



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA.
MASTER EN LÓGICA, COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.
INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO**

COMPLEJIDAD EN EL CONTROL DE UNA EDAR. SISTEMAS EXPERTOS.

Juan Manuel Álvarez Espada

PRESENTACIÓN:

- **Ingeniero Técnico Industrial**, especialidad en electrónica, control y automatización.
- **Ingeniero Industrial**, especialidad en gestión de proyectos industriales.
- **Ingeniero Informático**.
- Doctorando en Ingeniería de tecnologías industriales por la ETSII de la UNED.
- Tesis: Gestión de proyectos sobre sistemas complejos.
- PMP®, Project Manager Professional Nº 2.783.737 por PMI®.
- PMI-ACP®, Agile Certified Practitioner. Nº 2.896.078 por PMI®.
- PRINCE2® Practitioner nº 1.448.393 por el CCTA®.
- CEO de HEG (Híspalis Engineers Group, S.L.) Ingeniería de tratamientos del agua.
- Profesor US en el departamento de Ingeniería del diseño y proyectos.

ÍNDICE:

- 1.- Estación depuradora de aguas residuales (EDAR).**
- 2.- Problemática Nitrógeno – Fósforo en EDAR Punta Umbría.**
- 3.- Sistemas de control industrial.**
- 4.- Sistemas expertos. ADEX vs HACH.**
- 5.- Control EDAR Punta Umbría.**

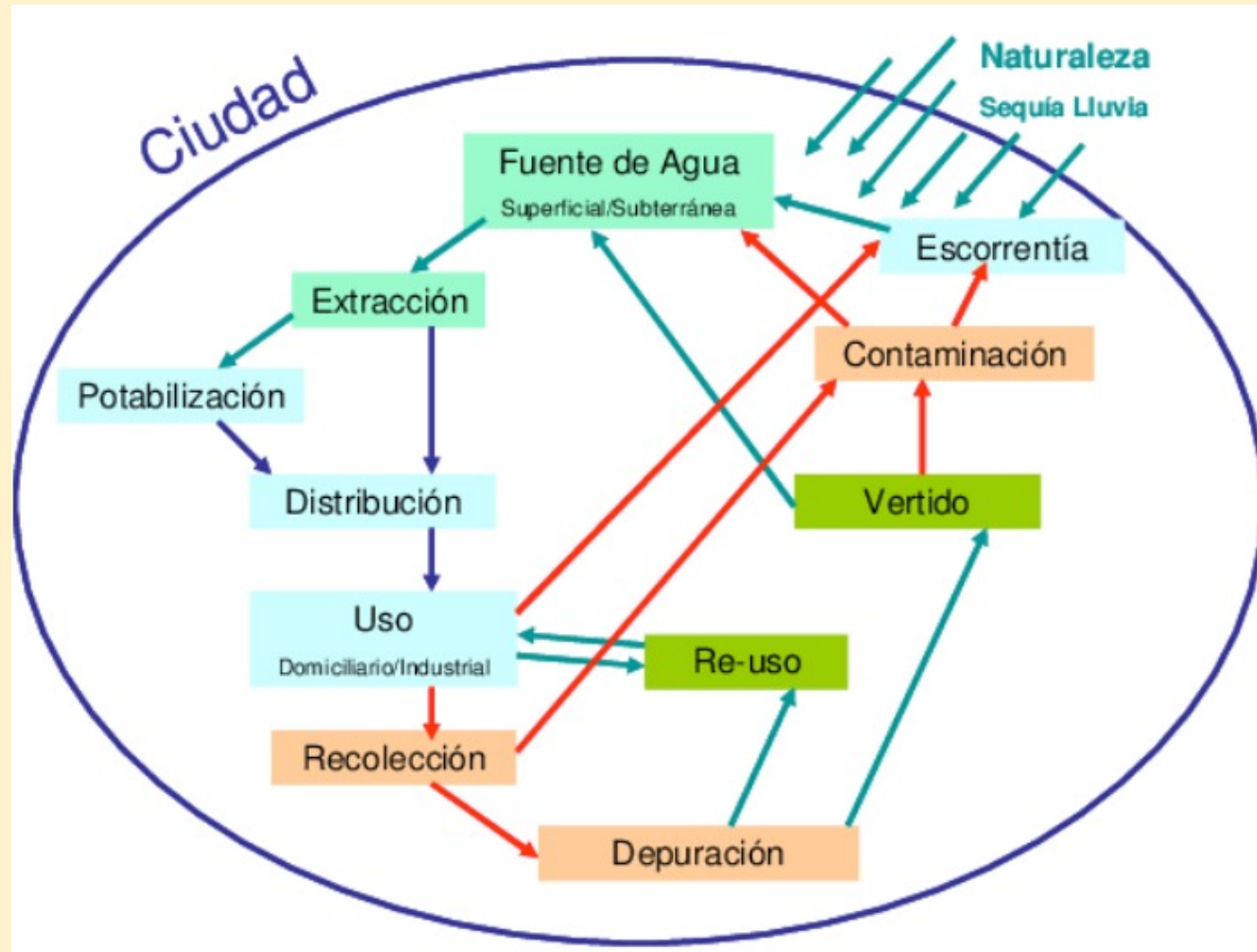
EDAR (1):

PARTE I

DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

EDAR (2):

Ciclo integral del agua



EDAR (3):

Contaminación del agua



EDAR (4):

Clasificación parámetros del agua:

- **Organolépticos: color, turbidez, sabor y olor.
(IMPACTO PSICO – SOCIOLÓGICO FUERTE)**
- **Físico – Químicos: pH, conductividad, sólidos totales, etc..**
- **Indeseables en cantidades excesivas: Nitratos, amoníaco, etc...**
- **Sustancias tóxicas: arsénico, cianuro, plomo, etc...**
- **Microbiológicos: Bacterias y virus.**

EDAR (5):

Contaminantes del agua	Impactos más significativos
Materia en suspensión	Aumento de la turbidez del agua (alteración de la fotosíntesis y reducción de la producción de oxígeno). Sedimentación, obstruyendo y cubriendo el lecho de los ríos.
Compuestos inorgánicos	Ecotoxicidad de algunos compuestos, como las sales de metales pesados. Reacciones con sustancias disueltas en el agua pasando a formar compuestos peligrosos.
Conductividad	Concentraciones elevadas de sales impiden la supervivencia de diversas especies vegetales y animales.
Nutrientes	Crecimiento anormal de algas y bacterias (aumento de la turbidez del agua). Eutrofización del agua.
Materia orgánica	Su descomposición puede provocar la disminución de la concentración del oxígeno disuelto en el agua hasta alcanzar condiciones sépticas. Eutrofización del agua. Emisión de metano en caso de aparición de procesos anaerobios.
Compuestos orgánicos tóxicos	Toxicidad para la vida acuática. Disminución de la concentración de oxígeno debido a los procesos de biodegradación. Producción, en el caso de líquidos no miscibles, de una película superficial que impide la aireación del agua.
Organismos patógenos (bacteria, virus y parásitos)	Inutilización del agua para uso humano. Contaminación de los organismos acuáticos que pueden llegar al hombre con la cadena alimenticia. Enfermedades de transmisión hídrica asociadas a la contaminación microbiológica del agua.
Contaminación térmica por descarga de aguas de refrigeración	Modificación de la solubilidad del oxígeno en el agua. Aceleración del metabolismo de la flora y la fauna acuáticas (eutrofización). Alteración de los ecosistemas acuáticos.

EDAR (6):

• Parámetros más importantes del agua:

Físicos	Químicos	Biológicos
Sólidos totales (ST), mg/l	Materia orgánica, mg O ₂ /l	Organismos patógenos
• Suspendidos	• Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	• Coliformes, número/100 ml
• Volátiles	• Demanda química de oxígeno (DQO)	• Virus, ufc/100 ml ^(b)
Temperatura, °C	pH	
Turbiedad, UNT ^(a)	Alcalinidad, mg CaCO ₃ /l	
	Nitrógeno, mg N/l	
	• Orgánico	
	• Amoniacal (NH ₃ -N, NH ₄ ⁺ -N)	
	• Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	
	• Nitratos (NO ₃ ⁻ -N)	
	Fósforo, mg P/l	
	• Orgánico	
	• Reactivo soluble (PO ₄ ⁻³ -P)	

^(a) unidades nefelométricas de turbiedad

^(b) unidades formadoras de colonias

EDAR (7):

Parámetros de contaminación EDAR

		Fuerte	Media	Débil
Sólidos suspendidos totales	(mgSST/l)	400/150	250/100	150/70
Fracción volátil	(%)	75	75	75
DBO ₅	(mgO ₂ /l)	300/210	225/160	135/95
DQO	(mgO ₂ /l)	700/500	500/350	300/200
Notrógeno total≈TKN	(mgN/l)	60/55	42/39	25/23
N-NO ₃		0	0	0
N-NH ₄		45	30	15
N orgánico		15/10	12/9	10/8
Fósforo total	(mgP/l)	13/11	8/7	4/4
P-PO ₄		10	6	3
P orgánico		3	2	1
Alcalinidad	(mgCO ₃ Ca/l)	300	250	200

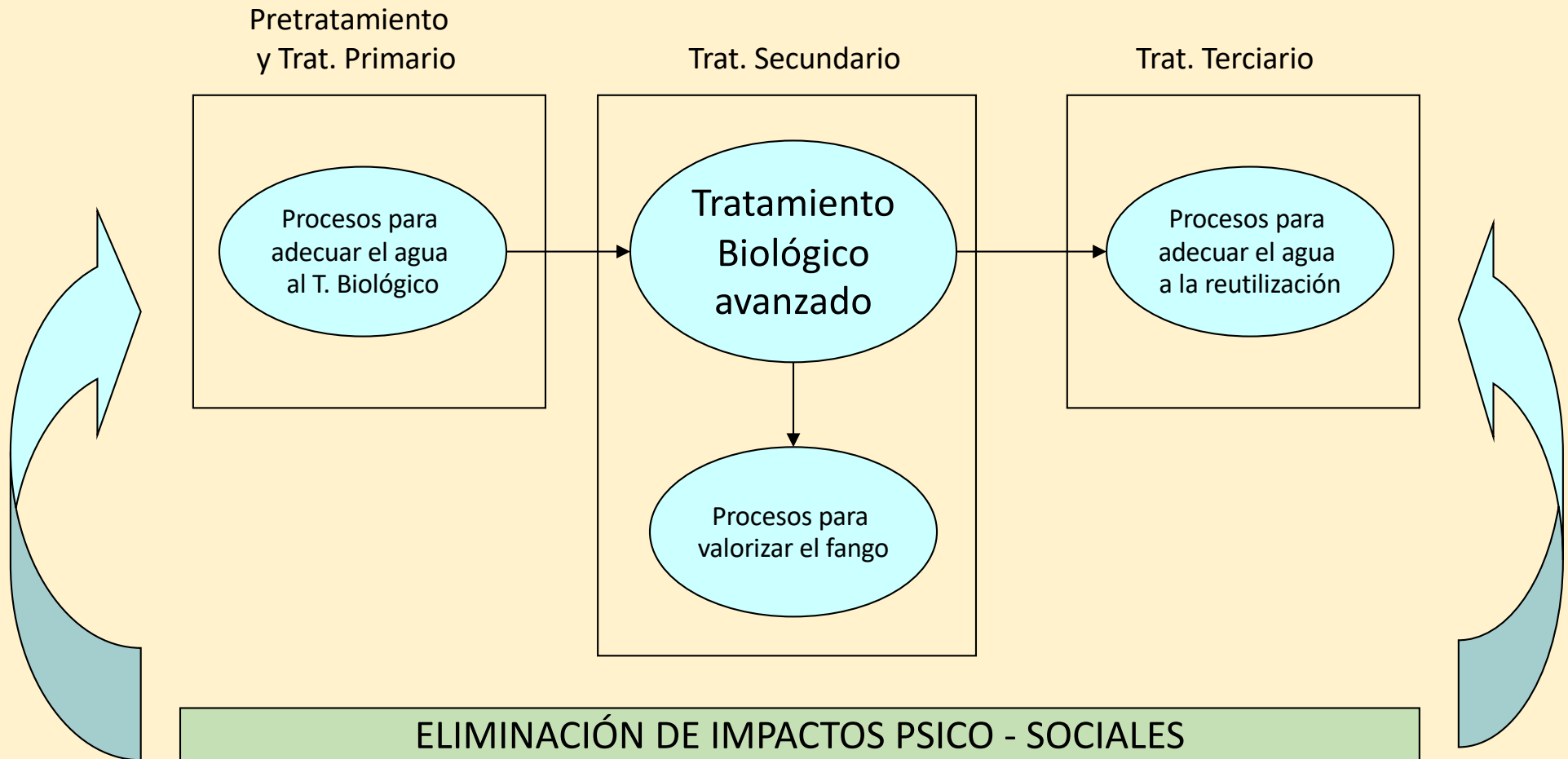
EDAR (8):

EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN EN INDUSTRIAS

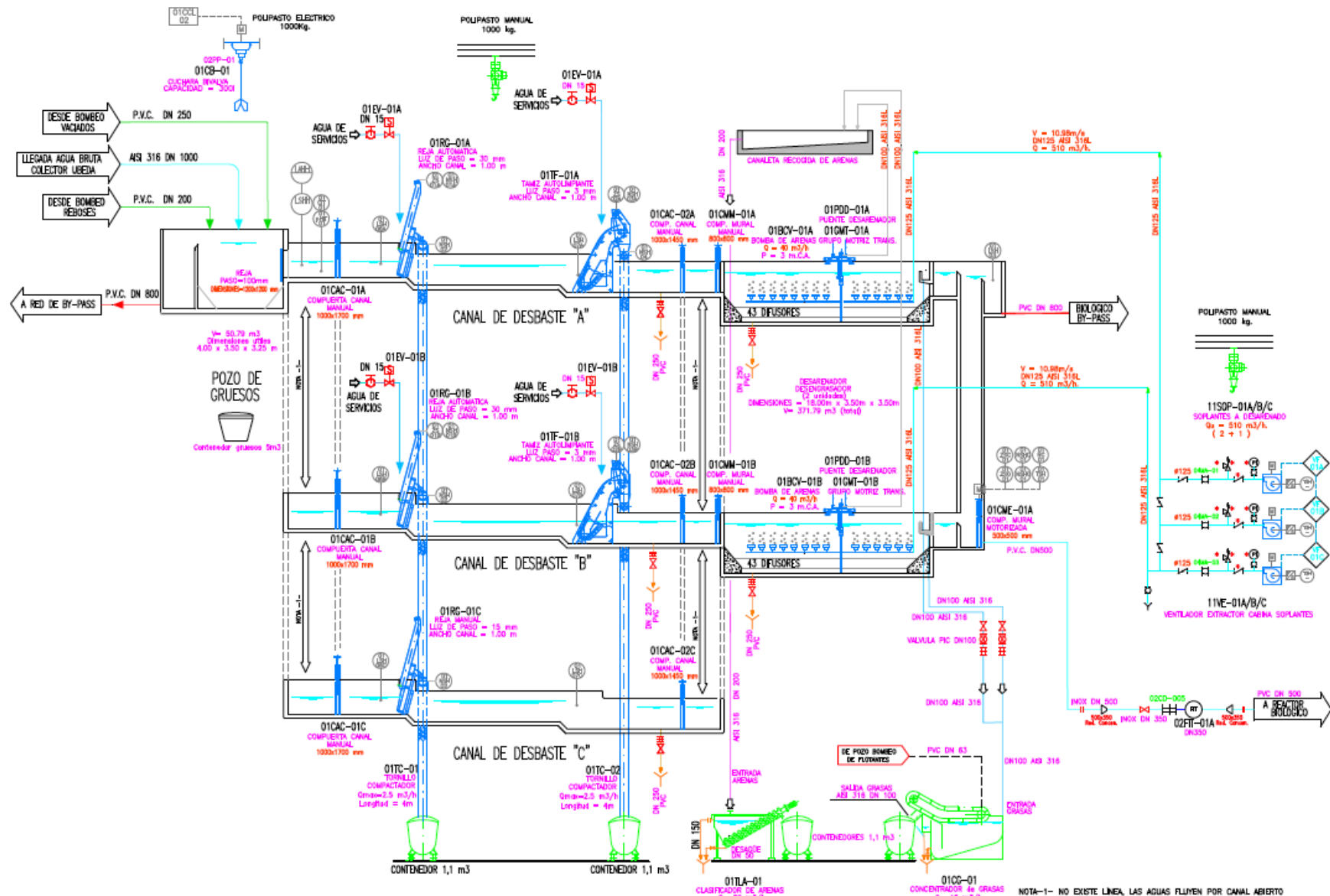
Tipo industria	Unidad	Hab/equiv
Lecherías sin quesería	1000 l. leche	30-80
Lecherías con quesería	1000 l. leche	50-250
Mataderos	1 buey = 2,5 cerdos	70-200
	1 T. peso en vivo	150-450
Establos con vacas	1 vaca	5-10
Pocilgas	1 cerdo	3
Granjas avícolas	1 gallina	0.13-0.25
Silos de forraje	1 T. de forraje	4-12
Inst.al vapor de patatas	1 T. de patatas	28-52
Azucareras	1 T. remolacha	50-75
Fábricas de malta	1 T. grano	10-100
Cervecerías	1000 l. cerveza	150-400
Destilerías	1000 l. cereales	2000-4000
Fábricas de levadura	1 T. levadura	6000-8000
Fábricas de almidón	1 T. maíz o trigo	500-1000
Bodegas	1 ha. de viñedo	100-150
Curtidos	1 T. pieles	1000-4000
Lavaderos de lana	1 T. lana	2000-5000
Talleres de blanqueo	1 T. mercancía	1000-4000
Fábricas de colorantes	1 T. mercancía	2000-3500
Enriaderos de lino	1 T. paja de lino	750-1150
Fábricas de celulosa	1 T. Celulosa	4000-6000
Fábricas de pasta de madera	1 T. pasta mecánica	50-80
Fábricas de papel	1 T. papel	200-1000
Fábricas de lana de celulosa	1 T. lana	300-500
Lavanderías	1 T. ropa	370-1000

EDAR (9):

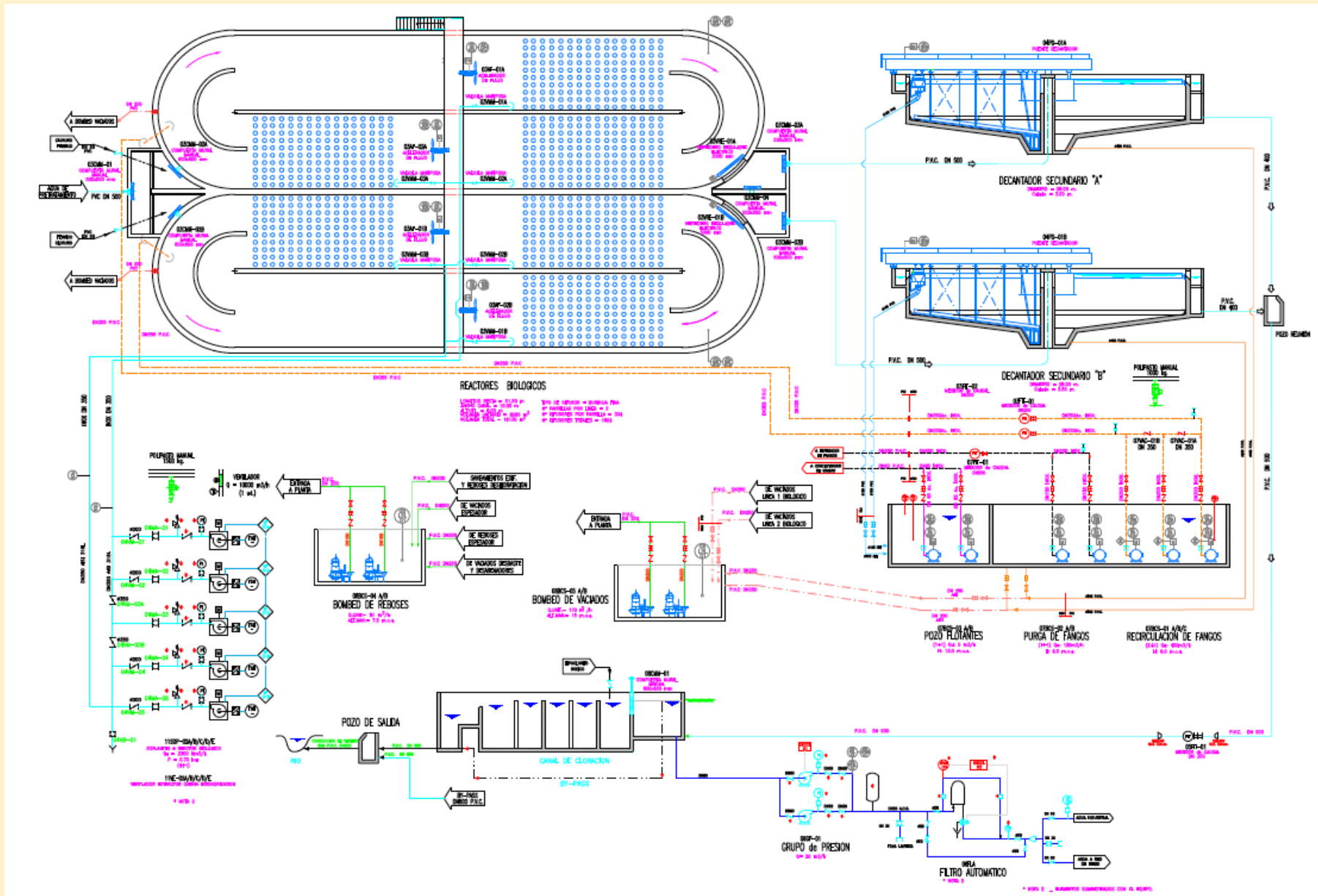
¿En la actualidad y más allá?



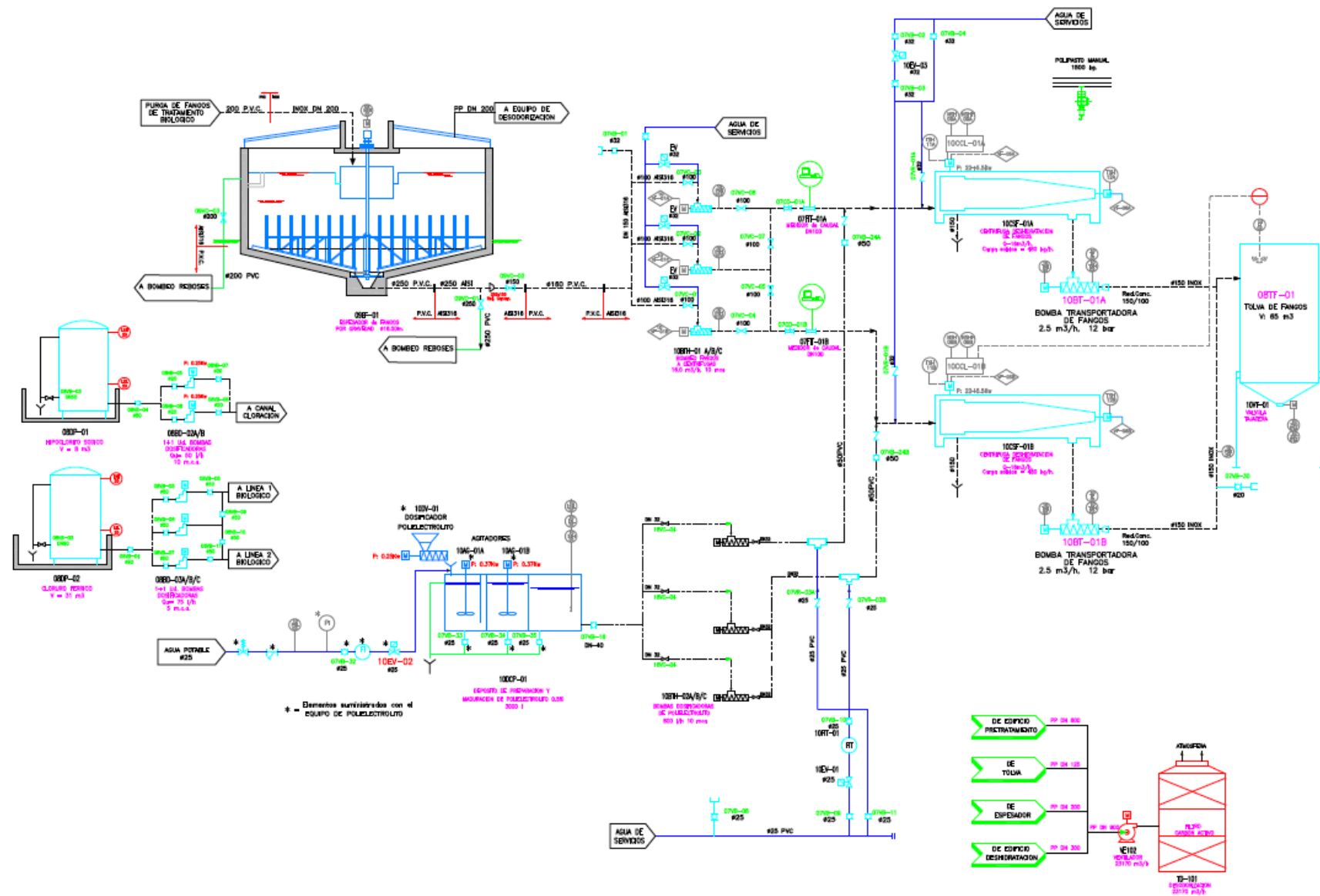
EDAR (10):



EDAR (11):



EDAR (12):



EDAR (13):



PARTE II

PROBLEMÁTICA NITRÓGENO-FÓSFORO EN EDAR DE PUNTA UMBRÍA

N-F EDAR PUNTA UMBRIA (2):



N-F EDAR PUNTA UMBRIA (3):

	ACTUAL		HORIZONTE	
	T. Baja	T. Alta	T. Baja	T. Alta
Población	35.800	74.200	68.000	142.000 hab
Caudal medio diario	7.160,0	14.840,0	13.760,0	28.400,0 m ³ /día
D.B.O ₅				
• Concentración media	325,00	325,00	325,00	325,00 mg/l
• Concentración punta	341,25	341,25	341,25	341,25 mg/l
• Carga diaria	2.327,00	4.823,00	4.472,00	9.230,00 kg/día
• Carga específica	65,00	65,00	65,00	65,00 g/h/d
	60,00	60,00	60,00	60,00 g/h.e./d
Población equivalente	38.783	80.383	74.533	153.833 h.e.
D.Q.O				
• Concentración media	585,00	585,00	585,00	585,00 mg/l
• Concentración punta	614,25	614,25	614,25	614,25 mg/l
• Carga diaria	4.188,60	8.681,40	8.049,60	16.614,00 kg/día
• Carga específica	117,00	117,00	117,00	117,00 g/h/d
	108,00	108,00	108,00	108,00 g/h.e./d
S.S.T.				
• Concentración media	450,00	450,00	450,00	450,00 mg/l
• Concentración punta	585,00	585,00	585,00	585,00 mg/l
• Carga diaria	3.222,00	6.678,00	6.192,00	12.780,00 kg/día
• Carga específica	90,00	90,00	90,00	90,00 g/h/d
	83,08	83,08	83,08	83,08 g/h.e./d
S.S.V.				
• Concentración media	382,50	382,50	382,50	382,50 mg/l
• Carga diaria	2.738,70	5.676,30	5.263,20	10.863,00 kg/día
N.T.K.				
• Concentración media	53,00	53,00	53,00	53,00 mg/l
• Concentración punta	63,49	63,49	63,49	63,49 mg/l
• Carga diaria	379,48	786,52	792,28	1.505,20 kg/día
• Carga específica	10,60	10,60	10,60	10,60 g/h/d
	9,78	9,78	9,78	9,78 g/h.e./d
P-total				
• Concentración media	11,00	11,00	11,00	11,00 mg/l
• Concentración punta	11,55	11,55	11,55	11,55 mg/l
• Carga diaria	78,76	163,24	151,36	312,40 kg/día
• Carga específica	2,20	2,20	2,20	2,20 g/h/d
	2,03	2,03	2,03	2,03 g/h.e./d
Dotaciones				
• Según habitantes equivalentes	184,62	184,62	184,62	184,62 l/h.e./d
• Según población	200,00	200,00	200,00	200,00 l/h/d

Características del fuente:

- A la salida del secundario:

Parámetro	Concentración
DBO ₅	< 25 mg/l
DQO	< 125 mg/l
SS	< 35 mg/l
N _{TOTAL}	< 10 mg/l
P _{TOTAL}	< 1 mg/l

- A la salida del terciario:

Parámetro	Concentración
Huevos de nemátodos intestinales	< 1 huevo/l
Escherichia coli	< 200 ufc/100 ml
Sólidos en suspensión	< 20 mg/l
Turbidez	< 5 NTU

N-F EDAR PUNTA UMBRIA (4):

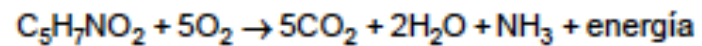
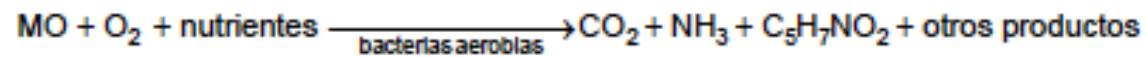
Requisitos de diseño:

- Vertido de agua depurada a **parque natural**.
- **Alta estacionalidad** verano / invierno. **Modularidad**.
- **Distribución constreñida** entre la autovía y el parque natural.
- Niveles altos de **nitrógeno y fósforo**.
- Preparada para dar **agua reutilizada** para regenerar acuíferos.
- Elementos de reserva y homogeneidad para **intercambio**.
- **Control distribuido** y exigente.

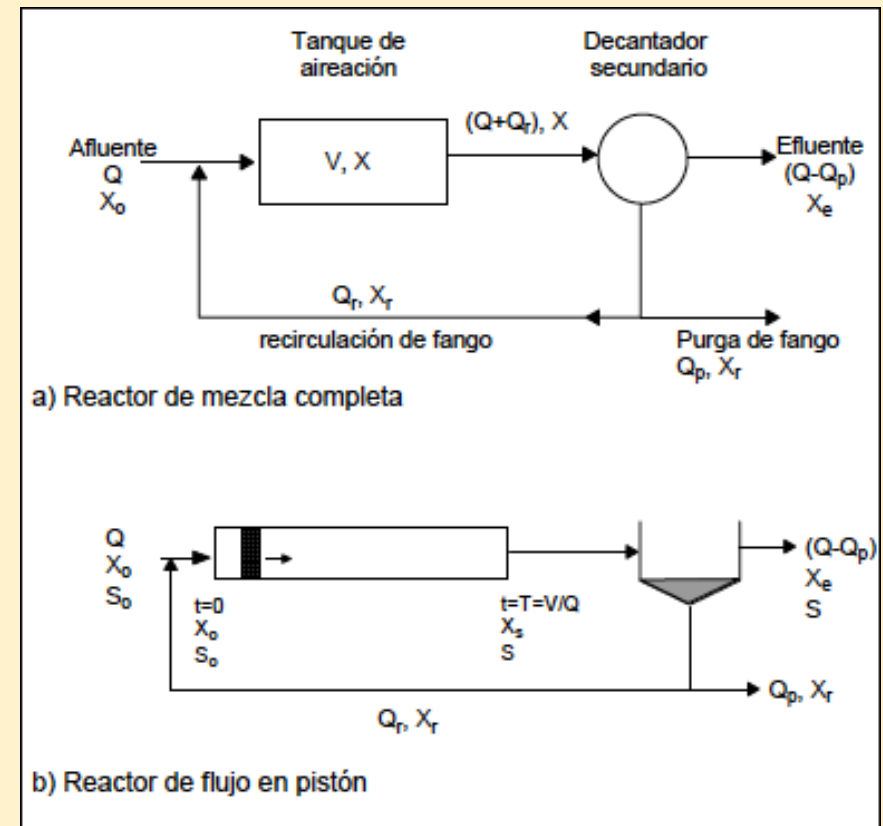
SISTEMA ABIERTO COMPLEJO

N-F EDAR PUNTA UMBRIA (5):

Eliminación de la materia orgánica:



Elección de un **reactor de flujo pistón**.
Problemática de la concentración de
Bacterias heterótrofas.



N-F EDAR PUNTA UMBRIA (6):

Eliminación del nitrógeno:

Proceso complejo dado que el nitrógeno suele transformarse rápidamente mediante diferentes mecanismos.

- Amonificación. $\text{Nitrógeno orgánico} + \text{microorganismos} \rightarrow \text{NH}_3 \text{ _ } \text{NH}_4^+$
- Síntesis. $\text{NO}_3^- + \text{CO}_2 + \text{plantas} + \text{luz solar} \rightarrow \text{proteínas}$
 $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 + \text{plantas} + \text{luz solar} \rightarrow \text{proteínas}$
- **Nitrificación.**

$$\textcircled{2\text{NH}_4^+} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + \text{energía}$$

$$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} \textcircled{2\text{NO}_3^-} + \text{energía}$$

}

Consume:

4,52 g O₂/g NH₄⁺
- **Desnitrificación.** $4\text{NO}_3^- + 5\text{C} + 4\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCO}_3^-$

→

Produce:

2,86 g O₂/g NO₃⁻

Problemas de la eliminación del nitrógeno:

- La nitrificación **puede dejar sin oxígeno** a las bacterias heterótrofas aerobias
- Nitrificación y desnitrificación **deben de realizarse en ubicaciones diferentes.**

N-F EDAR PUNTA UMBRIA (7):

Eliminación del fósforo:

Proceso complejo realizado en varias fases y en zonas diferentes:

Zona anaerobia:

- a) **Fermentación:** La DBO_5 soluble se convierte en AGV por bacterias heterótrofas facultativas.
- b) **Captación de los AGV** por las PAO (Poliphosphate Accumulating Organisms).

Zona aerobia:

- a) **Captación de fosfatos** y formación de polifosfatos por bacterias heterótrofas aerobias.
- b) **Crecimiento de las PAO** acumulando fosfatos.

Zona de eliminación de fósforo:

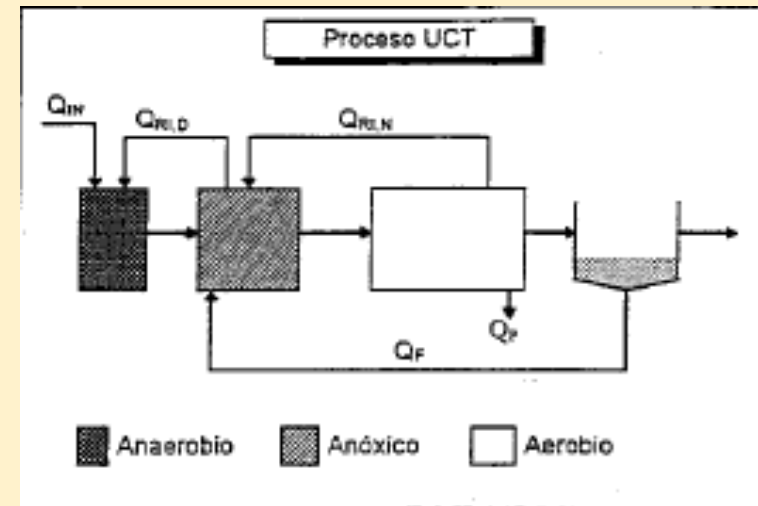
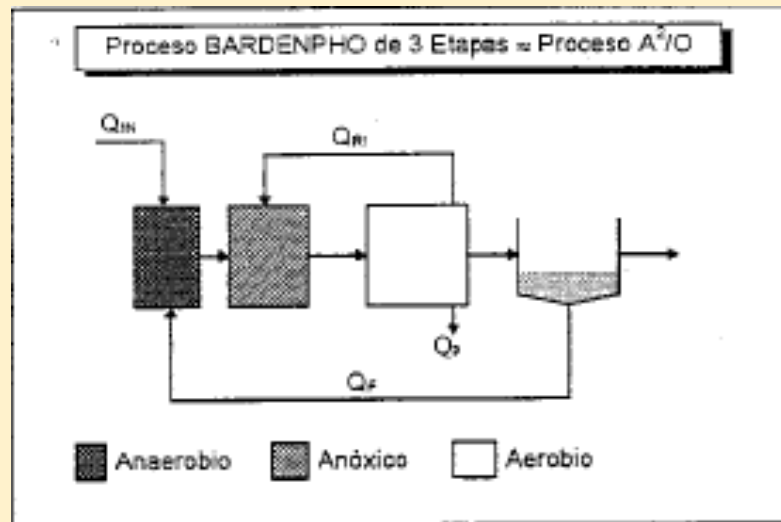
En la purga de fangos del decantador.

Problemas de la eliminación del fósforo:

- Lucha entre bacterias heterótrofas y autótrofas por el fósforo.
- La desfosfatación **debe de realizarse en ubicaciones diferentes.**

N-F EDAR PUNTA UMBRIA (8):

Elección de la línea principal de tratamiento:



CONTROL INDUSTRIAL (1):

PARTE III

SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL

CONTROL INDUSTRIAL (2):

CONTROL EDAR, ¿PARA QUÉ?

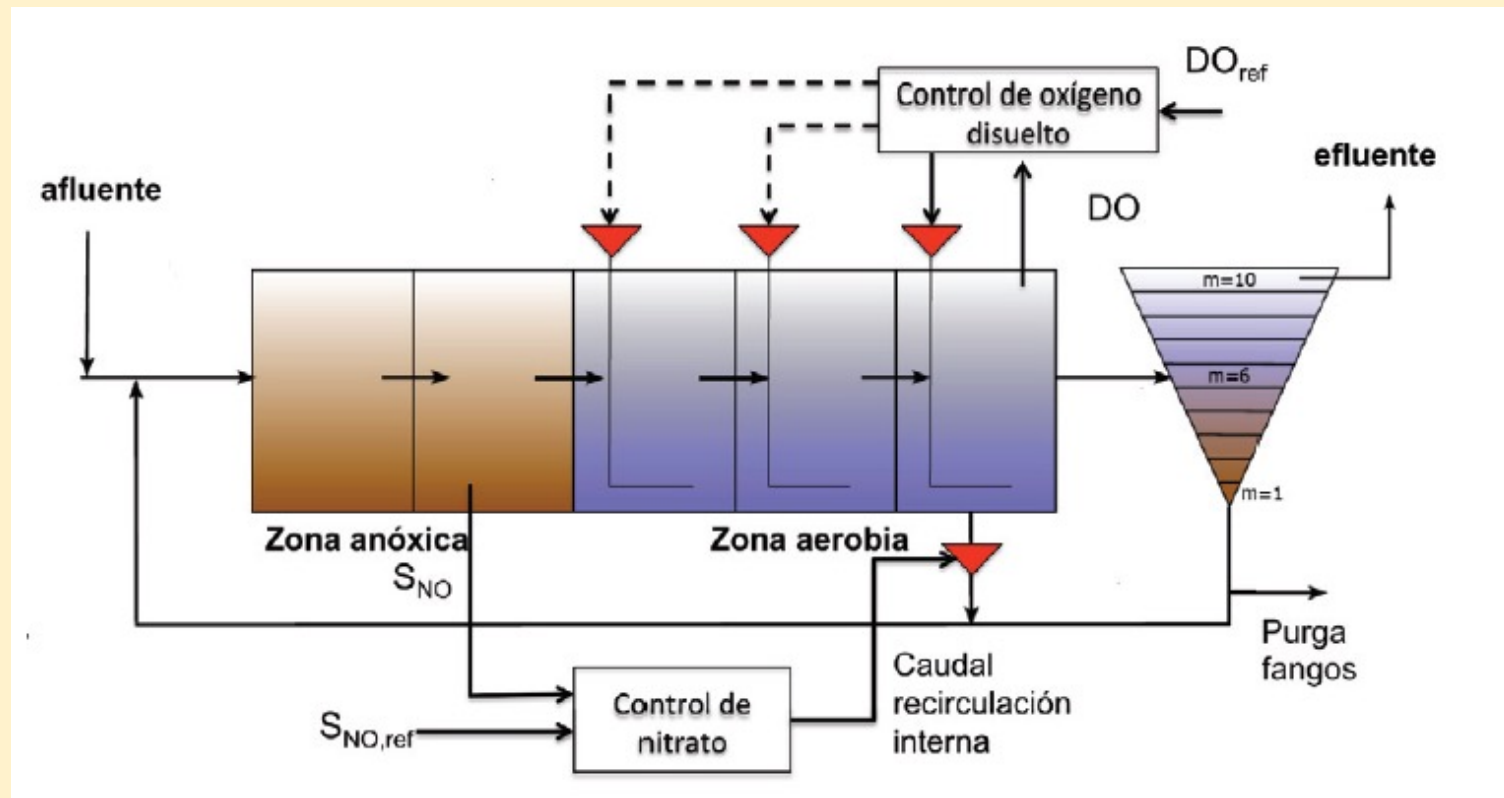
- Como cualquier otro proceso industrial, para mantenerlo en funcionamiento.
- Obedecer a los requerimientos de calidad del efluente.
- Minimizar los costes de operación.
- Integrar la operación a nivel de planta.

CONTROL INDUSTRIAL (3):

LAZOS DE CONTROL:

A.- Control de oxígeno disuelto. Objetivo $2 \text{ mg O}_2 / \text{l}$

B.- Control de la recirculación interna. Control de nitratos.

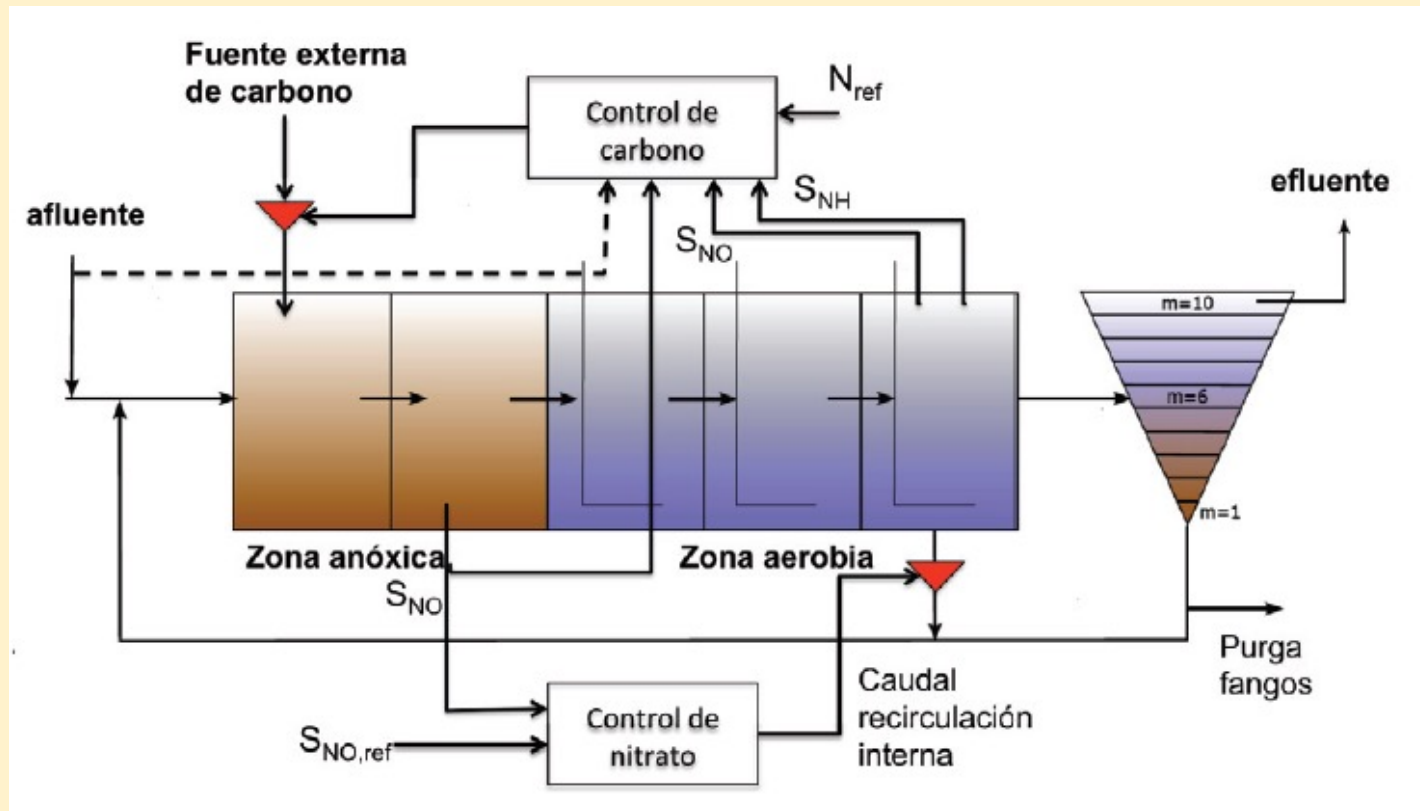


CONTROL INDUSTRIAL (4):

LAZOS DE CONTROL:

C.- Control de la recirculación externa.

D.- Control de la adición de carbono externo.



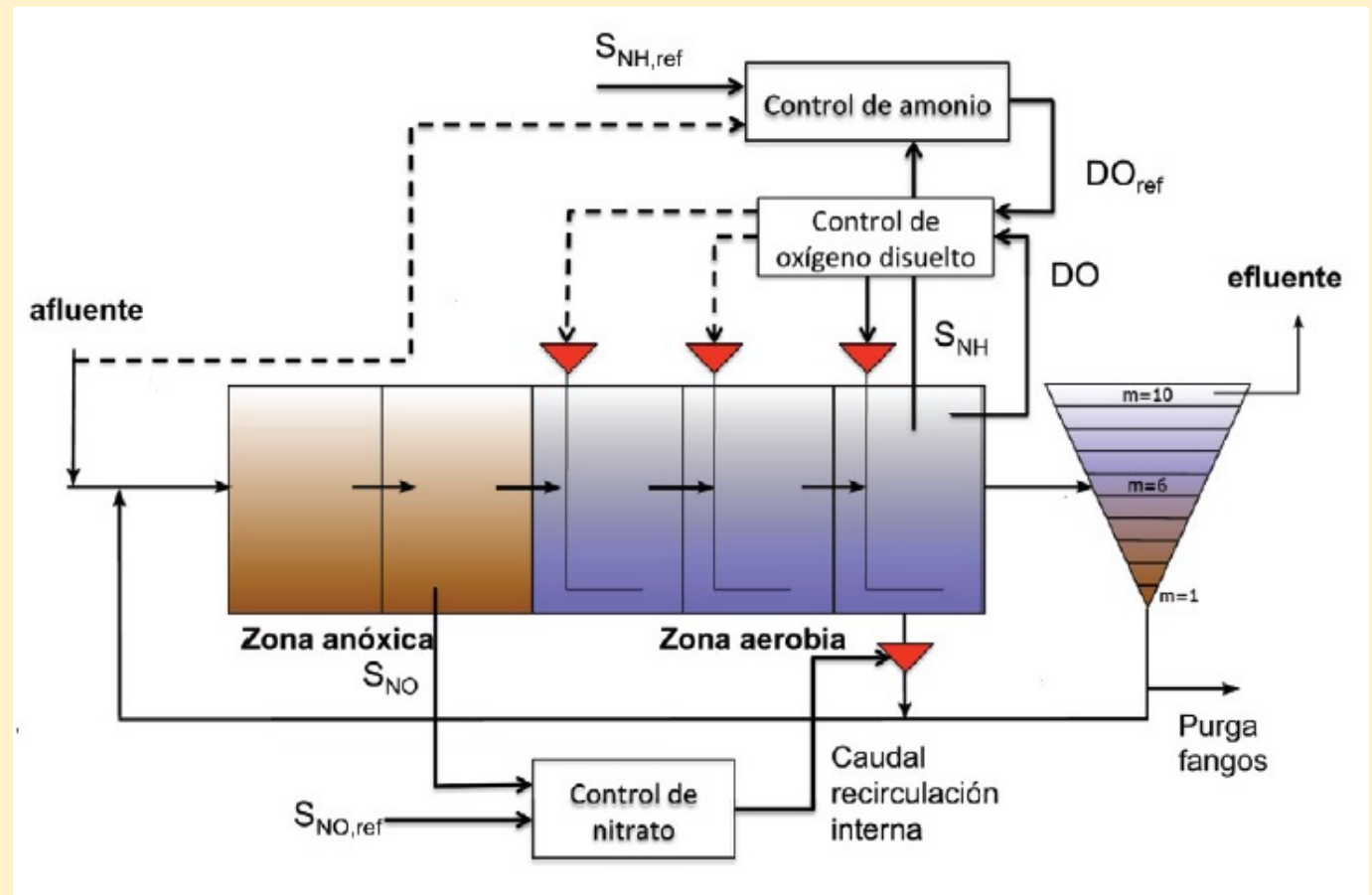
CONTROL INDUSTRIAL (5):

LAZOS DE CONTROL:

E.- Control para la eliminación de nitrógeno.

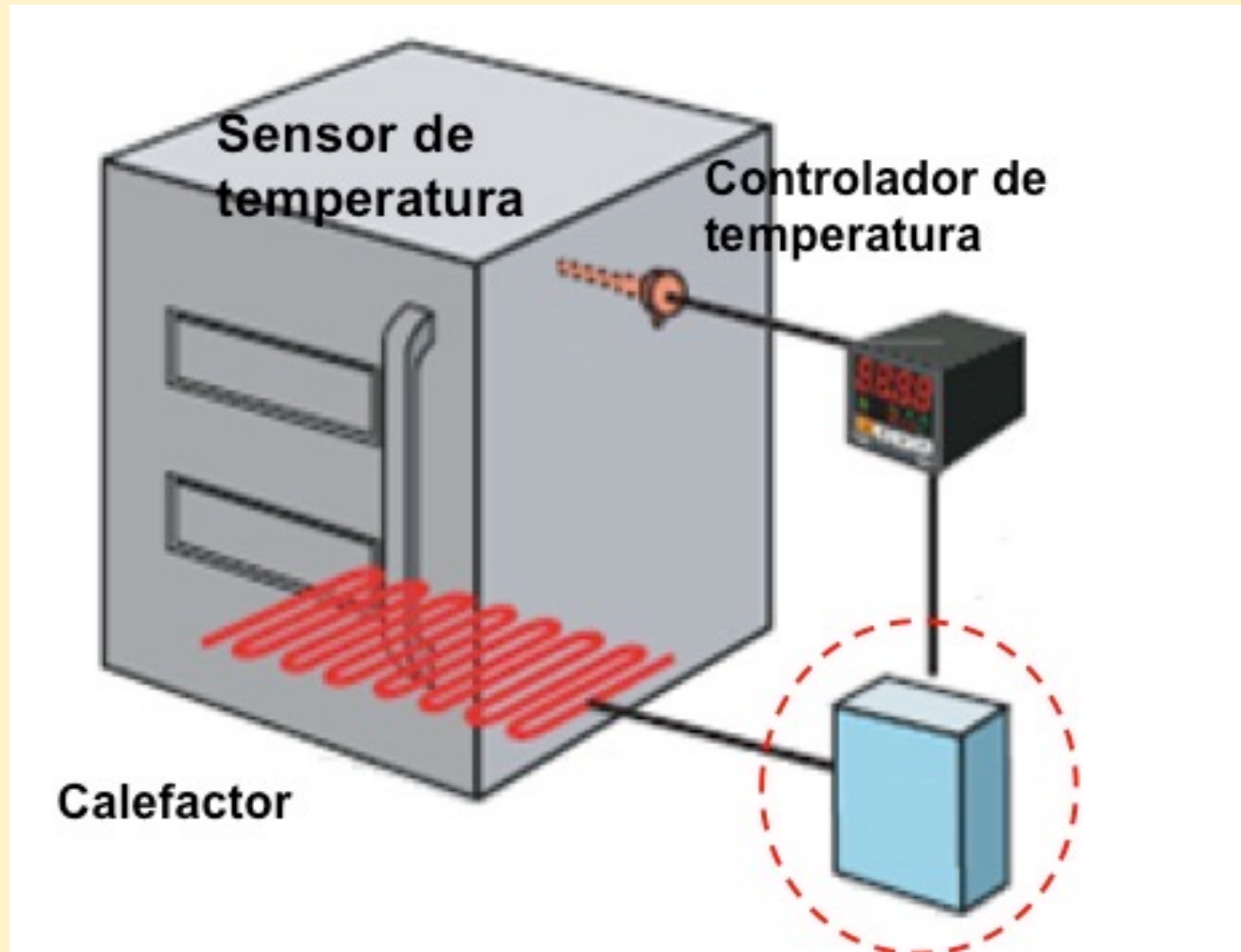
F.- Control de amonio.

G.- Control de la adición
de químicos para
Precipitación.



CONTROL INDUSTRIAL (6):

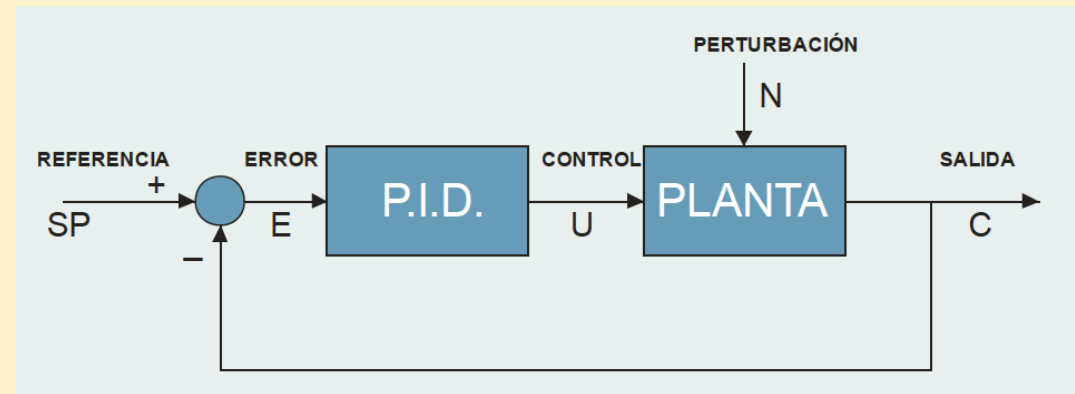
ENFOQUES: ON/OFF o TODO/NADA



CONTROL INDUSTRIAL (7):

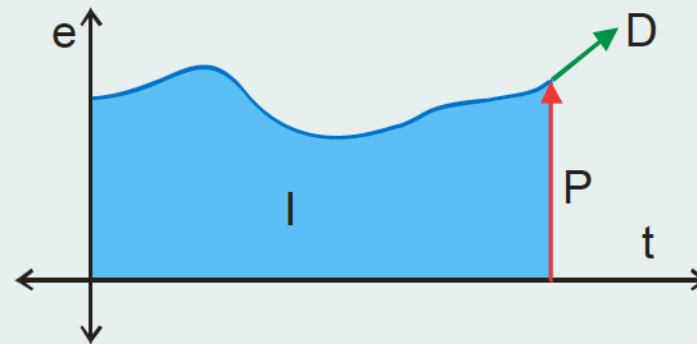
ENFOQUES: PID

- Sucesor de los servosistemas.
- 90% de los sistemas control son PID



El control PID combina tres acciones:

- Proporcional (P)
- Integral (I)
- Derivativa (D)

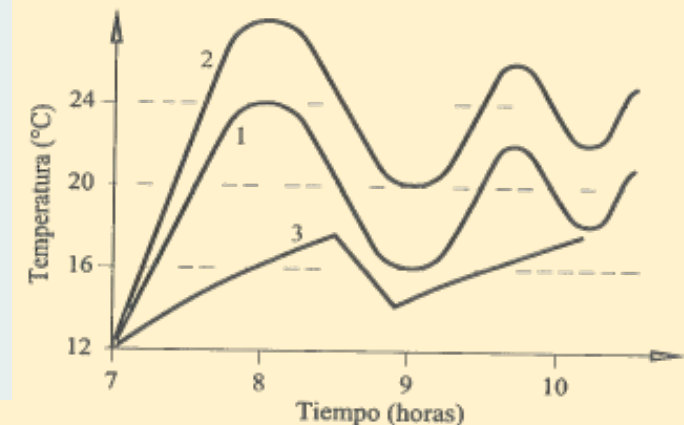


Controlador PID. Continuo.

$$u(t) = \underbrace{K_p e(t)}_P + \underbrace{K_i \int e(t) dt}_I + \underbrace{K_d \frac{de(t)}{dt}}_D$$

Limitaciones:

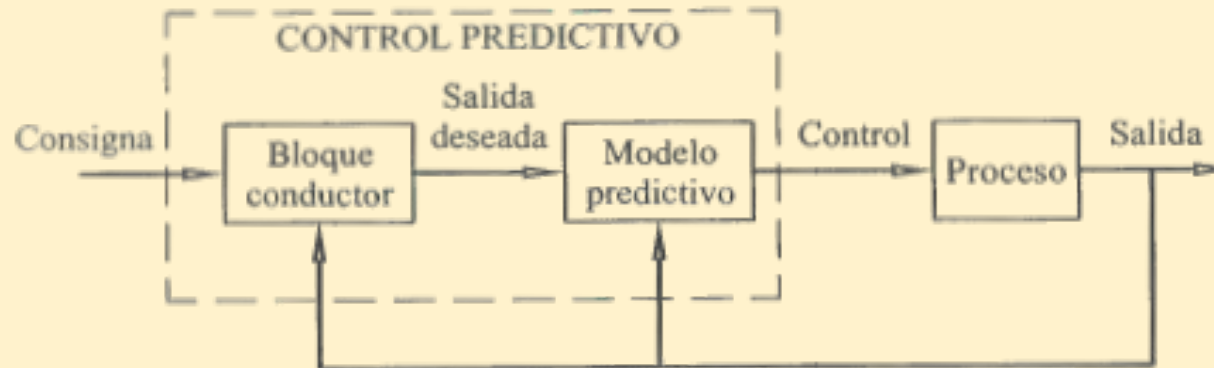
- Ruido afecta al sistema.
- Lineal.
- SetPoint.



CONTROL INDUSTRIAL (8):

ENFOQUES: PREDICTIVO

- Introducido en 1974.
- Se pueden incluir múltiples variables entrada / salida.
- Se pueden incluir las perturbaciones en el sistema.

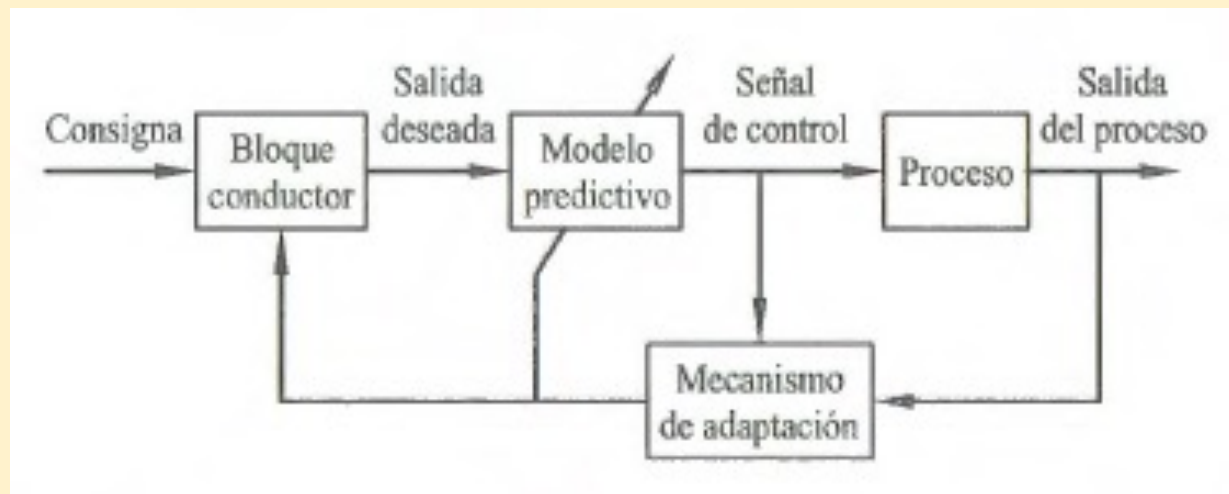


$$y_a(k) = \sum_{i=1}^n a_i(k)y_a(k-i) + \sum_{i=1}^m b_i(k)u_a(k-r-i) + \sum_{i=1}^p c_i(k)w_a(k-r_1-i) + \xi(k),$$

CONTROL INDUSTRIAL (9):

ENFOQUES: PREDICTIVO / ADAPTATIVO

- Introducido en 1987.
- Surgieron para tratar procesos que variaban en el tiempo o que estaban sometidos a distintas condiciones de operación.
- Cierta capacidad de aprendizaje.

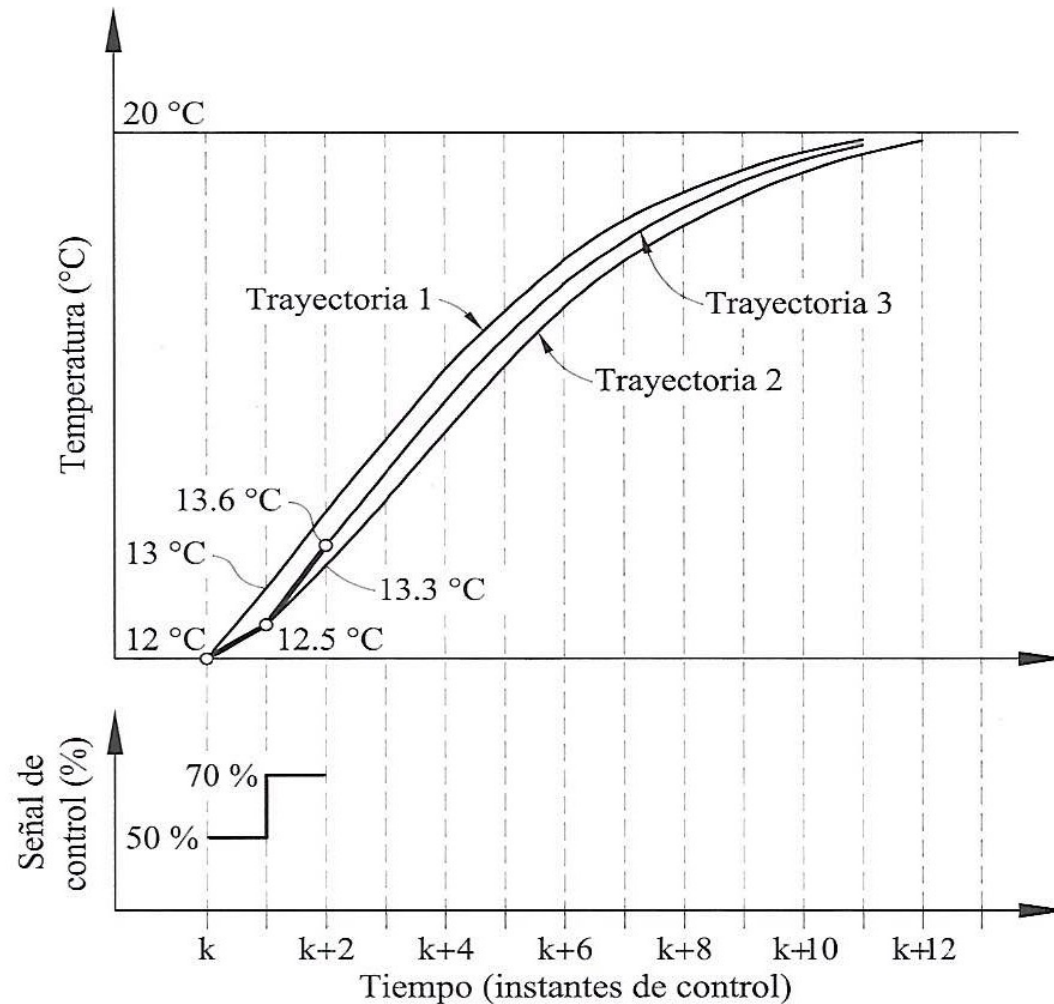


$$a_i(k) = a_i(k-1) + \Delta_{ai}(\varepsilon(k)); \quad i = 1, 2$$

$$b_i(k) = b_i(k-1) + \Delta_{bi}(\varepsilon(k)); \quad i = 1, 2.$$

CONTROL INDUSTRIAL (10):

ENFOQUES: PREDICTIVO / ADAPTATIVO

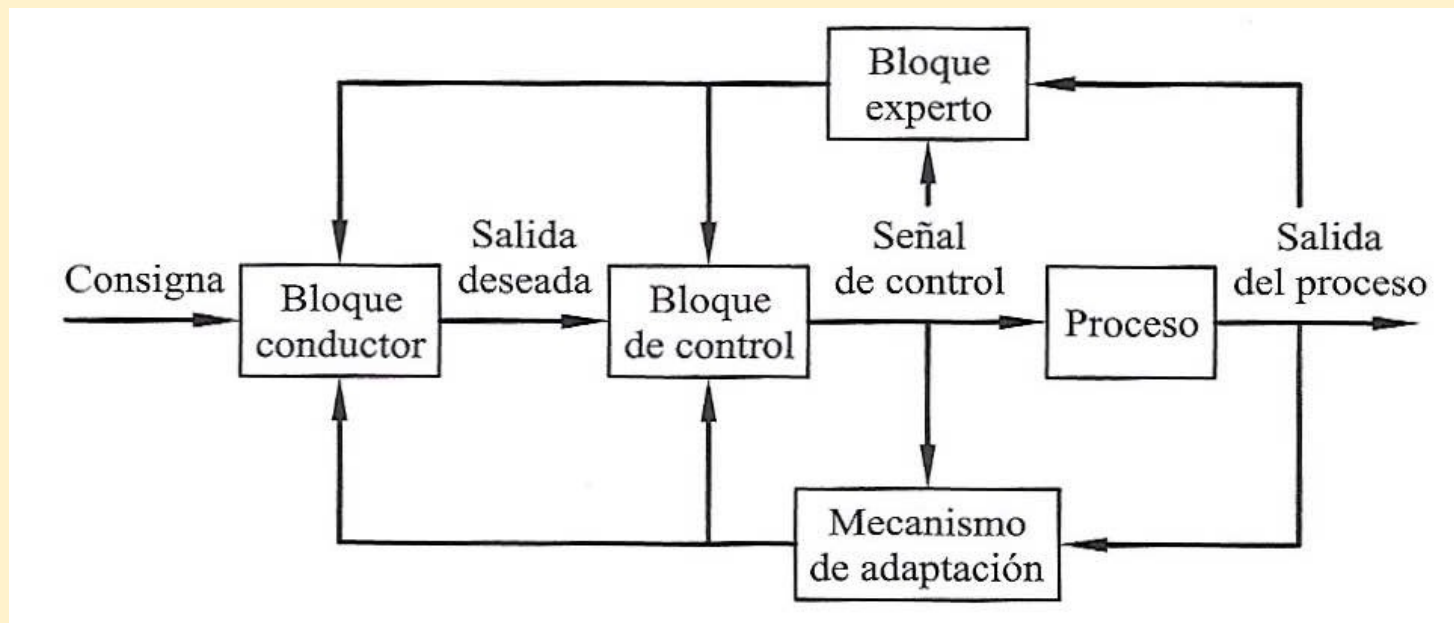
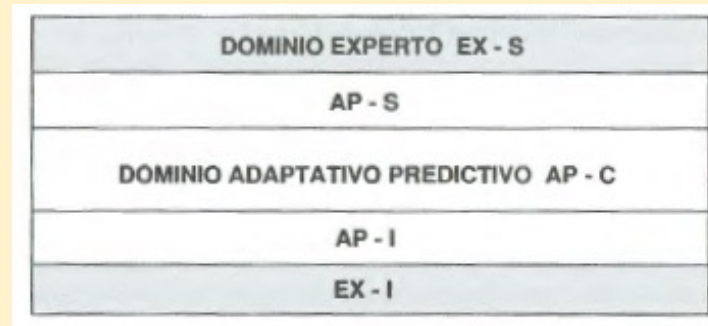


Limitaciones del control P/A:

- Inútil cuando no existe relación causa-efecto.
- Poco hábil cuando operamos en situaciones extremas del rango de operación.

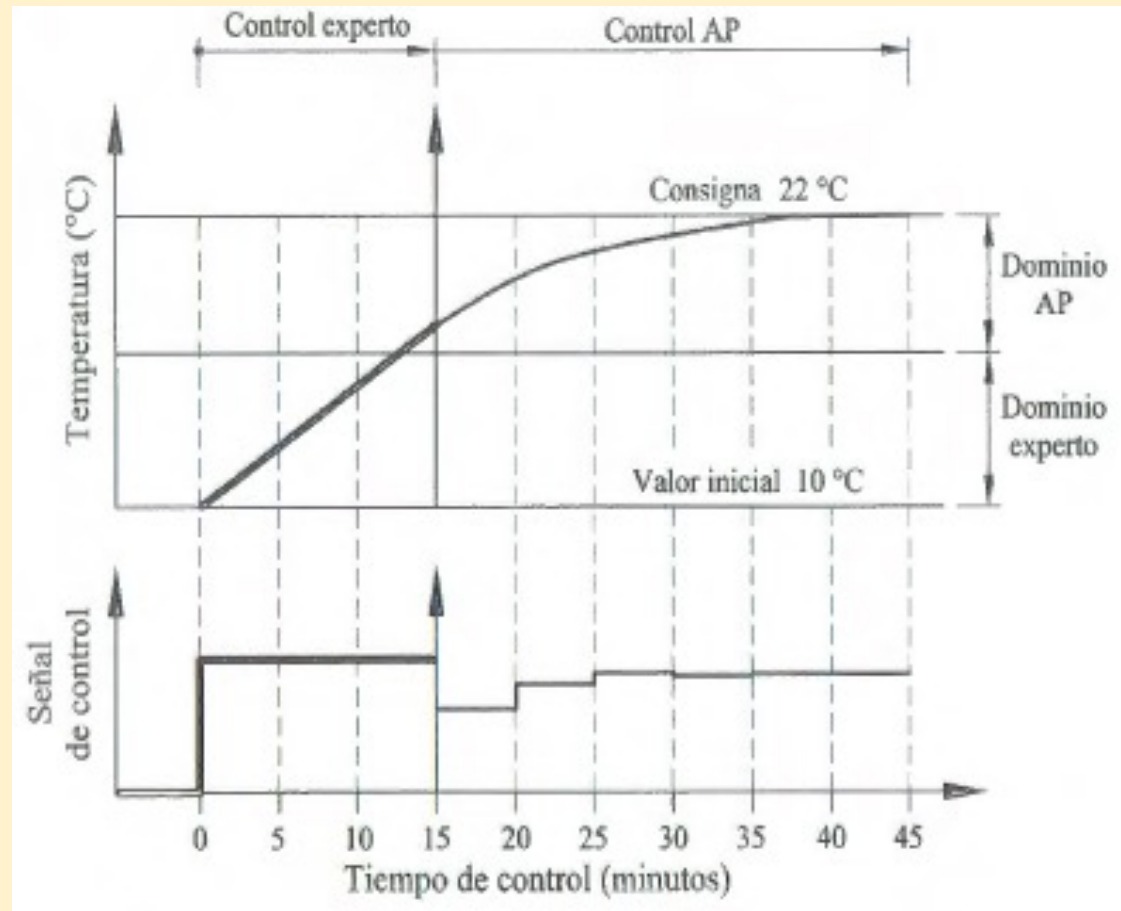
CONTROL INDUSTRIAL (11):

ENFOQUES: PREDICTIVO / ADAPTATIVO EXPERTO



CONTROL INDUSTRIAL (12):

ENFOQUES: PREDICTIVO / ADAPTATIVO EXPERTO



ADEX vs HACH (1):

PARTE IV SISTEMAS EXPERTOS. ADEX vs HACH

ADEX vs HACH (2):

ADEX Systems Implementation

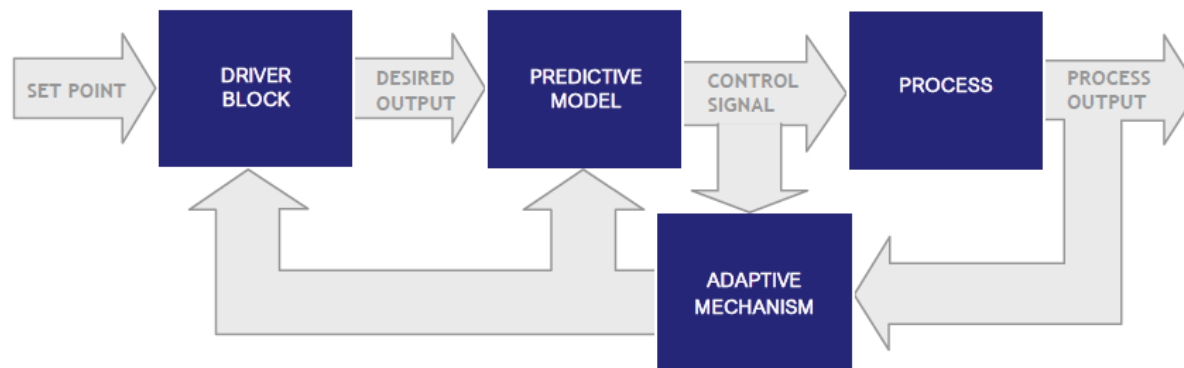


Optimal Process Guidance



ADEX vs HACH (3):

ADEX Systems Implementation



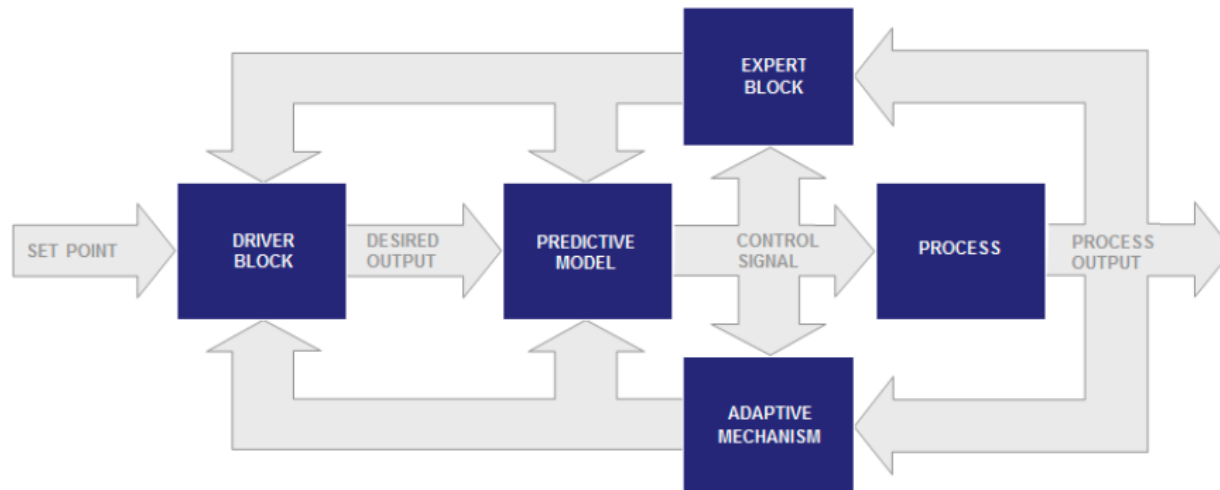
Self-Tuning Artificial Intelligence

ADEX vs HACH (4):

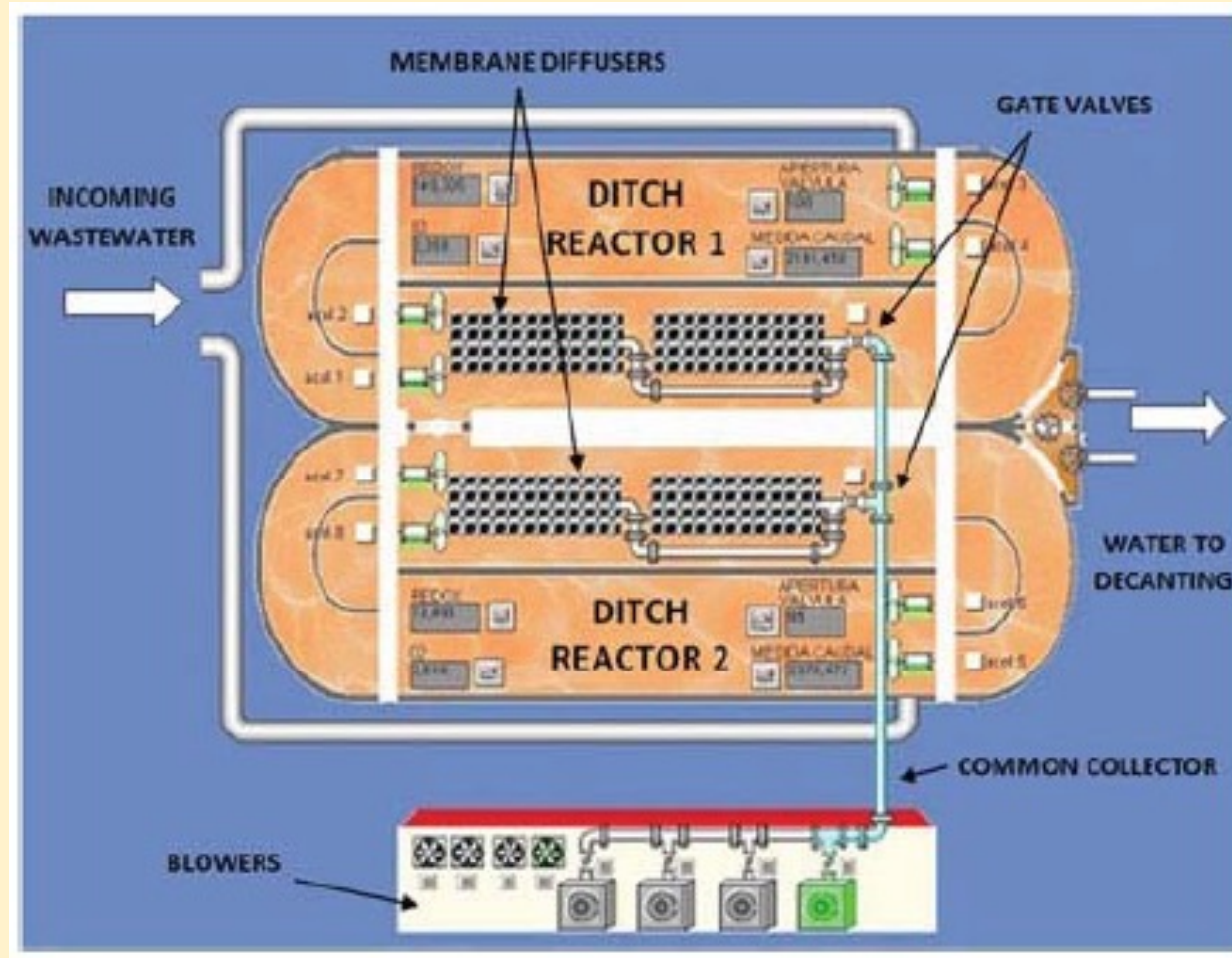
ADEX Systems Implementation



Expert Intelligence

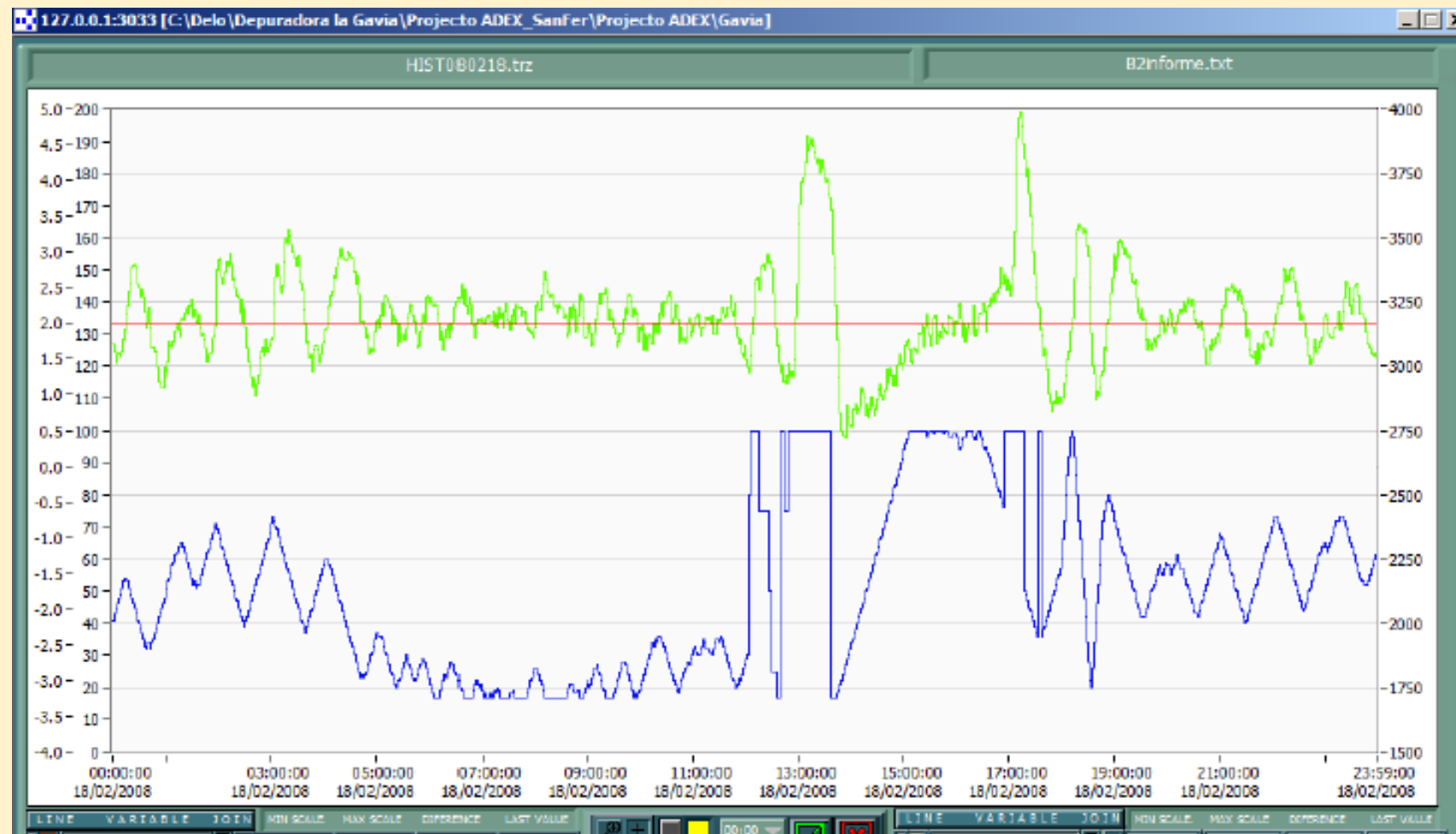


ADEX vs HACH (5):



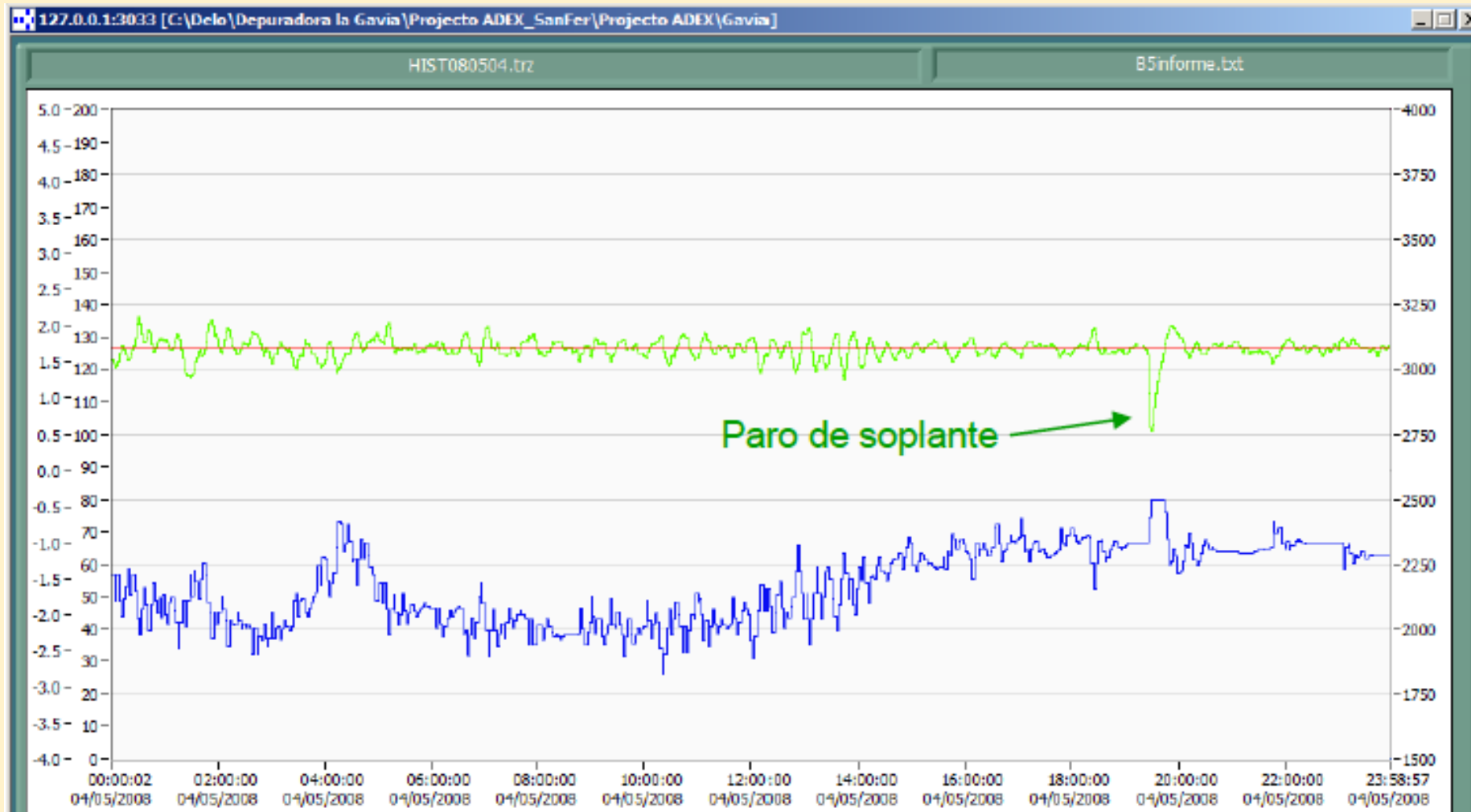
ADEX vs HACH (6):

CTRL A/P



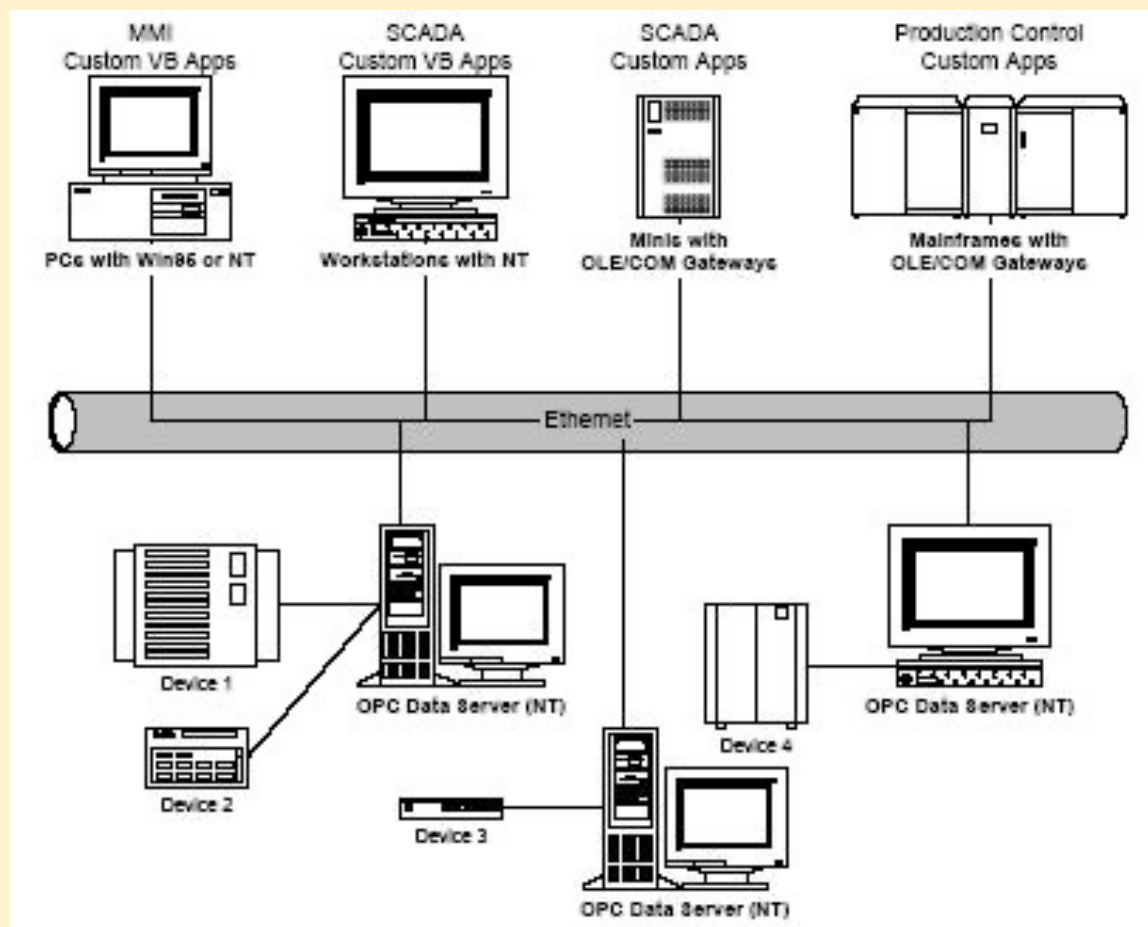
ADEX vs HACH (7):

CTRL EXPERTO

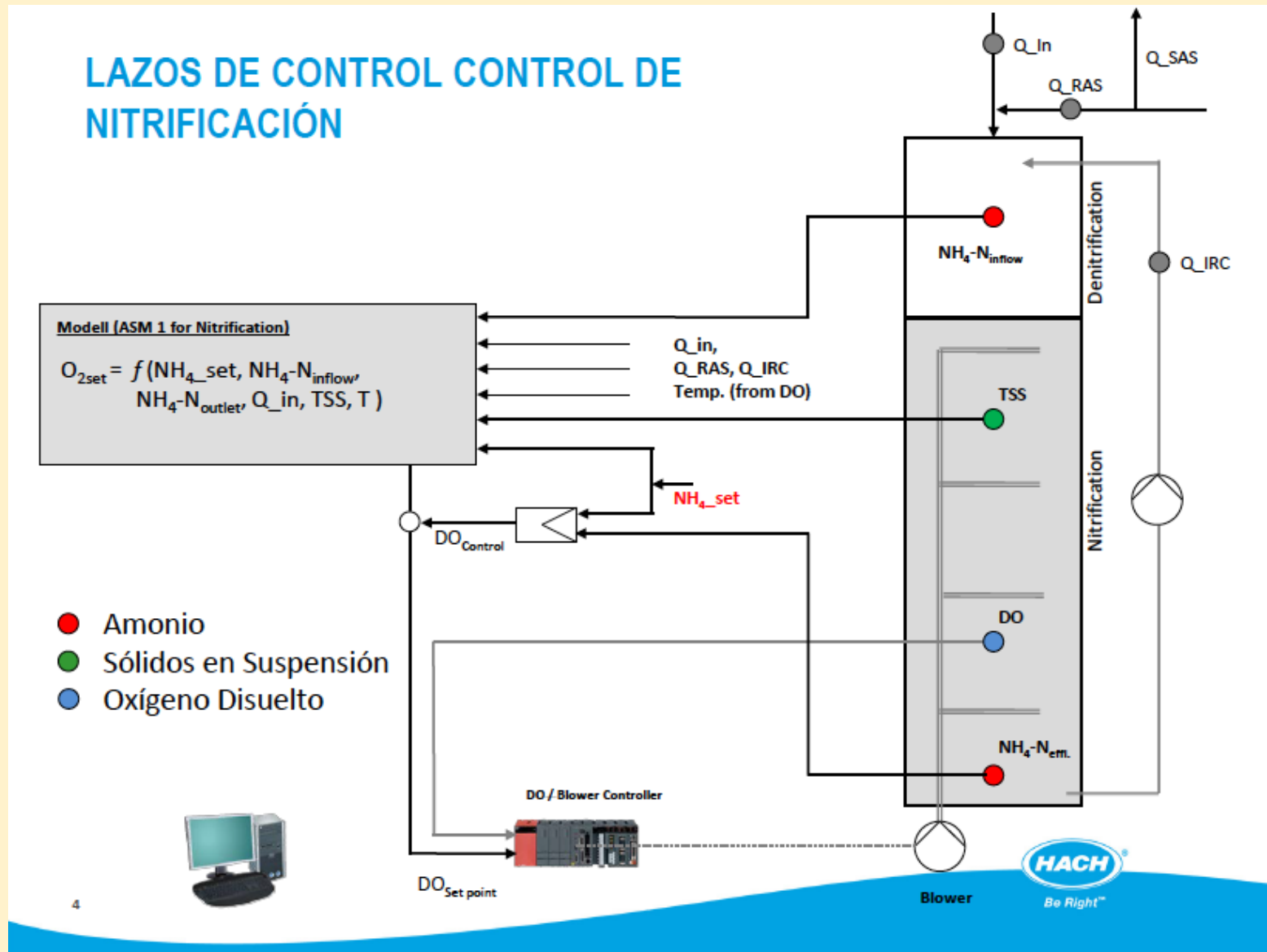


ADEX vs HACH (8):

INTEGRACIÓN OPC (Open Platform Communications).

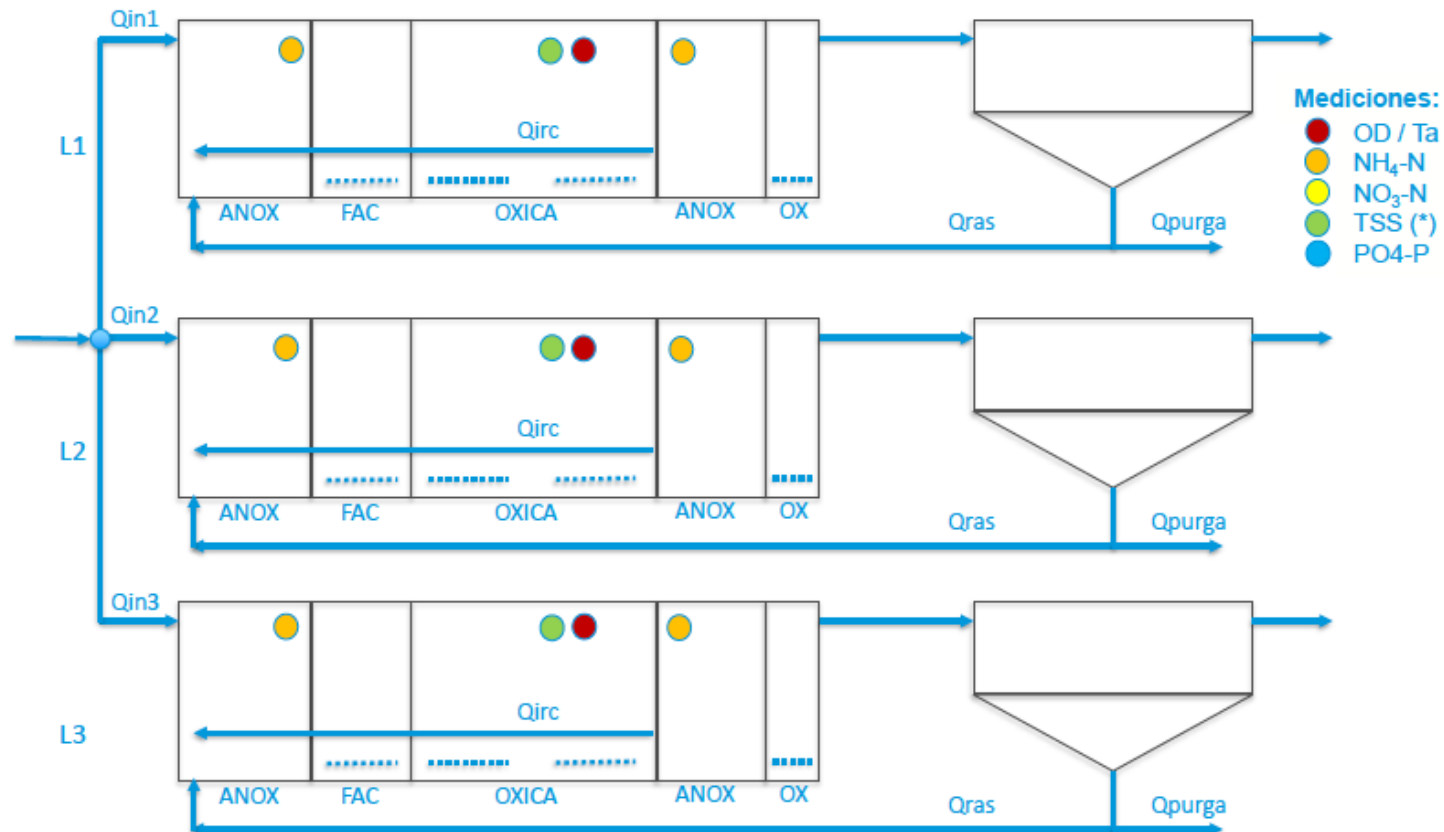


ADEX vs HACH (9):



ADEX vs HACH (10):

INSTRUMENTACIÓN: CONTROL DE NITRIFICACIÓN



ADEX vs HACH (11):

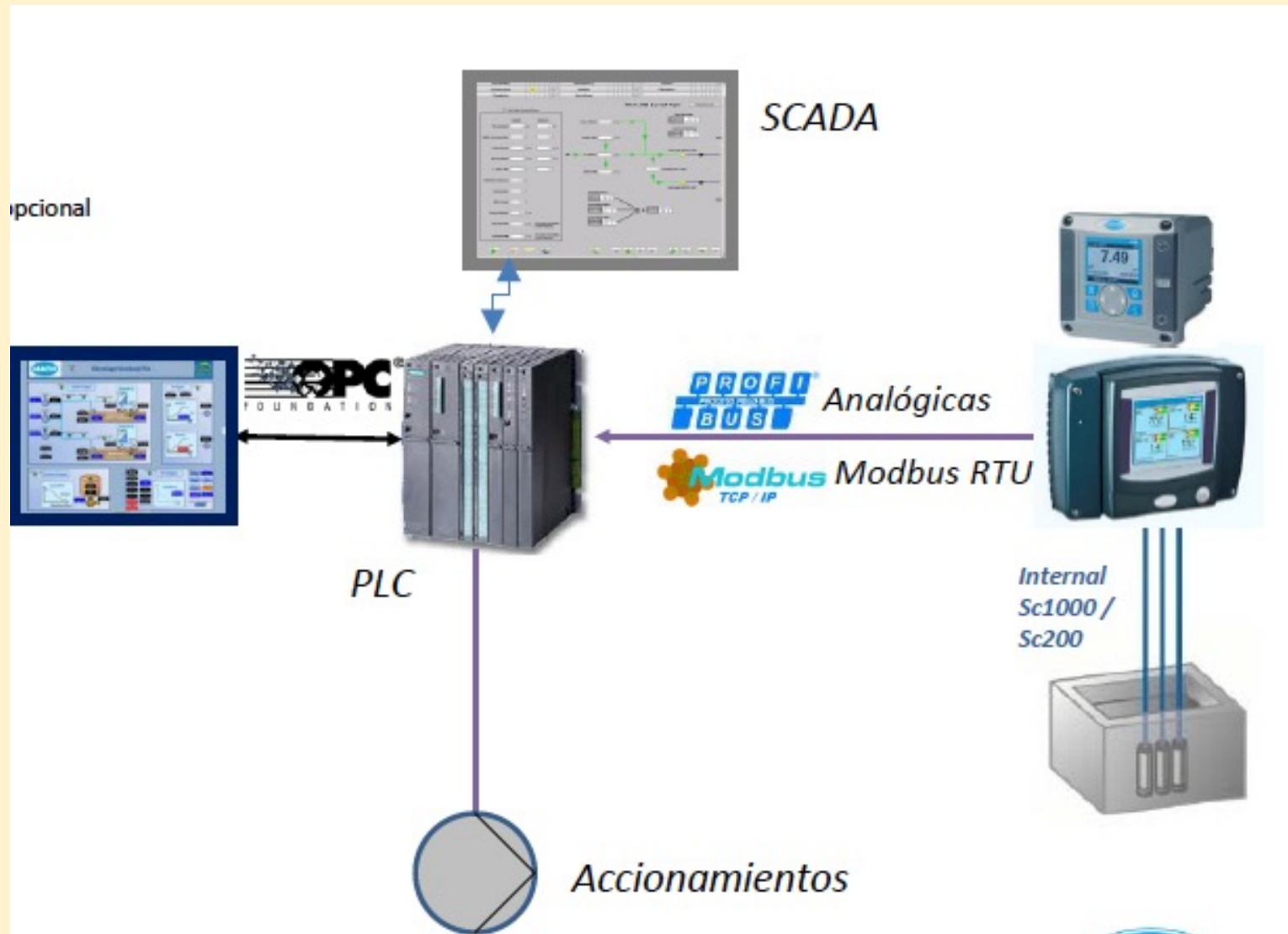
OTROS LAZOS DE CONTROL. Módulos disponibles



Model	Application	Input Parameter	Output	Benefit
RTC-P	Chemical phosphate removal	$\text{PO}_4\text{-P}$, Q_{in}	$Q_{\text{precipitation}}$	Maintain compliance based on stable $\text{PO}_4\text{-P}$ discharge values, reduced precipitant consumption and less precipitation sludge, improved acid capacity
RTC-N/DN	Denitrification, intermittent	$\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Q_{in}	Nitrification/denitrification signal	Maintain compliance based on stable $\text{NH}_4\text{-N}$ and N_{tot} discharge values, reduced energy consumption for aeration
RTC-OXD	Denitrification, simultaneous	$\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Q_{in}	Aeration volume and intensity	
RTC-N	Nitrification (upstream denitrification)	$\text{NH}_4\text{-N}_{\text{in}}$, $\text{NH}_4\text{-N}_{\text{out}}$, TSS, Temp., Q_{in}	O_2 setpoint (profile)	
RTC-SZ	Control of facultative aerated zones	$\text{NH}_4\text{-N}_{\text{in}}$, $\text{NH}_4\text{-N}_{\text{out}}$, TSS, Temp., Q_{in} <i>As additional option for RTC-N and RTC-N/DN</i>	Activation/deactivation	
RTC-DN	Denitrification (recirculation / ext. C)	$\text{NO}_3\text{-N}$, Q_{in} <i>Only in combination with RTC-N</i>	Q_{Reci} , $Q_{\text{external C}}$	Maintain compliance based on stable $\text{NH}_4\text{-N}$ and N_{tot} discharge values, minimised external C dosage
RTC-DO	Aeration process	O_2 <i>As additional option for RTC-N and RTC-N/DN</i>	Blower frequency, valve opening	Reduced energy consumption for aeration
RTC-SRT	Sludge age	TSS_{AT} , TSS_{RLS} , O_2 , Temp. <i>Only in combination with RTC-N or RTC-N/DN</i>	$Q_{\text{waste activated sludge}}$	Maintain compliance based on stable $\text{NH}_4\text{-N}$ discharge values, reduced energy consumption for aeration
RTC-ST	Sludge thickening	TSS_{in} , TSS_{out} , TSS_{Filt} , Q_{in}	Q_{polymer} , Q_{feed}	Reduced polymer consumption, improved gas production during sludge digestion
RTC-SD	Sludge dewatering	TSS_{in} , TSS_{Cent} , Q_{in}	Q_{polymer} , Q_{feed}	Reduced polymer consumption, increased solids concentration in the dewatered sludge
RTC-DOS	Nutrient dosing	TOC_{in} , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$	$Q_{\text{N-component}}$, $Q_{\text{P-component}}$	Reduced nutrient dosing

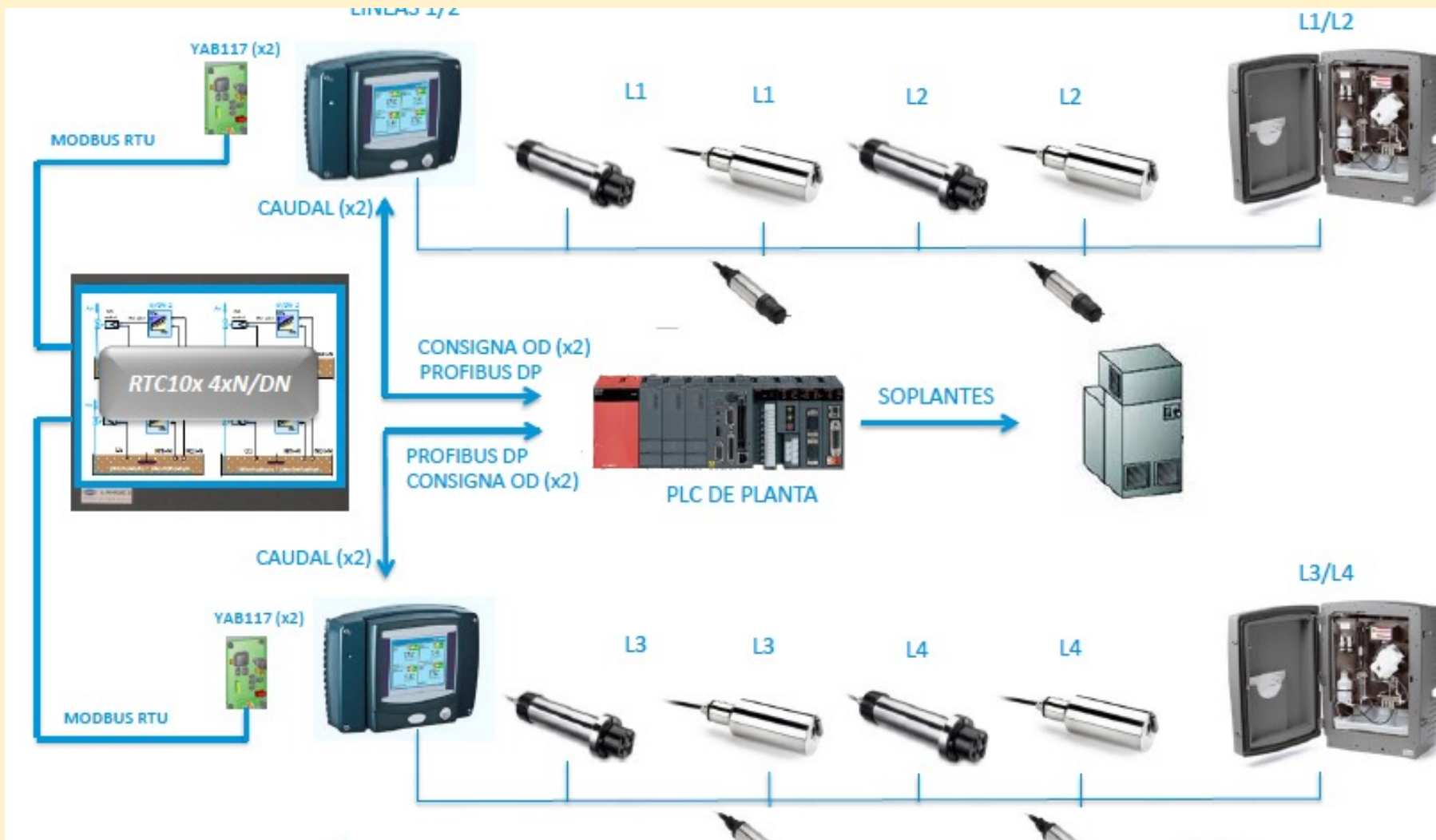
ADEX vs HACH (12):

CONTROL MUY RÍGIDO



ADEX vs HACH (13):

CONTROL MÁS FLEXIBLE



CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (1):

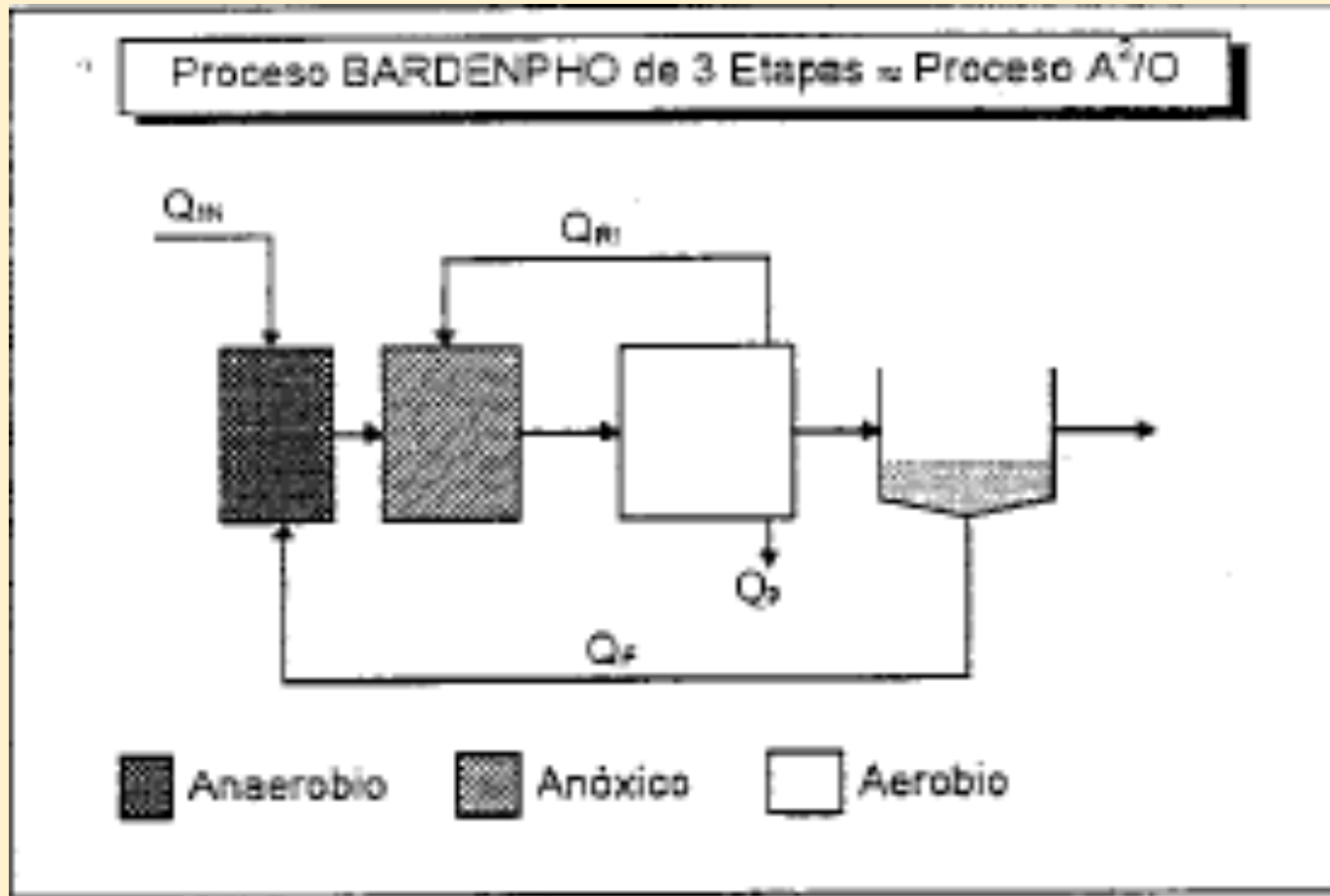
PARTE V CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (2):

Requisitos de diseño:

- Vertido de agua depurada a **parque natural**.
- **Alta estacionalidad** verano / invierno. **Modularidad**.
- **Distribución constreñida** entre la autovía y el parque natural.
- Niveles altos de **nitrógeno y fósforo**.
- Preparada para dar **agua reutilizada** para regenerar acuíferos.
- Elementos de reserva y homogeneidad para **intercambio**.
- **Control distribuido** y exigente.

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (3):



CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (4):

MODELO DISEÑO:

MODELO EUROPEO



MODELO ATV A-131

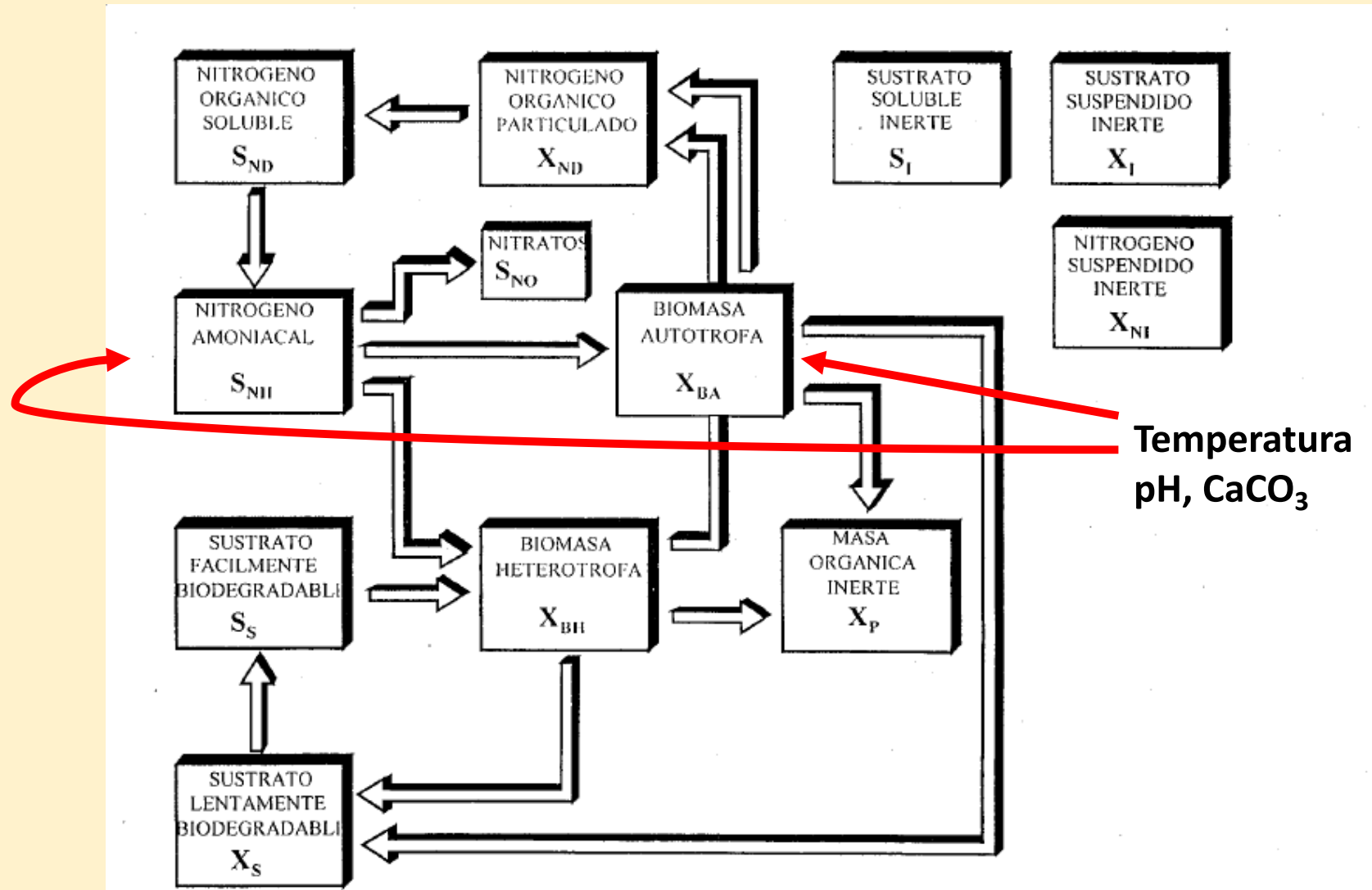
MODELO EEUU CALIFORNIA



ASM Nº 3

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (5):

MODELO CONCEPTUAL ASM N°3:



CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (6):

DECISIÓN FINAL: QUEDARSE CON LO MEJOR DE LOS DOS MUNDOS

CONTROL EXPERTO



SENSORES MINICONTROL



CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (7):

PUNTOS DE CONSIGNA:

DOMINIO EXPERTO EX - S
AP - S
DOMINIO ADAPTATIVO PREDICTIVO AP - C
AP - I
EX - I

EX - SUP: 2,3 mg O₂ /l, 90 mg NH₄⁺ /l, IR: 150%, SST: 90 g/l

EX - INF: 1,2 mg O₂ /l, 40 mg NH₄⁺ /l, IR: 45%, SST: 90 mg/l

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (8):

REGLAS SISTEMA EXPERTO REACTOR AEROBIO:

Componente	S_s	X_s	X_{HH}	X_{BA}	X_p	S_0	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	Cinéticas de reacción
Proceso												
1 Crecimiento aerobio de heterótrofos	$-\frac{1}{Y_H}$		1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	R1 0010
2 Crecimiento anóxico de heterótrofos	$-\frac{1}{Y_H}$		1				$-\frac{1-Y_H}{2.86Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86Y_H}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	R2 0040
3 Crecimiento aerobio de autótrofos				1		$-\frac{4.57-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$ $-\frac{1}{7Y_A}$	R3 0050 0060
4 Desaparición de heterótrofos		$1-f_p$	-1		f_p					$i_{XB}-f_p i_{xp}$		R4 0070
5 Desaparición de autótrofos		$1-f_p$		-1	f_p					$i_{XB}-f_p i_{xp}$		R5 0080
6 Amonificación de S_{ND}								1	-1		$\frac{1}{14}$	R6 0090
7 Hidrólisis de X_s	1	-1										R7 0095
8 Hidrólisis de X_{ND}									1	-1		R8 0105

Reglas SE - ADEX EDAR PU. R.A.

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (9):

REGLAS SISTEMA EXPERTO NITRI-DESNITRIFICACIÓN/ANAEROBIO:

Componente	S_s	X_s	X_{BII}	X_{BA}	X_p	S_o	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	Cinéticas de reacción
Proceso												
1 Crecimiento aerobio de heterótrofos	$-\frac{1}{Y_{II}}$		1			$-\frac{1-Y_{II}}{Y_{II}}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	R1 0130
3 Crecimiento aerobio de autótrofos				1		$\frac{457-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$	R3 0140
4 Desaparición de heterótrofos		$1-f_p$	-1		f_p					$i_{XB}-f_p i_{xp}$		R4 0150 0160
5 Desaparición de autótrofos		$1-f_p$		-1	f_p					$i_{XB}-f_p i_{xp}$		R5 0205
6 Amonificación de S_{ND}								1	-1		$\frac{1}{14}$	R6 NO
7 Hidrólisis de X_s	1	-1										R7 C?
8 Hidrólisis de X_{ND}									1	-1		R8 0220

Reglas SE - ADEX EDAR PU R. ANOX

CONTROL EDAR PUNTA UMBRÍA (10):

EXPERIENCIA:

- PROBLEMAS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS EN LA PUESTA EN MARCHA.
- BUEN FUNCIONAMIENTO DURANTE LOS TRES AÑOS DE EXPLOTACIÓN:
 - ARRANQUES DE LÍNEAS SIN NINGÚN PROBLEMA.
 - PARADAS DE LÍNEAS SIN NINGÚN PROBLEMA.
- 2 PLANTAS CON EL MISMO SISTEMA DE CONTROL (EL CUERVO, ÚBEDA).
- DIFICULTAD DE MANTENIMIENTO EN NUEVAS PLANTAS.
- DIFICULTAD DE APRENDIZAJE DEL SISTEMA.
- NUEVOS SISTEMAS DE CONTROL FUZZY CON CAPACIDAD DE APRENDIZAJE.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA.
MASTER EN LÓGICA, COMPUTACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.
INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO**

COMPLEJIDAD EN EL CONTROL DE UNA EDAR. SISTEMAS EXPERTOS.

Juan Manuel Álvarez Espada