0{,}88 \cdot 321{,}2\ m^3/d} = 28{,}3\ g/m^3 = 28{,}3\ mg/l$$

Materia orgánica total =

$$MO_T = MO_{biod.} + MO_{no\,biod} = 20 + 28{,}3 = 48{,}3\ mg\,O_2/l$$

7. Balance de oxígeno (régimen permanente)

$$\frac{d(V \cdot OD_1)}{dt} = Q_0 OD_0 - 0{,}88 Q_0 OD_1 + \text{Aport. mecánica} - q X_1 V = 0$$

$$\text{Aportación mecánica} = 321{,}2 \cdot 8{,}0 + 0{,}88 \cdot 321{,}2 \cdot 1{,}0 + 0{,}349 \cdot 47{,}18 \cdot 1600 =$$

$$= -2569{,}6 + 282{,}66 + 26345{,}3 = 24058{,}37\ g/día = 24{,}06\ kg\,O_2/día$$

Capacidad de soplantes:

$$24{,}06\ kg\,O_2/día \times \frac{100\ kg\,aire}{23{,}2\ kg\,O_2} \times \frac{1\ m^3}{1{,}2\ kg\,aire} \times \frac{1}{0{,}45} = 192\ m^3\,aire/l = 190\ m^3\,aire/d$$

cc BY NC ND

Tabla 2. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Esquema	Adjunto
2. Balances	$Q_0 M_{O_0} + Aporte - Q_1 M_{O_1} - q X_1 V = 0$ $Q_0 X_0 - Q_1 X_1 + \mu_m X_1 V = 0$
3. Caudal efluente Q_0	320 m^3/d
4. Conc. células, X_1	47 mg/l
5. Tiempo medio de permanencia hidráulica	5,7 día
6. Materia orgánica total (disuelta)	48 mg O_2/l
7. Balance de oxígeno	$Q_0 DO_0 - 0,88 Q_0 DO_1 + Ap - q X_1 V = 0$
8. Flujo de oxígeno	24 Kg O_2/día
9. Capacidad de soplantes	190 m^3 aire/día

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Final - Curso 2009-10

3 (25 puntos). Se desea dimensionar un sistema de desinfección que asegure la calidad sanitaria del agua de la fuente ornamental del barrio de Costa Blanca, en condiciones de sequía, que sólo permite añadir a la fuente el agua perdida por evaporación. Los servicios técnicos municipales han establecido las siguientes condiciones operativas:

1. La fuente recibe una aportación externa de contaminación microbiana durante las horas del día (07:00 a 19:00 horas), debida a la presencia en el agua de un número medio de 20 aves de diversos tipo.
2. La velocidad media de emisión de CF de un ave se ha estimado en un valor equivalente a 8×10^8 CF/hora.
3. La fuente se comporta como un reactor de mezcla completa durante las horas de acceso del público (7 mañana a 7 tarde). Durante esas 12 horas, a la fuente se le añade un flujo estable de agua de pozo, destinada a recuperan las perdidas experimentadas por evaporación.
4. La fuente carece de cualquier otra aportación o extracción de agua durante el periodo considerado.
5. El agua de la fuente deberá mantenerse en todo momento a pH = 8,0 y adecuadamente desinfectada, con una concentración máxima de 1 CF/100 mL.

CONSIDERANDO QUE:

1. La fuente ornamental tiene una superficie de 20 x 60 m y una profundidad media de 0,5 m.
2. El abastecimiento de agua a la fuente se realiza a partir de un pozo, cuya agua puede contener una concentración media de 9×10^4 CF/100 mL.
3. La tasa de evaporación de agua en la fuente puede considerarse uniforme durante las horas de acceso del público y equivalente a 0,4 L/m^2.hora.
4. El cloro se añade directamente al caudal de agua del pozo, inmediatamente antes de que el agua de reposición se vierta a la fuente.
5. La aportación de cloro se realiza mediante lejía industrial, con un contenido de cloro activo del 12%.
6. Un 35% del desinfectante presente en el agua de la fuente se inactiva cada hora por acción de la luz solar.
7. El proceso de desinfección obedece a una ley del tipo

$$\frac{dN}{dt} = - k\ C\ N$$

donde: N = concentración bacteriana, en CF/100 mL
C = concentración de desinfectante, en mg Cl_2/L

8. La velocidad de desinfección de varios desinfectantes simultáneos es aditiva.
9. Estudios realizados en un reactor de flujo continuo y mezcla completa, con un T_h =10 minutos, indican que el 95% de los coliformes fecales contenidos en un agua son inactivados a 20°C mediante una concentración de 4,7 mg Cl_2/l de OCl-, o alternativamente con una concentración de 0,052 mg Cl_2/l de HOCl.

DETERMINAR:

1. Un esquema detallado y completo del reactor utilizado para obtener el balance bacteriano durante el ensayo de laboratorio, así como la deducción detallada del mismo.
2. Las constantes de desinfección de ambas especies cloradas, con sus unidades referidas a horas.
3. Un esquema detallado de la fuente ornamental (en tanto que reactor) en el que se indiquen claramente todas las variables y factores a tener en cuenta para poder establecer los balances de microorganismos y de desinfectante.
4. La concentración mínima de cloro activo, en mg Cl_2/l, que debe contener el agua de la fuente ornamental para asegurar que ésta bien desinfectada, en régimen permanente, durante las horas de acceso público.
5. La concentración de cloro activo, en mg Cl_2/l, que contendrá el agua vertida a la fuente.
6. El volumen de lejía industrial que es necesario utilizar diariamente, en litros/día.

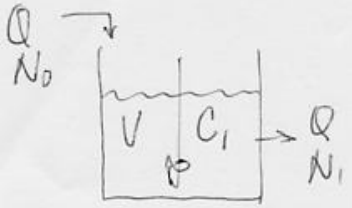
$$pK_{HOCl} = 7{,}4 \text{ a } 20^\circ \text{ C}$$

Resumir los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

3r. Ejer. (25 ptos) Ingeniería Ambiental 3º 2009-10

2º Ex. Final



$$\frac{d(VN_1)}{dt} = Q \cdot N_0 - Q \cdot N_1 - VKC_1N_1 = 0 \quad \text{reg. perman.}$$

$$QN_0 = QN_1\left(1 + KC_1\frac{V}{Q}\right)$$

$$N_0 = N_1(1 + KC_1T)$$

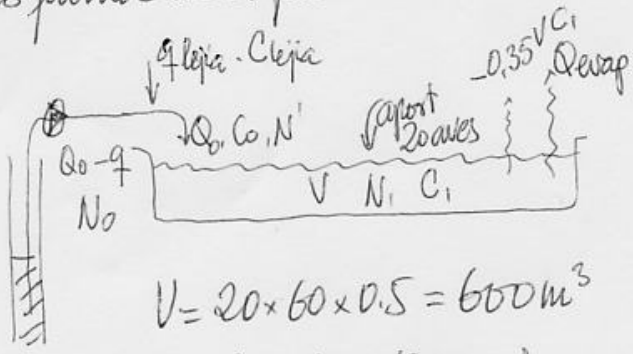
$$\frac{N_0}{N_1} = 1 + KC_1T; \quad KC_1T = \frac{N_0}{N_1} - 1; \quad K = \frac{1}{C_1T}\left[\frac{N_0}{N_1} - 1\right]$$

2. Constantes de desinfección:

$$K_{OCl^-} :: \quad K_{OCl^-} = \frac{1}{4{,}7\,mg/l \cdot 10\,min \cdot \frac{1h}{60\,min}}\left[\frac{100}{5} - 1\right] = 24{,}26\,\frac{l}{mg \cdot h}$$

$$K_{HOCl} :: \quad K_{HOCl} = \frac{1}{0{,}052\,mg/l \cdot 10\,min \cdot \frac{1h}{60\,min}}\left[\frac{100}{5} - 1\right] = 2192\,\frac{l}{mg \cdot h}$$

3. Esquema de la fuente ornamental:



condición

$Q_0 = Q_{evap}$

$$V = 20 \times 60 \times 0.5 = 600\,m^3$$

$$S = 20 \times 60 = 1200\,m^2$$

$$Q_{evap} = 0{,}4\,\frac{l}{m^2 \cdot h} \cdot 1200\,m^2 = 480\,l^3/h$$

$$Q_0 = Q_{evap} = 480\,l^3/h$$

CC BY NC ND

4. Balance de microorganismos (CF/h)

$$\frac{d(V \cdot N_1)}{dt} = (Q_0 - q)\,N_0 + \text{Aportaciones aves} - (\Sigma k_i C_i)\,N_1 \cdot V = 0$$

(↑ rég. permam.)

suponiendo que $q \ll Q_0 \rightarrow Q_0 - q \cong Q_0$

Balance:

$$480 \cdot 9 \cdot 10^5 + 20 \cdot 8 \cdot 10^8 - (\Sigma k_i C_i) \cdot 10 \cdot 600 \cdot 10^3 = 0$$

$$\Sigma k_i C_i = \frac{480 \cdot 9 \cdot 10^5 + 16 \cdot 10^9}{6 \times 10^6} = 2738{,}67$$

$$\frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} = K_{HOCl} = 10^{-7{,}4}; \quad \frac{[OCl^-]}{[HOCl]} = \frac{10^{-7{,}4}}{10^{-8{,}0}} = 10^{+0{,}6} = 3{,}981$$

$$\Sigma k_i C_i = k_{OCl^-} \cdot C_{OCl} + k_{HOCl} \cdot C_{HOCl} = 24{,}26 \cdot 3{,}981 \cdot C_{HOCl} + 2192 \cdot C_{HOCl} =$$

$$= (24{,}26 \cdot 3{,}981 + 2192)\,C_{HOCl} = 2288{,}6 \cdot C_{HOCl}$$

$$C_{HOCl} = \frac{\Sigma k_i C_i}{2288{,}6} = \frac{2738{,}67}{2288{,}6} = 1{,}197 \text{ mg Cl}_2/\ell$$

$$C_{OCl^-} = 3{,}981 \cdot C_{HOCl} = 4{,}76 \text{ mg Cl}_2/\ell$$

$$\text{Cloro total} = C_{HOCl} + C_{OCl} = 5{,}96 \text{ mg Cl}_2/\ell$$

5. Balance de cloro:

$$\frac{d(V \cdot C_1)}{dt} = q_{lejia} \cdot C_{lejia} - 0{,}35 \cdot V \cdot C_1 =$$

$$= q_{lejia} \cdot 120000 \text{ mg Cl}_2/\ell - 0{,}35 \cdot 600000 \cdot 5{,}96 = 0$$

(↙ rég. permam.)

$$q_{lejia} = \frac{0{,}35 \cdot 600\,000 \cdot 5{,}96}{120\,000} = 10{,}431 \ \ell/\text{hora}$$

CC BY NC ND

Por otra parte $q_{lejia} \cdot C_{lejia} = Q_0 \cdot C_0 \rightarrow C_0 = \frac{q_{lej} \cdot C_{lejia}}{Q_0}$

$C_0 = \frac{10,431 \cdot 120000}{480} = 2607,8 \text{ mgCl}_2/\text{l} = 2,607 \text{ gCl}_2/\text{l}$

6. Flujo diario de lejía: $10,431 \text{ l/h} \times 12 \text{ h/día} = 125,16 \text{ l/día}$

Tabla 3. Resumen de resultados.

Parámetro	Valor
1. Esquema experimental deducción balance	adjunto $N_0 = N_1(1+KCT)$
2. Constante de desinfección K_{aE}	24 l/mg-h
K_{HOCl}	2200 l/mg-h
3. Esquema detallado de la fuente	Adjunto
4. Concentración de cloro en la fuente	6,0 mgCl$_2$/l
5. Concentración de cloro en afluente	2600 mgCl$_2$/l 2,6 gCl$_2$/l
6. Caudal de lejía	130 l/día

cc BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos — 2 Final - Curso 2009-10

4 (15 puntos). Se desea redactar el anteproyecto de las instalaciones de saneamiento descentralizado de la pequeña residencia de turismo rural "Residencial Alpina". La parcela de la residencia tiene una superficie rectangular de 200 x 600 m^2.

La ocupación media estable de la residencia se ha estimado en 12 personas. La dotación media de agua de la residencia es de 130 litros/hab.día, de los cuales un 85% son para consumo doméstico y el resto para riego de jardinería.

CONSIDERANDO QUE:
1. El tiempo medio de permanencia del agua en la fosa séptica ha de ser igual o superior a 3,0 días.
2. La velocidad de acumulación de fango en la fosa séptica se ha estimado en 55 litros/hab.año. El fango se acumula uniformemente en el fondo del primer compartimento de la fosa.
3. La limpieza del fango contenido en la fosa se realizará una vez cada 2 años.
4. Las normas aplicables para la construcción de la fosa séptica son: 1) una profundidad mínima del agua en la fosa de 1,30 m, 2) dos compartimientos, el primero con 2/3 y el segundo con 1/3 de la capacidad total, 3) una relación largo/ancho = 3,0 y 4) un resguardo de 0,40 m.
5. El sistema de infiltración básico constará de 2 (dos) zanjas iguales y paralelas, separadas 5,0 metros entre sí y en funcionamiento simultáneo, debiendo instalarse otro sistema similar de reserva.
6. El perfil del suelo consta de varios metros de material permeable con una velocidad de infiltración estable aproximada de 6,0 cm/día.
7. Las zanjas de infiltración tendrán una profundidad de 1,0 m, con una sección de recubrimiento de suelo vegetal de 0,30 m, y estará dotada de una tubería de distribución de 0,15 m de diámetro.

SE DESEA DETERMINAR:
1. El volumen total, en m^3, y las dimensiones geométricas (largo, ancho y alto, en metros) de la fosa séptica.
2. El espesor máximo de fango acumulado, en metros, en el fondo de la fosa, antes de proceder a su limpieza.
3. La longitud, la profundidad y la anchura de cada una de las zanjas longitudinales necesarias para la infiltración del efluente de la fosa séptica.
4. Un esquema geométrico de la sección longitudinal de la fosa séptica, con indicación detallada de todos sus elementos funcionales, en la que se reflejen claramente las dimensiones de cada uno de ellos.
5. Un esquema geométrico de la sección transversal de la zanja de infiltración, con indicación detallada de todos sus elementos funcionales y constructivos, en el que se reflejen las dimensiones de cada uno de ellos.
6. Un plano en planta indicando la posición de la residencia, de la fosa séptica, del sistema de zanjas de infiltración (operativas y de reserva) y de los elementos necesarios para asegurar el mantenimiento y la explotación de toda la instalación.

Resumir los resultados en una Tabla

utilizando 2 cifras significativas

Incluir un plano esquemático de las instalaciones

CC BY NC ND

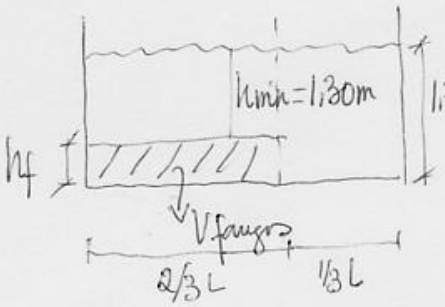
4°Ej. (15 ptos) Ingeniería Ambiental 3° 2009-10
2° Ex. Final

$Q = 12\,hab \times 130\,l/hab\cdot dia \times 0{,}85 = 1326\,l/dia = 1{,}326\,m^3/dia$
agua doméstica que fluirá a la fosa

$Q_{fangos} = 12\,hab. \cdot 55\,l/hab.año = 660\,l/año = 0{,}660\,m^3/año$

Capacidad de agua: $1{,}326\,m^3/dia \times 3\,dias = 3{,}978\,m^3 = V_{agua}$

Capacidad de fangos: $0{,}660\,m^3/año \times 2\,años = 1{,}32\,m^3 = V_{fangos}$



Condiciones

1. $V_{fangos} = \frac{2}{3} L \cdot a \cdot h_f = 1{,}32\,m^3$

2. $V_{agua} = \frac{2}{3} L \cdot a \cdot 1{,}30 + \frac{1}{3} L\, a\, (1{,}3+h_f) = 3{,}978$

1. $\frac{1}{3} L \cdot a \cdot h_f = \frac{1{,}32}{2}$

2. $L \cdot a \cdot 1{,}3 + \frac{1}{3} L a \cdot h_f = 3{,}978 ; \rightarrow L \cdot a \cdot 1{,}3 + \frac{1{,}32}{2} = 3{,}978$

$L \cdot a = \frac{1}{1{,}3}\left[3{,}978 - \frac{1{,}32}{2}\right] = 2{,}552 ; \quad 3a \cdot a = 3a^2 = 2{,}552$

$a = 0{,}922\,m$

$L = 2{,}767\,m$

2.

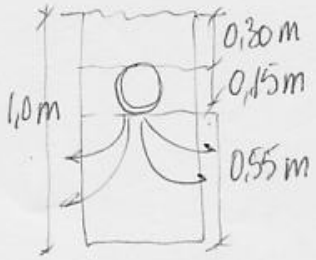
Luego $h_f = \frac{\frac{1{,}32}{2} \cdot 3}{2{,}767 \cdot 0{,}922} = 0{,}776\,m.$

$h_{total} = h_{fang} + h_{agua} + h_{resg} = 0{,}776 + 1{,}30 + 0{,}40 = 2{,}476\,m$

$V_{total} = 2{,}767 \times 0{,}922 \times 2{,}476 = 6{,}317\,m^3$

CC BY NC ND

3. Zanjas.



Qinfiltrado: ~~2 zanjas~~ × 2 $\frac{\text{laterales}}{\text{zanja}} \times \frac{0{,}55\,m \cdot L(m)}{\text{lateral}} \times$

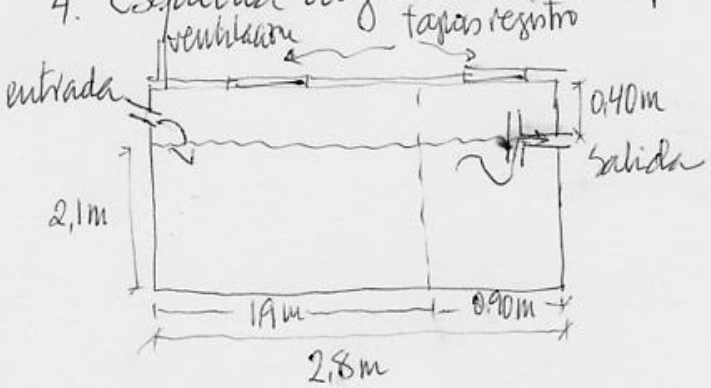
$\times\ 0{,}06\ m/día = 0{,}132 \cdot L\ m^3/día$

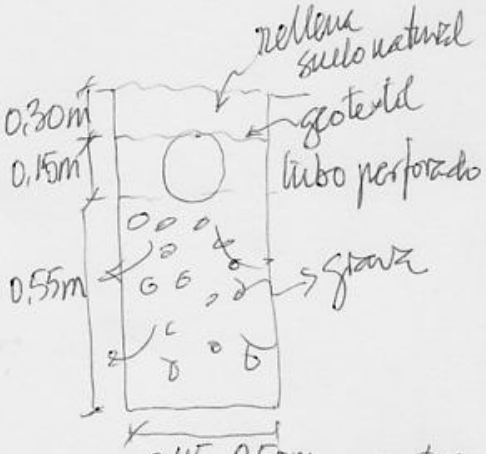
$Q_{afl.a\ fosa} = 1{,}326\ m^3/día$

$1{,}326\ m^3/d = 0{,}132 \cdot L\ m^3/d \rightarrow L = 10{,}045\ m$

Zanjas. $L = 1{,}0 \times 10\ m$. Ancho = 0,45-0,50 m Alto = 1,0 m

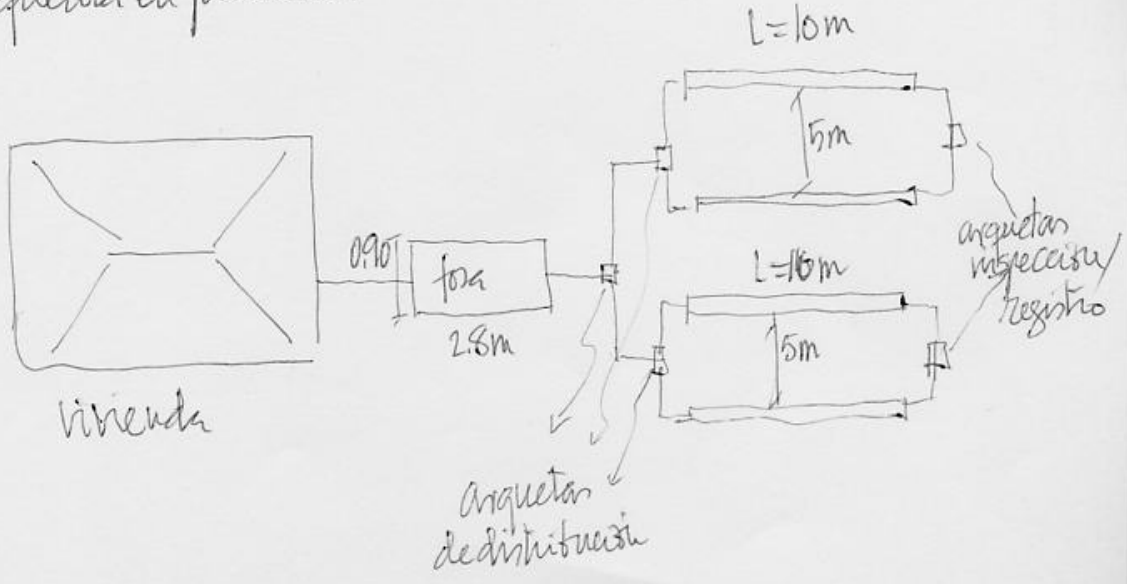
4. Esquema longitudinal de la fosa





5. Esquema de la zanja.

6. Esquema en planta:



cc BY NC ND

Tabla 4. Resumen de resultados

Parámetro	Valor
1. Fosa séptica	$6,3\ m^3$ $2,8 \times 0,90 \times 2,5\ m^3$
2. Espesor de fango, h_f	0,78 m
3. Zanjas (2 sistemas de 2 zanjas cada uno)	L=1,0×10m a = 0,45-0,50 m h = 1,0 m
4. Esquema fosa	adjunto
5. Esquema zanja	adjunto
6. Esquema en planta	adjunto.

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
ETS de Ingenieros de Caminos

INGENIERÍA AMBIENTAL
1 Parcial 2010-11

2 (15 puntos). El municipio de Aguas Azules ha realizado un estudio experimental para valorar las posibles opciones de remodelar su actual sistema de vertido aguas residuales depuradas, mediante un emisario submarino, y así cumplir las limitaciones de la reciente Directiva Europea 2006/7 sobre calidad de aguas de baño costeras. La Directiva establece los siguientes criterios de valoración de las zonas de baño:

Aguas de "calidad excelente": 95% de las muestras deben contener < 250 E. coli/100 ml
Aguas de "calidad suficiente": 90% de las muestras deben contener < 500 E. coli/100 ml

La Tabla 2 resume la calidad microbiológica del agua observada en un punto de la zona de baño adoptado como punto de referencia, después de que el efluente depurado haya sido sometido a dos procesos diferentes de desinfección: Proceso A y Proceso B. Los procesos de desinfección se realizaron utilizando el emisario submarino, que puede considerarse un reactor de flujo en pistón. Las muestras fueron recogidas de forma sistemática, en dos períodos de tiempo diferentes, durante cada uno de los cuales se aplicó uno de los dos procesos de desinfección.

Tabla 2. Calidad microbiológica, en E. coli/100 ml, de las aguas de baño en la playa del municipio de Aguas Azules, tras la aplicación de cada uno de los dos procesos de desinfección estudiados.

Muestra no.	Proceso A, E. coli/100 ml	Proceso B, E. coli/100 ml
1	600	130
2	750	280
3	950	520
4	1200	920
5	750	240
6	950	460
7	1200	820
8	1600	2800
9	900	320
10	1100	800
11	1500	1400
12	1000	560
13	1300	1600

Se desea DETERMINAR:

1. La pertenencia de cada una de esas dos series de valores experimentales a una población normal logarítmica, utilizando el papel de probabilidad adjunto. Deben indicarse claramente las variables representadas en cada eje, con sus unidades, y un título descriptivo de la figura.
2. La distribución normal logarítmica que mejor se ajusta a cada serie de datos experimentales, caracterizada mediante la concentración mediana y la desviación típica (s = ln XX84 - ln XX50) de cada serie, así como las concentraciones de E. coli que no se sobrepasan en un 90 y 95% de las muestras.
3. La calificación de la calidad del agua obtenida con cada uno de los procesos de desinfección, de acuerdo con los criterios de la Directiva, razonando el proceso de calificación.
4. ¿Qué calificación merece cada una de esas variabilidades? ¿Cuál de los dos procesos de desinfección es más fiable y por qué? ¿Cuál de ellos sería preferible y por qué?

Suponiendo que la velocidad de desinfección conseguida con el Proceso A es proporcional a la concentración microbiana y a la concentración (estable) de desinfectante y que la mediana de la concentración microbiana del agua antes de entrar en el emisario (antes de añadir el desinfectante) es N_0= 5 10^7 E.coli /100 mL.

Se desea DETERMINAR GRÁFICAMENTE, razonado explícitamente el proceso deductivo utilizado:

5. La distribución normal logarítmica que será necesario alcanzar, mediante la aplicación de una dosis superior de desinfectante en el Proceso A, de modo que la calidad del agua sea "EXCELENTE".

BY NC ND

6. La inactivación microbiana adicional, en ulog, que será necesario conseguir con el Proceso A de desinfección, para alcanzar un nivel EXCELENTE de la calidad del agua.
7. El incremento porcentual (%) de la concentración de desinfectante que será necesario utilizar en el Proceso A para alcanzar ese objetivo.

Resumir los resultados en una Tabla
utilizando 2 cifras significativas

2. (15 puntos) Ingeniería Ambiental 2010-2011
Primer Parcial

1. Ordenamos los valores experimentales (x_i) para cada uno de los procesos, independientemente, y les asignamos un valor de $F(x_i)$ obtenido con el estimador

$$F(x_i) = \frac{i}{n+1} 100\,\%$$

Considerando que $n = 13 \rightarrow F(x_i) = \frac{1}{13+1} 100 = 7.14\,\%$

Valores experimentales de calidad microb. (ordenados)

i	F(xi), %	xi (A)	xi (B)
1	7,1	600	130
2	14	750	240
3	21	750	280
4	29	900	320
5	36	950	460
6	43	1050	520
7	50	1000	560
8	57	1100	800
9	64	1200	820
10	71	1200	920
11	79	1300	1460
12	86	1500	1600
13	93	1600	2800

Representamos estos valores en un papel de probabilidad normal logarítmico: véase la gráfica adjunta.

1. Los puntos se ajustan razonablemente bien a una línea recta, lo que significa que esas dos series de valores (muestra) pertenecen una distribución normal logarítmica y que cada una de ellas

líneas rectas representan las mejores "estimaciones" de las distribuciones normales logarítmicas que estábamos buscando.

2. Los parámetros y percentiles de esas dos distribuciones son:

Parámetro	Proceso A	Proceso B
Mediana, X50	1050 E.coli/100ml	600 E.coli/100ml
$S = \ln X84 - \ln X50$	$\ln \frac{1400}{1050} = 0,29$	$\ln \frac{1600}{600} = 0,98$
X90	1550 E.coli/100ml	2150 E.coli/100ml
X95	1750 E.coli/100ml	3600 E.coli/100ml

3. Los dos procesos proporcionan un agua de calidad microbiológica "insuficiente", debido a que los valores de X90 son superiores a 500 E.coli/100ml. Se puede comprobar tanto numérica como gráficamente.

4. La variabilidad de los procesos, medida mediante el valor de la desviación típica "S", puede calificarse de "baja" en ambos casos, ya que $S \leq 1,0$.
La fiabilidad del Proceso A, medida mediante el valor de la desviación típica "S", es $S = 0,29$, es notablemente superior (mayor fiabilidad cuanto menor "S") a la fiabilidad del Proceso B.
Desde el punto de vista de su fiabilidad (menor variabilidad) el Proceso A es preferible al Proceso B.
Como se puede ver gráficamente, el intervalo de variación de los resultados experimentales del Proceso A (eje de ordenadas) es menor (por menor pendiente de la distribución) que el intervalo del Proceso B.

CC BY NC ND

5. La velocidad del proceso de desinfección es:

$$\frac{dN_t}{dt} = -K \cdot C \cdot N_t$$

Un balance del número de microorganismos en cierta sección transversal del reactor de flujo en pistón

$$\frac{d(VN_t)}{dt} = 0 - 0 + V(-KCN_t) \Rightarrow \frac{dN_t}{dt} = -KCN_t$$

(flujo entrada en la sección; flujo salida)

Integrando esa expresión entre $[t=0: N_t = N_0]$ y $[t; N_t]$

$$\frac{dN_t}{N_t} = -KCdt; \quad \int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t} = -\int_0^t KCdt \Rightarrow \ln \frac{N_t}{N_0} = -KCt$$

Si particularizamos para $t = T \rightarrow N_t = N_1$

$\ln N_1 - \ln N_0 = -KC_1T$ para una concentración $C = C_1$

Si ahora aumentamos la concentración de desinfectante, C_2

$\ln N_2 - \ln N_0 = -KC_2T$

Restando una ecuación de la otra:

$\ln N_1 - \ln N_2 = -KC_1T + KC_2T$ ("constante" independiente de N_t)

Esto significa que los nuevos valores de N (N_2) obtenidos aumentando la concentración de desinfectante serán igual a los obtenidos con la primera concentración de desinfectante, disminuidos en un valor constante, siempre que los expresemos en unidades de "ln".

En la figura adjunta, los nuevos valores y la nueva línea recta (distribución estadística normal) serán inferiores en una cantidad constante (paralelos a los iniciales). Véase la nueva distribución en la figura.

donde se ha trazado una recta paralela al Proceso A y que pasa por el valor límite correspondiente a la calidad "excelente" del agua.

6. La inactivación adicional necesaria se puede obtener comparando los valores de Xi relativos a una misma frecuencia en las dos distribuciones:

Proceso A: X50 = 1050 E.coli/100 ml

Proceso A': X50 = 150 E.coli/100 ml

inactivación adicional = log 1050 − log 150 = 0,85 ud log E.coli

7. Las concentraciones de desinfectante en ambos casos serán:

Utilizaremos valores de la mediana de Xi en todos los casos.

$$\ln N_1 - \ln N_0 = -KC_1T \qquad C_1 = \frac{\ln(N_1/N_0)}{-KT} = \frac{\ln(N_0/N_1)}{KT}$$

$$\ln N_2 - \ln N_0 = -KC_2T \qquad C_2 = \frac{\ln(N_2/N_0)}{-KT} = \frac{\ln(N_0/N_2)}{KT}$$

$$\text{Incremento porcentual} = \frac{C_2 - C_1}{C_1}100 = \frac{\left[\ln(N_0/N_2) - \ln(N_0/N_1)\right]/KT}{\ln(N_0/N_1)/KT}100 =$$

$$= \frac{\ln(N_0/N_2) - \ln(N_0/N_1)}{\ln(N_0/N_1)}100 = \frac{\ln(N_1/N_2)}{\ln(N_0/N_1)}100 =$$

teniendo en cuenta que

$N_0 = 5 \cdot 10^7$ E.coli/100 ml; $N_1 = 1050$ E.coli/100 ml

$N_2 = 150$ E.coli/100 ml

$$= \frac{\ln(1050/150)}{\ln(5 \cdot 10^7/1050)}100 = \frac{1,95 \cdot 100}{10,77} = 18,07\,\%$$

CC BY NC ND

Tabla 2. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. Pertenencia a distrib. normal	Buen ajuste gráfico a una línea recta
2. Distribución	Rectas dibujadas en gráfica
	Proceso A / Proceso B
X50	1100 E.C/100ml / $6,0 \cdot 10^2$ E.C/100ml
S	0,29 / 0,98
X90	1600 E.C/100ml / 2200 E.C/100ml
X95	1800 E.C/100ml / $3,0 \cdot 10^3$ E.C/100ml
3. Calificación	Ambas son "insatisfactorias"
4. Variabilidad	"Baja ($\leq 1,0$)" en ambos casos.
Más fiable	Proceso A (menos variab.)
Preferible	Proceso A (menos variab.)
5. Nueva distribución	Recta paralela por el valor de calidad "excelente" (deducción algebraica)
6. Inactivación adicional	0,85 ulog E.coli
7. Incremento de la concentración de desinfectante	18%

BY NC ND

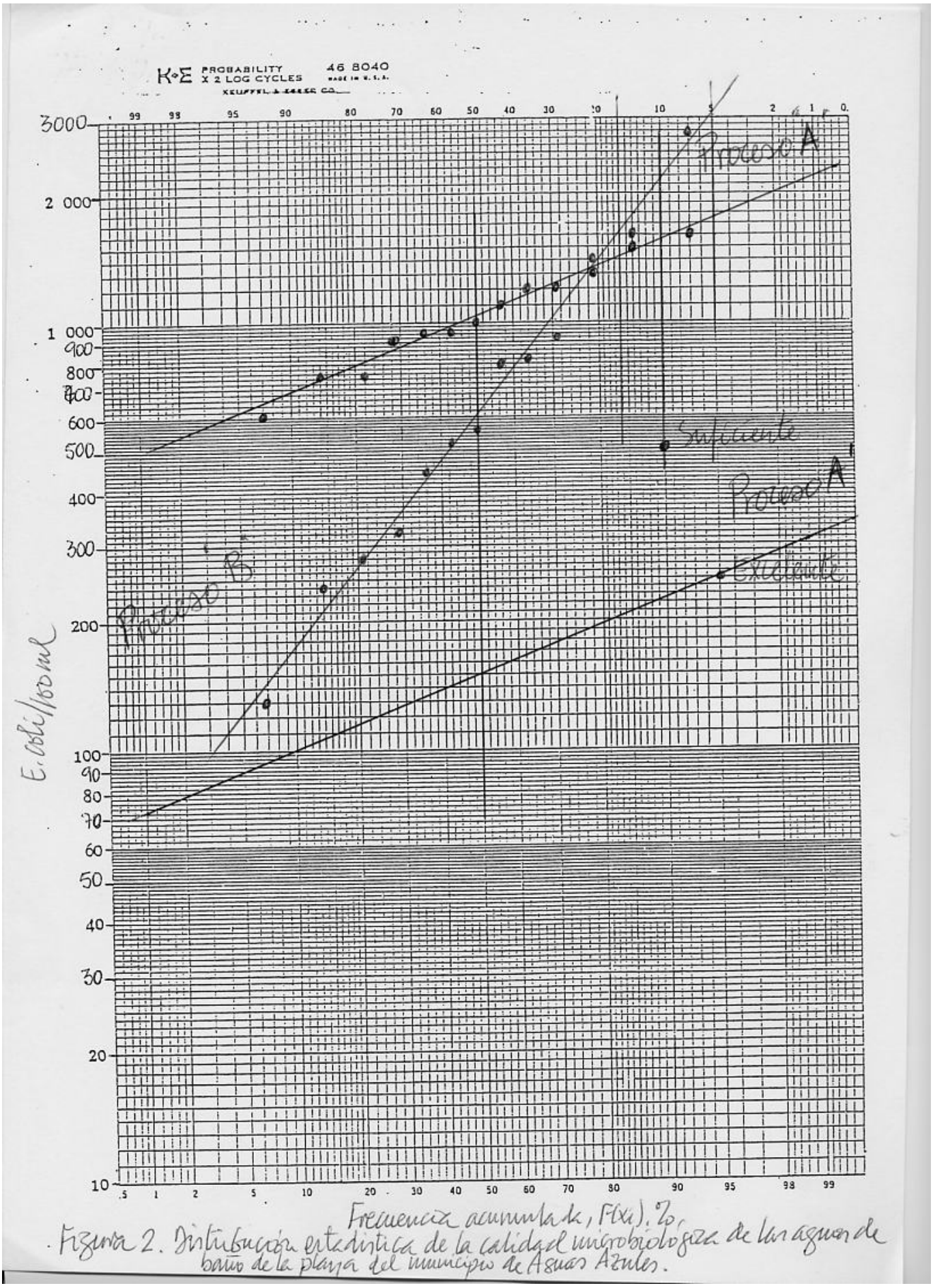


Figura 2. Distribución estadística de la calidad microbiológica de las aguas de baño de la playa del municipio de Aguas Azules.

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — INGENIERÍA AMBIENTAL
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial 2010-11

3 (25 puntos). El abastecimiento de agua del Casal d'Hivern "Neu Primavera" se realiza a partir de dos fuentes: 1) el agua de deshielo de las cubiertas de las instalaciones y 2) un arroyo de montaña situado en las proximidades de la propiedad. El Casal dispone de un depósito de 8 x 5 x 4 m^3, donde se almacena el agua necesaria para las estancias periódicas de los visitantes. A principios del mes de diciembre, el depósito contenía 50 m^3 de agua. Las lluvias y nevadas registradas durante el puente de la Constitución permitieron recoger un volumen adicional de agua de las cubiertas, hasta alcanzar un volumen total de 120 m^3. La entrada del agua en el depósito genera una turbulencia suficiente como para asegurar su equilibrio con la atmósfera circundante (constante de Henry $k_H = 10^{-1,5}$ $M.atm^{-1}$; $pCO_2 = 10^{-3,5}$ atm) y mantener esa condición en todo momento. La calidad de los diferentes tipos de agua viene resumida en la Tabla 3.

Tabla 3.Calidad del agua del Casal d'Hivern "Neu Primavera".

Parámetro	Depósito	Cubiertas	Arroyo
Alcalinidad	40 mg $CaCO_3$/l	8 mg $CaCO_3$/l	10 mg $CaCO_3$/l
Calcio	30 mg $CaCO_3$/l	6 mg $CaCO_3$/l	8 mg $CaCO_3$/l
Magnesio	10 mg $CaCO_3$/l	0 mg $CaCO_3$/l	2 mg $CaCO_3$/l

DETERMINAR:

1. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada del agua de las cubiertas, en mg $CaCO_3$/L.
2. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua de las cubiertas.

Con objeto de promover la desinfección del agua del depósito y conferirle una cierta alcalinidad, se desea añadirle dos partes en peso de hidróxido cálcico, $Ca(OH)_2$ y una parte en peso de bicarbonato sódico $NaHCO_3$, de modo que, tras su mezcla con el agua, ésta alcance un pH = 8,10.

DETERMINAR:

3. El peso de hidróxido cálcico y de bicarbonato sódico, en gramos, que será necesario añadir.
4. La dureza del agua del depósito tras realizar este tratamiento, en mg $CaCO_3$/L.

El consumo de agua realizado durante el puente de la Constitución ascendió a 80 m^3 de agua. En los días posteriores, los caudales circulantes por el arroyo han permitido llenar completamente el depósito con un agua cuya calidad se describe en la Tabla 3 anterior. En estas nuevas condiciones, se pide

DETERMINAR

5. La alcalinidad y la dureza del agua del depósito, tras la entrada del agua del arroyo, en mg $CaCO_3$/L.
6. El pH del agua del depósito, tras la entrada del agua del arroyo.
7. El índice de saturación (IS) del agua del depósito, con respecto a su equilibrio con el $CaCO_3$, tras la entrada del agua del arroyo. ¿Tendrá tendencia a precipitar $CaCO_3$(s)? ¿Cómo se denomina por ello?

Para aumentar el índice de saturación del agua se decide añadirle únicamente una cantidad de 3,0 kg de $Ca(OH)_2$, de forma que se mantenga siempre el equilibrio con la atmósfera.

DETERMINAR

8. La nueva alcalinidad y la nueva dureza del agua, en mg $CaCO_3$/L, así como el nuevo pH del agua.
9. El nuevo índice de saturación del agua. ¿Tendrá tendencia a precipitar $CaCO_3$(s) y cómo se denomina por ello?
10. El volumen de ácido sulfúrico 0,010 N que será necesario añadir para valorar la alcalinidad de una muestra de 200 ml del agua final del depósito, indicando la forma de determinar el punto final de la valoración y el fundamento de estre criterio de decisión.

$pk_1 = 6,32$; $pk_2 = 10,33$; $pk_s(CaCO_3) = 8,34$

Ca = 40 ; Mg = 24 ; Na = 23 ; O = 16 ; H = 1 ; C = 12 ; S = 32 ; Cl = 35,5

Resumir TODOS los resultados en una Tabla, utilizando 2 cifras significativas

CC BY NC ND

3º (25 puntos) Ingeniería Ambiental 3º 2010-11

Volumen total = 8×5×4 = 160 m³

$\Delta V = 120 - 50 = 70\ m^3$

1. La alcalinidad y la dureza son propiedades aditivas

$$Alc = \frac{40\times 50 + 8\times 70}{50+70} = \frac{2000+560}{120} = 21{,}33\ mg\,CaCO_3/l \quad (4{,}27\cdot 10^{-4}\ eq/l)$$

$$Calcio = \frac{30\cdot 50 + 6\cdot 70}{50+70} = \frac{1500+420}{120} = 16{,}00\ mg\,CaCO_3/l$$

$$Magnesio = \frac{10\cdot 50 + 0\cdot 70}{50+70} = \frac{500+0}{120} = 4{,}17\ mg\,CaCO_3/l$$

$16{,}00 + 4{,}17 = 20{,}17\ mg\,CaCO_3/l$

2. Suponiendo equilibrio con la atmósfera:

$$[H_2CO_3] = K_H \cdot P_{CO_2} = 10^{-1{,}5}\cdot 10^{-3{,}5} = 10^{-5{,}0}\ M$$

Suponiendo que $pH \leq 8{,}5 \rightarrow Alc \cong [HCO_3^-]$

$$[HCO_3^-] \cong Alc = 21{,}33\ \frac{mg\,CaCO_3}{l} \times \frac{1\ eq}{50000\ mg\,CaCO_3} \times \frac{1\ mol}{1\ eq} = 4{,}27\cdot 10^{-4}\ M$$

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}\ ;\ [H^+] = \frac{K_1[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6{,}32}\cdot 10^{-5{,}0}}{4{,}27\cdot 10^{-4}} = 1{,}12\cdot 10^{-8} = 10^{-7{,}95}$$

$pH = 7{,}95$

3. Añadimos 2p de $Ca(OH)_2$ y 1p de $NaHCO_3$ para alcanzar un pH = 8,1, lo que representa una alcalinidad de

$$[HCO_3^-] = \frac{K_1[H_2CO_3]}{[H^+]} = \frac{10^{-6{,}32}\cdot 10^{-5{,}0}}{10^{-8{,}10}} = 6{,}03\cdot 10^{-4}\ M =$$

$$= 30{,}13\ mg\,CaCO_3/l \quad (6{,}03\cdot 10^{-4}\ eq/l)$$

cc BY NC ND

incremento de Alc = 30,13 − 21,33 = 8,79 mg CaCO₃/l (1,76·10⁻⁴ eq/l)

incremento de eq = $\frac{8,79 \text{ mg CaCO}_3}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ eq}}{50\,000 \text{ mg CaCO}_3} \times 120\,000 \text{ l}$

los aportes de equivalentes:

$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^-$

1×40 = 40
2×17 = 34
74 g

2 eq.

$NaHCO_3 \rightarrow Na^+ + HCO_3^-$

1×23 = 23
1×1 = 1
1×12 = 12
3×16 = 48
84 g

1 eq

aporte = $2p \frac{2 \text{ eq}}{74} + 1p \frac{1 \text{ eq}}{84}$

haciendo que aporte = incremento necesario

$\frac{4p}{74} + \frac{p}{84} = 8,79 \cdot 120000/50000$;

$\frac{4 \cdot 84 + 74}{74 \cdot 84} \cdot p = 8,79 \cdot 120000/50000$; p =

$p = \frac{8,79 \cdot 120000}{58000} \frac{74 \cdot 84}{4 \cdot 84 + 74} = 21,11 \times 15,16 = 320 \text{ g}$

2p = 640 g.

640 g de $Ca(OH)_2$
320 g de $NaHCO_3$

4. La nueva dureza será la resultante de sumar a la anterior la dureza aportada por la adición de $Ca(OH)_2$

$640 \text{ g } Ca(OH)_2 \cdot \frac{2 \text{ eq}}{74 \text{ g}} \times \frac{50\,000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ eq}} \times \frac{1}{120\,000 \text{ l}} = 7,21 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$

Dureza: { Calcio: 16,00 + 7,21 = 23,21 ; magnesio = 4,17 + 0 = 4,17 } 27,38 mg $CaCO_3$/l

CC BY NC ND

Se consumen 80 m³ de esta agua, luego quedan:

$V_{restante} = 120 - 80 = 40\ m^3$

Ahora se completa el depósito con agua del arroyo:

$V_{agua\ arroyo}: 160 - 40 = 120\ m^3$

5. $Alc = \frac{40 \times 30{,}13 + 120 \cdot 10}{40+120} = 15{,}03\ mg\ CaCO_3/l$

Dureza { calcio: $\frac{40 \cdot 23{,}21 + 120 \cdot 8}{40+120} = 11{,}80$; magnesio: $\frac{40 \cdot 4{,}17 + 120 \cdot 2}{40+120} = 2{,}54$ } $\Rightarrow 14{,}35\ mg\ CaCO_3/l$

6. $[H^+] = \frac{K_1 [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6{,}32} \cdot 10^{-5{,}0}}{15{,}03/50\,000} = \frac{10^{-11{,}32}}{3{,}01 \cdot 10^{-4}} = 1{,}59 \cdot 10^{-8} = 10^{-7{,}80}$

$pH = 7{,}80$

7. $IS = pH_r - pH_s \neq pH_r = 7{,}80$

$pH_s = pk_2 - pk_s + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-]$

$[Ca^{2+}] = \frac{11.80\ mg\ CaCO_3}{l} \times \frac{1\ mol}{100\,000\ mg\ CaCO_3} = 11{,}80 \cdot 10^{-5}\ mol/l$ $\quad p[Ca^{2+}] = 3{,}93$

$[HCO_3^-] = \frac{15{,}03}{50000} = 3{,}01 \cdot 10^{-4}$ $\quad p[HCO_3^-] = 3{,}52$

$pH_s = 10{,}33 - 8{,}34 + 3{,}93 + 3{,}52 = 9{,}44$

$IS = 7{,}80 - 9{,}44 = -1{,}64 \rightarrow$ agua agresiva! con tendencia a disolver $CaCO_3$!

8. Añadimos 30000 g de $Ca(OH)_2$, lo que incrementa tanto la alcalinidad (aporte de cationes) como el pH del agua (aporte de OH^-)

$30000\ g\ Ca(OH)_2 \frac{1\ mol}{74\ g} \times \frac{2\ eq}{1\ mol} \times \frac{50000\ mg\ CaCO_3}{1\ eq} \frac{1}{160000\ l} = 25{,}34\ mg\ CaCO_3/l$

CC BY NC ND

la nueva alcalinidad: 15,03 + 25,34 = 40,37 mg $CaCO_3$/l

la nueva dureza | calcio: 11,80 + 25,34 = 37,14 mg $CaCO_3$/l | 39,68 mg $CaCO_3$/l
magnesio: 2,54 mg $CaCO_3$/l

nuevo pH: $[H^+] = \frac{K_1 [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-6,32} \cdot 10^{-5,0}}{40,37/50000} = 5,93 \cdot 10^{-9} = 10^{-8,23}$

pH = 8,23

9. Nuevo $pH_S = 10,33 - 8,34 + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-]$

$[Ca^{2+}] = 37,14 \frac{mg\,CaCO_3}{l} \times \frac{1\,mol}{10^5\,mg\,CaCO_3} = 37,14 \cdot 10^{-5}$ $\quad p[Ca^{2+}] = 3,43$

$[HCO_3^-] = 40,37 \frac{mg\,CaCO_3}{l} \times \frac{1\,mol}{50000\,mg\,CaCO_3} = 8,07 \cdot 10^{-4}$ $\quad p[HCO_3^-] = 3,09$

$pH_S = 10,33 - 8,34 + 3,43 + 3,09 = 8,51$

$IS = pH_r - pH_S = 8,23 - 8,51 = -0,28$ | agua agresiva tenderá a disolver $CaCO_3$

10. Agua del depósito:

$Alc = 40,37 \frac{mg\,CaCO_3}{l} \times \frac{1\,eq}{50000\,mg\,CaCO_3} = 8,07 \cdot 10^{-4}$ eq/l

Ensayo volumétrico: $Alc \cdot Vol = N_{ácido} \cdot V_{ácido}$

$V_{ácido} = \frac{Alc \cdot Vol}{N_{ácido}} = \frac{8,07 \cdot 10^{-4} \cdot 200}{0.010} = 16,15$ ml

El punto final de la valoración, es decir cuando la alcalinidad restante del agua reacciona, se alcanzará cuando el pH del agua, en equilibrio con la atmósfera circundante, sea de pH=5,65. Para asegurar ese equilibrio hemos de agitar la muestra durante la adición del ácido, de modo que el agua contenida en el matraz esté en contacto íntimo (turbulento) con el aire circundante.

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de resultados.

Parámetro	Valor
1. Alcalinidad	21 mg $CaCO_3$/l
Dureza	2,0·10 mg $CaCO_3$/l
2. pH	8,0
3. Masa añadida	640 g de $Ca(OH)_2$
	320 g de $NaHCO_3$
4. Dureza	27 mg $CaCO_3$/l
5. Alcalinidad	15 mg $CaCO_3$/l
Dureza	14 mg $CaCO_3$/l
6. pH	7,8
7. IS	-1,7 { agresiva disolverá $CaCO_3$
8. Alcalinidad	4,0·10 mg $CaCO_3$/l
Dureza	4,0·10 mg $CaCO_3$/l
pH	8,2
9. IS	-0,28 { agresiva disolverá $CaCO_3$
10. Vol HCl	16 ml
forma	agitando para promover equilibrio con atmósfera
fundamento	Alc = 0 cuando pH = 5,65 en equilibrio con atmósfera.

BY NC ND

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA — INGENIERÍA AMBIENTAL
ETS de Ingenieros de Caminos — 1 Parcial 2010-11

4 (20 puntos). La Tabla 4 resume los valores experimentales obtenidos por un laboratorio acreditado para la DBO_5 de una disolución patrón de 250 mg/L de ácido glutámico y 250 mg/L de glucosa, junto con una muestra de agua residual obtenida de la red de alcantarillado de una zona urbana.

Tabla 4.Resultados experimentales de los análisis de DBO_5.

Muestra	Volumen V_m, mL	Oxígeno disuelto, mg/L	
		OD_m	OD_5
Disolución patrón	2,0	7,95	5,05
	4,0	7,95	2,25
	6,0	7,95	0,15
Agua residual urbana, diluida 1:2	2,0	0,95	7,60
	4,0	0,95	6,10
	6,0	0,95	4,70
	8,0	0,95	3,10

Sabiendo que:
1. Las botellas de incubación tienen un volumen de 250 ± 5 mL.
2. El oxígeno disuelto en el agua de dilución es OD_{b0} = 8,95 mg/L.
3. El inóculo utilizado para analizar la muestra patrón ha sido el efluente de una planta depuradora de aguas urbanas, con DBO_5 de 24 (± 0,5) mg/L, con oxígeno disuelto OD = 2,95 mg/L y del cual se ha inoculado a cada botella un volumen V = 10 (± 0,5) mL.
4. El agua residual diluida se ha analizado sin añadirle inóculo.

DETERMINAR, EXPRESANDO LOS RESULTADOS CON CIFRAS SIGNIFICATIVAS:
1. La DQO teórica de la disolución patrón, describiendo las reacciones de oxidación y los cálculos correspondientes.
2. La DBO_L teórica de la disolución patrón, indicando las hipótesis utilizadas para su determinación.
3. El valor de la DBO_5 teórica de la disolución patrón, suponiendo aplicable una ley del tipo:
$$DBO_t = DBO_L (1 - 10^{-kt}) \text{ , con } k = 0{,}11 \text{ día}^{-1}$$
4. El valor estimado de OD_{b1} correspondiente a la adición del inóculo.
5. El valor experimental de la DBO_5 de la disolución patrón. ¿Es necesario añadir inóculo a la disolución patrón durante su análisis? ¿Por qué motivo? Indicar claramente los valores experimentales que no son aceptables en la determinación numérica.
6. El error absoluto y el error relativo registrados al determinar la DBO_5 de la disolución patrón.
7. El valor experimental de la DBO_5 del agua residual obtenida directamente de la red de alcantarillado. Indicar claramente los valores experimentales que no son aceptables en el cálculo.
8. El valor de la DBO_7 del agua residual obtenida directamente de la red de alcantarillado.
9. El volumen máximo de agua residual diluida que podría añadirse a una botella de Winkler de modo que el resultado experimental fuera aceptable.
10. El volumen mínimo de agua de dilución de que deberíamos disponer, expresado en litros, para que al añadirle el azúcar (glucosa) contenido en una bolsita de las utilizadas en las cafeterías (8 g netos de azúcar) consiguiéramos agotar todo su contenido de oxígeno disuelto (anoxia) al cabo de 5 días.

Resumir TODOS los resultados en una Tabla
utilizando las cifras significativas apropiadas

$$DBO_5 = (OD_b - OD_t)(V_b/V_m) - (OD_{b0} - OD_m)$$
Ácido Glutámico = $C_5H_9O_4N$; Glucosa = $C_6H_{12}O_6$; Ácido Acético: $C_2H_4O_2$
C = 12 ; H = 1 ; O = 16 ; N = 14

CC BY NC ND

4º (20 puntos) Ingeniería Ambiental 3º 2010-11

1. ácido glutámico:

$$C_5H_9O_4N + \frac{9}{2}O_2 \rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + NH_3$$

$5\times12 = 60$
$9\times1 = 9$
$4\times16 = 64$
$1\times14 = 14$
147

$\frac{16}{9}$
144

$$250\,mg \cdot \frac{144\,mgO_2}{147\,mg} = 244{,}90\,mgO_2/l$$

glucosa:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$6\times12 = 72$
$12\times1 = 12$
$6\times16 = 96$
180

$\frac{32}{6}$
192

$$250\,mg \cdot \frac{192\,mgO_2}{180\,mg} = 266{,}67\,mgO_2/l$$

Total DQO = 511,56 mgO_2/l

2. Considerando que el ácido glutámico y la glucosa son sustancias 100% biodegradables $DBO_L \equiv DQO$

Luego $DBO_L \equiv DQO = 511{,}56\,mgO_2/l$

3. $$DBO_5 = DBO_L(1-10^{-kt}) = 511.56(1-10^{-5\cdot0{,}11}) = 367{,}89\ mgO_2/l$$

4. Conociendo la DBO_5 del inóculo.

$$DBO_5(inóc.) = (ODbo - ODb_1)\frac{Vb}{V_{inóc}} - (ODbo - OD_{inóc.})$$

$$24 = (8{,}95 - ODb_1)\frac{250}{10} - (8{,}95 - 2{,}95)$$

$$24 = (8{,}95 - ODb_1)25 - 6{,}00;$$

$$ODb_1 = 8{,}95 - \frac{24+6{,}00}{25} = 8{,}95 - 1{,}20 = 7{,}75\,mgO_2/l$$

CC BY NC ND

5, Para analizar experimentalmente la disolución patrón ES IMPRESCINDIBLE añadirle inóculo (fijado en 10 mL) con objeto de aportar los microorganismos que han de realizar el ensayo. La muestra patrón se prepara de forma aséptica y NO contiene microorganismos.

$DBO_5 = (OD_{b_1} - OD_t)\frac{V_b}{V_m} - (OD_{bo} - OD_m)$

$= (7,75 - 5,05)\frac{250}{2,0} - (8,95 - 7,95) = 336,50 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$(7,75 - 2,25)\frac{250}{4,0} - (8,95 - 7,95) = 342,75 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$(7,75 - 0,15)$ se rechaza, pues $> 1,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Valor medio $= 339,63 \text{ mg O}_2/\text{l}$

6. Error absoluto = Valor exp - Valor teórico =

$= 339,63 - 367,39 = -27,77 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor teórico}} 100 = -7,56\ \%$

7, El agua residual (diluida) se analizará sin utilizar inóculo, pues se supone que ya contiene el inóculo de microorganismos capaces de realizar la oxidación de la materia orgánica de la muestra:

$DBO_5 = (OD_{bo} - OD_t)\frac{V_b}{V_m} - (OD_{bo} - OD_m)$

$= (8,95 - 7,60)$ consumo $> 2,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$(8,95 - 6,10)\frac{250}{4,0} - (8,95 - 0,95) = 170,13 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$(8,95 - 4,70)\frac{250}{6,0} - (8,95 - 0,95) = 169,08 \text{ mg O}_2/\text{l}$

$(8,95 - 3,10)\frac{250}{8,0} - (8,95 - 0,95) = 174,81 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Valor medio $= 171,34 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Como este valor corresponde a una dilución 1:2 de la muestra inicial, tomada de la alcantarilla, el valor de la DBO_5 del agua inicial será

$$DBO_5 = 2 \times DBO_{5exp} = 2 \times 171{,}34 = 342{,}68 \text{ mg } O_2/l$$

8. Para calcular el valor de la DBO_7 de esta misma muestra

$$\left.\begin{aligned} DBO_5 &= DBO_L\,(1-10^{-0{,}11\cdot 5}) \\ DBO_7 &= DBO_L\,(1-10^{-0{,}11\cdot 7}) \end{aligned}\right\} DBO_7 = DBO_5 \frac{(1-10^{-0{,}77})}{(1-10^{-0{,}55})}$$

$$DBO_7 = 342{,}68 \frac{0{,}83}{0{,}72} = 396{,}13 \text{ mg } O_2/l$$

9. Sabiendo el valor medio de la DBO_5 del agua diluida:

$$171{,}34 = (8{,}95 - 1{,}0)\frac{250}{V_m} - (8{,}95 - 0{,}95)$$

(1,0: valor mínimo; V_m: valor máximo)

$$V_m = \frac{250(8{,}95-1{,}0)}{171{,}34+8{,}95-0{,}95} = 11{,}08 \text{ ml}$$

10. Concentración de azúcar (glucosa): $\dfrac{8000 \text{ mg}}{\text{Vol (litros)}}$

$$\text{La } DQO = DBO_L = 8000 \text{ mg} \frac{192 \text{ mg } O_2}{180 \text{ mg}} = 8533{,}33 \text{ mg } O_2$$

El valor para 5 días, suponiendo que hay microorg. que realizan el ensayo,

$$DBO_5 = 8533{,}33(1-10^{-0{,}55}) = 6128{,}81 \text{ mg } O_2/l$$

Como el agua de dilución tiene $OD_{20} = 8{,}95$ mg O_2/l

$$\text{Vol (agua dilución)} \times 8{,}95 = 6128{,}81$$

$$\text{Vol (litros)} = \frac{6128{,}81}{8{,}95} = 684{,}73 \text{ litros}$$

CC BY NC ND

Tabla 4. Resumen de Resultados

Parámetro	Valor
1. DBO teórica	510 mg O_2/l
2. DBO_L (100% biodegs.)	510 mg O_2/l
3. DBO_5 teórica	370 mg O_2/l
4. OD_{61}	7,8 mg O_2/l
5. DBO_5 (experimental) valor rechazado ≯1,0 mg O_2/l IMPRESCINDIBLE añadir inóculo.	340 mg O_2/l
6. Error absoluto	−28 mg O_2/l
error relativo	−7,6 %
7. DBO_5 (experimental) un valor rechazado ≯2,0 mg O_2/l NO hace falta añadir inóculo.	340 mg O_2/l
8. DBO_7	$4,0 \cdot 10^2$ mg O_2/l
9. Volumen máximo	11 ml
10. Volumen agua dilución	680 litros