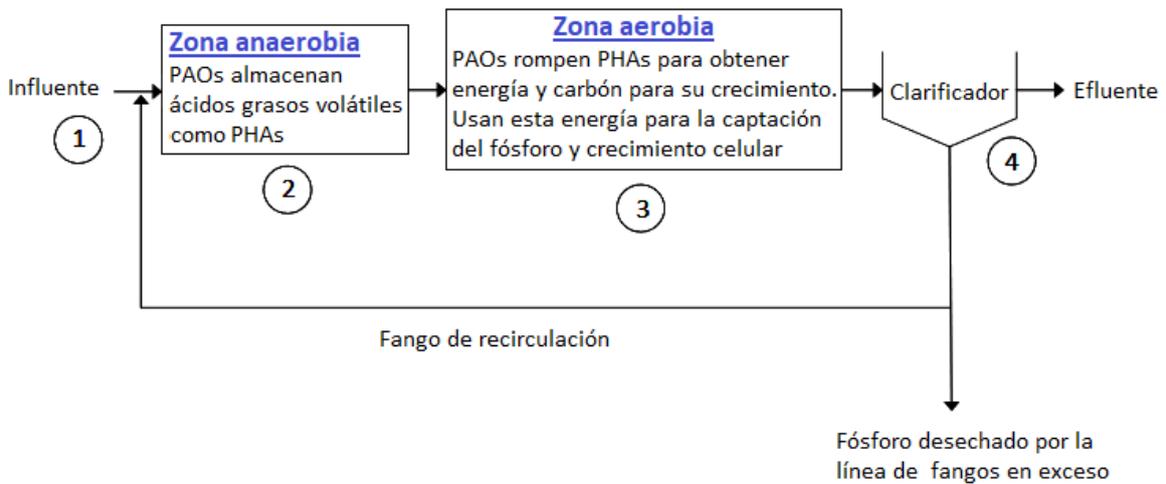
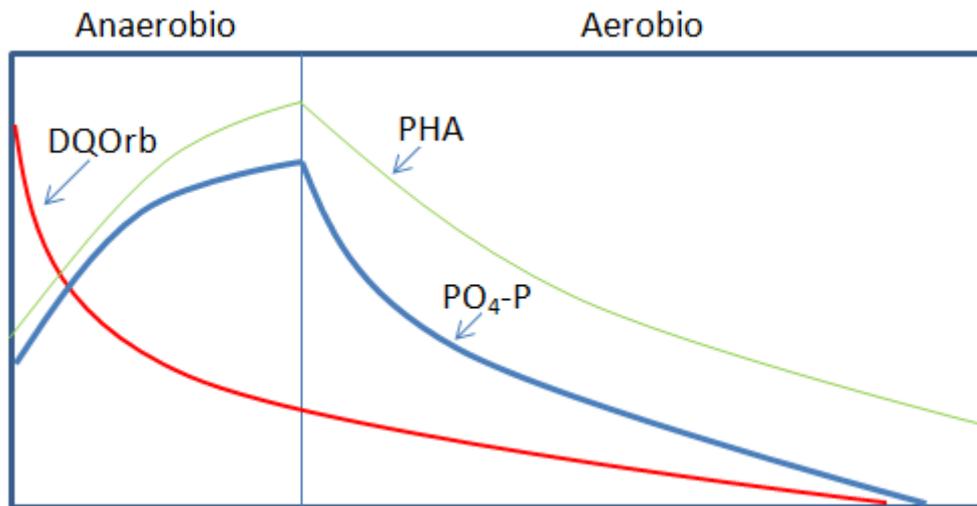
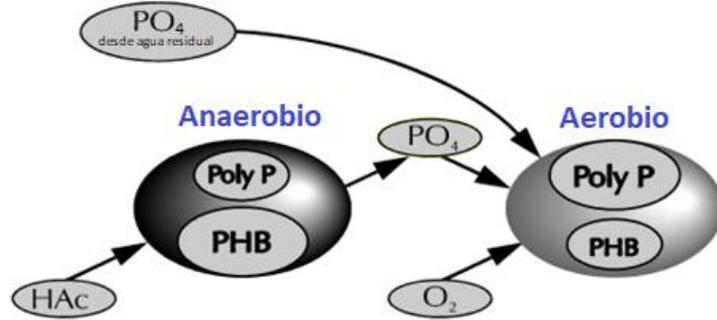


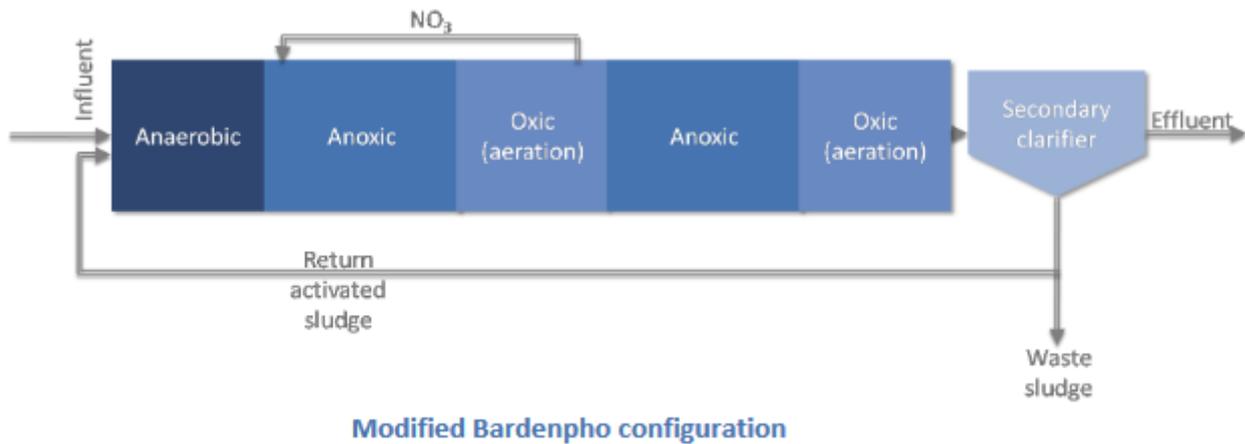
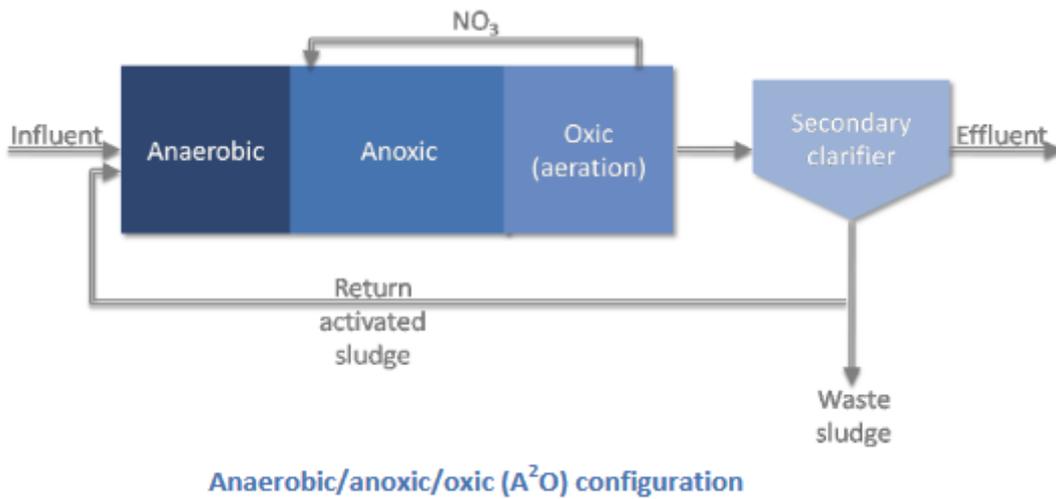
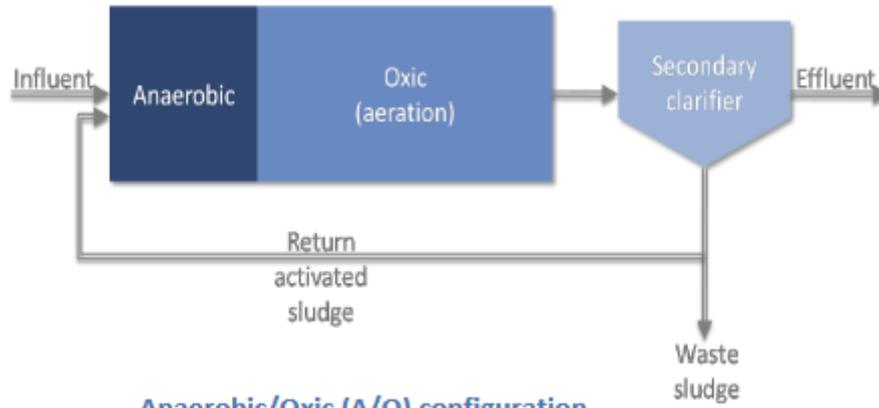
# Respirometría BM aplicada a la eliminación biológica de fósforo

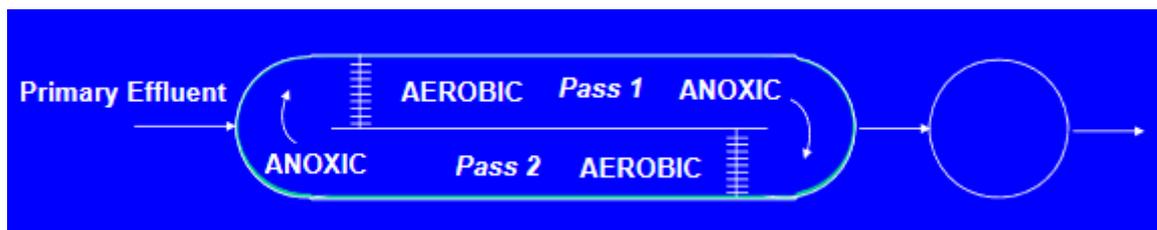
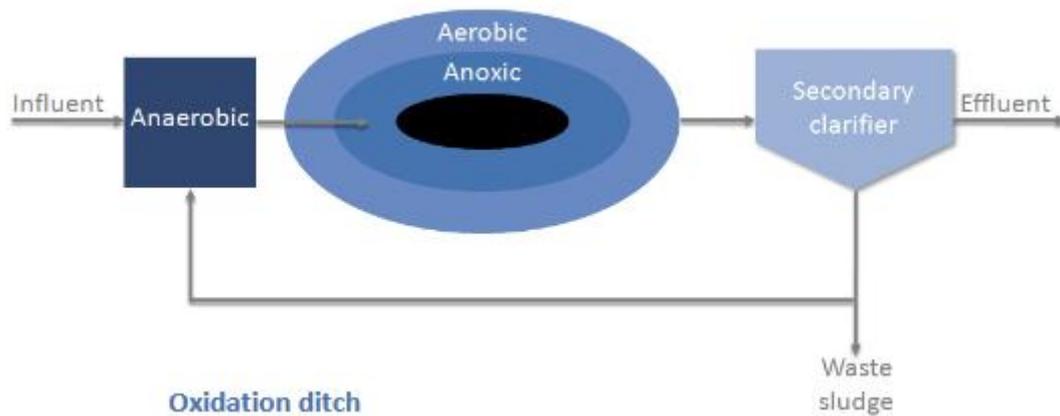
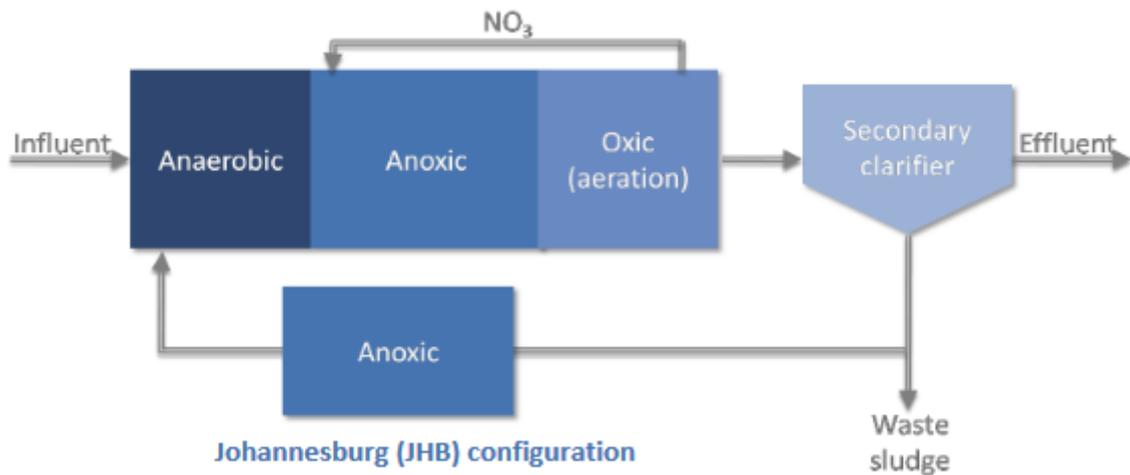
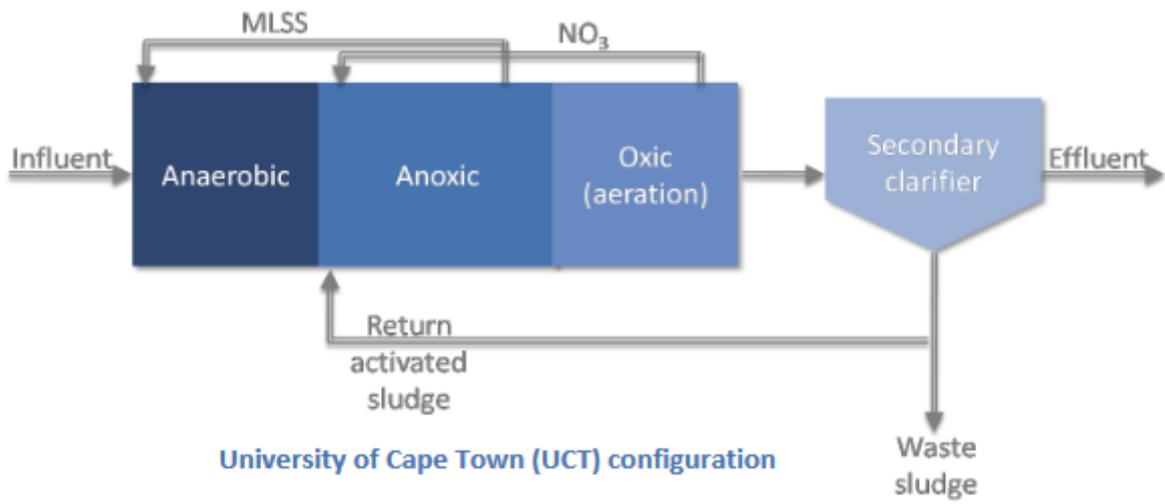
## 1. PRINCIPIO BÁSICO



Fuente; EPA Nutrients Control Design - 2010

## 2. CONFIGURACIONES HABITUALES





Oxidation ditch\_2

### 3. FASE ANAEROBIA

#### Condiciones

- Ausencia de oxígeno
- **Ausencia de Nitratos**
- DQOrb/PT entre 10 y 16 (mejor alrededor de 15)
- Temperatura < 28°C
- pH ≥ 7,25
- TRH mínimo: entre 5 y 15% del TRH total
- En caso de proceso con Nitrógeno-Desnitrificación, la relación NTK/DQO de estar entre 0,08 y 1

[Condiciones que favorecen las GAO \(Glycogen Accumulating Organisms\) y perjudican el desarrollo de las la PAO \(Phosphorous Accumulating Organisms\)](#)

Temperatura > 28°C

pH < 7

TRC demasiado alta

DQOrb/PT < 10

TRC mínimo

#### 3.1. Ensayos desde licor-mixto con cualquier respirómetro BM

##### 1. Determinación de la DQOrb de entrada y su relación con el PT

Ensayo R con fango endógeno, para su posterior comprobación del ratio DQOrb / PT

En caso de que el ratio DQOrb/PT sea sensiblemente inferior a 15, hay que añadir un compuesto de DQO soluble rápidamente biodegradable al influente – Normalmente acetato sódico –

Ejemplo:

A 400 mg de acetato / litro le corresponde una DQOrb (DQOac) aproximada de 300 mg/l.

Desde aquí, teniendo en cuenta el caudal de entrada, habría que calcular la carga Acetato a añadir en coherencia con el siguiente ratio:

Carga DQOrb / Carga PT entre 10 y 16 (preferible 15) → Carga DQOrb = 15 \* Carga PT

Carga DQOrb = Carga DQOac + Q \* DQOrb.ar → **Carga DQOac = 15 \* Carga PT – Q \* Carga DQOrb**

Caudal influente: Q (m<sup>3</sup>/d)

DQOrb del agua residual: DQOrb.ar (kg/m<sup>3</sup>)

Carga DQOrb total; Carga DQOrb (kg DQOrb/d)

#### 3.2. Ensayos desde licor-mixto con el respirómetro BM-Advance Pro

##### Ensayo R con licor-mixto anaerobio para conformar la actividad PAO

Se trata de un ensayo R anaerobio del licor-mixto del inicio de la zona anaerobia en donde nos proponemos monitorizar el ORP, pH y Temperatura.

En este ensayo realizaremos la comprobación de la trayectoria del ORP entre -100 y -300 mV (\*), conjuntamente con el pH para confirmar la reacción de la biomasa PAO en su papel de captación de DQOrb.

(\*)

ORP		
Zone	Desired conditions	mV reading
Aerobic (oxic)	Oxygen present	+50 to +200 mV
Anoxic	Little or no oxygen, just nitrates	+50 to -200 mV
Anaerobic	No nitrates, no oxygen present	-300 mV or lower

Fuente: Water Environment Federation - Wisconsin Department

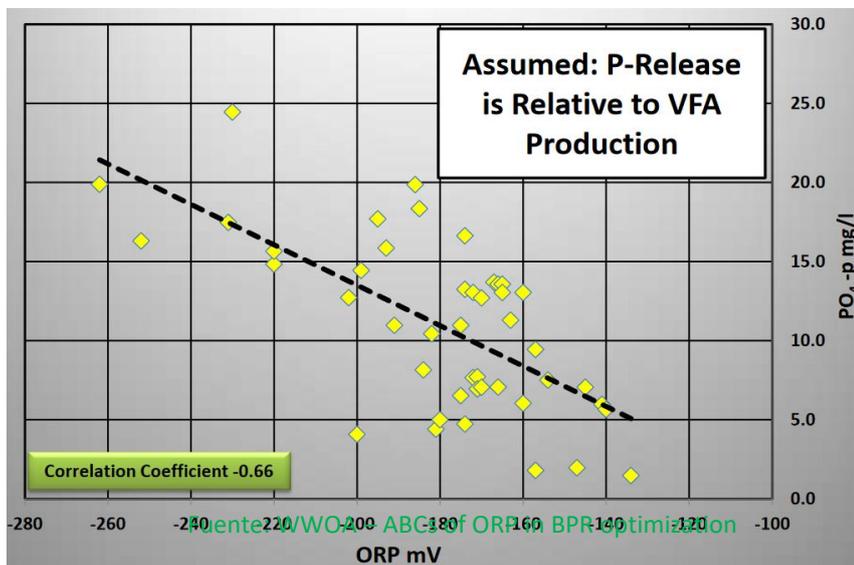
Un cambio del ORP hacia el rango de -50 y + 50 mV (desnitrificación en presencia de DQOrb) puede significar una interferencia en la reacción de las PAO por efecto de la presencia de nitratos.

### Ensayo R con licor-mixto anaerobio en respiración endógena para comprobar su afinidad por la DQOrb

Con fines de diseño / simulación, pasando el licor-mixto de la zona anaerobia a fango endógeno, podemos llevar a cabo un ensayo R anaerobio añadiendo acetato y fosfato (en su ratio de normalidad) al fango para analizar la actividad de las PAO al captar la DQOrb (acetato) y soltar fósforo (\*) Este análisis se llevaría a cabo por medio de la monitorización de la medida del ORP.

La actividad PAO se demostraría con el siguiente criterio:

ORP↓ ⇨ PO<sub>4</sub>-P emitido↑ ⇨ DQOrb↓



### 3.3. Ensayo complementarios en zona anaerobia

#### Comprobación de la actividad PAO por medio del análisis de la concentración del fosfato soluble

Desde el sobrenadante del fango anaerobio analizar la concentración de fosfato soluble antes y después de la ejecución de este proceso: Un ligero incremento de la concentración de fosfato complementaría la confirmación de la reacción.

## 4. FASE AEROBIA

### Condiciones

- Oxígeno disuelto  $\geq 2$  ppm
- Temperatura  $< 28^{\circ}\text{C}$
- pH  $> 7$
- TRC  $> 4$  d

### 4.1. Ensayos desde licor-mixto de la zona aerobia con cualquier respirómetro BM

#### Determinación de las fracciones de la DQO biodegradable

Determinación de la DQOb y DQOrb (soluble) de la entrada a proceso aerobio, para confirmar rangos de las fracciones de DQO (\*)

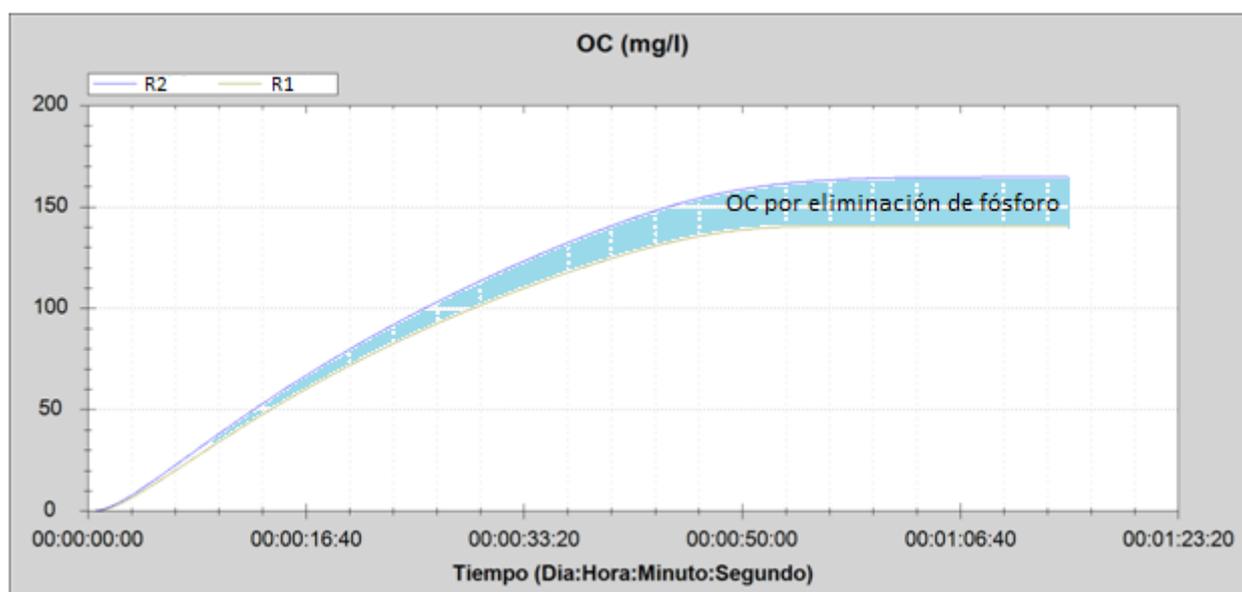
(\*) En el caso de una DQOrb excesivamente baja y/o una DQOb muy elevada es posible que afectara al proceso aerobio en general y especialmente a la captación de fosfatos por la biomasa PAO

#### Consumo de oxígeno por eliminación biológica del fósforo y estimación del fósforo eliminado

1. Pasar el licor-mixto de final del proceso a fango endógeno y registrar el oxígeno disuelto (estable)
2. Realizar un ensayo R (R1) solo con licor mixto de inicio (sin añadir muestra), con corrección de la línea base (Cb) en el inicio del ensayo (\*)
3. Realizar otro ensayo R (R2) solo con licor mixto de inicio enriquecido con fósforo (P') - en los límites normales del proceso -, igualmente con corrección de la línea base (Cb) en el inicio del ensayo (\*)

(\*) Se empieza el ensayo y, a la orden de añadir muestra, no añadimos nada y confirmamos. Solo empezar el ensayo, se modifica manualmente el valor de la línea base [Ensayo  $\rightarrow$  Modificar  $\rightarrow$  Forzar Cb  $\rightarrow$  Aceptar] al valor registrado de oxígeno de la respiración endógena.

4. Una vez ejecutados los ensayos R1 y R2, iremos al generador de comparaciones y abriremos los respirogramas OC de ambos ensayos.



5. Calculamos el oxígeno consumido en la eliminación de fósforo por diferencia entre las OC.

$$OC_P \text{ (mg O}_2\text{/l)} = OC_{R2} - OC_{R1}$$

6. Calculamos el P actual eliminado en el tratamiento aerobio.

$$f_{OP} = 0,35 \text{ O}_2\text{/P} \text{ Fuente: Smolders et al. (1994)}$$

$$P \text{ añadido} = P'$$

$$OC \text{ del P añadido: } OC_{P'} = P' * f_{OP}$$

$$OC \text{ del P en el licor mixto aerobio: } OC_{LM} = OC_P - OC_{P'}$$

$$P \text{ eliminado en biológico aerobio} = P_{LM} = OC_{LM} / f_{OP}$$

## 4.2. Ensayos desde el licor-mixto con el respirómetro BM-Advance Pro

### Ensayo R para monitorizar la captación del fósforo en el rango ORP normal

En un ensayo R aerobio, el ORP debe estar entre +25 y + 250 mV para confirmar la captación del fósforo como polifosfato.

## 5. Eliminación de fósforo por reactivo químico

Cuando la planta ya incluye una eliminación biológica de fósforo, con el fin de obtener un mayor rendimiento, el proceso se puede complementar con la adición de sales metálicas.

Con la adición de estas sales se obtienen formaciones de precipitados mixtos de hidróxidos y fosfatos que decantan rápidamente.

Este proceso es relativamente sencillo, teniendo como mayor problema la gran producción de fangos, a los cuales pueden llegar sustancias tóxicas que precipitan, quedándose en estos y provocando que no se produzca degradación biológica.

La adición del reactivo puede realizarse antes de la decantación primaria, en el tratamiento biológico o antes de la decantación secundaria.

Las sales metálicas más comunes son el cloruro de hierro y el sulfato de aluminio. También se utilizan el sulfato de hierro y el cloruro ferroso, que se pueden obtener como subproductos en la fabricación de aceros (aguas de decapado). El uso de polímeros combinados con sales de hierro y aluminio también ha proporcionado resultados satisfactorios.

### Formas de dosificación

- En continuo.
- Dosificación programada en función de la hora del día, o incluso de la clase de día.
- Dosificación proporcional al caudal de agua residual y dosis constante a lo largo del día.
- Dosificación proporcional al caudal de agua y a varias dosis, según un programa preestablecido a lo largo de la jornada.
- Dosificación proporcional al caudal y a una dosis, función de la indicación de un analizador del contenido en fosfatos del agua tratada.

## Puntos de dosificación del reactivo químico

Punto de dosificación	Ventajas	Desventajas
Antes de la decantación primaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la carga de entrada a reactor biológico.</li> <li>• Control de olores.</li> <li>• Mejora de la capacidad de mezcla.</li> <li>• La sal de hierro puede favorecer el balance de nutrientes en el digestor anaerobio.</li> <li>• Reduce la formación de Estruvita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de reactivo puede ser excesivamente elevada.</li> <li>• Puede requerir reactivos adicionales.</li> <li>• Mayor producción de biosólidos</li> <li>• Puede afectar a la relación de nutrientes.</li> </ul>
Zona aireada del reactor biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora de la capacidad de mezcla en el reactor.</li> <li>• El <math>Fe^{+2}</math> pasa a <math>Fe^{+3}</math> y, por lo tanto, hay una mejora de la reacción con el fosfato.</li> <li>• El ortofosfato está directamente disponible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es conveniente para todos los tipos de procesos.</li> <li>• Puede afectar el pH, alcalinidad y el balance de nutrientes.</li> <li>• Las sales de hierro decoloran las estructuras y equipos instalados.</li> </ul>
Antes del decantador secundario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de ortofosfato elevada.</li> <li>• Sensible mejora de la capacidad de decantación.</li> <li>• Sin prácticamente interferencias en la competencia de reacciones.</li> <li>• Coste económico efectivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor capacidad de mezcla.</li> </ul>

### 5.1. Criterio de dosificación de reactivo cloruro férrico

#### Cálculo de dosificación de cloruro férrico

Según “Nutrient Control Design Manual” - EPA (USA), 2010

Solución comercial de cloruro férrico al 40%:  $Cl_3Fe$  sol.

Fósforo neto a eliminar (\*):  $P$  (mgP/l) /  $10^6 \rightarrow P$  (kgP/l)

Criterio de dosificación: Dosis de solución  $Cl_3Fe/P = 18.65$  (Litros solución/kgP)

Dosis cloruro férrico al día:  $Cl_3Fe$  sol. (l/d) =  $Q$  (l/d) \*  $P$  (kg/l) \* **18,65** (l sol./kgP)

Ejemplo:

Caudal:  $Q = 3,78 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow Q = 3.78 * 10^6 \text{ l/d}$

Fósforo neto a eliminar:  $P = 4 \text{ mg/l} \rightarrow P = 4 / 10^6 \text{ kg/l}$

$Cl_3Fe$  sol. (l/d) =  $(3.78 * 10^6) * (4 / 10^6) * 18.65 = 282 \text{ l/d}$

Fuente: Nutriente Control Design Manual – EPA 2010

(\*) P: fósforo neto a eliminar

1. Dosificación antes de decantación primaria:

**P** = P entrada a decantación primaria

2. Dosificación en zona aireada del reactor biológico.

Pb: P entrada a biológico aerobio

Ps: Fósforo consumido en síntesis celular =  $0,015 * DQOrb$

**P** = Pb - Ps

3. Dosificación antes de decantación secundaria, con o sin eliminación biológica de fósforo previa.

**P** = Fosforo de entrada a decantación secundaria