

MEMORIA DE CÁLCULO

Juan José Barragán Alcalá

5. Memoria de Cálculo

5.1. Datos de partida

Cómo se indicó anteriormente el cálculo en cada situación deberá ser independiente, debido a que la cantidad de individuos de mejillones presentes en cada sistema BIVALVOS, deberá variar dependiendo de las características del agua que se pretendan tratar. Por esta razón nos centraremos en tres casos en particular.

Antes se hará una recopilación de los valores que se han obtenido de retención por parte de los individuos de mejillón cebra, hay que mencionar que cada valor puede variar en el caso real debido a que estos valores dependen de la concentración inicial en el agua de dichas sustancias; a mayor concentración mayor serán sus valores individuales de retención, supondremos que trabajaremos en condiciones óptimas para llevar a cabo los cálculos.

Q→ El valor para el que será diseñado este proyecto será de $4,95\text{m}^3/\text{d}$.

Agua filtrada→ $66\text{ml}/\text{hg}_{\text{mejillón}}$ con un caudal de $50\text{ml}/\text{s}$ (P.Elliot, D. C. Aldrige, G.D Moggridge, 2007). Tendremos que utilizar este valor, ya que nuestro canal se diseñará para tratar un caudal de $4,95\text{m}^3/\text{d}$, lo que es lo mismo que $206,25\text{ L}/\text{h}$, o $57\text{ml}/\text{s}$, y puesto que el poder de depuración aumenta a medida que aumenta el caudal como se ve en este estudio, aseguraremos que el valor de depuración será correcto para los cálculos, ya que realmente será algo mayor que los $66\text{ml}/\text{hg}_{\text{mejillón}}$.

Cantidad de masa blanda por mejillón→ $16,31\text{ mg(PS)}/\text{individuo}$. (R.Naddafi, U.Grandin, 2007).

Masa de individuo de mejillón→ $3,8\text{g}/\text{individuo}$. (O'Neill, 1996).

Nutrientes (N, P)→ $100,9\text{mg de N}/\text{g}_{\text{masa blanda(PS)}}$ y $9,3\text{mg de P}/\text{g}_{\text{masa blanda(PS)}}$ / (R.Naddafi, U.Grandin, 2007).

PCBs \rightarrow 0,03-0,85 mg/ g_{masa blanda(PH)} (Joseph V, DePinto, Victor J, Bierman, Jr, Timothy J. Feist, 2000). Se tomará un valor medio, de 0,4 mg/ g_{masa(PH)}.

Equivalencia entre g de peso seco, g peso húmedo, y volumen \rightarrow 66 g PH/1g PS (Quinn, 2004) y 1gPH/1ml (Faria, 2010).

Iones F⁻ \rightarrow Los valores se mostrarán en una tabla (Tabla 6), ya que en el estudio se presentan resultados según la concentración en el agua. (M. Martin Miner, J.A. Camargo, C. Gonzalo, 2010).

Tejido	Concentración (mg F/l)	Contenido medio de fluoruros (F ⁻) (mg F/kg ps)
Duro	10	95,505 \pm 0,255
	20	92,78 \pm 0,21
	80	535,875 \pm 0,635
	200	2940,57 \pm 0,365
	240	4137,03 \pm 572,98
Blando	10	2441,11 \pm 18,64
	20	3702,18 \pm 15,235
	80	3338,9 \pm 22,33
	200	20331,5 \pm 55,72
	240	24555,0 \pm 4970,54

Tabla 6. Valores obtenidos en la retención de iones F⁻, diferenciando entre tejido blando y duro (concha).

La gráfica muestra un resultado de cómo varía la concentración de retención con los valores presentes en el agua. (Fig. 18).

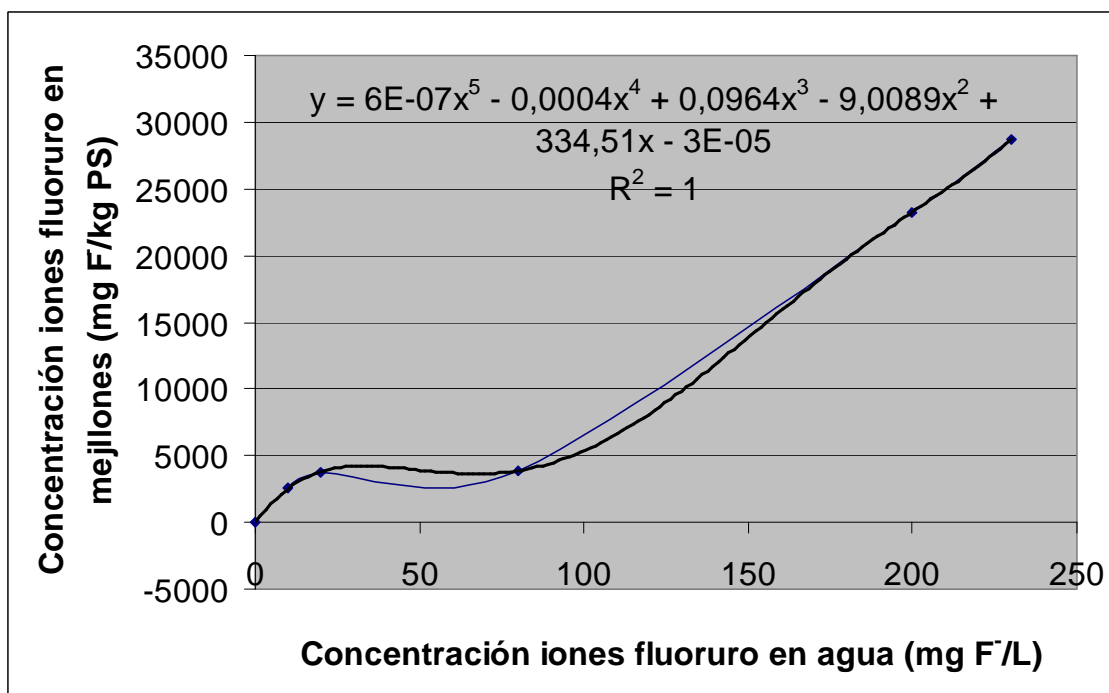


Figura 18. Gráfica de relación de concentración en agua de iones fluoruro con los valores de retención.

Metales Pesados → De todos los valores mostrados, se hará una media de los valores obtenidos en Italia, ya que se trata de un estudio en los lagos que están más próximos a una zona industrializada. (M. Camusso, R. Balestrini, A. Binelli, 2001). (Tabla 14). Los valores de arsénico son los obtenidos por (Melissa Faria, David Huertas, Joan O. Grimalt, Carlos Barata, de Blanes, David X. Soto, Jordi Catalan, Mari Carmen Riva, 2009), debido a que en los estudios de Italia no hay referencias sobre este valor.

Metal	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr	Zn	Co	As
Retención ($\mu\text{g/g}_{\text{masa}}$ blanda (PS))	0,078	1,574	3,674	19,86	16,76	3,47	215	1,106	5,294

Tabla 14. Valores medios de retención de cada metal pesado.

Todos los valores obtenidos en campo, y que no sean de laboratorio, se considerarán constantes y estacionarios (Faria, 2010).

Rendimiento del canal;

Como se vio en la introducción el rendimiento que produce el canal para el caudal que vamos a utilizar (Tabla 2) es;

DBO5→69,9%

DQO→63,05%

5.2. Descripción de las industrias a tratar.

En este proyecto, indicaremos la cantidad de mejillones necesarios, para tratar las distintas vertientes de aguas industriales.

El primer caso tratará sobre el agua industrial de una curtiduría, donde los mayores contaminantes de sus efluentes serán los nutrientes (N, P) y los iones fluoruro, ya que el resto de valores están bajo los niveles permitidos por la ley. Los datos de esta agua residual se han obtenido Informe Consolidado de la Evaluación de Impacto Ambiental de la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto "SISTEMA DE NEUTRALIZACION Y DEPURACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS DE CURTIEMBRE FRANCISCO CORTA Y COMPAÑIA LIMITADA ", empresa situada en Curicó (Chile).

El segundo caso a tratar será en el campo de la industria minera, donde los mayores valores a tratar de en los residuos de esta industria, son cobre, plomo y arsénico. Los datos para el cálculo de dicha industria se han obtenido del pliego de condiciones que proporcionó dicha industria, para la aceptación de alguna oferta para el tratamiento de sus residuos, no se puede mostrar el nombre de la empresa, debido a su petición de confidencialidad.

El tercer caso, será el que ocupa el caso descrito anteriormente en los lagos de Lima (Perú), donde había se llegó a encontrar contaminantes en los vegetales, por ser regados por aguas industriales. El contaminante más perjudicial en este caso, fue la producida por los PCBs. Los datos que se tomaran para este estudio, son los recolectados en el trabajo de la investigadora María Luisa Castro de Esparza, en el que analiza la situación de 5 lagos distintos, de donde se toma el agua para el regadío. Este estudio se centrará en especial en el

lago de la zona de Callao, próxima a una industria metalúrgica. Será en este lago donde efluyan las aguas de dicha industria, con su consecuente contaminación. Las características de este lago son las que se muestran en la siguiente tabla (Tabla 15), se tomarán los valores más desfavorables.

Se han elegido estos distintos casos, para ver cómo influyen los mejillones, respecto a cada contaminante; ya que en estos 3 casos, se recogen la mayoría de todos ellos.

En la tabla 15, aparece detallados las concentraciones en residuos en las distintas industrias, así como los valores por ley límites, que deberá de tener esta agua (BOP Sevilla, 2008).

Características del agua	Concentraciones en residuos			Concentraciones límite ley
	Curtiduría	Minería	Regadío	
DBO5(mg/L)	12	2562	400	1000
DQO(mg/L)	60,37	-	812,7	1750
pH	8,15	8,1	6,4-7,9	7-9
Arsénico (µg/L)	2	8610	215	700
Cadmio (µg/L)	50	10	42	700
Cobre (µg/L)	270	640	300	500
Plomo (µg/L)	30	41750	250	1200
Zinc (µg/L)	300	140	2500	10000
Manganeso (µg/L)	0	0	0,04	0,04
Mercurio (µg/L)	0,5	10	0	200
Níquel (µg/L)	50	40	0	3000
Cromo (µg/L)	280	0	0	600
Cobalto (µg/L)	0	0	0	0
PCBs (µg/L)	0	0	190	0
N(mg/L)	290	14,25	0	75
P(mg/L)	36,2	0,85	0	15
F- (mg/L)	20	2,47	0	9

Tabla 15. Valores de concentración en los efluentes industriales.

5.3. Cálculos generalizados.

Para agilizar los cálculos, se mostrará el seguimiento que se ha llevado a cabo de forma generalizada, para acabar tratando cada caso por separado. A continuación la siguiente tabla (Tabla 16) muestra los valores de retención por g en peso seco de masa blanda.

Contaminante	Retención	Unidad
N	100,9	mg/gmasablanda(PS)
P	9,3	mg/gmasablanda(PS)
PCBs	26,4	mg/gmasablanda(PS)
Hg	0,078	µg/gmasablanda(PS)
Cd	1,574	µg/gmasablanda(PS)
Pb	3,674	µg/gmasablanda(PS)
Ni	16,76	µg/gmasablanda(PS)
Cr	3,47	µg/gmasablanda(PS)
Zn	215	µg/gmasablanda(PS)
Co	1,106	µg/gmasablanda(PS)
Cu	19,86	µg/gmasablanda(PS)
As	5,294	µg/gmasablanda(PS)
F-	Ver en cada caso	mg/gmasablanda(PS)

Tabla 16. Valores de retención por gramo de masa blanda en peso seco.

El valor de retención de ión fluoruros se tendrá que ver en cada caso en especial, ya que aunque en cómo todo los casos los valores de retención depende de la concentración en el medio, de este caso, es el único que hay valores que muestran su variación.

Ahora se mostrará la relación de retención por g de masa blanda por peso húmedo, el cual se ha obtenido, dividiendo entre 66, ya que es la relación que hay entre un gramo de PS y un gramo de PH (Tabla 17).

$$1g_{PS} = 66g_{PH}$$

Contaminante	Retención	Unidad
N	1,528787879	mg/gmasablanda(PH)
P	0,140909091	mg/gmasablanda(PH)
PCBs	0,4	mg/gmasablanda(PH)
Hg	0,001181818	μg/gmasablanda(PH)
Cd	0,023848485	μg/gmasablanda(PH)
Pb	0,055666667	μg/gmasablanda(PH)
Ni	0,253939394	μg/gmasablanda(PH)
Cr	0,052575758	μg/gmasablanda(PH)
Zn	3,257575758	μg/gmasablanda(PH)
Co	0,016757576	μg/gmasablanda(PH)
Cu	0,300909091	μg/gmasablanda(PH)
As	0,080212121	μg/gmasablanda(PH)
F-	Ver en cada caso	mg/gmasablanda(PH)

Tabla 17. Valores de retención por gramo de masa blanda en peso húmedo.

Cómo se ve entre las dos gráficas el valor de retención por PCBs, venía dado en valor por g de masa blanda en peso húmedo, luego se tuvo que dividir anteriormente por 66, para obtener valor de retención por gramo de peso seco.

Ahora por otro lado se sabe que para el valor de filtrado para un caudal de 180L/h, es que un gramo de mejillón es capaz de filtrar 66 ml de todo ese caudal por hora, es decir 66mL/hg_{mejillón}, puesto que nuestra experiencia será para 206, 25L/h, habrá que ver entonces la masa necesaria para poder cubrir todo ese caudal.

$$g_{\text{mejillón}} = \frac{206,25}{0,066} = 3125 g_{\text{mejillones}}$$

Que a su vez suponen una masa de masa blanda en peso seco, igual a;

$$\frac{g_{\text{masablanda(PS)}}}{g_{\text{mejillón}}} = \frac{16,31}{3,8} = 4,29$$

$$g_{\text{masablanda(PS)}} = \frac{3125}{4,29} = 728,08 g_{\text{masablanda(PS)}}$$

Tras este paso, se obtendrá los valores de retención por parte del mejillón de los distintos contaminantes por hora, para ello se multiplicará 728,08 por los distintos valores de la Tabla 16. (Tabla 18).

Contaminante	Retención	Unidad
N	73,46336603	g/h
P	6,771152667	g/h
PCBs	19,2213366	g/h
Hg	5,67903E-05	g/h
Cd	0,001145999	g/h
Pb	0,002674969	g/h
Ni	0,012202636	g/h
Cr	0,002526441	g/h
Zn	0,1565374	g/h
Co	0,000805258	g/h
Cu	0,014459687	g/h
As	0,00385446	g/h
F-	Ver en cada caso	g/h

Tabla 18. Valores retención (g /h) de toda la masa de mejillones.

Ahora habrá que ver por individualizado cada industria, para ver si sobrepasan estos valores, y si fuera necesario, en tal caso, aumentar la cantidad de mejillones a disponer en el sistema.

5.4. Cálculos de forma individualizada.

Ahora se verá lo ocurrido en cada situación, a tratar;

Lo primero será obtener los valores de retención para los iones fluoruro (Tabla 20);

	Curtiduría	Minería	Riegos
Concentración en agua bruta (mg/L)	20	2,47	0
Retención por gramo masa blanda (PS) (mg/g)	3,79575997	0,77271511	0
Retención por gramo masablanda (PH) (mg/g)	0,057511515	0,00909077	0
Retención por (g/h) por parte de todos los mejillones	0,250520158	0,0509992	0

Tabla 20. Valores de retención para iones fluoruro.

Por otro lado está obtener los gramos de contaminante por hora que hay que eliminar. Para ello lo primero es ver realmente cual es el cantidad que se necesita eliminar, para ello, Se hará una resta entre la concentración en el agua problema y el valor de la ley, dejando un margen de un 20%, es decir;

$$Concentración_{\text{conta min ante}} = Concentración_{\text{aguaproblema}} - 0,8 * Concentración_{\text{ley}}$$

Estos valores son los que se recogen de la tabla 15, y darán un resultado en g/L

A continuación se calculará los gramos de contaminante que hay que tratar a la hora, para ello, utilizaremos el valor del caudal, es decir 206,25 L/h (Tabla 21).

$$Masa_{\text{conta min ante}} (g / h) = Concentración_{\text{conta min ante}} (g / L) * 206,25(L / h)$$

Industria Contaminantes	Curtiduría	Minería	Riegos	Valores retención mejillones
N	337,24	0	0	73,46
P	35,48	0	0	6,77
PCBs	0	0	0,04	19,22
Hg	0	0	0	5,68E-05
Cd	0	0	0	0,001145999
Pb	0	8412,94	0	0,002674969
Ni	0	0	0	0,012202636
Cr	0	0	0	0,002526441
Zn	0	0	0	0,1565374
Co	0	0	0	0,000805258
Cu	0	49,5	0	0,014459687
As	0	1660,31	0	0,00385446
F-	4,31	0	0	2,76

Tabla 21. Valores de contaminantes en las diferentes industrias y del valor de retención por la masa total de mejillones, valores en g/h.

Ahora habrá que ver, en cada situación cual es el contaminante limitante, es decir, el que mayor cociente presente entre el valor que presenta en la industria y el valor que llegan a retener los mejillones. Este valor nos indicará la cantidad total de mejillones, ya que habrá que multiplicar dicho valor por los 3125g de mejillones, que inicialmente se supusieron para filtrar el residuo en cuestión.

Se mostrará en la siguiente tabla con un recuadro rojo, aquellos contaminantes que sean los limitantes en cada situación, acompañados por la relación, que mantendrán con la cantidad inicial de mejillones, además de la masa total de mejillones y bolsas (Tabla 22).

Industria Cont.	Curtiduría	Minería	Riegos	Relación	Masa total mejillones (g)	Bolsas
N						
P				5,2404448	16376,39	163,7639
PCBs				0,00203875	6,37	0,06371094
Hg						
Cd						
Pb				3145059,41	9828310648,44	98283106,5
Ni						
Cr						
Zn						
Co						
Cu						
As						
F-						

Tabla 22. Contaminantes limitantes (en rojo), relación con la concentración a eliminar, masa total y bolsas totales.

Como se ve, los resultados en cada caso resultan muy distintos, debido a la concentración de contaminantes en cada problema, por lo que el sistema que se diseñará para cada uno ha de ser distinto.

En el primer caso y tercer caso, se colocarán tajaderas como se mostraron, anteriormente, que obligarán al agua del canal pasar por un único camino posible, será en este camino donde se coloquen las cantidades de mejillones obtenidas.

En el primer caso, las bolsas necesarias serán 164 bolsas, lo que supone unas 6 bateas. Pero se optará por colocar 5 bateas, y aumentar la cantidad de bolsas en cada una de ellas, una con 11 bolsas, otra con 22, otra con 33, otra con 44, y otra con 55, colocando 11 cuerdas en lugar de 10.

En el tercer caso, cómo la relación de sacos necesaria es menor a la que habrá que colocar obligatoriamente para asegurar que el agua sea filtrada, se colocarán los 3125 g de mejillones de partida, que son necesarios para filtrar el agua. Lo que supone una cantidad de 32 sacos.

Para que el caudal de agua pase por las bateas se dispondrán tajaderas de PRFV, que conducirá el agua por las bateas.

En el segundo caso, donde la cantidad de mejillones es excesivamente superior, a primera vista parece inviable para llevarse a cabo, por las dimensiones que debería de tener el tanque.

Aunque habría que mencionar, que una inversión que no resultaría muy costosa, podría llegar a ser rentable, debido a que se asegura, que estaría tratando el agua, durante un año, ya que sería el tiempo que se dejarán los mejillones depurando las aguas, ya que a medida que pase el tiempo los valores de retención por parte del mejillón cebra decrece (Ackerman, 1999).

Otra ventaja que supondría para esta industria será la poder concentrar todos los metales pesados vertidos durante un año y poder incluso volver a recuperarlos. Ya que tras el año de operación de los mejillones, se tendrán casi 1,5 Tn, de plomo y 0,5 Tn de

cobre concentrado que es la capacidad de retención en un año de la masa total de mejillones. Luego esa cantidad de plomo y cobre podrá ser recuperado, disminuyendo así los costes de materia prima. Aunque esto ya será materia para otro proyecto de fin de carrera.

La DBO5 y la DQO, solamente será un problema a tratar en la industria minera, y cómo se ve, en la Tesis de Laura Pozo, el diseño que tiene el CAS, produce un rendimiento lo suficientemente algo para tratar la DBO y DQO, que aunque el valor sea excesivamente alto en la industria minera, no será un problema su disminución a valores inferiores por ley.

$$DBO5_{Trascanal} = 2562 * (1 - 0,69) = 794,22mg / L$$