

Lodos activos con reducción de nutrientes.
Producción fangos Aireación. Recirculación/ Módulo
Gestión de Aguas Residuales y Reutilización

Máster en Ingeniería y Gestión del Agua

2016

PROFESOR

Jaime La Iglesia Gandarillas

Para ver esta publicación, debe
instalar el software de Adobe
un decompressor.

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	OBJETIVOS	4
3.	FUNDAMENTOS PARA LA ELIMINACION DE N Y P	5
4.	PARAMETROS DE DISEÑO BIOLÓGICO CON REDUCCIÓN DE NUTRIENTES	6
	<i>4.1 Zona óxica y zona anóxica</i>	<i>6</i>
	<i>4.2 Producción fangos biológicos</i>	<i>10</i>
	<i>4.3 Relación materia carbonada y nitrógeno</i>	<i>12</i>
	<i>4.4 Zona anaerobia.....</i>	<i>12</i>
	<i>4.5 Diseño obra civil.....</i>	<i>13</i>
	<i>4.6 Rendimiento del proceso.....</i>	<i>14</i>
	<i>4.7 Balance del nitrógeno</i>	<i>15</i>
	<i>4.8 Balance del fósforo</i>	<i>16</i>
5.	REDUCCIÓN DEL FÓSFORO POR VÍA QUÍMICA	16
6.	CALCULO DE LAS NECESIDADES DE OXÍGENO	18
	<i>6.1 Necesidades reales de oxígeno</i>	<i>20</i>
	<i>6.2 Transferencia de oxígeno</i>	<i>21</i>
7.	RECIRCULACIÓN DE FANGOS	23
	<i>7.1 Introducción.....</i>	<i>23</i>
	<i>7.2 Recirculación externa de fangos</i>	<i>23</i>
	<i>7.3 Recirculación interna de fangos</i>	<i>24</i>
8.	ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO	25
9.	PROCESOS EN UNA DEPURADORA FANGOS ACTIVOS	29
10.	RENDIMIENTOS DE DEPURACIÓN	32

MAGUA

**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

11.	VENTAJAS E INCONVENIENTES EN LA REDUCCION DE NUTRIENTES.....	32
12.	CONCEPTOS CLAVES	33
13.	BIBLIOGRAFIA.....	34
14.	MATERIALES COMPLEMENTARIOS, LINKS DE INTERNET ..	34

1. INTRODUCCIÓN

Una depuradora, entre otras cosas, es una fábrica de biosólidos donde separamos la materia orgánica y otros componentes del agua con el objetivo de poder verter este agua al cauce con unos parámetros que cumplan la legislación vigente y en el caso de que no la haya, la devolvamos a la naturaleza en unas condiciones que eviten problemas sanitarios y que no perjudiquen al medio donde se vierten.

Otros componentes que hay en el agua que se deben eliminar son los nutrientes. Los nutrientes más importantes existentes en el agua residual son el nitrógeno y el fósforo. Estos son fundamentales para todos los organismos vivos formando parte de las moléculas como proteínas y ácidos nucleicos. Así mismo sirven para el crecimiento de organismos fotosintéticos. El proceso de enriquecimiento en nutrientes, fundamentalmente formas inorgánicas de nitratos y fosfatos, de una masa de agua (ríos y pantanos) de manera no natural, como consecuencia de las actividades humanas (fertilizantes y detergentes) produce la eutrofización acelerada del medio. Este fenómeno de la eutrofización artificial ha adquirido durante las últimas décadas una creciente importancia a raíz de la magnitud que ha tomado el problema y su difícil resolución.

El nitrógeno amoniacal en el agua origina un consumo de oxígeno, ya que da lugar a procesos biológicos de oxidación de nitritos a nitratos. Tanto el amoniaco, como el nitrito son tóxicos para los peces.

También puede requerirse la eliminación de N por razones de operación en las plantas: para evitar procesos no deseados de desnitrificación en el decantador secundario o para evitar bajadas fuertes de pH si la capacidad tampón del agua residual es baja.

Hoy en día todo esto representa una de las principales causas de contaminación en los cauces receptores. Por lo tanto en las aguas vertidas y que luego vayan a utilizarse para posterior abastecimiento (lógicamente antes de tratarse en una ETAP o estación de tratamiento de agua potable) y de acuerdo con los límites de calidad que fijan la mayoría de países y de la Comunidad Económica Europea, caso de la Ley 271/91 y posteriores actualizaciones es importante la oxidación del nitrógeno y la eliminación del fósforo.

2. OBJETIVOS

- El objetivo que se pretende conseguir con este documento es estudiar la aplicación de procesos que eliminen o reduzcan el aporte al medio de estos nutrientes con el objetivo de

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

reducir los procesos de eutrofización y contaminación de las aguas. Las tecnologías para su eliminación estarán basadas en los procesos de biomasa suspendida (fangos activos) que se caracterizan por una reducción no sólo de origen carbonada (DBO5) sino también la de origen en el ciclo del nitrógeno y el fósforo, hasta alcanzar valores de salida de NT menores de 10 mg/l (15 ppm < 100.000 h-e) y de P: 1 mg/l (2 ppm <100.000 h-e)

3. FUNDAMENTOS PARA LA ELIMINACION DE N Y P

En las depuradoras se emplean diversos métodos para la desnitrificación basados todos ellos en la presencia de oxígeno para la nitrificación y posteriormente la ausencia de oxígeno para la desnitrificación. La diferencia entre los diferentes métodos es la construcción de varios reactores o uno combinado con diferentes recirculaciones para conseguir el objetivo final.

Las combinaciones de N son, en cantidad, después de las de carbono las más importantes en las aguas residuales urbanas. Las proteínas de la alimentación llegan fundamentalmente como urea. La urea y los compuestos orgánicos hidrolizados se transforman en amonio. Las combinaciones de N que entran en la depuradora, lógicamente están en forma no oxidada. La manera de determinar el N total no oxidado la realizó un danés llamado Johan Gustav Christoffer Thorsage Kjeldahl (1849-1900). El profesor Kjeldahl publicó en 1883 un método basado en la conversión del nitrógeno en amoniacal por vía húmeda, mediante la digestión con ácido sulfúrico concentrado, seguida de destilación con amoniacal y su determinación volumétrica. Por lo tanto el N total no oxidado se denomina nitrógeno Kjeldahl (NTK) y se compone de NH_4 y N orgánico.

En las depuradoras sin nitrificación, el N orgánico se hidroliza en su mayor parte a amonio. Las bacterias contienen aproximadamente un 12% de N. Una parte del N amoniacal lo utilizan las bacterias para la formación de materia celular, que luego se elimina con el fango en exceso. Sin embargo la mayor parte del N se vierte al cauce receptor en forma amoniacal.

En las plantas con nitrificación el N no utilizado por las bacterias se oxida a nitritos y rápidamente a nitratos. La cantidad de N no se alteraría salvo que desnitrifiquemos en un selector anóxico, donde el nitrato se transforma en N gas que pasa a la atmósfera.

El fósforo se puede eliminar química y biológicamente. En ambos casos el fósforo insoluble, aproximadamente el 10% del fósforo total, es eliminado en la decantación primaria y posteriormente en la decantación secundaria se eliminarán los ortofosfatos (15-20% del fósforo total) incorporados a las células del fango activado. Por otra parte mediante la adición de sales de

hierro (cloruro férrico), calcio o aluminio se consiguen la precipitación de fosfatos e hidróxidos de fósforo que decantan rápidamente.

También se ha comprobado que la recirculación alternativa de los microorganismos existentes en los fangos activos de condiciones aerobias a anaerobias reduce la presencia de fósforo.

4. PARAMETROS DE DISEÑO BIOLÓGICO CON REDUCCIÓN DE NUTRIENTES

4.1 Zona óxica y zona anóxica

El tratamiento biológico se realiza mediante un proceso de fangos activos de media carga seguido de una decantación secundaria.

Toda el agua bruta procedente del tratamiento primario se recogerá en una arqueta única, desde la que se repartirá a las distintas unidades del tratamiento secundario.

Se prestará especial atención al sistema de reparto de caudales, de forma que se pueda garantizar un reparto equitativo entre las distintas unidades funcionales. Esta arqueta servirá también para dejar sin servicio cualquier unidad.

Las fórmulas empleadas para calcular el tratamiento biológico con reducción de nutrientes son las mismas que para biológicos con fangos activos, la diferencia está en la determinación de la edad del fango, del volumen de zona anóxica para desnitrificar y del volumen de zona anaerobia para relanzar el fósforo como se verá más adelante.

Fórmulas iniciales:

Edad del fango o tiempo de retención celular (TRC): representa el tiempo que el sustrato o licor mezcla permanece en el sistema.

$$- \text{ Edad del fango o tiempo de retención celular (TRC)} = \frac{MLSS \cdot V}{Qd \cdot (DB05e - DB05s) \cdot Fe}$$

Para calcular esta edad del fango en procesos de nitrificación-desnitrificación, existen unas fórmulas experimentales universalmente aceptadas, y aunque variadas se mantienen en valores similares. Se suelen adoptar las siguientes:

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas

1) E = Edad del fango en días, necesaria para nitrificar según la ecuación de Van Haandel, Dol y Marais, despejamos E partiendo de una zona anóxica como mínimo del 25%:

$$1 - f_x = S \cdot \frac{b_n^T + 1/E}{u_{nm}^T}$$

Siendo:

- f_x = fracción de los MLSS existentes en la zona anóxica, es decir, porcentaje de zona anóxica adoptado (>25%)
- S = factor de seguridad → oscila entre 1-1,5 (Situaciones más desfavorables, variaciones de carga, pH, t^a se suele usar 1,5 y se obtiene mayor edad fango por seguridad)
- b_n^T = factor para organismos heterótrofos, es el coeficiente de decrecimiento de las bacterias nitrificantes = $0,04 \times 1,029^{(T-20)}$
- u_{nm}^T = coeficiente de crecimiento de bacterias nitrificantes = $u_{20} \times 1,123^{(T-20)}$
- u_{20} = sus valores oscilan entre 0,4 en condiciones desfavorables y 0,5 en condiciones normales (si se pone 1,5 en el factor de seguridad se usa 0,5 en u_{20} para no penalizar tanto, salvo que haya componentes industriales considerables).

2) N_a (mg N-NH₃ / l) = es la concentración de nitrógeno amoniacal que no se nitrifica (N-NH₃ en el efluente) y viene dada por la expresión, según la Universidad de Cape Town:

$$N_a = \frac{K_n^T \cdot (b_n^T + 1/E)}{u_{nm}^T \cdot (1 - f_x) - (b_n^T + 1/E)}$$

K_n^T = coeficiente de saturación de nitrificación = $1,123^{(T-20)}$ mgN-NH₃/l

3) D_c = es la máxima concentración de nitrógeno como nitrato (NO₃) que podría desnitrificarse en la zona anóxica prevista y viene dada por la fórmula de Van Haandel, Dold y Marais siguiente, donde se despeja la zona anóxica f_x :

$$D_c = S_{bi} \cdot \left(\frac{f_{bs} \cdot (1 - P \cdot Y)}{2,86} + \frac{Y \cdot E \cdot K_2 \cdot f_x}{1 + b_h^T \cdot E} \right)$$

D_c = Máxima concentración de N-NO3 a abatir = N Disponible - Na ppm (de la fórmula 2)

S_{bi} = Concentración de DQO biodegradable → variable entre 1 y 2xDBO5. Se suele usar 1,5 DBO5

f_{bs} = relación entre la DQO rápidamente biodegradable / DQO biodegradable: 0,33 decantada ó 0,24 no decantada

P = DQO / SSV (sólidos en suspensión volátiles de la masa de fangos) → 1,5 mgDQO/mgSSV

Y = coeficiente crecimiento bacterias heterótrofas → 0,45

K_2 = coeficiente desnitrificación = $0,1 \times 1,08^{(T-20)}$

b_h^T = coeficiente decrecimiento bacterias heterótrofas = $0,24 \times 1,029^{(T-20)}$

T = Temperatura en el biológico

E = edad del fango (de 1)

f_x = fracción de zona anóxica necesaria. Con este dato obtenido de f_x usamos otra vez la fórmula primera (1) y se vuelve a ajustar la edad del fango.

Hay que tener en cuenta que existen otras muchas fórmulas para determinar la edad del fango necesaria para nitrificar, función de otros parámetros a parte del porcentaje de zona anóxica adoptada. Sin embargo las fórmulas y coeficientes anteriormente expuestos son los que comúnmente están aceptados y difieren poco de otras fórmulas.

Una vez cuadrados la edad del fango y la f_x aplicamos los parámetros de diseño de la siguiente tabla:

MAGUA

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas

TIEMPO RETENCIÓN HIDRÁULICA*	>8	horas
*Depende de la edad del fango y T ^a		
EDAD DEL FANGO*	>6	Días
*Obtenida de las fórmulas anteriores		
CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS (MLSS)	Entre	2.500-3.500 ppm
CARGA MÁSCICA <	0,2	KgDBO5/kgMLSS/día
CARGA VOLÚMICA <	0,5	KgDBO5/V(m ³)/día
ALTURA BIOLÓGICO	4-6	m
Kg O2/ Kg DBO5 media eliminada	2	
Kg O2/ Kg DBO5 punta eliminada<	4	
RENDIMIENTOS REDUCCIÓN DBO5<	95%	
RENDIMIENTOS REDUCCIÓN SS<	95%	

*Es importante tener en cuenta la zona geográfica donde se va a dimensionar la depuradora. No es lo mismo calcular en zonas tropicales con temperaturas constantes a lo largo del año de unos 25°C que en zonas frías. La tendencia es no calcular por debajo de 12°C para evitar edades del fango excesivas. Por debajo de estas temperaturas se debería pensar en procesos de biopelícula. Así mismo en el caso de altas concentraciones de nitrógeno se tendría que considerar sistemas tipo anammox, o prefermentadores para tener materia carbonada suficiente y poder desnitrificar

Carga másica o carga de contaminación del sistema es la relación de la carga que entra y los kilogramos de sustrato o licor mezcla.

-
$$Carga\ másica\ C_m = \frac{(Q_m * DBO5_e)}{KgMLSS}$$

**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

La concentración de microorganismos en el reactor son los kg de sustrato o licor mezcla que tenemos en la cuba de aireación por unidad de volumen.

$$- \text{Kg MLSS} = V (m^3) * [MLSS] (Kg/m^3)$$

Carga volúmica, es la carga orgánica contaminante por día en el agua residual, expresada por los kg de DBO5 de entrada en al biológico al día respecto al volumen total del biológico en m³.

$$- \text{Carga volúmica } Cv = \frac{(Qd * DBO5e)}{V(m^3)}$$

Tiempo de retención hidráulica, representa el tiempo que el influente permanece en el sistema.

$$- \text{TRH} = V/Qm$$

Siendo:

- [MLSS] = concentración del licor mezcla en kg/m³ o mg/l (ppm)
- V = volumen en m³
- Qm = Caudal medio de entrada en el biológico en m³/h
- (DBO5)e = DBO5 que entra en el biológico en ppm
- (DBO5)s = DBO5 que sale del biológico en ppm, la que marque la legislación. En España según decreto 271 de la CEE es 25 ppm
- Fe = tasa de extracción de fangos son los Kg de fango que se producen por Kg de DBO5 eliminada. Fe= DBO5 eliminada* tasa fangos exceso (Te)

4.2 Producción fangos biológicos

Los fango biológicos que se generan se calculan según Fe ó tasa de extracción de fangos. Son los Kg de fango que se producen por Kg de DBO5 eliminada. Fe= DBO5 eliminada* tasa fangos exceso (Te) Para calcular la tasa de extracción de fangos se pueden usar las siguientes fórmulas empíricas y se toma, redondeando con un decimal, el valor más alto:

CHUDOBA (en desuso)

- $Te = 0,57 / (1 + 0,16 * \text{Edad fango}) + 0,14 + (0,5 * \text{SS entrada} / \text{DBO5 entrada biológico})$

HUISKEN (comúnmente utilizada)

- $Te = 1,2 * \text{Carga másica}^{0,23} + 0,5 (\text{SS} / \text{DBO5} - 0,6)$

Siempre que la relación SS/DBO5 sea mayor que 0,6. Si es menor o igual se usa directamente

- $Te = 1,2 * \text{Carga másica}^{0,23}$

NORMA ATV ALEMANA

- $Te = 0,75 + 0,6 * r - (0,102 * \text{Ef} * \text{Ft}) / (1 + 0,17 * \text{Ef} * \text{Ft})$

Siendo:

- Ft = factor temperatura para la respiración endógena $1,072^{(t-15)}$
- t = temperatura del agua en grados centígrados
- r = SS entrada en el reactor biológico / DBO5 entrada en el reactor biológico
- Ef = Edad del fango

Con los datos de la tabla y utilizando las fórmulas anteriores despejamos de cada fórmula V y obtenemos un volumen de biológico necesario. A la hora de dimensionarlo geoméricamente repartiremos el volumen necesario en al menos dos cubas y en función de la superficie y altura que apliquemos, el volumen podrá ser algo mayor del necesario, pero nunca menor. Este volumen final será el volumen adoptado. Resumiendo se elegirá el volumen mayor para que se cumpla cualquiera de los parámetros que se han establecido. Es decir por edad de fango, por carga másica, por carga volúmica (este dato muchas veces no se contempla) y por tiempo de retención hidráulica el volumen tiene que cumplir. En este volumen estará incluido el porcentaje de zona anóxica que hayamos obtenido de las fórmulas anteriores. Además le incluiremos un volumen del 20% zona facultativa, tomada del volumen que nos quede de zona óxica. Esta zona facultativa podrá estar o no aireada en función de que necesitemos menos o más zona anóxica.

Resumiendo:

VOLUMEN CALCULADO = 25% (mínimo) ZONA ANÓXICA + 20% ZONA FACULTATIVA + ZONA ÓXICA

4.3 Relación materia carbonada y nitrógeno

Para un biológico de fangos activos con nitrificación-desnitrificación ND hay que tener en cuenta la relación existente entre la materia carbonada, medida como DBO5 y la cantidad de nitrógeno que tiene que estar en el entorno o mayor que 4. En el caso de que fuera menor por altas concentraciones de nitrógeno o poca materia carbonada se tendría que ir a un aporte externo de carbono con metanol, o uso de prefermentadores. Si no es posible habría que pensar procesos específicos de eliminación del nitrógeno tipo anammox, acrónimo de oxidación anaerobia del ion amonio, del inglés (anaerobic ammonium oxidation) En este proceso biológico, hay unas bacterias que convierten directamente el nitrito y amonio en gas nitrógeno. También se debe considerar la parte fácilmente biodegradable de la DBO5 que debe estar en el entorno del 20%

4.4 Zona anaerobia

Como se vio anteriormente se ha comprobado que la recirculación alternativa de los microorganismos existentes en los fangos activos de condiciones aerobias a anaerobias reduce la presencia de fósforo.

En zonas anaerobias del agua se producen ácidos grasos volátiles que son usados por las bacterias desfosfatantes para transformar los polifosfatos presentes en fosfatos disueltos. En la zonas aerobias la materia orgánica presente en el agua se mineraliza (oxida) y el fósforo se reabsorbe por las células en una cantidad considerablemente mayor que la liberada en la zona anaerobia, por lo que el contenido en fósforo de los fangos decantables aumenta. La eliminación de fósforo tiene lugar a través de la purga de fangos

En definitiva, se estudió que hay unas bacterias heterótrofas denominadas PAOs del inglés Polyphosphate-accumulating organisms, que son capaces de liberar fósforo en condiciones anaerobias y de acumularlo en mayor medida en condiciones aerobias.

Para ello se dispone de una balsa anaerobia en cabecera donde se relanza el fósforo transformando los polifosfatos a ortofosfatos, que serán más fácilmente biodegradables en las zonas óxicas.

Para calcular el volumen de zona anaerobia, previsto como selector para la reducción del fósforo, deberá cumplir el mayor de los siguientes parámetros de dimensionamiento, según la universidad de Cape Town:

Porcentaje de zona anaerobia	>5	% volumen calculado
Tiempo de retención (Qmed)*	1,5	h

* Barnard propone un tiempo de 1 h, aunque preferimos calcularlo según Cape Town para tener más holgura. A la hora de construir se divide el volumen anaerobio en varios selectores con el fin de tener flexibilidad en la explotación, según se quiera tener más o menos tiempo de retención en la zona anaerobia.

Otra manera de calcularlo es seleccionar una apropiada fracción másica de SST en la zona anaerobia, función de la DQO existente en el medio, según la tabla:

DQO agua bruta	Fracción másica de SST en zona anaerobia
< 400	0.20-0.25
400-700	0.15-0.20
> 700	0.10-0.15

Esta tabla nos parece muy conservadora, pues resultan volúmenes excesivos de zona anaerobia.

Por lo tanto:

VOLUMEN TOTAL DISEÑO DEL BIOLÓGICO = VOLUMEN CALCULADO + EL V MAYOR DE (0,05 * V CALCULADO ó 1,5 h * Qmed) SIEMPRE < DEL VOLUMEN ADOPTADO (función de la geometría final)

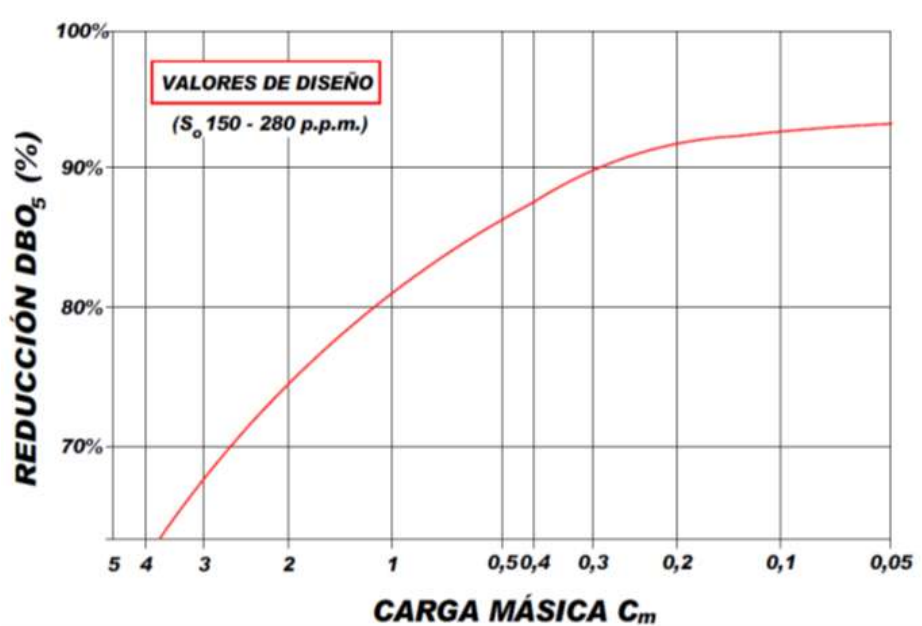
4.5 *Diseño obra civil*

El número mínimo de unidades de biológicos a adoptar será de dos (2) con el fin de dar versatilidad al sistema y siempre que el análisis económico lo permita. Se tendrá especial cuidado en el diseño del reparto de caudales, para garantizar un reparto equilibrado a cada reactor biológico.

Todas las unidades deberán de poder funcionar de forma independiente, sin que exista intercambio de microorganismos entre las distintas unidades, para ello, la arqueta de recirculación estará compartimentada y el bombeo de recirculación se hará de forma independiente a cada unidad.

4.6 Rendimiento del proceso

Los rendimientos en la eliminación de DBO5 dependen de la concentración inicial de DBO5 (So) en la entrada del biológico y de la carga másica.



Relación de la reducción DBO5 función Cm. Fuente CEDEX

El anterior gráfico relaciona empíricamente la carga másica Cm y la DBO5 en el efluente clarificado, teniendo en cuenta la parte soluble de la DBO5 y los sólidos en suspensión SS existentes en dicho efluente.

- DBO5 soluble en el efluente (mg/l) = $\frac{\text{DBO5 entrada en el reactor}}{1 + \frac{K_m \times \text{DBO5 entrada en el reactor}}{\text{MLSS} \times C_m}}$
- DBO5 consecuencia de los SS (mg/l) = $\text{SSe} \times f(C_m)$
- $f(C_m) = 0,8 \times C_m^{1/2}$ si $C_m < 0,5$
- $f(C_m) = 0,58$ si $C_m > 0,5$

Siendo Km=factor de eliminación de DBO5 en días⁻¹, función de la temperatura. Fuente Cedex. Universidad de Delft.

MAGUA

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas

km	°C
120	5
180	10
288	16
360	20
720	30

Calculando la DBO5 soluble y la DBO5 consecuencia de los SS, la suma de las dos establece la DBO5 total de salida que tendrá que ser < 25 ppm, caso legislación 271 de la CEE.

4.7 Balance del nitrógeno

Se considera que en el valor del NTK de entrada ya está considerado el incremento de concentración por los retornos de los sobrenadantes que pueden estar en el entorno del 10%-15%.

Entrada NTK: 40 ppm

Según:

CARACTERIZACIÓN NTK

Amoniacal: 26,00 ppm Disponible:	23,38 ppm	0,65	Porcentaje de NH4 = 65-75 %
En fangos:	2,63 ppm	2,625	6% N para biomasas=5%-7%
Orgánico: 14,00 ppm Soluble	4,20 Biodegradable: 2,70 ppm	0,30	Norganico asociado a DQO particulada= 0,3-0,4
	No biodegradable: 1,50 ppm		
Particulado:	9,80 Biodegradable: 7,80 ppm	0,15-0,25	0,20 Norganico soluble no biodegradable=0,1-0,2
	No biodegradable: 2,00 ppm	0,15-0,25	0,20 Norganico particulado no biodegradable=0,1-0,2
40,00 ppm	14,00	40,00 ppm	5% Necesitan las bacterias para eliminar la DBO5 El 5% del nitrógeno se va con los fangos de los MLSS

De las fórmulas anteriores para calcular la edad del fango se tiene:

Nitrógeno a reducir: 23,38 ppm

Na= Cantidad de N-NH3 no nitrificable = 1,258 ppm

Dc = Máxima concentración de N-NO3 a nitrificar = 22,12 ppm

Concentración máxima de nitrógeno total a la salida: 10 mg/l Es el nitrógeno total no oxidado y se compone de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.

NO₃: 8 mg/l . En algunos pliegos se especifica límite de nitratos. Esto es debido que en las plantas como la que estamos estudiando con nitrificación, el nitrógeno no utilizado por las bacterias se oxida a nitritos y rápidamente a nitratos. La cantidad de nitrógeno no se alteraría salvo que desnitrifiquemos en un selector anóxico. Por lo tanto se nitrifica todo el nitrógeno que se puede y se desnitrifica el máximo aunque se puede tener un margen de hasta 8 ppm.

Salida = 1,258 + 8 = 9,258 < 10 ppm NT, incluyendo nitratos

4.8 Balance del fósforo

El fósforo insoluble, aproximadamente el 10% del fósforo total, es eliminado en la decantación primaria y posteriormente en la decantación secundaria se eliminarán los ortofosfatos (15-20% del fósforo total) incorporados a las células del fango activado. El fósforo restante se relanza en la zona anaerobia para ser eliminado posteriormente en el biológico. Se puede disponer en caso de necesidad la posibilidad de añadir de sales de hierro (cloruro férrico), calcio o aluminio se consiguen la precipitación de fosfatos e hidróxidos de fósforo que decantan rápidamente.

P entrada = 15 ppm

Eliminación decantación primaria = 1,5 ppm

Restante = 15- 1,5 = 13,5 ppm

Eliminación decantación secundaria = 2,7 ppm

Eliminación biológico (o con sales de hierro): 10,8 ppm

5. REDUCCIÓN DEL FÓSFORO POR VÍA QUÍMICA

La presencia de fósforo en el efluente además de reducirse por vía biológica se puede reducir mediante la adición de productos químicos. Para la reducción del fósforo por vía química se dosificará cloruro férrico, con una dosis mínima de 14 kg de Cloruro Férrico comercial por cada kg de fósforo a eliminar. La riqueza de dicho producto es del 40% y su densidad es aproximadamente 1,41 Toneladas/m³.

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

Se puede dosificar al principio del biológico tendremos más rendimiento pero más producción de fango, si lo dosificamos a la salida del biológico habrá menos producción de fango pero al haber menos tiempo de contacto se producirá una menor eliminación de fósforo.

La dosificación se realizará de forma automática proporcional al caudal que entre en el tratamiento. Estos reactivos son floculantes que se agregan al agua para ayudar a la formación del flóculo que luego se separa del agua en los decantadores.

Generalmente se establece un depósito de reactivo para consumo diario. El reactivo se trasvasa desde los depósitos nodriza hasta este, gracias a una bomba centrífuga fabricada en materiales especiales para este producto químico. Los depósitos más utilizados para almacenar el cloruro férrico son los de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Se trata de un producto altamente corrosivo por lo que se deberá tener en especial consideración las indicaciones de la normativa vigente. Los depósitos se deben equipar con niveles que puedan por un lado advertir de la falta de producto así como detener la bomba para evitar su trabajo en vacío.

Por otro lado el depósito está equipado con un nivel continuo con varios puntos de consigna a saber:

- Nivel mínimo: envía la señal para que se inicie trasvase de producto
- Nivel mínimo-mínimo: detiene las bombas dosificadoras para protegerlas de una marcha en vacío.
- Nivel máximo: se detiene la fase de trasvase de producto.
- Nivel de máximo-máximo: se envía alarma al cuadro central de mando y control (fallo en la parada de la bomba de trasvase).
- La forma de dosificación de este reactivo se efectúa proporcional al caudal de agua bruta a tratar.
- Las bombas dosificadoras se pondrán en batería, con una reserva en capacidad de al menos el 50%.
- Se justificarán los parámetros de diseño de la instalación de dosificación atendiendo, además de al buen resultado operativo del tratamiento, a la facilidad de mantenimiento y explotación (volumen de depósito de reactivo, bombas de reserva, etc...).

- La implantación de los equipos se realizará con la holgura suficiente para poder trabajar con comodidad en su entorno, evitándose las conducciones que obstruyan el paso, elementos demasiado cerca de paredes, elementos elevados sin acceso, etc.

6. CALCULO DE LAS NECESIDADES DE OXÍGENO

Una vez determinado el volumen de la balsa biológica, sus dimensiones y número de líneas, se deberá definir la demanda de oxígeno, según los criterios de proyecto. Se tendrá en cuenta para el cálculo de la demanda real el coeficiente de transferencia y las puntas de DBO5 y caudal.

En un sistema biológico se precisa oxígeno para:

Eliminación de DBO5 para síntesis (a): necesario para la eliminación de la materia biodegradable. Estas necesidades son proporcionales a la DBO5 eliminada y de la carga másica a la que opera la planta. Se calcula con una constante de proporcionalidad K_{si} que nunca debe ser mayor de 0,66 kgO₂/día por los Kg DBO5 eliminada/día, según la siguiente tabla:

C _m	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
a	0.66	0.652	0.625	0.590	0.572	0.555	0.53	0.5

Otra manera de calcularla según universidad de Delft es considerando el tiempo de retención celular ó edad del fango según a: 0,5 + 0,01 x TRC, esta es la fórmula que se utilizará para calcular la planta que se está dimensionando.

Respiración endógena de las bacterias (b): es proporcional a la masa celular presente en el reactor según la constante de proporcionalidad K_{re} que relaciona los Kg O₂/día/Kg MLSS. Depende de la carga másica a la que opera la planta según la siguiente tabla:

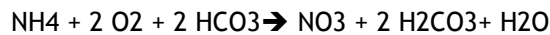
C _m	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
K _{re}	0.041	0.067	0.080	0.092	0.100	0.109	0.118	0.123

C _m	0,60	0,70	0,80	1,00
K _{re}	0,128	0,131	0,133	0,136

En el problema que se está desarrollando se utilizará la siguiente fórmula (Universidad de Delft) b = 0,15-0,0055xTRC.

Oxígeno necesario en el proceso de nitrificación (c): es del orden de $64\text{KgO}_2/14\text{ KgN} = 4,57\text{ KgO}_2$ por KgN-NH_4 , es decir se necesitarán $4,57\text{ Kg O}_2/\text{KgN}$ por los Kg de Nitrógeno eliminado/día. Por lo tanto se utilizará la siguiente fórmula c: $4,57\text{ Kg O}_2 / \text{Kg N-NH}_4$ eliminada/día

La reacción que sigue dicho proceso de nitrificación es la siguiente:



En el proceso de nitrificación hay que tener en cuenta los requerimientos de alcalinidad para la nitrificación que siempre hay que calcular por si hubiera necesidad de aportaciones.

La oxidación de 1 gramo de nitrógeno amoniacal produce 1 gramo de nitrógeno como nitratos y consume 4.57 gramos de oxígeno. La oxidación de 14 gr. de nitrógeno amoniacal produce 2 iones de H^+ (acidez) que consumen 2 equivalentes de alcalinidad (bicarbonato) del agua residual. Teniendo en cuenta que 1 equivalente de alcalinidad corresponde a 50 g/l de CO_3Ca , resulta que 1 mg de nitrógeno amoniacal oxidado consume 7,14 mg/l de alcalinidad, como CO_3Ca , del agua residual.

Oxígeno recuperado en el proceso de desnitrificación (d): donde se recuperan del orden de 2,86 kg de O_2 por Kg de nitratos consumidos.

El oxígeno necesario en d = $2,86\text{ Kg O}_2 / \text{Kg N-NO}_3$ eliminada/día

En resumen para calcular las necesidades de oxígeno se considerará:

$a = 0,5 + 0,01 \times \text{TRC}$	$\text{Kg O}_2 / \text{Kg DBO}_5$ eliminada / día
$b = 0,15 - 0,0055 \times \text{TRC}$	$\text{Kg O}_2 / \text{Kg MLSSV}$ / día
$c = 4,57$	$\text{Kg O}_2 / \text{Kg N-NH}_4$ eliminada / día
$d = 2,86$	$\text{Kg O}_2 / \text{Kg N-NO}_3$ eliminada / día

Las puntas de caudal y de DBO_5 provocan una necesidad punta de oxígeno que afecta únicamente al utilizado para la síntesis. El consumo para la respiración no cambia al no variar la cantidad de microorganismos presentes en el reactor. Se incrementará también para las puntas, en el oxígeno necesario para nitrificación y no en el caso de desnitrificación para hacer un cálculo más conservador. En cualquier caso las necesidades se incrementarán al menos en un 50%, o en cada caso de acuerdo a lo siguiente.

Valor punta: Punta de contaminación e1 = 1,5-1,6

Punta de caudal e2 = Qpta / Qmedio

Factor de simultaneidad e3 = 0,5-0,7

Factor punta eTotal (eT) = e1 x e2 x e3 > e1

Oxígeno necesario punta (Kg/d) = a x eT + b + c x eT - d

6.1 Necesidades reales de oxígeno

Estas fórmulas se refieren a experiencias en laboratorio, con agua limpia, luego corresponde a necesidades teóricas de oxígeno. Para pasar a necesidades reales se emplean una serie de coeficientes. El factor de corrección se calcula aplicando una fórmula que es función de la salinidad y tensión superficial, altitud, transferencia de O2 el tipo o sistema de aireación utilizado, temperatura del agua residual, concentración de saturación de O2, etc. El factor de corrección se calcula aplicando (entre otras) la fórmula siguiente:

$$Factor = \frac{\alpha \cdot (\beta \cdot c_s \cdot c_{altura} - c_L)}{c_s^{10}} \cdot c_h \cdot 1,024^{(t-10)}$$

alfa: sistema de agitación, 0,65-0,70 difusores burbuja fina

alfa: sistema de agitación, 0,85-0,95 turbina, rotores o aireadores de superficie

beta: factor de seguridad, 0,9-1,0 (se suele usar 0,9 más desfavorable)

cs: coeficiente de saturación de oxígeno a la temperatura de proceso

T°C	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	50
Cs	11,33	11,08	10,83	10,60	10,37	10,15	9,17	8,38	7,63	7,10	5,00

Caltura: lámina de agua: $(10,33+h/2)/10,33$

cL: oxígeno disuelto 1-2 ppm

c¹⁰_s: coef. saturación oxígeno a 10°C, afectado por la presencia de cloruros suele ponerse: 11,33

c_h : altitud (760-altitud(m)/10)/760

t: temperatura del proceso t agua en verano

Se debe calcular el factor de corrección, calculado para la temperatura más baja y más alta. El límite de temperatura suele estar entre 14° (mínimo 12°) y 24° (máximo 30°), a continuación se dividen las necesidades teóricas obtenidas por el factor correspondiente. Se obtienen dos resultados uno para 14° y otro para 24°, se tomará el más desfavorable. **Resumiendo con las necesidades de oxígeno medias y puntas obtenidas inicialmente se dividirán por el factor de corrección y se obtienen las necesidades de oxígeno reales.**

6.2 Transferencia de oxígeno

La dosificación del oxígeno se realiza a través de aire. La transferencia de oxígeno del aire está en función de:

$To = \text{Transferencia de Oxígeno} = P * Po * Re$

P= Peso de 1 Sm³ de aire = 1,248 kg/Sm³ a 10°C y a la presión atmosférica

Po =Concentración de O₂ en el aire = 20,9%

Re= El rendimiento de transferencia de oxígeno por m de profundidad suele ser del orden de 4,5% con lo cual en un biológico de 5 metros de altura útil será 22,5%.

El aire atmosférico contiene 20,9% de oxígeno en volumen y pesa 1,248 kg/m³ a 10°C y a presión atmosférica. Por lo tanto, en condiciones normales 1 m³ de aire contiene 1,248x0,209 kgO₂/m³ = 0,26 kgO₂/m³.

Por lo tanto se dividen las necesidades de oxígeno reales por la transferencia de oxígeno calculada (0,26 kgO₂/m³ x 0,045 x altura útil biológico) y se obtendrá el caudal de m³ de aire que se tiene que aplicar por hora.

Se obtienen unas necesidades en Nm³/h que divididas por el caudal de aire por difusor nos da el número de difusores totales. Lo dividimos por el número de biológicos y obtenemos el número de difusores por línea.

Para mantener un nivel de agitación adecuado y evitar sedimentaciones, en el caso de difusión de burbuja fina y una cuba con geometría rectangular la potencia necesaria suele estar del orden de 25 w/m³. En las zonas anóxicas y anaerobias la agitación deber ser del orden de 5 w/m³ para evitar re aireaciones del licor mezcla.

Como resumen los ratios habituales de consumo de oxígeno son:

Turbinas en biológico de h < 4 m	1,8 Kg O2 / kW
Aireadores sumergidos:	1,5-2 Kg O2 / kW
Rotores superficiales	1,5-2 Kg O2 / KW
Difusores burbuja fina:	2,5-3 Kg O2 / kW
Difusores burbuja gruesa	1,5 Kg O2 /KW
Difusores de burbuja fina el Q domo:	5 Nm ³ /h

Conducciones: v < 10 m/s

La configuración hidráulica del sistema garantizará que, frente a las normales variaciones de caudal, se pueda controlar el rendimiento del sistema de aportación de oxígeno. Al mismo tiempo, la configuración hidráulica impedirá el paso directo de la lámina superficial al decantador secundario. En caso de que la salida sea por vertedero, deberá prevenirse un sistema deflector para impedir la entrada de flotantes.

Se deberá garantizar la regulación en continuo de la cantidad de oxígeno aportado en función del oxígeno residual. En el caso de difusores, se instalaran variadores de velocidad en las soplantes, regulados en función de la consigna de oxígeno dada por medidores en continuo en las balsas. Por lo tanto los turbo compresores deben de tener una capacidad de regulación entre 50% y el 100% del caudal máximo, y siempre hay que instalar uno en reserva.

La potencia disponible de los agitadores, garantizará una suficiente agitación de la masa que impida la formación de sedimentos, y asegure la mezcla completa. La cuba de aeración se deberá proyectar con una reserva hidráulica en altura de al menos 0,5 metros, para evitar salpicaduras de agua y lodo. En cualquier caso en el resto de elementos en los que se disponga de una lámina libre

de agua, se dispondrán los elementos precisos para facilitar la salida del mismo ante una caída accidental en ellos.

El montaje de los elementos de aportación de aire se hará con las precauciones necesarias para evitar un nivel de ruidos molestos, no superando los 65 dB.

7. RECIRCULACIÓN DE FANGOS

7.1 Introducción

En los procesos de fangos activos convencionales es fundamental el establecimiento adecuado de las recirculaciones externas y en el caso de eliminación del fósforo y nitrógeno, recirculaciones internas para obtener los parámetros de reducción adecuados. Según esto tenemos dos tipos de recirculaciones: la externa al biológico y la interna.

7.2 Recirculación externa de fangos

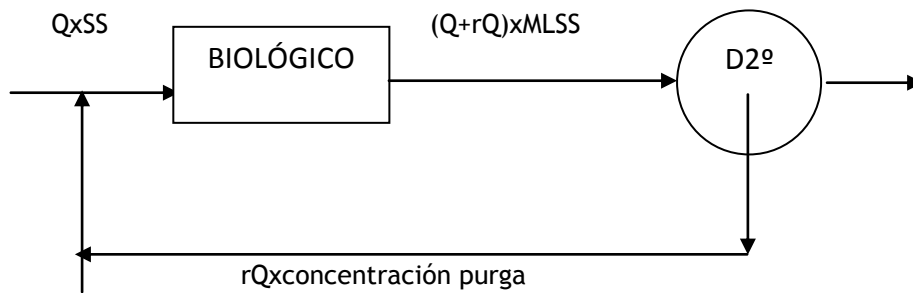
La recirculación externa se emplea para mantener en las balsas biológicas la concentración de MLSS deseados. Por lo tanto para la recirculación externa de fangos es muy importante definir y justificar la capacidad de recirculación necesaria para mantener el equilibrio biológico del sistema proyectado.

En dichos cálculos justificativos, se supondrá, a efectos de proyecto, que la concentración de fango recirculado es como máximo de ciento setenta y cinco (175 %) por ciento de la concentración de los SSLM de las balsas y que no sea superior a los 8.000 mg/l.

Además la capacidad de recirculación nunca será inferior al 100% del caudal medio diario y se obtendrá como mínimo mediante tantas unidades iguales como balsas se hayan diseñado. Se instalará además, una unidad de reserva, iguales a las anteriores.

La arqueta de recirculación deberá de estar compartimentada para evitar la mezcla de los fangos de las distintas balsas, y tendrán impulsiones diferentes para cada unidad.

Por lo tanto:



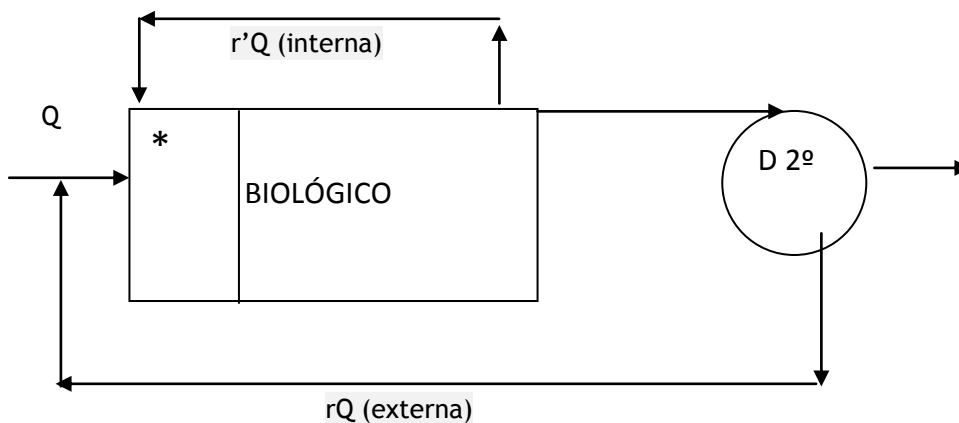
$$Q \times SS + rQ \times C_p = (Q+rQ) \times MLSS \text{ se despeja } r = (MLSS - S_{\text{entrada}}) / (C_p - MLSS)$$

Se trabajará con la concentración de purga, C_p para $r < 100\%$, generalmente la concentración de purga estará en el entorno de 0,6-0,7% lo que es igual a 6-7 kg/m^3 . Lógicamente esta concentración dependerá de cómo esté funcionando el decantador secundario.

7.3 Recirculación interna de fangos

La recirculación interna se emplea para que la salida hacia la zona anóxica de NO_3 sea la deseada. En el caso de la recirculación interna de fangos se definirá justificadamente la capacidad de recirculación necesaria para obtener los resultados de eliminación de nitrógeno requeridos.

Por lo tanto la recirculación interna se emplea para que la salida de NO_3 sea la deseada:



*Selectores/zonas anaerobia y anóxica. Ver esquemas de funcionamiento.

$$Q \times N\text{-NO}_3 \text{ entrada} = Q \times (1+r+r') \times \text{NO}_3 \text{ salida}$$

Dónde:

N-NO₃ entrada = Máximo N-NO₃ a eliminar

N-NO₃ salida = 80% del nitrógeno total previsto de salida

rQ: recirculación externa

r'Q= recirculación interna

r' depende siempre de la recirculación interna que se haya adoptado.

Por lo tanto se despeja $r' = ((N \text{ entrada}/N \text{ salida})-1 - (\text{recirculación externa}/100)) * 100$

Tanto en la recirculación externa como interna se tendrá en cuenta que para cada tubería de recirculación se incluirá un medidor de caudal electromagnético de fangos recirculados con inclusión de un totalizador. Así mismo el control de la recirculación se realizará de acuerdo con el caudal de entrada a la planta y según parámetros establecidos en el tratamiento biológico. Para ello se instalarán variadores de frecuencia en todas las bombas de recirculación.

Tanto en la zona anaerobia, como en la zona anóxica se deberá tener en cuenta lo siguiente:

La llegada y entrada de agua, el fango recirculado y recirculación auxiliar, será preferentemente por tubería, frente a la llegada por canal, para evitar la oxigenación adicional del agua. Se instalará un sistema de agitación que garantice la mezcla íntima y rápida del agua y el fango, y evite la formación de sedimentos, cuidando sin embargo, que esta agitación no provoque oxigenaciones indeseadas.

8. ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO

Las distintas maneras de realizar tanto la recirculación externa como interna dieron lugar a diferentes modelos, a saber:

- Proceso de Bardenpho de 5 etapas.
- Proceso de Bardenpho de 3 etapas.
- Proceso A²/O

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

- Proceso Universidad de Cape Town
- Proceso de Cape Town modificado
- Proceso de Johannesburgo
- Procesos mixtos o Procesos del jefe de explotación de cada depuradora (el más importante y fiable).

A continuación se adjuntan los siguientes esquemas según la manera de realizar la recirculación interna y externa:

MAGUA

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas

NITRIFICACION-DESNITRIFICACION



DESFOSFATACION-NITRIFICACION-DESNITRIFICACION=A2O



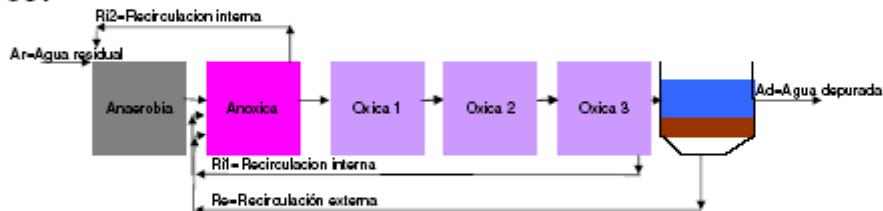
DESFOSFATACION-NITRIFICACION-DESNITRIFICACION=BARDENPHO TRES ETAPAS



BARDENPHO CINCO ETAPAS



UCT



UCT MODIFICADO



MAGUA

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas

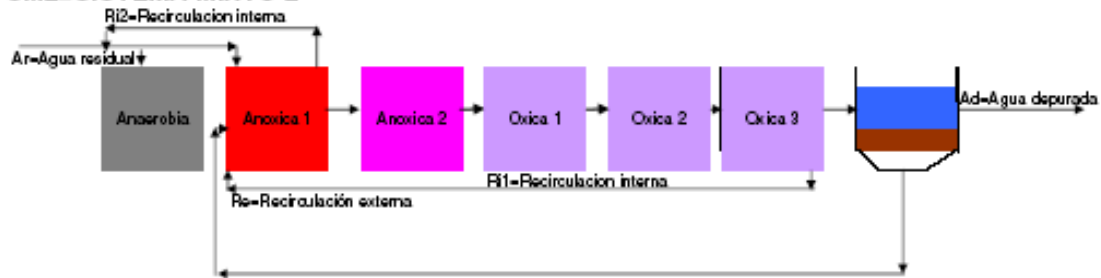
JOHANESBURGO



SM1=SISTEMA MIXTO 1



SM2=SISTEMA MIXTO 2

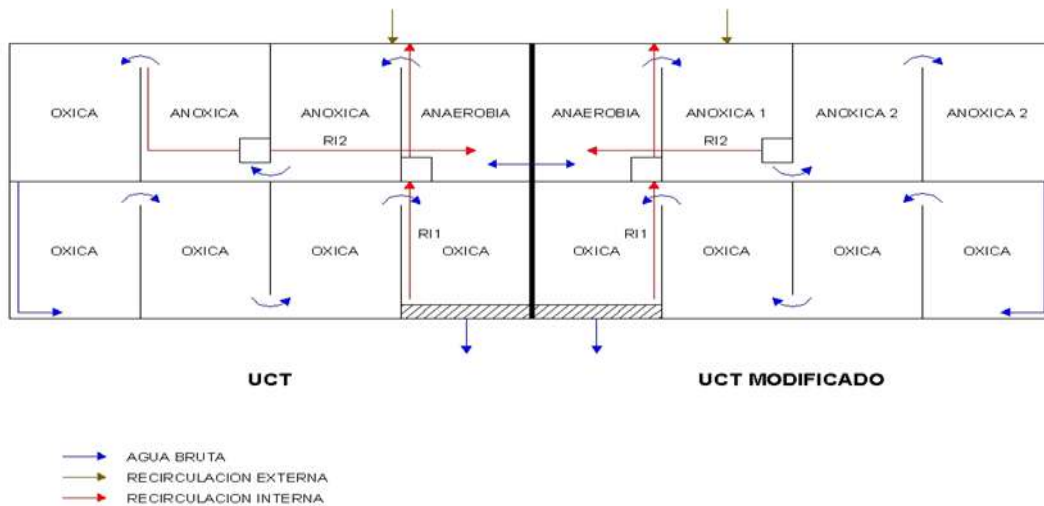
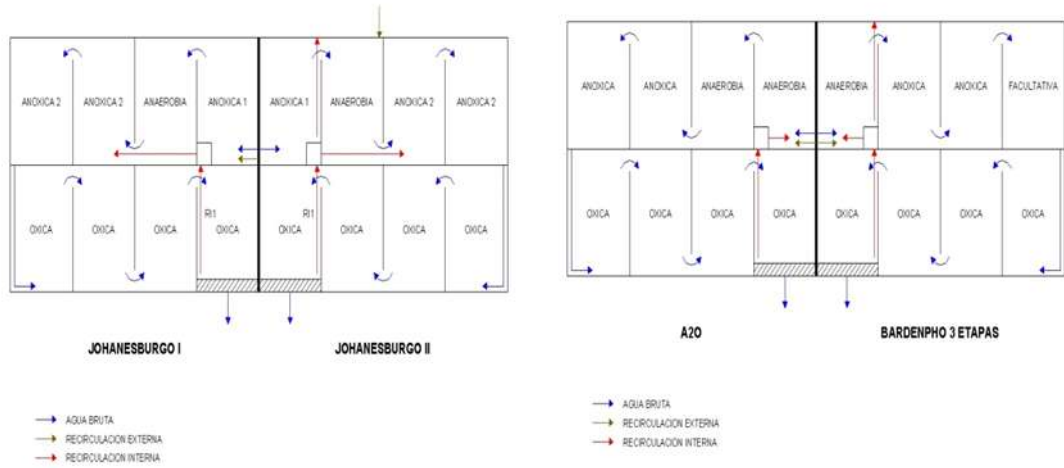


SM3=SISTEMA MIXTO 3



MAGUA

Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos. Aireación. Recirculación/Módulo Aguas



9. PROCESOS EN UNA DEPURADORA FANGOS ACTIVOS

Los procesos que se suelen encontrar en una estación depuradora o regeneradora de agua residual con biológico con reducción de nutrientes son:

LINEA DE AGUA

Aliviadero y derivación (by-pass) general *

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

Pozo de gruesos

Rejas y tamices de desbaste

Desarenado-desengrasado

Medidor de caudal

Decantación primaria

Biológico media carga (fangos activos) con reducción de nutrientes

Decantación secundaria

Recirculación de fangos interna y externa

LINEA DE FANGOS

Tamizado de fangos primarios

Espesador fangos primarios por gravedad

Espesador fangos biológicos por flotación

Cámara de mezcla

Digestión aerobia o anaerobia de fangos

Depósito tampón

Deshidratación (filtros banda, prensa, centrífugas) de fango

LINEA DE BIOGAS (caso digestiones anaerobias)

Línea de acero inoxidable para recogida de gas

Gasómetros

Esfera de gas

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

Calderas con quemadores de biogás para calentamiento de fangos a través del intercambiador de calor

Motogeneradores

Alternadores

Energía eléctrica

TRATAMIENTO Terciario

Cámara de mezcla, floculación, dosificación de reactivos

Decantación lamelar

Filtración (arena, malla, anillas)

Desinfección (ozonización, cloración, ultravioleta)

Medidor de caudal

DESODORIZACIÓN

Química (torre ácida y básica)

Biológica

Carbón activo

*Es importante destacar que todos los elementos de la planta tengan una derivación (by-pass) para que, en el caso de avería de cualquier componente mecánico, el resto de la edar/erar pueda seguir en funcionamiento. Insonorizar los edificios donde haya equipos que generen más de 60-90 decibelios, como soplantes, motogeneradores y bombas. Así mismo es necesario desodorizar en todas las zonas que puedan ser conflictivas a la hora de producir olor: pretratamiento, espesadores, deshidratación fangos, etc.

10. RENDIMIENTOS DE DEPURACIÓN

Los rendimientos de depuración que se pueden llegar a alcanzar aparecen en la siguiente tabla:

PARAMETRO ELIMINADO	FANGOS ACTIVOS CON REDUCCIÓN DE NUTRIENTES
DBO ₅ :	>95%
Sólidos en suspensión:	>95%
Nitrógeno:	<15 ppm
Fósforo:	<3 ppm

11. VENTAJAS E INCONVENIENTES EN LA REDUCCION DE NUTRIENTES

* Ventajas:

- Fundamental para el medio ambiente.
- Proceso muy flexible.
- Rendimientos muy altos en eliminación de materia orgánica.
- Rendimientos muy altos en eliminación de nutrientes.

* Inconvenientes:

- Mayor necesidad de superficie.
- Alto coste de implantación.
- Alto coste de explotación.
- Proceso sensible a la temperatura.
- Biosólidos (fangos) sin estabilizar, salvo en el caso de aireaciones prolongadas.

12. CONCEPTOS CLAVES

Como repaso a lo anteriormente calculado se adjunta un resumen de los conceptos fundamentales en el dimensionamiento de los diferentes procesos de un biológico de fangos activos con reducción de nutrientes son:

- Concentración de MLSS
- Edad del fango
- Tiempo de retención hidráulica
- Carga másica
- Temperatura
- Kg O₂/ kg DBO₅ eliminada
- Recirculación interna
- Recirculación externa
- Tasa de producción de fangos

13. BIBLIOGRAFIA

- Metcalf-Eddy, 2.002: Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales. Ed Labor, Barcelona.
- Metcalf-Eddy, 1995 Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª Edición. Mc Graw Hill, Inc.
- Depuración de Aguas Residuales, Aurelio Hernández Muñoz. Colección Señor Nº 9, Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I.C.C.P.
- Manual Técnico del Agua. Degremont.
- Fangos activos. Eliminación Biológica de Nutrientes. Bases teóricas de la Nitrificación y desnitrificación. Juan Antonio Cortacans Torre.
- ATV. ATV Standard ATV-DVWKV-A 131 E. Dimensioning of single stage activated sludge plants. Mayo 2.000
- Curso del Cedex de Agua Residual. Varios autores. Madrid.
- DWA German Association for Water, Wastewater and Waste 2000
- Activated Sludge Plants, DWA Publishing, Hennef, Germany.
- Water Environment Federation Manual of Practice No. 8 (WEF 'MOP 8')
- Design Of Municipal Wastewater Treatment Plants MOP 8
- Water treatment solutions. Lenntech. (Holanda)
- Universidad Técnica de Delft (Holanda)
- G. y R. MARAIS et al. Publicaciones sobre eliminación de nutrientes. University of Cape Town.

14. MATERIALES COMPLEMENTARIOS, LINKS DE INTERNET

- <http://www.epa.gov/>
- <http://www.lenntech.es>
- <http://www.epa.gov/espanol/>
- <http://www.americanscientist.org>

MAGUA**Lodos activos con reducción de nutrientes. Producción fangos.
Aireación. Recirculación/Módulo Aguas**

- <http://www.ibama.gov.br/search/esgoto>
- <http://www.eea.europa.eu/es/themes/water>
- <http://www.wastewaterengineering.com>
- <http://worldwidescience.org>
- http://www.citg.tudelft.nl/no_cache/en/about-faculty/departments/watermanagement
- <http://www.tudelft.nl/en/study/master-of-science/master-programmes/civil-engineering/msc-programme/tracks/watermanagement/specialisations/water-resources-management> (Universidad de Delft en Holanda)
- <http://www.civil.uct.ac.za/george-ekama>
- <http://www.susana.org/en/partner/details/473> CPUT (Centre for Water and Sanitation Research - Cape Peninsula University of Technology en Sudáfrica)
- <http://es.scribd.com/doc/69715929/0-INDICE-NORMAS-ATV-13-02-06#scribd> (Normas, estudios e informes de grupos de trabajo elaborados por la ATV Alemana)