



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas
residuales de piscifactorías mediante
fotobiorreactores de microalgas para la
reutilización de agua y valorización de nutrientes**

Autor:

Rojo de Benito, Elena María

Tutor:

**Muñoz Torre, Raúl
Departamento de Ingeniería
Química y Tecnología Ambiental
Valladolid, Julio 2015**

RESUMEN

Este proyecto propone el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de una piscifactoría y de procesamiento de pescado combinando dos procesos biológicos. El primero es una digestión anaerobia mesófila de los residuos sólidos en un reactor CSTR produciendo biogás y el segundo consiste en 4 fotobiorreactores donde se eliminarán los contaminantes disueltos del agua residual y la fracción líquida del digestato. Cada fotobiorreactor está conectado a una columna de absorción donde se separa el CO₂ y el H₂S del biogás para mejorar su calidad.

Finalmente se obtiene una corriente de agua con biomasa algal que se usará como alimentación para peces. Este proceso de tratamiento permite ahorrar un 84 % de agua y un 55 % de pienso.

La inversión total del proyecto es de 7,34 MM€, y se consigue un ahorro neto de 0,18 MM€/año.

Palabras clave: digestión anaerobia, fotobiorreactor, biogás, trucha, residuos.

ABSTRACT

This project proposes the design of a wastewater treatment plant from a fish farm and processing factory by combining two biological processes. The first is a mesophilic anaerobic digestion of the solid wastes in a CSTR reactor producing biogas and the second consists of 4 photobioreactors (High Rate Algal Ponds) where the soluble pollutants from fish farm wastewater and the liquid fraction from the digestate are removed. Each photobioreactor is interconnected to an absorption column that separates CO₂ and H₂S in order to upgrade the biogas.

Finally, algal biomass suitable for use as feed for fish is obtained. The process allows for savings of 84% in water and 55% in fish feed.

The total investment of the project is 7,34 million € and a net savings of 0,180 MM € / year is achieved.

Keywords: anaerobic digestion, photobioreactor, trout, biogas, wastewater.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
1. Industria acuícola.....	7
2. Industria procesado de pescado.....	11
OBJETIVOS.....	15
CAPÍTULO I. ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE PROCESO	17
1. Introducción.....	17
2. Tratamiento aerobio.....	17
3. Tratamiento anaerobio.....	18
4. Tratamiento biológico con microalgas	20
5. Conclusiones	22
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	23
1. Descripción del proceso.....	23
2. Diagrama de bloques	25
3. Diagramas de flujo del proceso (PFD).....	25
4. Balance de materia	26
CAPÍTULO III. BASES DE DISEÑO.....	28
1. Bases de diseño del proceso	28
1.1. Condiciones de diseño	28
1.2. Alimentación de cada unidad.....	28
2. Diseño de proceso.....	29
2.1. Digestión anaerobia	29
2.2. Fotobiorreactores (HRAP).....	30
2.3. Columna de absorción.....	30
3. Bases de diseño de ingeniería	30
CAPÍTULO IV. EQUIPOS	31
1. Diseño de equipos.....	31
1.1. Digestor anaerobio	31
1.2. Fotobiorreactor	34

1.3. Columna de absorción.....	36
1.4. Intercambiador de calor	38
1.5. Bombas.....	43
1.6. Compresor	46
1.7. Diseño de tuberías.....	46
1.8. Sedimentadores	49
1.9. Depósito (Surge drum).....	51
2. Lista de equipos	53
3. Hojas de especificación (PDS)	55
CAPÍTULO V. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	56
1. Estrategia de control	56
2. Diagramas de instrumentación (PID).....	58
3. Lista de elementos de control.....	59
CAPÍTULO VI. IMPACTO AMBIENTAL.....	62
1. Objetivos.....	62
2. Aspectos ambientales e impactos asociados.....	62
2.1. Efluentes líquidos	62
2.2. Residuos sólidos.....	63
2.3. Impacto visual.....	64
2.4. Ruido.....	64
2.5. Emisiones de olores y gases de efecto invernadero	65
CAPÍTULO VII. SEGURIDAD	67
1. Estudio HAZOP	67
2. Hojas de seguridad	79
CAPÍTULO VIII. BALANCE ECONÓMICO	80
1. Objetivos.....	80
2. Estimación de coste	80
3. Evaluación económica	82
CONCLUSIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXO 1. DIAGRAMA DE BLOQUES	89
ANEXO 2. DIAGRAMAS DE FLUJOS (PFD).....	91
ANEXO 3. HOJAS DE ESPECIFICACIÓN (PDS).....	93

ANEXO 4. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN (PID).....	117
ANEXO 5. HOJAS DE SEGURIDAD.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la producción en la industria acuícola.....	7
Tabla 2. Producciones de trucha arco iris (O. mykiss) en España.....	9
Tabla 3. Piscifactorías en Castilla y León en 2003	9
Tabla 4. Cantidad de residuos generados en acuicultura en España 2004	10
Tabla 5. Sector de procesado de pescado en la Unión Europea.....	12
Tabla 6. Residuos generados en el procesado de pescado	13
Tabla 7. Balance de materia (flujo másico)	26
Tabla 8. Balance de materia (concentración).....	27
Tabla 9. Condiciones de diseño digestor anaerobio	32
Tabla 10. Espesor de la pared del digestor anaerobio	33
Tabla 11. Espesor cabeza digestor.....	33
Tabla 12. Espeso de fondo digestor	33
Tabla 13. Parámetros de diseño de columna de absorción	37
Tabla 14. Espesor de pared columna.....	38
Tabla 15. Espesor cabeza columna.....	38
Tabla 16. Espesor fondo columna	38
Tabla 17. Diámetros exteriores de las bombas del proceso	44
Tabla 18. Caídas de presión de las bombas.....	44
Tabla 19. Potencia total de las bombas.....	45
Tabla 20. NSPH y presiones de las bombas	45
Tabla 21. Diámetros de tuberías del proceso.....	48
Tabla 22. Diámetros de tuberías del proceso (II)	49
Tabla 23. Áreas de cada sedimentador	50
Tabla 24. Volumen de cada sedimentador	50
Tabla 25. Dimensiones de cada sedimentador	50
Tabla 26. Espesores de cada sedimentador	51
Tabla 27. Parámetros de diseño de cada sedimentador.....	51
Tabla 28. Dimensiones del depósito “surge drum”	52
Tabla 29. Espesor pared depósito	52
Tabla 30. Espesor fondo depósito	52
Tabla 31. Condiciones de diseño sedimentador	52
Tabla 32. Lista de equipos (I).....	53
Tabla 33. Lista de equipos (II).....	54
Tabla 34. Lista de Instrumentación (I)	59
Tabla 35. Lista de Instrumentación (II)	60
Tabla 36. Lista de Instrumentación (III)	61
Tabla 37. HAZOP columna absorción (I).....	67
Tabla 38. HAZOP columna absorción (II).....	68
Tabla 39. HAZOP sedimentador (I)	69
Tabla 40. HAZOP sedimentador (II)	70

Tabla 41. HAZOP sedimentador (III)	71
Tabla 42. HAZOP digestor anaerobio (I)	72
Tabla 43. HAZOP digestor anaerobio (II)	73
Tabla 44. HAZOP digestor anaerobio (III)	74
Tabla 45. HAZOP intercambiador de calor (I).....	75
Tabla 46. HAZOP intercambiador de calor (II).....	76
Tabla 47. HAZOP depósito.....	77
Tabla 48. HAZOP fotobiorreactor	78
Tabla 49. Costes y beneficios de las materias del proceso.....	80
Tabla 50. Coste total de los equipos del proceso.....	81
Tabla 51. Resumen costes del proyecto	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la producción de acuicultura en los Estados de la Unión Europea	8
Figura 2. Fases digestión anaerobia y flujo de DQO.....	20
Figura 3. Proceso oxigenación fotosintética	20
Figura 4. High Rate Algal Pond.....	21
Figura 5. Fotobiorreactor tubular	21
Figura 6. Fotobiorreactor de columnas	22

INTRODUCCIÓN

1. Industria acuícola

La acuicultura es el cultivo y la cría de plantas y animales acuáticos que constituye una actividad practicada desde hace más de 4.000 años en diferentes regiones del planeta. La producción acuícola ha sido el sector alimentario asociado a especies animales que ha crecido más rápidamente, produciendo una cantidad total mundial casi 6 veces mayor en 2012 que en 1990 como se muestra en la Tabla 1.

Región		1990	2000	2005	2010	2012
África	(ton)	81.015	399.688	646.182	1.286.591	1.485.367
	(%)	0,62	1,23	1,46	2,18	2,23
América	(ton)	548,5	1.423.433	2.176.740	2.571.089	3.187.319
	(%)	4,19	4,39	4,91	4,37	4,78
Asia	(ton)	10.801.531	28.420.611	39.185.417	52.436.025	58.895.736
	(%)	82,61	87,67	88,46	88,82	88,39
Europa	(ton)	1.901.649	2.052.567	2.137.340	2.548.094	2.880.641
	(%)	12,25	6,33	4,83	4,32	4,32
Oceanía	(ton)	42.005	121.482	151.466	185.617	184.191
	(%)	0,32	0,37	0,34	0,31	0,28
Mundo	(ton)	13.074.679	32.417.781	44.297.145	59.037.416	66.633.253

Tabla 1. Evolución de la producción en la industria acuícola. (FAO 2014)

En la Unión Europea, el sector de la acuicultura representó el 18% de la producción total de pescados y mariscos de la UE en 2005 y se caracteriza por la alta calidad de los productos y los métodos utilizados para este fin.

En el caso de España, la piscicultura comenzó a desarrollarse en los años 60 y hoy en día es pionera en Europa en cuanto a avance y desarrollo tecnológico. Este avance es debido principalmente a varios factores: la abundancia de zonas naturales para la cría de especies acuáticas, disminución de las capturas en los caladeros, la gran demanda de pescado fresco, etc... La piscicultura es una actividad empresarial relevante y de larga tradición en numerosos lugares, tanto costeros como fluviales.

A pesar del incremento de su peso específico en la economía española y de otros países, y de las expectativas creadas, la acuicultura no ha sido capaz de compensar la caída de la actividad pesquera y subsanar la disminución en las capturas procedentes de la pesca extractiva. Por esto, el objetivo de los países europeos es el desarrollo de una industria acuícola más competitiva y menos dañina con el medio ambiente, desarrollando procesos más eficientes,

económicos y que consuman menos recursos, tales como al agua o el pienso de alimentación.

Nuestro país es el Estado de la Unión Europea (UE) con mayor volumen de producción en acuicultura, con 21 % de la producción total de la UE seguido por el Francia y el Reino Unido con un 16,3 % y un 16,1 %, respectivamente, en el año 2012 (Figura 1).

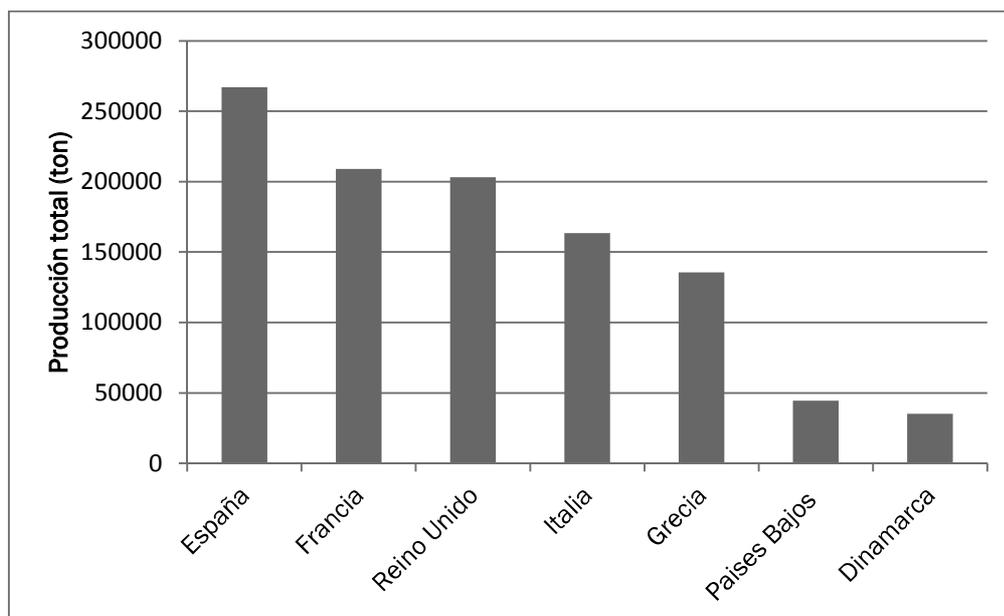


Figura 1. Distribución de la producción de acuicultura en los Estados de la Unión Europea. (APROMAR y col. 2014)

La acuicultura está concentrada en pocas especies, donde las tres primeras corresponden al mejillón (*Mytilus spp.*), la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y la dorada (*Sparus aurata*), las cuales concentraban más del 90 % de la producción total en 2014 en España, representando aproximadamente 24.000 toneladas en total.

En el caso de Castilla y León, el cultivo más importante en la acuicultura es el de la trucha arco iris (*O. mykiss*). En 2013 encabezó la cría de trucha arco iris en España, con 5.845 toneladas seguida de Galicia, con 4.100 toneladas (Tabla 2). Entre ambas comunidades se reparten casi el 60% de la producción española.

Comunidad autónoma	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Andalucía	1893	1893	1594	1235	1409	1262	1600
Aragón	2125	2012	1566	1073	676	620	669
Cantabria	481	473	195	173	177	177	180
Castilla la Mancha	2706	1175	907	1012	855	743	891
Castilla y León	6325	5851	5476	5429	5147	5161	5845
Cataluña	3340	4530	4650	2541	2357	4530	1270
Navarra	220	143	2604	60	65	100	152
Galicia	7263	6361	4865	4628	4150	4111	4100
La Rioja	1120	768	348	426	912	1024	1267
País Vasco	2266	128	103	22	11	97	111
Asturias	1319	1025	925	1001	1059	787	687
Canarias							10
Total	29058	24359	23233	17600	16818	18612	16782
Variación (%)	14,4	-16,2	-4,6	-24,2	-4,4	10,7	-9,8

Tabla 2. Producciones de trucha arco iris (*O. mykiss*) en España. (APROMAR y col. 2014)

En 2012 se encontraban en funcionamiento en España un total de 5.132 establecimientos de acuicultura, de los cuales 179 lo eran de acuicultura continental (agua dulce) y 4.953 de acuicultura con aguas marinas o salobres. En Castilla y León, todas las provincias poseen varias explotaciones de piscifactoría, excepto Valladolid (Tabla 3).

Provincia	Explotaciones	Especie
Ávila	3 (inactivas)	
Burgos	5	T. común, T. arco iris
León	11	T. común, T. arco iris
Palencia	4	T. común, T. arco iris
Salamanca	6	T. común, T. arco iris, Tenca, S. Danubio
Segovia	3	T. arco iris
Zamora	2	T. arco iris, Tenca
Soria	5	T. común, T. arco iris, Cangrejo
Total	36	

Tabla 3. Piscifactorías en Castilla y León en 2003. (Larrán y col. 2006)

La acuicultura ha aumentado lo suficiente como para tener un impacto significativo en el medio ambiente y los recursos naturales. Entre los posibles impactos negativos, la contaminación del agua por efluentes residuales de los estanques es probablemente la más común e importante, por lo que la mayoría de los países trabajan en mayor medida en solucionar este problema.

El alto consumo de agua de las actividades acuícolas conlleva también un alto impacto ambiental.

Cantidad de residuos generados (toneladas)	No peligrosos	Peligrosos
Residuos de compuestos químicos	0	0,1
Aceites usados	0	9,2
Residuos de preparados químicos	15,1	6,2
Otros residuos químicos	0	4,4
Residuos biológicos	2,1	5,5
Residuos metálicos	126,5	0
Residuos de vidrio	13,8	0
Residuos de papel y cartón	46	0
Residuos de caucho	1,1	0
Residuos de plástico	128,6	0
Residuos de madera	378,2	0
Equipos desechados	89,4	7,5
Residuos animales y vegetales	2623,4	0
Residuos domésticos y similares	123,1	0
Lodos comunes	829,7	0
Residuos minerales	1,8	0
Total	4378,8	32,9

Tabla 4. Cantidad de residuos generados en acuicultura en España 2004. (INE 2006)

Según los datos proporcionados en la Tabla 4, la mayor parte de los residuos generados se pueden clasificar como no peligrosos, lo cual significa que no se encuentran catalogados como residuos peligrosos, por no presentar características de peligrosidad. Aunque no son peligrosos, las industrias tienen la obligación de controlar estos vertidos (Ley 10/1998 de 21 de Abril). Además, la presión ejercida por grupos ecologistas ha forzado a los países a imponer regulaciones en torno a los residuos generados en la acuicultura (Boyd, 2003).

Las soluciones medioambientales pasan por el tratamiento de los efluentes contaminados procedentes de los tanques de piscifactorías. Mediante estos procesos, las aguas residuales producidas son tratadas mediante diferentes tratamientos para poder devolverlos al mar o, como es en este caso, reutilizarlos en mejores condiciones.

En los últimos años está despertando una gran preocupación la gran cantidad de agua que es necesaria para la cría de peces debido sobre todo a los problemas de escasez de agua que hay presentes en algunas partes del planeta (como es el caso de España) y al aumento de la demanda en otros

sectores tales como la agricultura y la industria (FAO, 2014). Esto obliga a una reducción del consumo de este recurso y como consecuencia, actualmente se están buscando alternativas que permitan una utilización más eficaz de los recursos de agua. Una de ellas es el tratamiento y la recirculación de agua, lo que permitiría la reducción del consumo del agua en la acuicultura.

Además, al intensificarse las explotaciones en la acuicultura, también lo hace el consumo del pienso y la harina de pescado como alimento de los peces. Esto puede convertirse en un problema ya que actualmente este tipo de alimentación se produce a partir de peces pequeños y en la cría de algunas especies, la ingesta de proteínas puede ser mayor que la producción final (por ejemplo por cada kilogramo producido de salmón se puede consumir hasta 5 kilogramos de otras especies) (Greenpeace, 2008). Aunque en los últimos años se está cambiando esta dinámica al sustituir la harina de pescado por otro tipo de alimentación, todavía no se ha conseguido disminuir la cantidad de pescado utilizada para este fin.

La sostenibilidad de la acuicultura está ligada a su rentabilidad, por lo que la viabilidad de las explotaciones depende de actuaciones dinámicas, innovadoras y emprendedoras. El presente proyecto está orientado al diseño de una planta que permita la reutilización del agua obtenida en el tratamiento mediante procesos de microalgas de las aguas residuales producidas como alternativa al masivo uso del agua y al uso de las microalgas producidas durante el tratamiento de las aguas residuales como alimentación de los peces, con el objetivo de disminuir el consumo de piensos y harinas de pescado.

2. Industria procesado de pescado

España es el hogar de la mayor industria de procesamiento de pescado en la Unión Europea, con una facturación de 3.200 millones de euros en 2.005, aumentando hasta los 3.600 millones en 2.012. Históricamente, se centró en la salada y conservas de pescados y mariscos debido a la gran extensión de costa del país. Sin embargo, desde la década de 1.950, se ha convertido en uno de los más diversos y grandes industrias a nivel internacional. Este sector se compone principalmente de empresas de tamaño mediano principalmente en el sector de conservas, y en menor medida por mariscos procesados congelados y frescos (Tabla 5).

	Valor producción total (M€)	Empresas procesado
España	3.274.500	683
Francia	285.100	482
Reino Unido	2.939.300	370
Alemania	1.884.600	178
Italia	1.742.700	455
Dinamarca	1.492.600	126
Holanda	657.500	135
Portugal	550.100	90

Tabla 5. Sector de procesado de pescado en la Unión Europea (GLITNIR, 2008)

La industria de procesamiento de pescados está vinculada a la tradición española, al mismo nivel que el sector de la pesca en sí. Sin embargo, la disminución de la competitividad en el mercado nacional, debido a la competencia en precios con los productos importados y el estancamiento de la economía española, ha provocado grandes cambios estratégicos en este sector industrial. Por otra parte, las cantidades de mariscos procesados, utilizados como materia prima en procesos más especializados, también se ha incrementado, lo que conlleva mayores eficiencias y ahorros para la industria. A pesar de la crisis, el procesamiento de pescado español sigue siendo una industria fuerte, aunque el número de empresas ha disminuido. Esta tendencia fue más pronunciada en el caso de las pequeñas empresas menos eficientes, pero aumentó el número de medianas y grandes empresas, para pasar a un sector más concentrado con mejores opciones para el desarrollo de las economías de escala importantes (STECF, 2013).

Al igual que la mayoría de las industrias de transformación, las operaciones de procesamiento de peces producen aguas residuales, que contienen microorganismos patógenos, contaminantes orgánicos y nutrientes. Dependiendo del tipo de procesado que recibe el pescado, los residuos generados varían. En la Tabla 6 se ven algunos datos de los residuos y la energía necesaria para el proceso:

Proceso	Pescado (kg)	Energía (kW-h)	Agua residual (m ³)	Residuo sólido (kg)
Procesado pescado blanco	1000	65 - 87	5 - 11	490 - 640
Procesado pescado azul	1000	65 - 87	5 - 8	400 - 450
Congelado y lavado de pescado	1000	0,8 - 1,2	1	0 - 20
Descamación de pescado blanco	1000	0,1 - 0,3	10 - 15	20 - 40
Descabezado pescado	1000	0,3 - 0,8	1	270 - 320
Fileteado de pescado	1000	1,8	1 - 3	200 - 300

Tabla 6. Residuos generados en el procesado de pescado. (Ghaly y col. 2013)

El grado de contaminación de un agua residual dependerá de varios parámetros de los cuales los más importantes son la operación que se lleva a cabo y las especies de pescado que se procesa. Considerando sólo un tipo de operación, la rutina de operación en cada fábrica también ejerce una fuerte influencia sobre las características del agua residual. Debido a esto, existen muchos tipos diferentes de tratamiento de los residuos generados aunque todos ellos deben cumplir los límites de contaminación establecidos por ley que se puede verter al medioambiente.

Es difícil conocer la gravedad del problema creado por estas aguas residuales producidas, ya que su impacto depende tanto del grado de contaminación como de la cantidad de agua generada.

CAPÍTULO I. ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DEL PROCESO

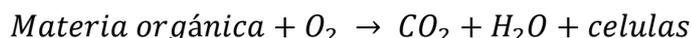
1. Introducción

Como se ha dicho anteriormente, la acuicultura y la industria de procesado de pescado se han convertido en España en dos sectores con un gran crecimiento económico debido al aumento de la demanda de comida fresca por parte de la población. Como consecuencia de esto, se generan grandes cantidades de aguas residuales, las cuales se deben tratar para evitar el daño al medioambiente. Sin embargo, este gran crecimiento debe sostenerse sobre estrategias de control de agua y alimentación de peces rentables (Hemaiswarya y col. 2011).

Por estas razones, se están buscando alternativas que permitan el tratamiento de las aguas residuales y la producción de sustratos adecuados para la alimentación del pescado de manera simultánea. Entre ellas se puede encontrar tratamientos primarios, aerobios, anaerobios o biológicos mediante el uso de microalgas, pero solamente el tratamiento de aguas residuales con procesos de microalgas permitiría satisfacer ambos objetivos.

2. Tratamiento aerobio

Este tipo de tratamiento consiste en el uso de microorganismos para eliminar y descomponer la materia orgánica, mediante una reacción de oxidación en tanques con presencia de oxígeno. La reacción que ocurre durante el proceso aerobio es:



Este nuevo material celular conlleva además una eliminación de nutrientes (N, y P) del agua residual, lo que reduce el potencial de eutrofización de los efluentes.

Algunas ventajas de este sistema sobre la digestión anaerobia incluyen las siguientes:

- Bajo coste capital.
- Menores olores producidos durante el proceso.
- La facilidad de operación.
- No existe peligro de explosión ya que no se produce biogás.

El oxígeno necesario en la digestión aerobia de la contaminación orgánica depende de las características de los residuos de alimentación y la cantidad de este. Normalmente, un flujo de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ es suficiente para el proceso y mantener los sólidos en suspensión (Turovskiy y col. 2006).

Entre los factores que pueden influir en la elección de este sistema se puede considerar los siguientes:

- Costes de operación y capital.
- El área disponible para la construcción de la planta de tratamiento.
- Las características de operación.

3. Tratamiento anaerobio

La digestión anaerobia (AD) es un proceso biológico en el que la materia orgánica (DQO y DBO), en ausencia de oxígeno y por acción de bacterias específicas como son los microorganismos anaerobios, se degrada y transforma en biogás (CH_4 , CO_2 , H_2S ,...) y en digestato el cual es una mezcla de nutrientes (N, P, K, ...), microorganismos y compuestos de difícil degradación (IDEA 2007).

Este proceso es uno de los más idóneos para la reducción de las emisiones de efecto invernadero y el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos producidos en cualquier tipo de industria. Es muy usado cuando el caudal de agua que hay que tratar es mayor de $20.000 \text{ m}^3/\text{día}$ y la concentración de materia orgánica es elevada.

Este aprovechamiento consiste en el uso del biogás para diferentes procesos:

- Generación de calor mediante una caldera.
- Generación de electricidad mediante motores o turbinas.
- Combustible de automóviles.
- Como materia prima de otras sustancias.

Este uso de la tecnología de AD permite a los operadores de plantas reducir los costes de eliminación de residuos. Aunque hasta hace unos años no se usaba este sistema, gracias a las ventajas sobre otro tipo de tratamientos biológicos, la AD se puede utilizar actualmente de forma eficiente para el tratamiento de los residuos sólidos procedentes de la

acuicultura y procesamiento de pescado. Entre las ventajas se pueden citar las siguientes (Chowdhury y col. 2010):

- Altas eliminaciones de DBO a un coste bajo de operación.
- Se generan pocos biosólidos, muy estables y de fácil manejo.
- Bajos costes de operación.
- Se necesita poco espacio para su construcción.
- Se produce un biogás con potencial para su valorización energética.

Este sistema es muy efectivo si opera de manera continua durante todo el año, ya que las paradas pueden producir cambios en la biomasa generada durante la digestión.

El proceso de digestión se puede dividir en cuatro fases diferentes (Appels y col. 2008):

- *Hidrólisis*: se descomponen los sustratos poliméricos complejos en compuestos solubles. Es la etapa más limitante de todo el proceso.
- *Acidogénesis*: los microorganismos acidogénicos rompen y descomponen más los productos obtenidos después de la hidrólisis.
- *Acetogénesis*: producción de ácido acético a partir de los ácidos grasos volátiles producidos en la etapa anterior por microorganismos acetogénicos. Se descompone la biomasa hasta un punto en el que los metanógenos puedan usar gran parte del material restante para producir metano.
- *Metanogénesis*: los metanógenos crean metano a partir de los productos finales de la acetogénesis. Su actividad se reduce cuanto mayor es la concentración de amoníaco, lo que debe tenerse en cuenta durante la digestión de los residuos orgánicos de pescado (Chowdhury y col. 2010).

Entre las principales desventajas de este proceso podemos encontrar (Tay y col. 2006):

- Costes de capital altos debido a los grandes equipos necesarios.
- Grandes reactores necesarios para alcanzar el tiempo de retención hidráulico necesario.
- Los microorganismos anaerobios son muy sensibles a los cambios en el entorno, por lo que el control del sistema debe ser muy exhaustivo.

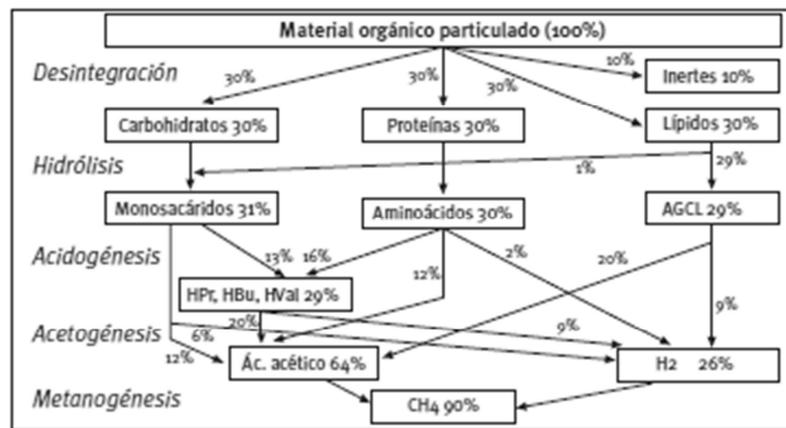


Figura 2. Fases digestión anaerobia y flujo de DQO (IDAE 2007)

4. Tratamiento biológico con microalgas

Los fotobiorreactores son un tipo de reactores biológicos que usan microalgas para la eliminación de los contaminantes presentes en corrientes de aguas residuales. Las algas crecen en estos sistemas asimilando los nutrientes presentes en las aguas residuales (C, N, P...) y usando luz y dióxido de carbono para llevar a cabo la fotosíntesis (Park y col. 2011). Este proceso se considera adecuado para el medio ambiente ya que recicla los nutrientes de manera eficiente, no conduce a contaminación secundaria y produce biomasa que se puede usar para distintos fines.

Por otro lado, la capacidad de capturar CO_2 por parte de las algas es una de las maneras más sostenibles con el medio ambiente en la mitigación de las emisiones de dióxido de carbono. El oxígeno necesario para la degradación de los residuos es producido por las microalgas que han crecido asimilando los nutrientes y el CO_2 , en el proceso denominado oxigenación fotosintética. (Oswald y col. 1998).

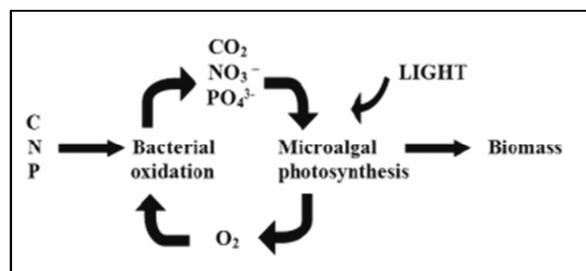


Figura 3. Proceso oxigenación fotosintética.

Este sistema permite la eliminación de los contaminantes contenidos en el biogás producido en la digestión anaerobia de los residuos orgánicos (CO_2 y

H₂S) de forma simultánea. Las microalgas utilizan la radiación solar para capturar el CO₂ mediante fotosíntesis con la producción de O₂, el cual oxida el H₂S a sulfato (Bahr y col. 2013).

Existen dos formas de cultivo de microalgas, que son mediante sistemas abiertos o cerrados (Ugwu y col. 2008):

- *Abiertos*: están en contacto con la atmósfera. El tipo de configuración más usada es “high rate algal ponds” (Figura 4). Las principales ventajas de estos sistemas es que utilizan la luz solar natural, y además son fáciles de construir y relativamente económicos de operar. Sin embargo, algunas limitaciones son la dificultad de control de las condiciones de cultivo y en el crecimiento de cultivos de algas durante largos períodos, la baja productividad, ocupan grandes áreas de tierra y los cultivos se contaminan fácilmente. En consecuencia, se intenta compensar con un bajo coste una baja productividad debida a un control poco estricto de condiciones como el pH o la temperatura.



Figura 4. High Rate Algal Pond.

- *Cerrados*: mantienen el cultivo aislado del exterior. Dentro de esta categoría podemos encontrar fotobiorreactores tubulares, de placas planas y de columna verticales. Algunas ventajas son la facilidad para controlar las variables físico-químicas, altas productividades de biomasa y la esterilización del sistema que previene la contaminación. Sin embargo, la limitación más importante es su alto coste de construcción y operación (Soo Suh y col. 2003).



Figura 5. Fotobiorreactor tubular



Figura 6. Fotobiorreactor de columnas.

5. Conclusiones

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada tipo de proceso, se elige para el tratamiento de los residuos de piscifactoría y procesado de pescado un proceso que combina la digestión anaerobia de los residuos sólidos y los fotobiorreactores abiertos (high rate algal pond) para el tratamiento del agua residual que permitirá además mejorar el biogás que se genera en la digestión.

Entre las ventajas que vamos a conseguir con esta combinación podemos destacar las siguientes:

- Generación de biogás que se puede transformar en energía y obtener beneficios.
- Bajos costes de operación.
- Alta eliminación de DQO y DBO.
- Fácil construcción de equipos.
- Obtención de una biomasa algal que se puede utilizar como alimentación para peces.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1. Descripción del proceso

El proceso comienza en la piscifactoría donde se produce una corriente de 6.000 m³/día de agua residual como consecuencia de la cría de peces y 4.000 kg/día de trucha arco iris. El agua residual se encuentra a 15°C y tiene una concentración de sólidos suspendidos totales (TSS), de carbono orgánico total (TOC), de carbono inorgánico (IC), de nitrógeno total (TN), fósforo total (TP) y DQO de 200 mg/l, 261 mg/l, 65 mg/l, 31 mg/l, 19 mg/l y 678 mg/l, respectivamente.

La corriente de pescado se lleva hasta la planta de procesado de pescado, donde esta se procesa utilizando 8 m³/día de agua fresca. En este bloque se producen tres salidas diferentes: 1) una de ellas es de 3.000 kg/día de trucha ya procesada, 2) otra es una corriente formada por 1.000 kg/día de residuos sólidos producidos durante el procesado del pescado el cual lo enviamos a digestión anaerobia ya que no se va a revalorizar como harina de pescado debido a su poca rentabilidad y por último 3) 8.000 kg/día de agua residual que contiene 10 mg TSS /l, 381 mg TOC /l, 51 mg IC /l, 82 mg TN /l , 6,0 mg TP /l y 11,9 mg/l de DQO.

Esta última corriente se mezcla con el agua residual procedente de la piscifactoría y se llevan hasta un sedimentador donde se separan el 90 % de los sólidos en suspensión. La corriente de sólidos obtenida, con una concentración de 10.000 mg/l, se junta con los residuos sólidos de procesado de pescado y se trata mediante digestión anaerobia para disminuir la concentración de los contaminantes (principalmente materia orgánica).

Previamente a la digestión anaerobia, la corriente con sólidos se calientan hasta los 40°C utilizando para ello un intercambiador de calor de placas, consumiendo 131,5 kW de calor. Se utiliza como líquido de calefacción 5.163,6 kg/día de vapor a baja presión a 2 bar (120°C). La digestión anaerobia se produce a 35 °C (digestor mesófilo) y 1 atm de presión en un reactor continuo de tanque agitado (CSRT) donde el tiempo hidráulico de residencia (HRT) es de 4,5 días. El volumen total del reactor es de 649,3 m³, donde dos tercios del volumen corresponden al fluido y el resto corresponde al espacio de cabezas que alberga el biogás que se produce durante la digestión de los sólidos. Por último, la energía total consumida en el mezclado dentro del reactor es de 101,3 kWh.

En este proceso biológico se producen al final 649,3 kg/día de biogás el cual está compuesto por un 65% de metano (CH₄), 34 % de dióxido de carbono (CO₂) y 1% de ácido sulfhídrico (H₂S) en volumen a una temperatura de 35°C y 1 atm, que luego se enfría en un gasómetro hasta 20°C. También se producen 108.223 kg/día de digestato que se llevan hasta una centrifuga donde se separan los sólidos en un 90 % y se consigue una concentración final de los biosólidos después de la centrífuga de 3,91 %. En el centrifugado de estos sólidos se consumen 40,8 kWh.

La corriente de biogás se dirige hacia las columnas de absorción pasando antes por un gasómetro, donde se almacena el biogás a temperatura ambiente y presión atmosférica. Después, se impulsa hasta las columnas con un compresor adiabático que consume 3,4 kW y que aumenta la presión hasta 1,5 bar y la temperatura hasta 55,8°C.

La corriente líquida obtenida de la centrifugación se une a la que se obtiene del primer sedimentador y se lleva a cuatro fotobiorreactores del tipo HRAP (*high rate algal pond*) operados con la microalga *Chlorella vulgaris*. La temperatura y presión en estos HRAP es de 20°C y 1 atm, respectivamente, con un volumen total de los 4 fotobiorreactores de 29.102 m³ y dimensiones definidas en su Hoja de especificaciones (PDS). El cultivo se agita de forma continua utilizando un agitador de palas impulsado por un motor el cual consume 83,4 kWh/día.

Cada HRAP está formado por dos canales separados entre sí por un muro central, conectado este HRAP a una columna de absorción de burbujeo con un diámetro de 1,9 m y una altura de líquido de 2 m. En la columna se elimina el 90 % del CO₂ del biogás producido en la digestión y el 100 % del H₂S usando como líquido absorbente el agua con microalgas del fotobiorreactor HRAP (que se recircula de forma continua entre ambas unidades de proceso). El flujo de biogás que entra en cada columna es de 162,3 kg/día y el flujo de líquido de 312,1 kg/día. El biogás ya tratado se envía a la red de gas natural donde se transforma en energía eléctrica.

La eliminación de DQO, IC, TN y TP en cada fotobiorreactor es del 77%, 86%, 85% y 94%, respectivamente. Además, debido a que se encuentran abiertos se produce una evaporación de agua de 9,73%. La corriente de salida de microalgas de cada fotobiorreactor es de 1.403.867,8 kg/día con una concentración de microalgas de 125,4 mg/l.

Antes de recircular esta corriente a la piscifactoría, esta va hasta un depósito (*surge drum*), el cual funciona como reserva de líquido con microalgas. Desde ahí, se impulsa con una bomba hasta la piscifactoría,

realizando previamente una purga de 561.507,5 kg/día (10% del total) que se lleva hasta un sedimentador donde se separan el 90 % de los sólidos formados por las microalgas. Estas se devuelven a la corriente que va hacia la piscifactoría mientras que el líquido obtenido se descarga al medioambiente cumpliendo con la legislación europea de depuración de aguas residuales.

Por último, se añade agua fresca a la corriente de entrada a la piscifactoría que compensa las pérdidas que se han producido durante todo el proceso (evaporación, purga, digestato). En total, la cantidad de agua que entra a la piscifactoría es de 6.000.000 kg/día, con 697,22 kg/día de microalgas que servirán como alimentación de la trucha. La calidad de esta agua cumple con los requisitos mínimos para su reutilización ya que las concentraciones de IC, TN, TP y DQO se encuentran dentro de los límites que permiten la cría de la trucha arco iris en esas condiciones.

Gracias a este sistema se consigue un ahorro del 84 % del agua consumida en la piscifactoría y un ahorro de pienso del 55 %.

2. Diagrama de bloques

El diagrama de bloques del proceso se encuentra en el Anexo 1.

3. Diagramas de flujo del proceso (PFD)

Los diagramas de flujo del proceso se encuentran en el Anexo 2.

4. Balance de materia

En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados del balance de materia de todo el proceso.

Número corriente	Descripción	De	A	P (atm)	T (°C)	Agua (kg/día)	Peces (kg/día)	Sólidos totales suspendidos TSS (kg/día)	Carbono orgánico total TOC (kg/día)	Carbono inorganico IC (kg/día)	Nitrógeno total TN (kg/día)	Fósforo total TP (kg/día)	Metano (kg/día)	CO ₂ (kg/día)	DQO (kg/día)	DBO (kg/día)	H ₂ S (kg/día)
0	Alimentación peces	-	-	1	20	321.34	0,00	3213.39	514.14	0,00	205.66	32.13	0,00	0,00	3823.94	1456.92	0,00
1	Agua residual producción pescado	-	6	1	15	6000000,00	0,00	1200,00	1566,00	390,00	186,00	114,00	0,00	0,00	4068,00	1549,91	0,00
2	Pescado	-	-	-	-	0,00	4000,00	4000,00	1824,00	0,00	446,00	93,20	0,00	0,00	4760,00	1813,56	0,00
3	Pescado procesado	-	-	-	-	0,00	3000,00	3000,00	1368,00	0,00	334,50	69,90	0,00	0,00	3570,00	1360,17	0,00
4	Agua residual pescado procesado	-	6	1	15	8000,00	0,00	0,08	3,05	0,41	0,66	0,05	0,00	0,00	0,10	0,04	0,00
5	Residuos sólidos procesado pescado	-	9	-	-	0,00	1000,00	1000,00	456,00	0,00	111,50	23,30	0,00	0,00	1190,00	453,39	0,00
6	Agua residual total	1,4	8,7	1	15	6008000,00	0,00	1200,08	1569,05	390,41	186,66	114,05	0,00	0,00	4068,10	1549,94	0,00
7	Sólidos del agua residual	6	9	1	15	108223,37	0,00	1082,23	619,18	7,03	113,34	69,25	0,00	0,00	1287,86	490,67	0,00
8	Líquido agua residual 1	6	15	1	15	5899776,63	0,00	117,85	949,86	383,38	73,32	44,80	0,00	0,00	2780,24	1059,27	0,00
9	Residuos sólidos totales	7,5	10	1	15	108223,37	1000,00	2082,23	1075,18	7,03	224,84	92,55	0,00	0,00	2477,86	944,06	0,00
10	Residuos sólidos totales a digestor	9	11,12	1	40	108223,37	1000,00	2082,23	1075,18	7,03	224,84	92,55	0,00	0,00	2477,86	944,06	0,00
11	Biogas digestión anaerobia	10	12	1	35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	325,63	318,69	0,00	0,00	5,01
12	Biogas salida gasómetro	13	11	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	325,63	318,69	0,00	0,00	5,01
13	Biogas hacia fotobiorreactores	12	17,18,19,20	1,5	55,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	325,63	318,69	0,00	0,00	5,01
14	Productos digestión anaerobia	10	14,15	1	35	108223,37	0,00	312,34	161,28	146,42	224,84	92,55	0,00	0,00	976,03	371,87	0,00
15	Biosólidos	11	-	1	35	7639,06	0,00	283,31	134,06	10,34	37,67	23,02	0,00	0,00	741,78	353,27	0,00
16	Líquido agua residual 2	11	16	1	35	100584,32	0,00	29,03	27,22	136,08	187,17	69,53	0,00	0,00	234,25	18,59	0,00
17	Agua residual a fotobiorreactores	8,15	21,22,23,24	1	20	600360,94	0,00	146,88	977,08	519,46	260,49	114,33	0,00	0,00	3014,48	1077,86	0,00
18	Biogas a columna de absorción 1	12	27	1,5	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,41	79,67	0,00	0,00	1,25
19	Biogas a columna de absorción 2	12	31	1,5	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,41	79,67	0,00	0,00	1,25
20	Biogas a columna de absorción 3	12	35	1,5	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,41	79,67	0,00	0,00	1,25
21	Biogas a columna de absorción 4	12	39	1,5	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,41	79,67	0,00	0,00	1,25
22	Líquido a fotobiorreactor 1	16	25,28	1	20	1500090,24	0,00	36,72	244,27	129,86	65,12	28,58	0,00	0,00	753,62	269,47	0,00
23	Líquido a fotobiorreactor 2	16	29,32	1	20	1500090,24	0,00	36,72	244,27	129,86	65,12	28,58	0,00	0,00	753,62	269,47	0,00
24	Líquido a fotobiorreactor 3	16	33,36	1	20	1500090,24	0,00	36,72	244,27	129,86	65,12	28,58	0,00	0,00	753,62	269,47	0,00
25	Líquido a fotobiorreactor 4	16	37,4	1	20	1500090,24	0,00	36,72	244,27	129,86	65,12	28,58	0,00	0,00	753,62	269,47	0,00
26	Líquido a columna de absorción 1	21	26	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
27	Líquido retorno de columna de absorción 1	25	28	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
28	Biogas mejorado 1	17	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,78	7,97	0,00	0,00	0,00
29	Salida fotobiorreactor 1	21,26	41	1	20	1403768,67	0,00	176,05	296,22	58,36	65,12	28,58	0,00	0,00	382,83	140,67	0,00
30	Líquido a columna de absorción 2	22	30	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
31	Líquido retorno de columna de absorción 2	29	32	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
32	Biogas mejorado 2	18	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,78	7,97	0,00	0,00	0,00
33	Salida fotobiorreactor 2	22,3	41	1	20	1403768,67	0,00	176,05	296,22	58,36	65,12	28,58	0,00	0,00	382,83	140,67	0,00
34	Líquido a columna de absorción 3	23	34	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
35	Líquido retorno de columna de absorción 3	33	36	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
36	Biogas mejorado 3	19	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,78	7,97	0,00	0,00	0,00
37	Salida fotobiorreactor 3	23,33	41	1	20	1403768,67	0,00	176,05	296,22	58,36	65,12	28,58	0,00	0,00	382,83	140,67	0,00
38	Líquido a columna de absorción 4	24	38	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
39	Líquido retorno de columna de absorción 4	37	40	1	20	312,10	0,00	0,04	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00
40	Biogas mejorado 4	20	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,78	7,97	0,00	0,00	0,00
41	Salida fotobiorreactor 4	24,38	42	1	20	1403768,67	0,00	176,05	296,22	58,36	65,12	28,58	0,00	0,00	382,83	140,67	0,00
42	Microalgas fotobiorreactor 1,2,3	28,32,36	42	1	20	4211306,00	0,00	528,15	888,65	175,09	195,36	85,75	0,00	0,00	1148,50	422,01	0,00
43	Corriente final microalgas	40,41	43	1	20	5615074,67	0,00	704,20	1184,86	233,45	260,49	114,33	0,00	0,00	1531,33	562,68	0,00
44	Salida deposito	42	44,45	1	20	5615074,67	0,00	704,20	1184,86	233,45	260,49	114,33	0,00	0,00	1531,33	562,68	0,00
45	Purga	43	43,47	1	20	561507,47	0,00	70,42	118,49	23,35	26,05	11,43	0,00	0,00	153,13	56,27	0,00
46	Corriente sin purga	43	48	1	20	5053567,20	0,00	633,78	1066,38	210,11	234,44	102,90	0,00	0,00	1378,20	506,41	0,00
47	Recirculación microalgas	44	48	1	20	4228,76	0,00	63,43	58,95	0,18	5,91	0,72	0,00	0,00	75,48	45,83	0,00
48	Salida sedimentador 3	44	-	1	20	557278,71	0,00	6,99	59,54	23,17	20,14	10,71	0,00	0,00	77,65	10,44	0,00
49	Corriente con microalgas recirculacion	45,46	50	1	20	5057795,96	0,00	697,22	1125,33	210,28	240,34	103,62	0,00	0,00	1453,68	552,24	0,00
50	Agua fresca	-	50	1	20	942204,04	0,00	0,00	0,00	28,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	Corriente a piscifactoría	48,49	1	1	20	6000000,00	0,00	697,22	1125,33	238,55	240,34	103,62	0,00	0,00	1453,68	552,24	0,00
52	Agua fresca procesado peces	-	4	1	20	8000,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	Agua evaporada total	-	-	1	20	385286,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 7. Balance de materia (flujo másico)

Número corriente	Descripción	De	A	P (atm)	T (°C)	Agua (kg/día)	Peces (kg/día)	Sólidos totales suspendidos TSS (kg/día)	Carbono orgánico total TOC (kg/día)	Carbono inorgánico IC (kg/día)	Nitrógeno total TN (kg/día)	Fósforo total TP (kg/día)	Metano (kg/día)	CO ₂ (kg/día)	DQO (kg/día)	DBO (kg/día)	H ₂ S (kg/día)
0	Alimentación peces	-	-	1	20	321,34	0,00	10000000,00	1600000,00	0,00	640000,00	1000000,00	0,00	0,00	11900000,00	4533900,00	0,00
1	Agua residual producción pescado	-	6	1	15	6000000,00	0,00	200,00	261,00	65,00	31,00	19,00	0,00	0,00	678,00	258,32	0,00
2	Pescado	-	-	-	-	0,00	4000,00	1080000,00	492480,00	0,00	120420,00	25164,00	0,00	0,00	1285200,00	489661,20	0,00
3	Pescado procesada	-	-	-	-	0,00	3000,00	1080000,00	492480,00	0,00	120420,00	25164,00	0,00	0,00	1285200,00	489661,20	0,00
4	Agua residual pescado procesado	-	6	1	15	8000,00	0,00	10,00	381,00	51,00	82,00	6,00	0,00	0,00	11,90	4,53	0,00
5	Residuos sólidos procesado pescado	-	9	-	-	0,00	1000,00	1080000,00	492480,00	0,00	120420,00	25164,00	0,00	0,00	1285200,00	489661,20	0,00
6	Agua residual total	1,4	8,7	1	15	6008000,00	0,00	199,75	261,16	64,98	31,07	18,98	0,00	0,00	677,11	257,98	0,00
7	Sólidos del agua residual	6	9	1	15	108223,37	0,00	10000,00	5721,35	64,98	1047,26	639,89	0,00	0,00	11900,00	4533,90	0,00
8	Líquido agua residual 1	6	15	1	15	5899776,63	0,00	19,97	161,00	64,98	12,43	7,59	0,00	0,00	471,24	179,54	0,00
9	Residuos sólidos totales	7,5	10	1	15	108223,37	1000,00	19240,15	9934,86	64,98	2077,54	855,18	0,00	0,00	22895,78	8723,29	0,00
10	Residuos sólidos totales a digestor	9	11,12	1	40	108223,37	1000,00	19240,15	9934,86	64,98	2077,54	855,18	0,00	0,00	22895,78	8723,29	0,00
11	Biogas digestión anaerobia	10	12	1	35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
12	Biogas salida gasómetro	11	13	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
13	Biogas hacia fotobiorreactores	11	17,18,19,20	1,5	55,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
14	Productos digestión anaerobia	9	14,15	1	35	108223,37	0,00	2886,02	1490,23	1352,92	2077,54	855,18	0,00	0,00	9018,65	3436,10	0,00
15	Biosólidos	11	-	1	35	7639,06	0,00	37086,54	17549,44	1352,92	4931,17	3013,11	0,00	0,00	97103,81	46245,69	0,00
16	Líquido agua residual 2	11	16	1	35	100584,32	0,00	288,60	270,58	1352,92	1860,82	691,29	0,00	0,00	2328,86	184,85	0,00
17	Agua residual a fotobiorreactores	8,15	21,22,23,24	1	20	6000360,94	0,00	24,48	162,84	86,57	43,41	19,05	0,00	0,00	502,38	179,63	0,00
18	Biogas a columna de absorción 1	12	27	1,5	55,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
19	Biogas a columna de absorción 2	12	31	1,5	55,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
20	Biogas a columna de absorción 3	12	35	1,5	55,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
21	Biogas a columna de absorción 4	12	39	1,5	55,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,06	515,83	0,00	0,00	8,11
22	Líquido a fotobiorreactor 1	16	25,28	1	20	1500090,24	0,00	24,48	162,84	86,57	43,41	19,05	0,00	0,00	502,38	179,63	0,00
23	Líquido a fotobiorreactor 2	16	29,32	1	20	1500090,24	0,00	24,48	162,84	86,57	43,41	19,05	0,00	0,00	502,38	179,63	0,00
24	Líquido a fotobiorreactor 3	16	33,36	1	20	1500090,24	0,00	24,48	162,84	86,57	43,41	19,05	0,00	0,00	502,38	179,63	0,00
25	Líquido a fotobiorreactor 4	16	37,4	1	20	1500090,24	0,00	24,48	162,84	86,57	43,41	19,05	0,00	0,00	502,38	179,63	0,00
26	Líquido a columna de absorción 1	21	26	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
27	Líquido retorno de columna de absorción 1	25	28	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
28	Biogas mejorado 1	17	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	955,57	95,43	0,00	0,00	0,00
29	Salida fotobiorreactor 1	21,26	41	1	20	1403768,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
30	Líquido a columna de absorción 2	22	30	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
31	Líquido retorno de columna de absorción 2	29	32	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
32	Biogas mejorado 2	18	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	955,57	95,43	0,00	0,00	0,00
33	Salida fotobiorreactor 2	22,3	41	1	20	1403768,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
34	Líquido a columna de absorción 3	23	34	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
35	Líquido retorno de columna de absorción 3	33	36	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
36	Biogas mejorado 3	19	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	955,57	95,43	0,00	0,00	0,00
37	Salida fotobiorreactor 3	23,33	41	1	20	1403768,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
38	Líquido a columna de absorción 4	24	38	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
39	Líquido retorno de columna de absorción 4	37	40	1	20	312,10	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
40	Biogas mejorado 4	20	-	1	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	955,57	95,43	0,00	0,00	0,00
41	Salida fotobiorreactor 4	24,38	42	1	20	1403768,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
42	Microalgas fotobiorreactor 1,2,3	28,32,36	42	1	20	4211306,00	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
43	Corriente final microalgas	40,41	43	1	20	5615074,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
44	Salida deposito	42	44,45	1	20	5615074,67	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
45	Purga	43	43,47	1	20	561507,47	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
46	Corriente sin purga	43	48	1	20	5053567,20	0,00	125,41	211,01	41,58	46,39	20,36	0,00	0,00	272,72	100,21	0,00
47	Recirculación microalgas	44	48	1	20	4228,76	0,00	15000,00	13940,41	41,58	1396,39	170,36	0,00	0,00	17850,00	10837,50	0,00
48	Salida sedimentador 3	44	-	1	20	557278,71	0,00	12,54	106,83	41,58	36,15	19,22	0,00	0,00	139,34	18,73	0,00
49	Corriente con microalgas recirculacion	45,46	50	1	20	5057795,96	0,00	137,85	222,49	41,58	47,52	20,49	0,00	0,00	287,41	109,19	0,00
50	Agua fresca	-	50	1	20	942204,04	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	Corriente a piscifactoría	48,49	1	1	20	6000000,00	0,00	116,20	187,55	35,05	40,06	17,27	0,00	0,00	242,28	92,04	0,00
52	Agua fresca procesado peces	-	4	1	20	8000,00	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	Agua evaporada total	-	-	1	20	385286,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 8. Balance de materia (concentración)

CAPÍTULO III. BASES DE DISEÑO

En este apartado se explican las bases de diseño utilizadas en el proyecto de tratamiento de las aguas residuales.

1. Bases de diseño del proceso

1.1. Condiciones de diseño

El proyecto se divide en dos procesos diferentes, la digestión anaerobia de la fracción sólida de residuos orgánicos (unidad 1) y el tratamiento del agua en un fotobiorreactor con microalgas (unidad 2). Cada uno de estos tiene lugar a diferentes condiciones:

- *Digestión anaerobia*: la temperatura de operación es de 35°C y la presión normal de 1 bar. Por otro lado, las condiciones de diseño son de 70°C y 4,5 bar de temperatura y presión, respectivamente.
- *Fotobiorreactores*: la temperatura normal es de 20°C y la presión normal de 1 atm.

1.2. Alimentación de cada unidad

1.2.1. Unidad 1

- *Alimentación*: la corriente que contiene los sólidos suspendidos residuales provenientes de la piscifactoría y la planta de procesado de pescado que se encuentran fuera de nuestros límites de batería.

El flujo total de residuos que llegan hasta el digestor es 108.223,4 kg/h dependiendo de la cantidad de agua que se produce en la piscifactoría y la planta de procesado. Estos valores son 1,5 m³ de agua por cada kg de pez producido en la piscifactoría (Piedrahita, 2003) y 2 l agua por cada kg de pez en la planta (Ghaly y col. 2013).

La producción de peces en la piscifactoría es de 4.000 kg por día (Larrán y col. 2006).

- *Composición*: el agua residual de la piscifactoría tiene unas concentraciones de 678 mg/l de demanda química de oxígeno (DQO), 261 mg/l de carbono orgánico total (TOC), 65 mg/l de carbono inorgánico (IC), 31 mg/l de nitrógeno total (TN), 19 mg/l de fósforo total (TP) y 200 mg/l de sólidos totales suspendidos (TSS) (Posadas y col. 2014).

Por otro lado, las concentraciones del agua residual de la planta de procesado son de 381 mg/l de TOC, 51 mg/l de IC, 82 mg/l de TN, 6 mg/l de TP y 10 mg/l de TSS (Posadas y col. 2014). Para el cálculo de la DQO se utiliza la relación de 1,4 kg DQO/kg VS (De Mes y col. 2003) donde los sólidos volátiles (VS) se obtienen de la relación 0,85 kg VS/kg TSS.

Además, en la planta también se producen el pescado procesado que corresponde a un 75% del total de pescado que entra y un 25% de residuos sólidos que se llevarán al digestor anaerobio (Ghaly y col. 2013).

1.2.2. Unidad 2

- *Alimentación:* en este caso es el agua residual la cual proviene de la digestión anaerobia de los sólidos y el sobrenadante del agua residual de la piscifactoría proveniente del sedimentador situado antes del digestor. El flujo total que llega es de 6.000.757,5 kg/h.
- *Composición:* esta agua residual tiene unas concentraciones de 24,5 mg/l de TSS, 120,3 mg/l de TOC disuelto, 87,9 mg/l de IC, 45,2 mg/l de TN, 19,7 mg/l de TP, 502,4 mg/l de DQO y 179,6 mg/l de DBO. El ratio (DBO/DQO) usado para obtener la concentración de DBO es de 0,381 (Kocer y col. 2013).

2. Diseño de proceso

2.1. Digestión anaerobia

Para el diseño del proceso de digestión se utilizan los siguientes valores de los parámetros más importantes en la digestión (Omil y col. 1996):

- Producción de metano = 0,217 kg CH₄/kg DQO eliminada
- Composición del biogás = 65 % CH₄, 34 % CO₂, 1 % H₂S
- DQO eliminada = 76 %
- Biodegradabilidad = 85 %
- HRT = 4,5 días
- Temperatura = 35°C

2.2. Fotobiorreactores (HRAP)

En este caso, las variables más importantes son los porcentajes de eliminación de nutrientes del agua (Posadas y col. 2014) y la composición de las microalgas (Serejo y col. 2015):

- IC eliminado = 86 %
- TOC eliminado = 86 %
- N eliminado = 85 %
- P eliminado = 94 %
- DQO eliminada = 77 %
- DBO eliminada = 95 %
- Composición *Chlorella vulgaris*: 49 % de C, 9 % de N y 1 % de P.

2.3. Columna de absorción

La variable más importante es el ratio L/G que debe entrar en la columna para que se produzca la absorción de forma eficaz y el flujo de biogás (Serejo y col. 2015):

- Flujo de biogás = 1,2 m³/m²h
- L/G = 10
- CO₂ eliminado = 90 %
- H₂S eliminado = 100 %
- Pérdidas de CH₄ = 2 %

3. Bases de diseño de ingeniería

- *Códigos de diseño*: para el diseño de los equipos se utiliza el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) VIII division 1.
- *Sistema de unidades*: se usa el sistema internacional (SI).

CAPÍTULO IV. EQUIPOS

1. Diseño de equipos

1.1. Digestor anaerobio

El tipo de digestor escogido es un reactor continuo de tanque agitado (CSTR). Se ha elegido este tipo ya que se consigue que el sustrato sea homogéneamente distribuido gracias a la agitación, manteniendo los sólidos siempre en suspensión.

Lo primero que hay que hacer es calcular el volumen necesario de reactor. Para ello, se utiliza la ecuación (1):

$$Volumen = \frac{\text{Flujo a digestor}}{\rho} \cdot HRT = 487 \text{ m}^3 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

$$\text{Flujo a digestor} = 108.223,4 \text{ kg/día}$$

$$\rho = \text{densidad del agua residual} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$HRT = \text{tiempo de retención hidráulico} = 4,5 \text{ días (Lema y col. 1995)}$$

Este volumen calculado corresponde a la cantidad de líquido que hay dentro del digestor. Aparte de esto, hay que añadir el volumen del espacio de cabezas del digestor, el cual se puede suponer como un tercio del volumen total del líquido, por lo tanto:

$$Volumen \text{ gas} = \frac{487}{3} = 162,3 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ total reactor} = 487 + 162,3 = 649,3 \text{ m}^3$$

Los parámetros de diseño del reactor vienen definidos en la tabla siguiente, teniendo en cuenta las ecuaciones (2) y (3) obtenidas del código ASME Sección VIII, Div.1.

$$T_{\text{diseño}} = T_{\text{operación}} + \text{entre } 20 \text{ y } 50^{\circ}\text{C} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ barg} \quad \text{ya que } P_{\text{operación}} < 2 \text{ barg} \quad \text{Ecuación 3}$$

$P_{operación}$	0	barg
$P_{diseño}$	3,5	barg
$T_{operación}$	308	K
$T_{diseño}$	343	K

Tabla 9. Condiciones de diseño digestor anaerobio.

Una vez se tienen los parámetros de diseño del reactor (Tabla 9), se calcula la altura y el diámetro teniendo en cuenta que los valores más comunes para un digestor cilíndrico son entre 6 y 38 m de diámetro y una altura de entre 6 y 14 m (Turovskiy y col. 2006). Para nuestro proceso se escoge un diámetro de 10 m y se calcula la altura a partir de este valor:

$$Altura = \frac{Volumen}{Area} = \frac{Volumen}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = 8,27 \quad Ecuación 4$$

donde:

D = diámetro del digestor = 10 m.

Lo siguiente que hay que realizar es determinar el espesor del reactor. Para ello, se usará la ecuación (5) que viene definida en el código ASME, sección VIII:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad Ecuación 5$$

donde:

t = espesor mínimo de carcasa (in).

P = presión admisible (psi).

S = tensión máxima admisible (psi).

E = eficacia = 1

R = radio interior (in).

El material elegido para construir el reactor es el acero al carbono SA-515. Los resultados obtenidos son los siguientes (Tabla 10):

S	13700	psi
P	14,7	psi
R	196,85	in
t	0,21	in
	0,54	cm
Sobrespesor	0,3	cm
t_{real}	0,84	cm
Material	SA-515	ASME

Tabla 10. Espesor de la pared del digestor anaerobio.

Por otro lado, para calcular el espesor de la cubierta y del fondo del reactor se usa la ecuación (6), obtenida también del mismo código ASME que el anterior:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P} \quad \text{Ecuación 6}$$

donde:

t = espesor mínimo de carcasa (in).

P = presión admisible (psi).

S = tensión máxima admisible (psi).

E = eficacia = 1

D = diámetro interior (in).

Al igual que la carcasa, el material escogido es el acero al carbono SA-515 y la forma de ambos es elipsoidal. Los resultados son los siguientes (Tabla 10) y (Tabla 11):

S	13700	psi
P	14,7	psi
D	393,7	in
E	1	
t	0,21	in
	0,54	cm
Sobrespesor	0,3	cm
T real	0,84	cm
Material	SA-515	ASME

Tabla 11. Espesor cabeza digestor.

S	13700	psi
P	28,2	psi
D	393,7	in
E	1	
t	0,40	in
	1,03	cm
Sobrespesor	0,3	cm
T real	1,33	cm
Material	SA-515	ASME

Tabla 12. Espesor fondo digestor.

Por último, se calcula la cantidad de energía necesaria para la agitación del líquido en el interior del reactor. Según Appels y col. (2008) la energía necesaria es de media de 6,5 w/m³ de volumen de digestor, por lo tanto la energía total consumida es:

$$Energia = volumen reactor \cdot 6,5 = 101,3 kWh \quad Ecuación 7$$

1.2. Fotobiorreactor

El tipo de reactor elegido para este proyecto es un fotobiorreactor abierto de carrusel tipo High Rate Algal Ponds (HRAP), en el cual se tratará el agua residual procedente de la digestión anaerobia y del procesado y cria de peces utilizando microalgas (*Chlorella vulgaris*), y que además permitirá la eliminación del CO₂ del biogás.

Se diseñan cuatro fotobiorreactores distintos con las mismas dimensiones.

Para el diseño de este sistema, se siguen los pasos definidos en el (Oswald et al. 1998):

- Determinar la carga de DBO (demanda biológica de oxígeno) a tratar en el HRAP. Según el balance de materia, este valor es:

$$Carga DBO = Q \cdot [DBO] = 1077,9 \frac{kg}{día} \quad Ecuación 8$$

- Determinar la concentración de DQO que entra en el HRAP:

$$[DBO] = 179,6 \frac{mg}{l}$$

- Estimar la concentración de biomasa (C_o) en función de la DBO de entrada al HRAP y de su eliminación en el mismo:

$$C_o = [DBO] \cdot 0,99 = 177,8 \frac{mg}{l} \quad Ecuación 9$$

- Con la concentración de algas (biomasa), determinar la profundidad del fotobiorreactor con la siguiente ecuación (10):

$$d = \frac{9000}{C_o} = 50,6 cm = 0,05 m \quad Ecuación 10$$

- Usando la profundidad calculada en el paso anterior, obtener el tiempo requerido para asimilar suficiente energía solar en las algas para liberar el oxígeno necesario para eliminar el porcentaje deseado de DBO usando la ecuación (11):

$$\theta = \frac{[DBO]_{eliminada} \cdot d \cdot h}{1000 \cdot F \cdot S} = 7,3 días \quad Ecuación 11$$

donde:

d = profundidad del fotobiorreactor (cm).

h = calor de combustión de microalgas = 5,5 cal/mg

S = radiación solar = 333,4 Langley/día

F = eficacia fotosintética = 0,02 (0/1)

- Estimar la producción de oxígeno (P) en el HRAP con la ecuación (12):

$$P = \frac{0,015 \cdot d}{\theta} \cdot C_o = 18,4 \frac{g}{m^2 \cdot d} = 183,7 \frac{kg}{ha \cdot día} \quad \text{Ecuación 12}$$

- Calcular la productividad de microalgas en el HRAP a partir de la productividad de oxígeno:

$$P_{algas} = \frac{P}{1,5} = 12,2 \frac{g}{m^2 \cdot d} \quad \text{Ecuación 13}$$

- Con la masa total de oxígeno, calcular el área con la ecuación (14):

$$Area = \frac{Carga\ de\ DBO\ a\ eliminar}{Producción\ de\ O_2} = 57505,4\ m^2 = 5,8\ ha \quad \text{Ecuación 14}$$

- Estimar la dimensiones del espacio suponiendo que L/W=40 (ratio óptimo según evidencias experimentales) y las pérdidas totales de carga sean menores de 0,25 ft:

$$L = 536,2\ m$$

$$w = 13,4\ m$$

$$N^o\ canales = 8$$

$$Volumen\ reactor = Area \cdot d = 29102,2\ m^3$$

$$\Delta d = \frac{L \cdot v^2}{\left(\frac{1,486}{n}\right)^2} \cdot \left[\frac{d \cdot w}{w} + 2 \cdot d\right]^{1,33} = 0,108\ ft \quad \text{Ecuación 15}$$

donde

v = velocidad del líquido = 0,5 ft/s

n = coeficiente de Manning para cubierta plástica = 0,008

L = longitud del HRAP = 1737,2 ft

w = anchura del canal del HRAP = 43,4 ft

d = profundidad del HRAP = 1,7 ft

$$\Delta d \text{ energía cinética} = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot N = 0,031 \text{ ft} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\Delta d \text{ total} = 0.108 + 0.03 = 0.139 \text{ ft} < 0,25 \text{ ft}$$

- Calcular la potencia necesaria para el mezclado con la siguiente ecuación (10) (Andersen 2005):

$$P = \frac{Q \cdot W \cdot \Delta d}{102 \cdot e} = 0,87 \text{ kW} \quad \text{Ecuación 17}$$

donde

Q = flujo volumétrico de líquido = w-v-d = 1,05 m³/s

W = densidad = 1000 kg/m³

E = eficacia = 0,5

$$P_{total} = P \cdot \left(\frac{N}{2}\right) = 3,5 \text{ kW} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\text{Energía consumida} = 83,4 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

- Por último, se estima la cantidad de agua evaporada (ecuación 19) en el HRAP asumiendo una evaporación experimental típica de:

$$\text{Evaporación} = 6,7 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

$$\text{Agua evaporada} = \text{Area} \cdot \text{evaporación} = 385,3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\% \text{ Agua evaporada} = 9,73 \%$$

Para su construcción, se escavará su volumen en el suelo y se dispondrá de una cubierta por polivinilo de cloro (PVC) con un espesor de 0,75 mm.

1.3. Columna de absorción

El tipo de columna elegido es de burbujeo y se construirán 4 columnas, una por cada HRAP. Se elige este tipo debido a su facilidad de operación y al mínimo riesgo de que puedan formarse obstrucciones en su interior debido a la presencia de microalgas en el líquido de recirculación

Gracias a esto, las dimensiones de las torres serán más pequeñas y su construcción más barata. En estas columnas se producirá la eliminación del CO₂ y H₂S del biogás utilizando como liquido absorbente el agua con microalgas de los fotobiorreactores (que se recircula por las corrientes de forma continua).

Lo primero que se calcula es el diámetro de la torre a partir de la velocidad de flujo másico de biogás que entra a cada columna que es de 1,2 m³/m²h (Serejo y col. 2015).

$$\text{Flujo volumétrico biogás} = 3,5 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Area} = \frac{\text{Flujo volumetrico biogas}}{\text{Velocidad flujo masico}} = 2,9 m \quad \text{Ecuación 20}$$

Por otro lado, la altura del líquido dentro de la columna es de 2 m un poco mayor que la altura utilizada en Serejo y col. (2015) para que así la distribución del gas sea mejor y el contacto mayor. Por último, el diámetro de la columna se calcula con la ecuación (21):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Area}}{\pi}} = 1,9 m \quad \text{Ecuación 21}$$

Los parámetros de diseño de la torre son, utilizando las ecuaciones descritas anteriormente (2) y (3) (Tabla 13):

P_{operación}	0	barg
P_{diseño}	3,5	barg
T_{operación}	293	K
T_{diseño}	328	K

Tabla 13. Parámetros de diseño de columna de absorción.

Como en el digestor anaerobio, se calculan los espesores mínimos utilizando las ecuaciones (4) y (5) definidas en el código ASME, sección VIII. El material elegido para construir la columna en este caso es la fibra de vidrio reforzado (FRB). Los resultados obtenidos están definidos en la Tabla 14:

S	3000	psi
P	14,7	psi
R	37,7	in
E	1	
t	0,19	in
	0,47	cm
Sobreespesor	0,2	cm
T real	0,67	cm
Material	FRP	

Tabla 14. Espesor pared columna.

Al igual que la carcasa, el material escogido es la fibra de vidrio reforzada y el tipo de cabeza y fondo es elipsoidal fija. Los resultados son los siguientes (tablas 15 y 16):

S	3000	psi
P	14,7	psi
D	75,4	in
E	1	
t	0,19	in
	0,47	cm
Sobreespesor	0,2	cm
T real	0,67	cm
Material	FRP	

Tabla 15. Espesor cabeza columna.

S	3000	psi
P	42,780	psi
D	75,4	in
E	1	
t	0,54	in
	1,37	cm
Sobreespesor	0,2	cm
T real	1,57	cm
Material	FRP	

Tabla 16. Espesor fondo columna.

1.4. Intercambiador de calor

En nuestro proceso es necesario el calentamiento de los residuos sólidos antes del digester, para que de esta manera el proceso de digestión se produzca de forma correcta.

El intercambiador escogido para este proceso es un intercambiador de placas, ya que tiene una alta eficacia de transferencia de calor y su coste de instalación es bajo. Además, es el que mejor trabaja con sólidos en suspensión como es nuestro caso.

Para el diseño del intercambiador se han seguido los pasos explicados en el método explicado en Coulson and Richardson (2005):

- *Determinar el calor necesario* (Turovskiy y col. 2006): la masa de agua residual que queremos calentar es de 108.223,4 kg/día, que se calentará desde 15°C hasta 40°C (aunque la digestión se produce a

35°C, aumentamos un poco más la temperatura para compensar las posibles pérdidas de calor en el digestor) y cuyas propiedades físicas se pueden equiparar a las del agua. Por lo tanto:

$$Q = W_f \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 131,5 \text{ kW} \quad \text{Ecuación 22}$$

donde

W = flujo de agua residual = 108.223,4 kg/día

C_p = calor específico del agua residual = 4.200 J/kg·K

T₂ = temperatura de salida = 40°C

T₁ = temperatura de entrada = 15 °C

- *Determinar las propiedades del agua residual:* estas propiedades serán iguales a las del agua y se tomarán a la temperatura media entre la entrada y salida (27,5°C).

$$\rho = 996,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 8,421 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$k = 6,151 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

- *Calcular la cantidad de vapor necesario:* como fluido caliente usaremos un vapor a baja presión (LPS) a 2 bar y 120°C y su flujo másico se determina con la ecuación siguiente:

$$Q = m_v \cdot \lambda \quad \text{Ecuación 23}$$

$$m_v = \frac{Q}{\lambda} = 0,06 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5.163,6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

donde

Q = calor necesario = 131,5 kW

λ = entalpía de vaporización del agua = 2.200,7 kJ/kg

- *Calcular la diferencia de temperaturas logarítmica (ΔTLN) con la ecuación 24:*

$$\Delta T_{LN} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = 91,93 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 24}$$

donde

$$\Delta T_1 = T_1 - t_2 = 120 - 40 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1 = 120 - 15 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Se calcula el número de unidades de transferencia (NTU) y el factor de corrección F_t :

$$NTU = \frac{t_o - t_i}{\Delta T_{LN}} = 0,28 \quad \text{Ecuación 25}$$

donde

$$T_o = \text{temperatura entrada del flujo} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = \text{temperatura de salida del flujo} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con el valor de NTU y a partir de la gráfica 12.62 de Coulson y Richardson (2005), se obtiene el factor F_t :

$$F_t = 0,985$$

- Calcular la diferencia de temperaturas correcta (ΔT_M) con la ecuación (26):

$$\Delta T_M = F_t \cdot \Delta T_{LN} = 90,55 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 26}$$

- Estimar el valor de coeficiente global de transferencia de materia (U) a partir de la tabla 12.1 y los factores de ensuciamiento (h_d) a partir de la tabla 12.9 de Coulson y Richardson (2005):

$$U = 3.500 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_{id} = 5.000 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (\text{vapor que condensa})$$

$$h_{od} = 30.000 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (\text{agua residual})$$

- Calcular el área requerida para el intercambiador con la ecuación (27):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_M \quad \text{Ecuación 27}$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_M} = 0,415 \text{ m}^2$$

- *Determinar el número de platos:* usando la ecuación (28) y como área de plato escogida es de 0,3 m² con 0,32 m de altura y 0,95 m de longitud.

$$N^{\circ} \text{ platos} = \frac{\text{Area total}}{\text{Area de un plato}} = \frac{0,415}{0,3} = 1,38 \cong 2 \quad \text{Ecuación 28}$$

- *Calcular el número de pasos y la distribución:*

$$\text{Canales por paso} = \frac{(N^{\circ} \text{ platos} - 1)}{2} = 1$$

$$\text{Distribución} = 1 \text{ paso por canal}$$

- *Determinar el coeficiente de transferencia de calor del agua residual (h_o):* para ello, se escoge un espacio entre platos de 2 mm por lo que:

$$\text{Area canal} = \text{Anchura} \cdot \text{espacio} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,32 = 6,32 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$d_e = 4 \text{ mm}$$

La velocidad del agua dentro del intercambiador es (ecuación 29):

$$u = \frac{W_f}{\rho} \cdot \frac{1}{\text{Area canal} \cdot N} = 1,98 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde N es el número de canales por paso (3). Ahora se determinan el número de Reynolds (Re), de Pradelt (Pr) y de Nusselt (Nu):

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d_e}{\mu} = 9407,5 \quad \text{Ecuación 30}$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} = 5,75 \quad \text{Ecuación 31}$$

$$Nu = 0,26 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,4} = 127,1 \quad \text{Ecuación 32}$$

$$Nu = \frac{h_d \cdot d_e}{k} \quad \rightarrow \quad h_o = 19542,1 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

donde:

ρ = densidad de agua residual (kg/m³)

u = velocidad del agua en el intercambiador (m/s)

d_e = diámetro equivalente hidráulico = 0,004 m

μ = viscosidad del agua residual = $8,4 \cdot 10^{-4}$ Pa·s

C_p = calor específico del agua residual = 4.200 J/kg·K

k = conductividad térmica = $6,15 \cdot 10^{-4}$ kW/m·K

h_o = coeficiente de transferencia de calor del agua residual
(W/m²·K)

- El coeficiente de transferencia del vapor (h_i) se puede suponer como 12.000 W/m²·K, ya que no va a depender de este.
- Por último, se calcula el coeficiente global con la ecuación (34) y se comprueba si es igual o mayor al supuesto. Como material se elige titanio con una conductividad de 21 W/m²·K y un espesor de las placas de 0,5 mm.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{id}} + \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k_w} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{1}{h_o} = 3,92 \cdot 10^{-4} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$U = 2.553,31 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Este valor es menor que el supuesto (3.500), por lo que hay que modificar la distribución del intercambiador. Por ejemplo, se aumenta el número de canales por paso de 1 a 2:

$$N^{\circ} \text{ platos} = (2 \cdot 2) + 1 = 5$$

El coeficiente cambia, al igual que la velocidad del agua residual y los números de Reynolds y Nusselt:

$$u = 0,99 \frac{m}{s}$$

$$Re = 4.703,7 \quad Nu = 80,98$$

$$h_d = 12.453,8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ahora el coeficiente global y el requerido son los siguientes:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{id}} + \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k_w} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{1}{h_o} = 4,21 \cdot 10^{-4}$$

$$U = 2.376,58 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U_{requ} = 3.500 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 1.750 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Este valor ya es mayor que el coeficiente requerido, por lo que esta distribución ya es válida. Ahora es necesario calcular la caída de presión en el intercambiador:

- *Caída de presión en platos a partir de la ecuación (35):*

$$j_f = 0.6 \cdot Re^{-0.3} = 0,05$$

$$\Delta P_p = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L_p}{d_e}\right) \cdot \frac{\rho \cdot u}{2} = 44.319,6 \frac{N}{m^2} \quad \text{Ecuación 35}$$

donde

L_p = longitud plato · número de pasos = 0,95 m

u = velocidad del fluido = 0,99 m/s

j_f = factor de fricción

- *Caída de presión debido a pérdidas a partir de la ecuación (36):*

$$\Delta P_{pt} = 1,3 \cdot \frac{\rho \cdot u_{pt}^2}{2} \cdot N = 16,6 \frac{N}{m^2} \quad \text{Ecuación 36}$$

donde

U_{pt} = velocidad a través de puertas = 0,16 m/s

N = número de pasos = 1

Area puerta = 0,0785 m²

La caída de presión total es de 44.336,2 N/m² (0,44 bar), valor que se encuentra dentro de los límites permitidos.

1.5. Bombas

En esta sección se describirá el diseño de las bombas del proceso. El tipo de bomba utilizado es la bomba centrífuga.

Para el diseño de estas es necesario determinar los diámetros de las tuberías de succión e impulsión de las bombas, que están definidas antes. También hay que calcular la diferencia de presión que proporciona la bomba (ΔP), su potencia y el NPSH disponible. Nos basamos en las ecuaciones proporcionadas en Hall 2012.

Para cada una de las bombas, los diámetros son los mostrados en la tabla 17:

	D _{succión} (mm)	D _{impulsión} (mm)
P-101	168,3	114,3
P-102	17,1	17,1
P-103	60,3	33,4
P-201, P-202, P-203, P-204	13,7	13,7
P-205	273	219,1
P-206	7,7	7,7

Tabla 17. Diámetros exteriores de las bombas del proceso.

Ahora es necesario calcular la diferencia de presión que tiene que dar cada bomba. Para ello, se analiza todo el recorrido que tiene que realizar el fluido en las partes de succión e impulsión calculando las pérdidas de cada que pueda haber y viendo la presión en el punto de descarga y la presión del punto de succión (tabla 18).

	ΔP (bar)
P-101	0,56
P-102	0,51
P-103	0,68
P-201, P-202, P-203, P-204	0,65
P-205	0,69
P-206	0,52

Tabla 18. Caídas de presión de las bombas.

A continuación se calcula la potencia de las bombas, usando la ecuación 19 y cuyos resultados se muestran en la tabla 19:

$$\rho \cdot \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho} - \frac{\Delta P_f}{\rho} - W = 0 \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\text{Potencia} = W \cdot \frac{\dot{m}}{\eta} \quad \text{Ecuación 38}$$

donde:

W = trabajo realizado por la bomba (J/kg)

ΔP = diferencia de presión en el sistema (N/m²)

ΔZ = diferencia de altura (m)

ΔP_f = pérdidas de presión debido a la fricción (N/m²)

P = densidad del líquido (kg/m³)

η = eficacia de la bomba

m = flujo másico (kg/s)

	W (J/kg)	Potencia (W)
P-101	73	1264
P-102	76,8	9,5
P-103	77,4	129,3
P-201, P-202, P-203, P-204	91,1	1,8
P-205	140,2	11719
P-206	81,8	5,2

Tabla 19. Potencia total de las bombas.

Por último, se calcula el NSPH disponible y la presión máxima de succión y de *shut-off* (tabla 20) con las siguientes ecuaciones:

$$NSPH_{disponible} = \frac{P}{\rho} + H - \frac{P_f}{\rho} - \frac{P_v}{\rho} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$P_{max.succión} = P_{dis. deposito} + \rho \cdot g \cdot (h_{elevación} + h_{máxima}) \quad \text{Ecuación 40}$$

$$P_{shutoff} = P_{max.succión} + 1,2 \cdot \Delta P_{diseño} \quad \text{Ecuación 41}$$

donde:

P = presión del líquido en el depósito en la succión de la bomba (N/m²)

H = altura del líquido sobre la bomba en la parte de succión (m)

P_f = presión perdida en la tubería de succión (N/m²)

P_v = presión de vapor del líquido en la zona de succión (N/m²)

	NSPH (m)	P _{max succión} (bar)	P _{shutoff}
P-101	30	3,9	4,5
P-102	24,9	3,9	4,4
P-103	34,2	3,7	4,5
P-201, P-202, P-203, P-204	4,1	2,2	3,0
P-205	83,4	4,4	5,2
P-206	31,3	3,9	4,5

Tabla 20. NSPH y presiones de las bombas.

1.6. Compresor

Para el caso de fluidos compresibles, como son los gases o vapores, se utilizan compresores en vez de bombas para su impulsión. La energía cinética se convierte en energía mecánica, la cual impulsa al fluido a una presión y velocidad determinadas.

Existen varios tipos de compresores (isotermos, adiabático, politrópicos y por etapas). En nuestro proyecto se ha usado un compresor adiabático para el biogás que se forma durante la digestión anaerobia de los residuos sólidos, ya que es el más sencillo de calcular y es más versátil que los otros tipos.

El parámetro más importante es la potencia, que se calcula con la ecuación (42):

$$W = \dot{m} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{Z \cdot R \cdot T}{P_m} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1) \cdot k} - 1 \right] = 4 \text{ kW} \quad \text{Ecuación 42}$$

donde:

K = coeficiente de dilatación adiabática = 1,4

P_m = peso molecular del gas = 23,41 g/mol

R = constante de los gases = 8,31 kJ/K·kmol

T = temperatura del fluido = 293 K

P₂ = presión impulsión = 2 bar

P₁ = presión de succión = 1 bar

M = flujo másico = 0,0075 kg/s

W = potencia compresor (kW)

1.7. Diseño de tuberías

Los parámetros principales a definir son el diámetro, el material y el Schedule (catálogo).

Para el cálculo del diámetro de las tuberías con líquido se tiene en cuenta los siguientes criterios de pérdida de carga (bar/km) y la velocidad (m/s):

- *Succión de bomba*

En punto de burbuja → $\Delta P < 0,5 \text{ bar/km}$ y $u < 1 \text{ m/s}$

Subenfriado → $\Delta P < 2 \text{ bar/km}$ y $u < 1,5 \text{ m/s}$

- *Impulsión*

$\Delta P < 5 \text{ bar/km}$ y $u < 3 \text{ m/s}$

- *Por gravedad*

$\Delta P < 0,3 \text{ bar/km}$ y $u < 0,5 \text{ m/s}$

Por otro lado, para el diseño de tuberías con circulación de gases se siguen la siguiente condición:

$\Delta P < 0,5 \text{ bar/km}$ y $u < 30 \text{ m/s}$

El procedimiento a seguir para el diseño de las tuberías es el siguiente: primero se calcula la velocidad del fluido y la caída de presión que habría en cada tubería normalizada para el flujo másico que pasa a través de este. Después se determina el espesor real requerido para cada tubería del proceso. Las ecuaciones utilizadas para estos cálculos son los siguientes:

- *Velocidad en la tubería (ecuación 43):*

$$v = \frac{Q_{\text{especifico}}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2} \quad \text{Ecuación 43}$$

donde

$$Q_{\text{especifico}} = Q_{\text{normal}} \cdot 1,2 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

d_i = diámetro interno tubería (m)

- *Caída de presión en la tubería (ecuación 44):*

$$\frac{\Delta P_f}{L} = \frac{8 \cdot f}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot Q_{\text{especifico}}^2}{2} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde f es el factor de fricción que se calcula con las ecuaciones siguientes dependiendo de si el régimen del flujo es laminar o tubular.

- Laminar ($Re < 2100$)

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 45}$$

- Turbulento ($Re > 2100$)

$$\frac{1}{\sqrt{f_{Chen}}} = 2 \cdot \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re} \cdot \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)^{1,1098}}{2,8257} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right]$$

Ecuación 46

Los resultados obtenidos vienen definidos en las tablas 21 y 22:

Nº	Dn(")	Sch	thickness (m)	D _o (m)	D _i (m)	v (m/s)	ΔP/L(bar/km)
1	20	5S	4,78E-03	0,508	0,4984	0,427	3,00E-04
4	0,75	80	3,91E-03	0,0267	0,0189	0,397	1,80E-02
6	20	5S	4,78E-03	0,508	0,4984	0,427	3,00E-04
7	3	10S	3,05E-03	0,0889	0,0828	0,233	1,20E-03
8	20	5S	4,78E-03	0,508	0,4984	0,42	3,00E-04
9 suc	2	40	3,91E-03	0,0603	0,0525	0,58	1,10E-02
9 imp	1	40	3,38E-03	0,0334	0,0266	2,25	3,14E-01
10	1	40	3,38E-03	0,0334	0,0266	2,25	3,14E-01
11	1	40	3,38E-03	0,0334	0,0266	16,5	1,50E-01
12	1	40	0,00338	0,0334	0,02664	16,5	0,15
13	1	40	3,38E-03	0,0334	0,0266	16,5	1,50E-01
14	3	10S	3,05E-03	0,0889	0,0828	0,233	1,20E-03
15	0,375	80	3,20E-03	0,0171	0,0107	1	2,25E-01
16	3	10S	3,05E-03	0,0889	0,0828	0,26	1,30E-03
17	20	5S	4,78E-03	0,508	0,4984	0,427	3,00E-04
18	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	15,31	5,25E-01
19	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	15,31	5,25E-01
20	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	15,31	5,25E-01
21	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	15,31	5,25E-01
22	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,374	6,00E-04
23	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,374	6,00E-04
24	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,374	6,00E-04
25	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,374	6,00E-04
26 (suc)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
26 (imp)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
27	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
28	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	8,3	2,80E-01
29	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,34	5,00E-04

Tabla 21. Diámetros tuberías proceso (l).

Nº	Dn(m)	Sch	thickness (m)	Do(m)	Di(m)	v (m/s)	$\Delta P/L$ (bar/km)
30 (suc)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
30 (imp)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
31	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
32	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	8,3	2,80E-01
33	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,34	5,00E-04
34 (suc)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
34 (imp)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
35	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
36	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	8,3	2,80E-01
37	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,34	5,00E-04
38 (suc)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
38 (imp)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
39	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	0,377	4,00E-02
40	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	8,3	2,80E-01
41	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	0,34	5,00E-04
42	16	5S	4,19E-03	0,4064	0,3980	0,45	5,00E-04
43	18	5S	4,19E-03	0,457	0,4486	0,47	4,00E-04
44 (suc)	10	5S	3,40E-03	0,273	0,2662	1,35	6,00E-03
44 (imp)	8	10S	3,76E-03	0,2191	0,2116	2,14	2,00E-02
45	3	10S	3,05E-03	0,0889	0,0828	1,39	2,00E-02
46	8	10S	3,76E-03	0,2191	0,2116	2,14	2,00E-02
47 (suc)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	1,24	4,50E-01
47 (imp)	0,25	80	3,02E-03	0,0137	0,0077	1,24	4,50E-01
48	6	10S	3,40E-03	0,1683	0,1615	0,36	1,00E-03
49	8	10S	3,76E-03	0,2191	0,2116	1,93	1,50E-02
50 (suc)	6	10S	3,40E-03	0,1683	0,1615	0,76	4,00E-03
50 (imp)	4	10S	3,05E-03	0,1143	0,1082	1,69	2,70E-02
51	8	10S	3,76E-03	0,2191	0,2116	2,37	2,30E-02
52 (suc)	0,375	80	3,20E-03	0,0171	0,0107	1,23	2,90E-01
52 (imp)	0,375	80	3,20E-03	0,0171	0,0107	1,23	2,90E-01
LPS	0,375	80	3,20E-03	0,0171	0,0107	1,23	2,90E-01
C	0,5	80	3,73E-03	0,0213	0,0138	1,23	2,90E-01

Tabla 22. Diámetros de tuberías del proceso (II)

1.8. Sedimentadores

En esta sección se describen los pasos para el diseño de los sedimentadores presentes en el proceso de tratamiento. Se eligen sedimentadores de tipo circular.

Los pasos seguidos en el diseño vienen definidos en Metcalf & Eddy 2003:

- Calcular el área (m²) requerido para el flujo medio (ecuación 47): los resultados vienen definidos en la tabla 23.

$$Area = \frac{Q}{OR} \quad \text{Ecuación 47}$$

donde

Q = flujo medio de entrada al sedimentador (m³/día)

OR = overflow rate (m³/m²-día) = 40

	S-101	S-102	S-201
Area (m ²)	150,2	3,87	13,54

Tabla 23. Áreas de cada sedimentador.

- Se determina el volumen necesario de sedimentador (ecuación 48): los resultados vienen definidos en la tabla 24.

$$Volumen = TR \cdot Q \quad \text{Ecuación 48}$$

donde

TR = tiempo de retención = 2h

	S-101	S-102	S-201
Volumen (m ³)	500,67	11,27	45,14

Tabla 24. Volumen de cada sedimentador.

- A partir del volumen y el área, se calculan las dimensiones de cada sedimentador (altura con la ecuación 49, diámetro con la ecuación 50): los resultados obtenidos se muestran en la tabla 25.

$$Altura = \frac{Volumen}{Area} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi}} \quad \text{Ecuación 50}$$

	S-101	S-102	S-201
Altura (m)	3,33	2,92	3,33
Diámetro (m)	13,83	2,22	4,15

Tabla 25. Dimensiones de cada sedimentador.

Para el cálculo de los espesores de pared se utilizan las ecuaciones (4) y (5) mencionadas ya antes y los resultados son los siguientes (tabla 26):

	S-101	S-102	S-201
Material	SA-515	SA-285	SA-285
Espesor de pared (cm)	1,04	0,45	0,57
Espesor fondo (cm)	1,04	0,45	0,57

Tabla 26. Espesores de cada sedimentador.

Por último, las condiciones de diseño vienen definidas en la tabla 27, a partir de las ecuaciones:

	S-101	S-102	S-201
T_{operación} (K)	288	309	293
T_{diseño} (K)	323	344	328
P_{operación} (barg)	0	0	0
P_{diseño} (barg)	3,5	3,5	3,5

Tabla 27. Parámetros de diseño de cada sedimentador.

1.9. Depósito (Surge drum)

Su función es de reserva de líquido para abastecer a la unidad en el caso de que se produzcan grandes fluctuaciones de caudal o existan averías en alguna parte del proceso.

En nuestro caso, se instala solo un tanque a la salida de los fotobiorreactores, antes de la piscifactoría.

Se dimensionan con el caudal de salida/entrada y un tiempo de residencia a partir de la siguiente fórmula:

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Ecuación 51}$$

donde

V = volumen del depósito (m³)

Q = caudal de entrada (m³/min)

τ = tiempo de residencia (min)

En este proyecto se utilizará un depósito vertical con un tiempo de residencia (τ) de 10 min y con un relación L/D de 3 ya que la presión del depósito es menor de 17,5 barg.

Por lo tanto, el volumen y las dimensiones vienen definidos en la tabla 28:

Volumen	28,21	m ³
Altura	2,5	m
Diámetro	3,79	m

Tabla 28. Dimensiones del depósito "surge drum".

A la altura de líquido obtenida es necesario añadir 0,5 m más de altura de seguridad.

Para el cálculo de los espesores de pared se utilizan las ecuaciones mencionadas ya antes y los resultados son los siguientes (tablas 29 y 30):

S	13700	psi
P	14,69	psi
R (interno)	56,74	in
E	1	
t	0,06	in
	0,16	cm
t real	0,46	cm
Material	SA-515	ASME

Tabla 29. Espesor pared depósito.

S	13700	psi
P	26,99	psi
D (interno)	113,48	in
E (eficacia)	1	
t	0,11	in
	0,28	cm
t real	0,58	cm
Material	SA-515	ASME

Tabla 30. Espesor fondo depósito.

Las condiciones de diseño son (tabla 31):

P_{operación}	0	barg
P_{diseño}	3,5	barg
T_{operación}	293	K
T_{diseño}	328	K

Tabla 31. Condiciones de diseño.

2. Lista de equipos

 Universidad de Valladolid						LISTA DE EQUIPOS	
REV.	0	1				JOB NO.	2015
DATE	09/01/2015	28/05/2015				UNIT	
BY	ERB	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid
APPR'V						LOCATION	Castilla y León
REV.	ITEM NO.	QUANTITY	DESCRIPTION	ORIGIN	DRIVER	REMARKS	
0 1	P-101-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 2	P-101-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 3	P-102-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 4	P-102-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 5	FV-1	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 6	FV-2	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 7	FV-3	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 8	S-101	1	SEDIMENTADOR	0		UNIDAD 1	
0 9	P-103-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 10	P-103-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 11	E-101	1	COMPRESOR	0	M	UNIDAD 1	
0 12	C-101	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR	0		UNIDAD 1	
0 13	D-101	1	GASÓMETRO	0		UNIDAD 1	
0 14	R-101	1	DIGESTOR ANAEROBIO (CSTR)	0	M	UNIDAD 1	
0 15	TV-1	1	VÁLVULA CONTROL DE TEMPERATURA	0		UNIDAD 1	
0 16	FV-4	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 17	P-104-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 18	P-104-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 1	
0 19	S-102	1	SEDIMENTADOR	0		UNIDAD 1	
0 20	FV-5	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 21	FV-6	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 22	FV-7	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 23	FV-8	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 24	FV-9	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 1	
0 25	R-201	1	FOTOBIOREACTOR (HRAP)	0		UNIDAD 2	
0 26	T-201	1	COLUMNA ABSORCIÓN DE BURBUJEO	0		UNIDAD 2	
0 27	P-201-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 28	P-201-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 29	FV-1	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 30	CV-1	1	VÁLVULA CONTROL GENERAL	0		UNIDAD 2	

LEGEND:
 1- DRIVER M - ELECTRIC MOTOR T - TURBINE ORIGIN: E - SPAIN O - OTHERS

Tabla 32. Lista de equipos (I)

 Universidad de Valladolid					LISTA DE EQUIPOS		
REV.	0	1			JOB NO.	2015	
DATE	09/01/2015	28/05/2015			UNIT		
BY	ERB	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid	
APPR'V					LOCATION	Castilla y León	
REV.	ITEM NO.	QUANTITY	DESCRIPTION	ORIGIN	DRIVER	REMARKS	
0 1	R-202	1	FOTOBIOREACTOR (HRAP)	0		UNIDAD 2	
0 2	T-202	1	COLUMNA ABSORCIÓN DE BURBUJEO	0		UNIDAD 2	
0 3	P-202-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 4	P-202-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 5	FV-2	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 6	CV-2	1	VÁLVULA CONTROL GENERAL	0		UNIDAD 2	
0 7	R-203	1	FOTOBIOREACTOR (HRAP)	0		UNIDAD 2	
0 8	T-203	1	COLUMNA ABSORCIÓN DE BURBUJEO	0		UNIDAD 2	
0 9	P-203-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 10	P-203-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 11	FV-3	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 12	CV-3	1	VÁLVULA CONTROL GENERAL	0		UNIDAD 2	
0 13	R-204	1	FOTOBIOREACTOR (HRAP)	0		UNIDAD 2	
0 14	T-204	1	COLUMNA ABSORCIÓN DE BURBUJEO	0		UNIDAD 2	
0 15	P-204-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 16	P-204-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0	M	UNIDAD 2	
0 17	FV-4	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 18	CV-4	1	VÁLVULA CONTROL GENERAL	0		UNIDAD 2	
0 19	P-205-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0		UNIDAD 2	
0 20	P-205-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0		UNIDAD 2	
0 21	D-201	1	DEPÓSITO (SURGE DRUM)	0		UNIDAD 2	
0 22	S-201	1	SEDIMENTADOR	0		UNIDAD 2	
0 23	P-206-A	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0		UNIDAD 2	
0 24	P-206-B	1	BOMBA CENTRÍFUGA	0		UNIDAD 2	
0 25	FV-5	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 26	FV-6	1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	0		UNIDAD 2	
0 27							
0 28							
0 29							
0 30							
0 31							
0 32							
0 33							
0 34							
0 35							
0 36							
0 37							
0 38							
0 39							

LEGEND:
 1.- DRIVER M - ELECTRIC MOTOR T - TURBINE ORIGIN: E - SPAIN O - OTHERS

Tabla 33. Lista de equipos (II)

3. Hojas de especificación (PDS)

Las hojas de especificación de todos los equipos del proceso se encuentran en el Anexo 3.

CAPÍTULO V. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

1. Estrategia de control

En este apartado se describirán los distintos lazos de control utilizados en cada equipo y tubería.

- P&ID A3 – PI - 101 – 2

En este primer diagrama hay un sedimentador primario (S-101) y cuatro bombas diferentes (P-101-A/B y P-102-A/B).

En cada una de estas bombas hay un indicador de presión que mostrará si funcionan de manera correcta o existe algún fallo en ellas (PI - 1, PI - 2, PI - 3, PI - 4). En el sedimentador hay que regular el flujo de sólidos que sale por el fondo, por lo que se debe instalar una válvula de control de flujo que regule este (FV - 3). Por otro lado, es necesario controlar el flujo de agua que llega hasta el bloque de procesado de pescado (Z-102) y el agua fresca que se suma a la corriente recirculada de agua con microalgas. Para ello, se instala una válvula de control de flujo después de cada una de las bombas (FV - 1 y FV - 2).

- P&ID A3 – PI - 102 – 2

En este caso están representados dos bombas (P-103-A/B), un intercambiador de calor de placas (E-101) y el digester anaerobio (R-101).

La variable más importante a controlar en esta sección es la temperatura de la corriente que va hasta el digester. Para ello, hay una válvula de control de temperatura en la corriente de vapor a baja presión (TV - 1), el cual se controla mediante un lazo en cascada que recibe los valores de las temperaturas de la corriente de agua residual y del medio en el propio digester anaerobio. Además, para regular la cantidad de flujo que entra a este equipo, hay una válvula de control de flujo justo antes (FV - 4). Por último, hay un indicador de presión después de cada bomba que indicará si funciona o no de forma correcta (PI - 6, PI - 7).

- P&ID A3 – PI - 103 – 2

En este diagrama hay un sedimentador (S-102) y dos bombas centrífugas (P-104-A/B).

Como en el diagrama A3-PI-101, hay una válvula de control de flujo en la salida de los biosólidos del sedimentador (FV - 5). Además, en cada corriente que se dirige a los fotobiorreactores, hay una válvula de control de flujo que regula la cantidad de corriente que va hacia los HRAP (FV - 6, FV - 7, FV - 8,

FV – 9). Y en cada una de las bombas existe un indicador de presión a la salida para controlar su funcionamiento (PI- 8, PI – 9).

- P&ID A3 – PI - 201 – 1

En este diagrama se encuentran la columna de absorción de burbujeo (T-201), el fotobiorreactor (R-201) y dos bombas (P-201-A/B).

Para controlar el correcto funcionamiento de ambas bombas, hay un indicador de presión que mostrará si está funcionando o no (PI – 1, PI - 2). En esta parte de proceso, es necesario regular la cantidad de flujo que entra a la columna de absorción. Para ello, se utiliza un sistema de control en cascada que tiene en cuenta la cantidad de flujo líquido de microalgas que sale del HRAP y la composición del gas ya purificada que sale por la parte superior de la torre. Con estas dos variables, se controla el flujo mediante una válvula de control general justo antes de la entrada de líquido en la columna (CV – 1). Además, para controlar la cantidad de biogás que entra a la columna de absorción, se debe instalar una válvula de control de flujo (FV – 1).

- P&ID A3 – PI - 202 – 1

Al igual que en diagrama anterior, hay una columna de absorción de burbujeo (T-202), el fotobiorreactor (R-202) y dos bombas (P-202-A/B).

La estrategia de control que se lleva a cabo es la misma que en el diagrama A3 – PI – 201 – 1.

- P&ID A3 – PI - 203 – 1

Como en el diagrama anterior, hay una columna de absorción de burbujeo (T-203), el fotobiorreactor (R-203) y dos bombas (P-203-A/B).

La estrategia de control que se lleva a cabo es la misma que en el diagrama A3 – PI – 201 – 1.

- P&ID A3 – PI - 204 – 1

Como en el diagrama anterior, hay una columna de absorción de burbujeo (T-204), el fotobiorreactor (R-204) y dos bombas (P-204-A/B).

La estrategia de control que se lleva a cabo es la misma que en el diagrama A3 – PI – 201 – 1.

- P&ID A4 – PI - 205 – 1

En este diagrama se encuentran el depósito (D-201) y dos bombas centrífugas (P-205-A/B).

En cada una de estas últimas hay un indicador de presión que muestra si la bomba funciona de forma correcta (PI – 9, PI – 10). Además, es necesario medir el nivel de líquido que hay dentro del depósito. Para ello, se instala un indicador y controlador de nivel (LIC – 1), que actúa sobre la bomba.

- P&ID A4 – PI - 206 – 1

Por último, en este diagrama hay un sedimentador primario (S-201) y dos bombas (P-206-A/B).

En este caso hay que controlar el flujo de microalgas que salen desde el fondo del sedimentador mediante una válvula de control de flujo (FV – 5). A esto hay que añadir dos indicadores de presión después de cada bomba para indicar su correcto funcionamiento durante todo el proceso (PI – 10, PI – 11).

2. Diagramas de Instrumentación (PID)

Los diagramas de instrumentación del proceso se encuentran en el Anexo 4.

3. Lista de elementos de control

 Universidad de Valladolid					LISTA DE INSTRUMENTACIÓN	
REV.	0	1			JOB N°	2015
DATE	09/01/2015	19/05/2015			UNIT	
BY	ERB	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPR'V					LOCATION	Castilla y León
REV.	ITEM NUMBER	P&ID N°	SERVICE		NOTES	
1	PI-1	A3-PI-101-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
2	PI-2	A3-PI-101-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
3	FE-1	A3-PI-101-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
4	FT-1	A3-PI-101-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
5	FV-1	A3-PI-101-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
6	FIC-1	A3-PI-101-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
7	PI-3	A3-PI-101-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
8	PI-4	A3-PI-101-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
9	FE-2	A3-PI-101-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
10	FT-2	A3-PI-101-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
11	FV-2	A3-PI-101-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
12	FIC-2	A3-PI-101-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
13	FE-3	A3-PI-101-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
14	FT-3	A3-PI-101-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
15	FV-3	A3-PI-101-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
16	FIC-3	A3-PI-101-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
17	PI-5	A3-PI-102-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
18	PI-6	A3-PI-102-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
19	PSV-1	A3-PI-102-1	VÁLVULA SEGURIDAD PRESIÓN		UNIDAD 1	
20	TT-1	A3-PI-102-1	TRANSMISOR DE TEMPERATURA		UNIDAD 1	
21	TC-1	A3-PI-102-1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA		UNIDAD 1	
22	TT-2	A3-PI-102-1	TRANSMISOR DE TEMPERATURA		UNIDAD 1	
23	TC-2	A3-PI-102-1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA		UNIDAD 1	
24	TV-1	A3-PI-102-1	VÁLVULA CONTROL TEMPERATURA		UNIDAD 1	
25	FE-4	A3-PI-102-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
26	FT-4	A3-PI-102-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
27	FV-4	A3-PI-102-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
28	FIC-4	A3-PI-102-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
29	PI-7	A3-PI-103-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
30	PI-8	A3-PI-103-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
31	PI-9	A3-PI-103-2	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 1	
32	FE-5	A3-PI-103-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
33	FT-5	A3-PI-103-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
34	FV-5	A3-PI-103-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
35	FIC-5	A3-PI-103-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
36	FE-6	A3-PI-103-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
37	FT-6	A3-PI-103-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
38	FV-6	A3-PI-103-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
39	FIC-6	A3-PI-103-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
40	FE-7	A3-PI-103-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
41	FT-7	A3-PI-103-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
42	FV-7	A3-PI-103-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
43	FIC-7	A3-PI-103-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
44	FE-8	A3-PI-103-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
45	FT-8	A3-PI-103-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
46	FV-8	A3-PI-103-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
47	FIC-8	A3-PI-103-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
48	FE-9	A3-PI-103-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
49	FT-9	A3-PI-103-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 1	
50	FV-9	A3-PI-103-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 1	
51	FIC-9	A3-PI-103-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 1	

Tabla 34. Lista de Instrumentación (I)

 Universidad de Valladolid				LISTA DE INSTRUMENTACIÓN	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	09/01/2015	19/05/2015		UNIT	
BY	ERB	ERB		CLIENT	Universidad de Valladolid
APPR'V				LOCATION	Castilla y León
REV.	ITEM NUMBER	P&ID N°	SERVICE	NOTES	
1	FE-1	A3-PI-201-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
2	FT-1	A3-PI-201-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
3	FV-1	A3-PI-201-1	VALVULA CONTROL DE FLUJO	UNIDAD 2	
4	FIC-1	A3-PI-201-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
5	PI-1	A3-PI-201-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
6	PI-2	A3-PI-201-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
7	AT-1	A3-PI-201-1	TRANSMISOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
8	AI-1	A3-PI-201-1	INDICADOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
9	FE-2	A3-PI-201-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
10	FT-2	A3-PI-201-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
11	CV-1	A3-PI-201-1	VALVULA CONTROL GENERAL	UNIDAD 2	
12	FIC-2	A3-PI-201-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
13	FE-3	A3-PI-202-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
14	FT-3	A3-PI-202-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
15	FV-2	A3-PI-202-1	VALVULA CONTROL DE FLUJO	UNIDAD 2	
16	FIC-3	A3-PI-202-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
17	PI-3	A3-PI-202-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
18	PI-4	A3-PI-202-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
19	AT-2	A3-PI-202-1	TRANSMISOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
20	AI-2	A3-PI-202-1	CONTROLADOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
21	FE-4	A3-PI-202-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
22	FT-4	A3-PI-202-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
23	CV-2	A3-PI-202-1	VALVULA CONTROL GENERAL	UNIDAD 2	
24	FIC-4	A3-PI-202-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
25	FE-5	A3-PI-203-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
26	FT-5	A3-PI-203-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
27	FV-3	A3-PI-203-1	VALVULA CONTROL DE FLUJO	UNIDAD 2	
28	FIC-5	A3-PI-203-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
29	PI-6	A3-PI-203-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
30	PI-5	A3-PI-203-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
31	AT-3	A3-PI-203-1	TRANSMISOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
32	AI-3	A3-PI-203-1	CONTROLADOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
33	FE-6	A3-PI-203-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
34	FT-6	A3-PI-203-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
35	CV-3	A3-PI-203-1	VALVULA CONTROL GENERAL	UNIDAD 2	
36	FIC-6	A3-PI-203-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
37	FE-7	A3-PI-204-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
38	FT-7	A3-PI-204-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
39	FV-4	A3-PI-204-1	VALVULA CONTROL DE FLUJO	UNIDAD 2	
40	FIC-7	A3-PI-204-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
41	PI-7	A3-PI-204-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
42	PI-8	A3-PI-204-1	INDICADOR DE PRESIÓN	UNIDAD 2	
43	AT-4	A3-PI-204-1	TRANSMISOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
44	AI-4	A3-PI-204-1	CONTROLADOR DE COMPOSICIÓN	UNIDAD 2	
45	FE-8	A3-PI-204-1	SENSOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
46	FT-8	A3-PI-204-1	TRANSMISOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
47	CV-4	A3-PI-204-1	VALVULA CONTROL GENERAL	UNIDAD 2	
48	FIC-8	A3-PI-204-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO	UNIDAD 2	
49					
50					

Tabla 35. Lista de Instrumentación (II)

 Universidad de Valladolid					LISTA DE INSTRUMENTACIÓN	
REV.	0	1			JOB N°	2015
DATE	09/01/2015	19/05/2015			UNIT	
BY	ERB	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV					LOCATION	Castilla y León
REV.	ITEM NUMBER	P&ID N°	SERVICE		NOTES	
1	PI-9	A3-PI-205-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 2	
2	PI-10	A3-PI-205-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 2	
3	PI-11	A3-PI-206-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 2	
4	PI-12	A3-PI-206-1	INDICADOR DE PRESIÓN		UNIDAD 2	
5	FE-9	A3-PI-206-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
6	FT-9	A3-PI-206-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
7	FIC-9	A3-PI-206-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
8	FV-5	A3-PI-206-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 2	
9	FE-10	A3-PI-206-1	SENSOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
10	FT-10	A3-PI-206-1	TRANSMISOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
11	FIC-10	A3-PI-206-1	CONTROLADOR E INDICADOR DE FLUJO		UNIDAD 2	
12	FV-6	A3-PI-206-1	VÁLVULA CONTROL DE FLUJO		UNIDAD 2	
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						

Tabla 36. Lista de Instrumentación (III)

CAPÍTULO VI. IMPACTO AMBIENTAL

1. Objetivo

El objetivo es determinar los aspectos ambientales asociados a la planta de tratamiento de los residuos de piscifactoría y asegurar que estos se tienen en cuenta en la definición de los objetivos ambientales.

El diseño del proceso debe tener en cuenta todas las posibles fuentes de contaminación y, cuando sea posible, la selección de los procesos que eliminen o reduzcan esta generación de residuos.

2. Aspectos ambientales e impactos asociados

En este documento se estudian los siguientes efectos ambientales y se analiza su impacto medioambiental:

- Efluentes líquidos
- Residuos sólidos
- Impacto visual
- Ruido
- Emisiones de Olores y Gases de Efecto Invernadero

2.1. Efluentes líquidos

Consisten en los vertidos de agua ya tratados en el proceso al medioambiente.

En este caso, la única corriente que se vierte hacia el medio es la purga que se realiza en el flujo de salida de los fotobiorreactores, previa sedimentación de la biomasa algal generada. Esta contaminación se produce de forma continuada.

Impacto ambiental asociado:

El agua que se vierte hacia el medio ambiente no tiene un impacto negativo siempre y cuando sus propiedades físico-químicas se encuentren por debajo del límite establecido por la directiva 91/271:

$$DQO < 125 \text{ mg/l}$$

DBO < 25 mg/l

TSS < 35 mg/l

TP < 2 mg/l

TN < 15 mg/l

Legislación:

- Directiva 91/271/CEE, relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas (DOCE L 135 de 30/5/91).
- Real Decreto Legislativo 4/2007 (que modifica el RDL 1/2001) relativa a la Ley de Aguas (BOE nº287 de 30/11/2007).

2.2. Residuos sólidos

Un residuo sólido es cualquier material que procedente de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, tiene como destino ser desechado. Tienen difícil eliminación y muchos de ellos no se descomponen o tardan mucho tiempo en hacerlo.

En este proceso, los sólidos emitidos al medio ambiente son aquellos que provienen de la digestión anaerobia de los residuos sólidos de la piscifactoría y el procesado de pescado. Se producen de forma continua y tiene unas concentraciones de 97.103,8 mg/l de DQO, 1.860,8 mg/l de TN y 691,3 mg/l de TP.

Impacto ambiental asociado:

Si no se gestionan de forma correcta, pueden provocar grandes impactos. Por ejemplo, pueden contaminar las aguas subterráneas y del suelo, deterioro del paisaje y malos olores.

Por lo tanto, estos sólidos deben gestionarse de forma adecuada siguiendo la legislación vigente. Algunas opciones son la recogida selectiva o el compostaje de la materia orgánica con el fin de valorizar los nutrientes remanentes.

Legislación:

- Directiva 75/442/CEE, sobre residuos (DOCE L 194, de 27/05/1975)
- Directiva 91/156/CEE, reforma (DOCE L 78, de 26/03/1991)

- Ley Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados (BOE nº181, de 29/07/2011).

-

2.3. Impacto visual

El aspecto visual de la planta se debe considerar en la etapa de diseño. Es un tipo de contaminación que afecta a la visualización de cualquier sitio o perturba la estética de una zona o paisaje debido a la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Impacto ambiental asociado:

Este tipo de impacto que se produce durante todo el proceso (diseño, construcción y utilización de la planta) y su intensidad es muy variable. La legislación vigente es seguida estrictamente con el fin de evitar problemas de salud a largo plazo.

Debido a que la planta se puede construir cerca de una zona residencial, es necesario evitar el impacto visual de la planta. Para ello, se pueden tomar algunas medidas para minimizarlo. Los equipos grandes se puede pintar para combinar o incluso contrastar con los alrededores. También se puede enterrar de forma parcial los equipos y los tanques. Sin embargo, esto puede aumentar los costes de la planta.

Legislación:

- Directiva 85/337 / CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 13 de diciembre 2011 sobre la evaluación de los efectos de determinados y proyectos privados sobre el medio ambiente.

2.4. Ruido

El ruido puede causar una molestia grave en los alrededores de una planta de proceso. Puede ser producido por distintos equipos del proceso tales como las bombas, intercambiadores, altos flujos en tuberías...

Impacto ambiental asociado:

La intensidad de este impacto depende del nivel de decibelios emitidos y la distancia del receptor. La legislación vigente es seguida estrictamente con el fin de evitar problemas de salud a largo plazo, tanto para los operarios de la planta como la población aledaña.

Si los equipos que producen estos ruidos se encuentran en edificaciones cerradas, el ruido que pueda llegar a producir será mínimo o imperceptible.

Legislación:

- Directiva 89/392/CEE de emisión sonora de máquinas.
- I.R.D. 1316/89 de 27 de octubre sobre protección de los trabajadores frente riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo (BOE nº263 de 2/11/89)
- Ley 37/2003 del 17 de Noviembre de ruido (BOE 18/11/2003).

2.5. Emisiones de Olores y Gases de Efecto invernadero

Los olores y gases de Efecto invernadero que pueden generarse en la planta debido a las reacciones propias del proceso de depuración, y a las que se pueden generar como consecuencia de los procesos de descomposición de la materia orgánica de residuos sólidos o fangos.

Los compuestos principales que provocan estos olores es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), mientras que los principales gases de efecto invernadero son metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2).

Impacto ambiental asociado:

El impacto ambiental asociado a los olores pueden ser, molestias a la población que pueda habitar en los alrededores del foco emisor. Los compuestos más preocupantes desde este punto de vista es el sulfuro de hidrógeno derivado de la reducción de sulfatos en el digestor anaerobio. Estos olores se producen de forma continuada. Por otro lado, emisiones de N_2O de $4,7 \cdot 10^{-6} \text{ g N-N}_2O \text{ g N}_{\text{entrada-1}}$ pueden generarse en el fotobiorreactor como consecuencia de la degradación de nitrógeno.

La intensidad del impacto por malos olores está muy ligada a dos factores: la periodicidad de recogida de residuos sólidos y fangos así como su forma de almacenaje, y en segundo lugar al régimen de vientos de la zona.

En una instalación debidamente diseñados y operados, los compuestos que causan el mal olor se deben contener con eficacia y / o ser destruidos.

Legislación:

- Directiva 84/360/CEE, relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de instalaciones industriales (DOCE L 188 de 16/7/84).
- Directiva 93/76/CEE, relativa a la limitación de las emisiones de CO₂ mediante la mejora de la eficiencia energética (DOCE L 237, de 22.9.93).
- Ley 34/2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera (BOE nº275, de 16/11/2007).

CAPÍTULO VII. SEGURIDAD

1. Estudio HAZOP

Estudio HAZOP	
Diagrama: A3 - PI - 201 - 1	
Equipo: Columna absorción (T-201, T-202, T-203, T-204)	Revisión:
	Fecha: 3/06/2015
	Por: ERB

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Biogás	Presión	Más alto	Mayor presión en el flujo de alimentación	Condiciones de operación peores. Posible rotura si aumenta mucho	Llevar el biogás hasta antorcha
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Condiciones de operación peores	Disminuir el flujo de LPS en el digestor
	Flujo		Problemas en la válvula de control de flujo de entrada	Peor eliminación de CO ₂	Revisar las válvulas y el sistema de control.
	Presión	Más bajo	Pérdidas en la tubería, menor presión en el flujo de alimentación	Peores condiciones de operación	Revisar el compresor y/o las tuberías
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Mal funcionamiento del digestor	Revisar funcionamiento del intercambiador
	Flujo		Pérdidas, obstrucción de tubería, válvulas cerradas	Menor flujo, peor eliminación de CO ₂	Revisar las válvulas y el sistema de control
	Flujo	Flujo inverso	Válvulas cerradas	Flujo en sentido inverso al normal	Válvula anti-retorno y de seguridad
	Flujo	Sólidos	Malas condiciones de la corriente	Impurezas en el sistema	Filtración para eliminación de impurezas

Tabla 37. HAZOP columna de absorción (I)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Agua con microalgas (recirculación del HRAP a columna)	Presión	Más alto	Mayor presión en el flujo de alimentación	Condiciones de operación peores. Posible rotura si aumenta mucho	Revisar las tuberías, el sistema de control y la bomba
	Temperatura		Aumento de temperatura debido cambio de estación	Condiciones de operación peores	Revisar sistema de calefacción de estanques
	Flujo		Problemas en la válvula de control de flujo de entrada	Peor eliminación de CO ₂	Revisión de válvulas, sistema de control y bombas. Instalación alarma
	Presión	Más bajo	Pérdidas en la tubería, menor presión en el flujo de alimentación	Peores condiciones de operación	Revisar las tuberías, el sistema de control y la bomba
	Temperatura		Disminución de temperatura debido cambio de estación	Peores condiciones de operación	Aumentar altura de agua en HRAP
	Flujo		Pérdidas, obstrucción de tubería, válvulas cerradas	Menor flujo, peor eliminación de CO ₂	Revisión de válvulas, sistema de control y bombas. Instalación alarma
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas	Flujo en sentido inverso al normal
		Sólidos	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Sólidos en el sistema	Filtración para eliminación de sólidos.

Tabla 38. HAZOP columna de absorción (II)

Estudio HAZOP	
Diagrama: A3 - PI - 101 - 1	Revisión:
Equipo: Sedimentador (S-101, S-102, S-201)	Fecha: 3/06/2015
	Por: ERB

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Alimentación agua residual	Presión	Más alto	Mayor presión en el flujo de alimentación	Condiciones de operación peores. Posible rotura si aumenta mucho	Revisar las tuberías y el sistema de control
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	-	-
	Flujo		Problemas en la válvula de control de flujo de entrada	Fallos diseño y funcionamiento sedimentador	Revisar válvulas. Disminuir el flujo de entrada hasta alcanzar el tiempo de retención deseado
	Presión	Más bajo	Pérdidas en la tubería, menor presión en el flujo de alimentación	Peores condiciones de operación	Revisar las tuberías y el sistema de control
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	-	-
	Flujo		Pérdidas, obstrucción de tubería, válvulas cerradas	Menor flujo	Revisar válvulas y sistema de control
	Flujo	Flujo inverso	Válvulas cerradas	Flujo en sentido inverso al normal	Válvula anti-retorno y de seguridad
		Sólidos	Presencia de sólidos en el sistema	Obstrucción del equipo	Instalación de una rejilla

Tabla 39. HAZOP sedimentador (I)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Salida de sólidos	Presión	Más alto	Mayor presión en el equipo. Obstrucción de tubería	Condiciones de operación peores	Revisar válvulas y sistema de control
	Temperatura		-	-	-
	Flujo		Problemas en la válvula de control de flujo de entrada	Fallos diseño y funcionamiento sedimentador	Revisar válvulas. Disminuir el flujo de entrada hasta alcanzar el flujo deseado para mantener el nivel de sólidos en el sistema.
	Presión	Más bajo	Pérdidas en la tubería, menor presión en el flujo de alimentación	Peor funcionamiento de las bombas	Revisar altura de líquido en sedimentador
	Temperatura		-	-	-
	Flujo		Pérdidas, obstrucción de tubería, válvulas cerradas	Menor flujo, peor separación de sólidos	Revisar válvulas, sistema de control y bombas
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas	Flujo en sentido inverso al normal
		Sólidos	-	-	-

Tabla 40. HAZOP sedimentador (II)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Salida agua residual	Presión	Más alto	-	-	-
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Malas condiciones de crecimiento de peces	- Revisar temperatura en los estanques de peces
	Flujo		Problemas en la válvula de control de flujo de entrada	Peor eliminación de CO ₂	Revisar el sistema de control del agua de renovación
	Presión	Más bajo	-	-	-
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Malas condiciones de crecimiento de peces	Revisar temperatura en los estanques de peces
	Flujo		Pérdidas, obstrucción de tubería, válvulas cerradas	Menor flujo, peor eliminación de CO ₂	Revisar el sistema de renovación de agua
	Flujo	Flujo inverso	Válvulas cerradas Válvulas cerradas u obstruidas	Flujo en sentido inverso al normal	Válvula anti-retorno y de seguridad
Sólidos			Malas condiciones en el flujo de alimentación	Sólidos en el sistema	Filtración para eliminación de impurezas

Tabla 41. HAZOP sedimentador (III)

Estudio HAZOP	
Diagrama: A3 - PI - 102	Revisión:
Equipo: Reactor anaerobio (R-101)	Fecha: 3/06/2015
	Por: ERB

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Entrada de residuos	Presión	Más alto	Obstrucción de válvulas o tuberías	Peores condiciones de operación. Posible rotura o explosión del reactor	Evacuar el residuo. Revisar tuberías, bombas y válvulas de control
	Temperatura		Temperatura de materia orgánica demasiado alta. Mal funcionamiento de intercambiador	Peores condiciones de operación y problemas en la digestión	M Revisar el intercambiador de calor y el flujo de vapor
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación. Mayor producción.	Peores condiciones de operación. Necesidad de mayor tiempo de reacción	Medidor de flujo que actúe sobre la válvula de control de flujo. Revisión de las válvulas de control.
	Presión	Más bajo	-	-	-
	Temperatura		Mal funcionamiento del intercambiador	Peores condiciones de operación y problemas en la digestión	Revisar el intercambiador de calor y el flujo de vapor
	Flujo		Válvula flujo entrada cerrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación. Obstrucción de tubería. Menor producción	Peores condiciones de operación. Déficit de materia orgánica. Menor producción de biogás	Evacuar el residuo. Revisar tuberías, bombas y válvulas de control.
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas u obstruidas	Peores condiciones de operación. Flujo en sentido inverso al normal.
			Sólidos	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Mal funcionamiento del digestor

Tabla 42. HAZOP digestor anaerobio (I)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Biogás	Presión	Más alto	Exceso de biogás	Peores condiciones de operación. Posible rotura o explosión del reactor	Revisar sistema de control. Instalación de válvula de alivio de seguridad
	Temperatura		Temperatura del reactor demasiado alta	Peores condiciones de operación.	Revisar intercambiador de calor
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control. Fugas en la tubería	Peores condiciones de operación.	Revisión de las válvulas y el sistema de control
	Presión	Más bajo	-	-	-
	Temperatura		Temperatura de biogás demasiado baja	Peores condiciones de operación.	Revisar intercambiador de calor
	Flujo		Válvula flujo entrada cerrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación. Obstrucción de tubería	Peores condiciones de operación. Problemas en la reacción de digestión	Revisión de las válvulas y el sistema de control
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas u obstruidas	Peores condiciones de operación. Flujo en sentido inverso al normal.
		Impurezas	Malas condiciones de operación en el digestor	Biogás de peor calidad	Filtración para eliminación de impurezas

Tabla 43. HAZOP digestor anaerobio (II)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Salida de biosólidos	Presión	Más alto	Obstrucción de tubería de salida de sólidos	Peores condiciones de operación. Posible rotura o explosión del reactor	Válvula de alivio de seguridad. Disminuir la alimentación al digestor
	Temperatura		Temperatura de biomasa demasiado alta	Peores condiciones de operación y problemas en la digestión	Revisar funcionamiento de intercambiador de calor y flujo de vapor
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación.	Peores condiciones de operación. Necesidad de mayor tiempo de reacción	-
	Presión	Más bajo	-	-	-
	Temperatura		Temperatura de biomasa demasiado baja	Peores condiciones de operación y problemas en la digestión	Revisar funcionamiento de intercambiador de calor y flujo de vapor
	Flujo		Válvula flujo entrada cerrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación. Obstrucción de tubería	Peores condiciones de operación. Déficit de materia orgánica. Menor producción de biogás	-
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas u obstruidas	Peores condiciones de operación. Flujo en sentido inverso al normal.
		Sólidos	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Impurezas en el sistema. Crecimiento de microorganismos no deseados.	Filtración para su eliminación

Tabla 44. HAZOP digestor anaerobio (III)

Estudio HAZOP	
Diagrama: A3 - PI - 102	Revisión:
Equipo: intercambiador de placas (E-101)	Fecha: 3/06/2015
	Por: ERB

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
LPS	Presión	Más alto	Problemas de presión en la unidad de suministro	Peores condiciones de operación. Posible rotura del intercambiador	Válvula de alivio de seguridad. Revisión de caldera generadora de vapor
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Mayor temperatura en sólidos residuales. Problemas en digestión	Desconectar el sistema de control hasta que la T sea correcta
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control.	Peores condiciones de operación. Mayor calentamiento del necesario	Revisión del medidor de flujo que actúe sobre la válvula de control de flujo. Revisión de las válvulas de control.
	Presión	Más bajo	Problemas de presión en la unidad de suministro. Pérdidas en la tubería	Peores condiciones de operación. Peor calentamiento	Revisión de válvula de control y caldera generadora de vapor
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Temperatura de biomasa demasiado baja	Medidor de temperatura. Revisión de válvulas de control
	Flujo		Válvula flujo entrada cerrada. Fallo válvula control. Fugas en la alimentación. Obstrucción de tubería	Peores condiciones de operación. Menor calentamiento de los residuos	Revisión de las válvulas y sistema de control y tuberías
	Flujo	Flujo inverso	Válvulas cerradas u obstruidas	Flujo en sentido inverso al normal o ausencia de este en el intercambiador	Válvula anti-retorno y de seguridad
		Impurezas	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Peores condiciones de operación. Impurezas en el sistema.	Filtración para eliminación de impurezas

Tabla 45. HAZOP intercambiador de calor (I)

	Variable	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Flujo de residuos sólidos	Presión	Más alto	Problemas de obstrucción en el intercambiador	Riesgo ruptura del intercambiador	Medidor de presión en el intercambiador y la salida
	Temperatura		Mayor calentamiento del necesario	Peor funcionamiento del digestor.	Medidor de temperatura en el digestor y en la alimentación
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control.	Mayor flujo al digestor. Mayor tiempo de reacción	Medidor de flujo que actúe sobre la válvula de control de flujo. Revisión de las válvulas de control.
	Presión	Más bajo	Pérdidas en las tuberías	Menor flujo a digestor	Medidor de presión en el intercambiador y la salida
	Temperatura		Menor calentamiento del necesario	Peor funcionamiento del digestor.	Medidor de temperatura en el digestor y en la alimentación
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control.	Menor flujo al digestor. Menor producción de biogás	Medidor de flujo que actúe sobre la válvula de control de flujo. Revisión de las válvulas de control.
	Flujo	Flujo inverso	Válvulas cerradas. Reactor completo.	Ausencia de sólidos en digestor.	Válvula anti-retorno y de seguridad
		Impurezas	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Mal calentamiento	Instalación de una rejilla

Tabla 46. HAZOP intercambiador de calor (II)

Estudio HAZOP	
Diagrama: A3 - PI - 205	Revisión:
Equipo: Depósito (D-201)	Fecha: 3/06/2015
	Por: ERB

	Variable desviación	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Depósito	Presión	Más alto	-	-	-
	Temperatura		-	-	-
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control.	Mayor flujo al depósito	Revisión de las válvulas, sistema de control y bomba de salida
	Presión	Más bajo	Problemas de presión en la unidad de suministro	Menor flujo	Revisar las tuberías y válvulas
	Temperatura		-	-	-
	Flujo		Obstrucción o pérdidas en la tubería. Válvula de flujo estropeada	Menor flujo a depósito.	Revisión de las válvulas, sistema de control y bomba de salida
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas. Reactor completo.	Ausencia de flujo en el depósito
		Sólidos	-	-	-

Tabla 47. HAZOP depósito

Estudio HAZOP

Diagrama: A3 - PI - 205

Equipo: Fotobiorreactor (R-201, R-202, R-203, R-204)

Revisión:

Fecha: 3/06/2015

Por: ERB

	Variable desviación	Desviación (palabra clave)	Posibles causas	Consecuencias	Medidas correctoras
Entrada de agua con microalgas	Presión	Más alto	-	-	-
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Mayor temperatura en el reactor. Mayor evaporación de agua	Aumentar la altura del fotobiorreactor
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control.	Mayor flujo a reactor. Desborde del reactor	Actuar sobre el flujo de renovación de agua fresca y la purga.
	Presión	Más bajo	-	-	-
	Temperatura		Problemas de temperatura en la unidad de suministro	Menor temperatura en el reactor. Peores condiciones de operación	Aumentar la altura del fotobiorreactor
	Flujo		Excesiva apertura válvula flujo entrada. Fallo válvula control. Pérdidas	Menor flujo a reactor. Mayor evaporación	Actuar sobre el flujo de renovación de agua fresca y la purga.
	Flujo		Flujo inverso	Válvulas cerradas. Reactor completo.	Ausencia de flujo en el reactor
		Sólidos	Malas condiciones en el flujo de alimentación	Peores condiciones de operación. Sólidos en el sistema.	Instalación de rejilla

Tabla 48. HAZOP fotobiorreactor

2. Hojas de seguridad

Las hojas de seguridad de los principales compuestos químicos presentes en el proceso se encuentran en el Anexo 5.

CAPÍTULO VIII. BALANCE ECONÓMICO

1. Objetivos

Estimar la inversión requerida para llevar a cabo el proyecto y el coste de todos los equipos y su construcción. Además, también se va a calcular la viabilidad del proyecto y el ahorro neto.

2. Estimación de coste

El capital que se necesita para poder comenzar el proyecto se puede clasificar en dos tipos:

- *Costes fijos*: corresponde al coste total de la planta lista para empezar a funcionar. Incluye el diseño, el pago a los contratistas y la supervisión del proyecto. Además, también hay que añadir el coste de los equipos y su instalación, todo el sistema de instrumentación y control y la construcción de los edificios.
- *Costes variables*: son los costes que cambian en proporción al funcionamiento de la planta y que depende de la producción de este.

El tiempo de vida estimado para el cálculo del balance económico del proyecto es de 20 años, con un tiempo de operación de 8h/día (2.920 h/año). Mediante este sistema se consigue un ahorro de 5.057.795,9 kg de agua por día (sin la recirculación sería necesario suministrar 6.000.000 kg/día mientras que con la recirculación solo habría que suministrar 942.204 kg/día) y de 3.693,7 kg de pienso por día (sin la recirculación habría que usar 6.715,1 kg/día de pienso).

El único producto del proceso que se puede vender para obtener beneficios es el biogás (gas natural). Por otro lado, aquellos materiales que producen gastos por su compra son el agua, la alimentación para los peces en forma de pienso. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 49:

	Flujo	Precio	
	kg/h	€/kg	MM€/año
Biogás⁽¹⁾	14,625	0,359	0,015
Pienso a suministrar⁽²⁾	125,89	0,791	0,291
Agua a suministrar⁽³⁾	39.258,5	0,001	0,117

Tabla 49. Costes y beneficios de las materias del proceso. (1) (MINETUR, 2015), (2) (FAO, 2015), (3) (MAGRAMA, 2015)

En la tabla siguiente (Tabla 50) vienen definidas los costes de todos los equipos de la planta de tratamiento de aguas. Estos valores se calculan con un valor del CEPCI de 578,4 correspondiente al mes de Diciembre de 2014 y utilizando un simulador de cálculo de coste de equipos (Peters y col. 2015). El precio de la instrumentación y las válvulas de control se obtienen de (Farnell, 2015):

Bombas	82.104	€
Intercambiador calor	8.361	€
Digestor anaerobio	973.995	€
Compresor	38.874	€
Fotobiorreactor	254.334	€
Columna absorción	23.293	€
Depósito	20.893	€
Sedimentadores	129.591	€
Instrumentación	46.050	€
Válvulas de control	110.585	€
Unidad industrial	744.000	€
Tuberías	50.769	€
TOTAL	2.489.626	€

Tabla 50. Coste total de los equipos del proceso.

Este coste total es el precio de los equipos, sin incluir el gasto en instalación, personal, etc... Para obtener este último valor se utiliza el método factorial definido en el Coulson and Richardson (2005):

$$Factor = 2,95$$

$$Coste\ total\ planta = 7.344.396\ €$$

Con todos estos valores, el resumen del coste del proyecto en cada año de funcionamiento de la planta es el siguiente (Tabla 51):

	MM€/año
B1. Ventas	0,015
B2. Costes	0,805
Variables	0,417
Materias Primas :	0,407
Producción:	0,009
Estruct. & Comercial :	0,001
Fijos	0,389
Personal:	0,2
Gastos generales:	0,042
Patentes:	0,147

Tabla 51. Resumen costes del proyecto.

3. Evaluación económica

La variable económica más importante de este tipo de proyecto es el ahorro neto que conseguimos de agua y pienso para peces mediante la reutilización de agua y el uso de microalgas como alimentación. Esto permite un menor gasto de estas materias cada año que es uno de los objetivos de este trabajo.

Lo primero que hay que hacer es calcular el coste de la materia prima (agua y pienso) cuando no hay recirculación de agua. En este caso, los gastos de ambos serían de 1,34 MM€. Por otro lado, hay que obtener los costes en el caso de haber recirculación de agua, teniendo en cuenta el beneficio que genera la venta del biogás. Este valor se obtiene a partir de la tabla 49:

$$\begin{aligned} \text{Costes} &= \text{coste agua} + \text{coste pienso} - \text{beneficio venta biogas} = \\ &= 0,291 + 0,117 - 0,015 = 0,393 \frac{\text{MM€}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Ecuación 52

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= \text{costes sin recirculacion} - \text{costes con recirculacion} = \\ &= 1,34 - 0,393 = 0,947 \frac{\text{MM€}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Ecuación 53

Este sería el ahorro económico que se conseguiría cada año con la planta de tratamiento una vez empiece a operar.

Por último, para obtener el ahorro neto hay que tener en cuenta la inversión que se realiza (7,34 MM€) y los costes de operación de la planta (costes fijos y producción) que es igual a 0,4 MM€/año. Por lo tanto, el ahorro neto que obtenemos gracias a este proyecto sería:

$$\text{Ahorro neto} = 0,947 \frac{\text{MM€}}{\text{año}} - \left(\frac{7,34 \text{ MM€}}{20 \text{ años}} + 0,4 \frac{\text{MM€}}{\text{año}} \right) = 0,18 \frac{\text{MM€}}{\text{año}}$$

Ecuación 54

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de una piscifactoría y una planta de procesado de pescado. Este diseño consigue disminuir la contaminación ambiental mediante un tratamiento del agua residual, que además permite disminuir la cantidad necesaria de agua para la cría de pescado (mediante el reuso del agua residual tratada) y la cantidad de alimentación (mediante la generación de microalgas a partir de los nutrientes del agua residual). Gracias a esto, se logra un ahorro económico a largo plazo.

Para la obtención de los resultados, los cálculos utilizados se han realizado teniendo en cuenta la bibliografía investigada y justificando cada una de las decisiones en su apartado correspondiente. Con el estudio de esta bibliografía se concluyó que el mejor proceso para el tratamiento del agua residual es la digestión anaerobia de los residuos sólidos y un tratamiento con microalgas del agua residual.

Finalmente, el proyecto cumple con todos los objetivos establecidos antes, consiguiendo un ahorro de 0,18 MM€/año. Además, se puede destacar la utilidad de este trabajo como base para su ejecución, ya que cuenta con informaciones precisas obtenidas de la bibliografía investigada.

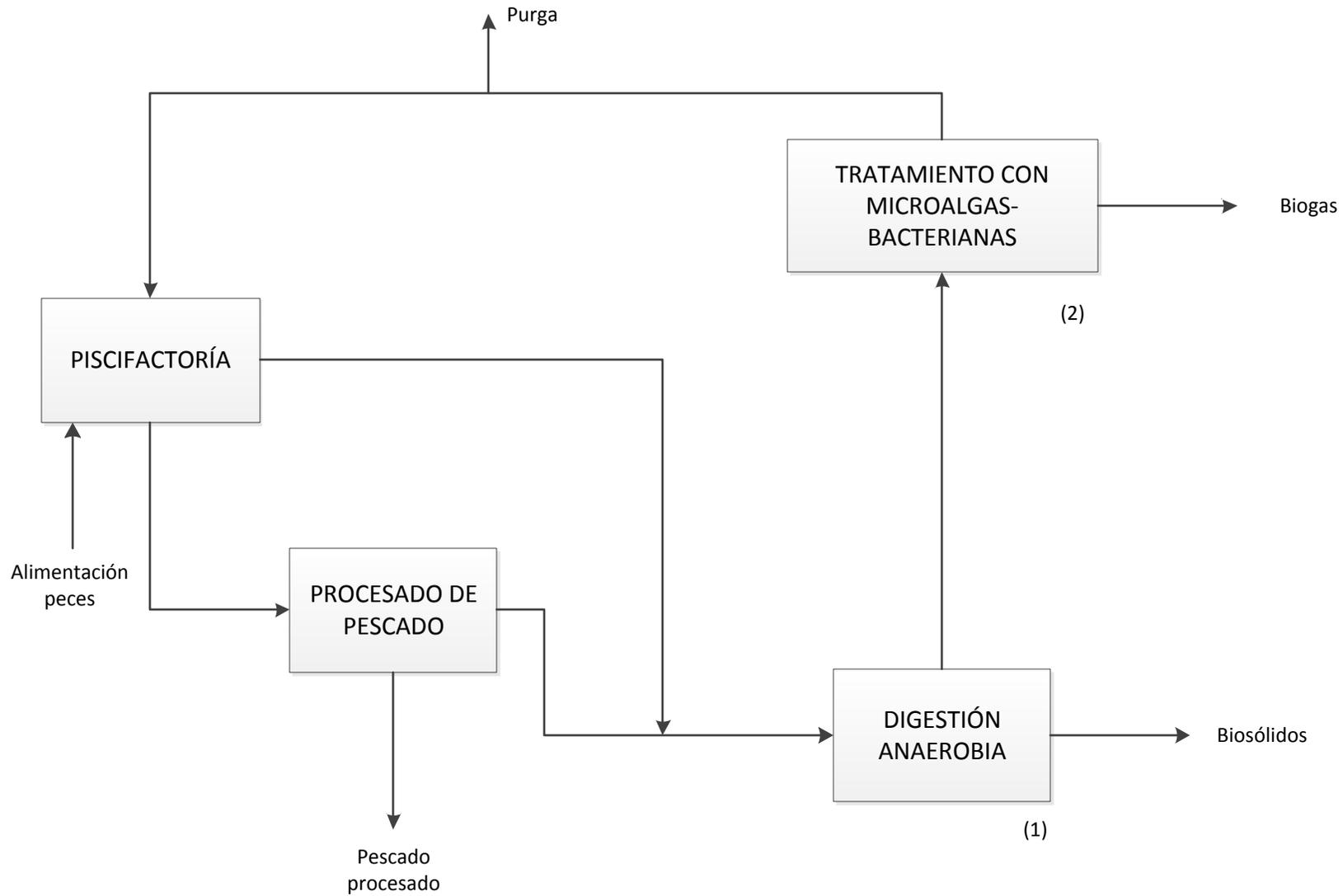
BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara C, Muñoz R, Norvill Z, Plouviez M, Guieysse B, *Nitrous oxide emissions from high rate algal ponds treating domestic wastewater*. *Bioresource Technology*, 177 (2015) 110 - 117.
- *Análisis y Prospectiva en medio ambiente, agricultura, pesca, alimentación y desarrollo rural*, Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente (MAGRAMA), 2015, http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/AyP_serie_Territorial.aspx, (último acceso 28 de Junio de 2015).
- Andersen R., *Algal Culturing Techniques*, 1º edición, Elsevier Academic Press, West Boothbay Harbor, 2005.
- Appels L., Baeyens J., Degreve J., Dewil R., *Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge*, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (2008) 755 - 781.
- APROMAR - ESACUA - OPP - Fundación OESA, *La Acuicultura en España 2014*, 2014.
- *Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System*, FAO, 2015, <http://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/rainbow-trout/faqs/en/>, (último acceso 28 de Junio de 2015).
- ASME (American Society of Mechanical Engineers), Sección VIII, division 1, *Pressure Vessels*, 1928.
- *Automatización Y Control De Procesos*, Farnell, <http://es.farnell.com/automatizacioncontrol-de-procesos>, (último acceso 28 de Junio de 2015).
- Bahr M., Díaz I., Dominguez A., González Sánchez A., Muñoz R., *Microalgal-Biotechnology As a Platform for an Integral Biogas Upgrading and Nutrient Removal from Anaerobic Effluents*, *Environmental Science & Technology*, 48 (2013) 573 - 581.
- Boyd C. E., *Guidelines for aquaculture effluent at the farm-level*, *Aquaculture*, 226 (2003), 101-112.
- Chowdhury P., Viraraghavan T., Srinivasan A., *Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review*, *Bioresource Technology*, 101 (2010) 439 - 449.
- De Mes T., Stams A., Reith J., Zeeman G., *Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes*, *Bio-methane & Bio-hydrogen* (2003).
- *Electricity and natural gas price statistics*, Eurostat, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics, (ultimo acceso 28 de Junio de 2015).
- Food and Agriculture Organization (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*, Roma, 2014.

- Ghaly A., Ramkrishnan V., Brooks M., Budge M., Dave D., *Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review*, *Microbial & Biochemical Technology*, 5 (2013) 107-129.
- GLITNIR, *EU Seafood Industry Report*, Reikiavik, 2008.
- Greenpeace, *La Industria Acuícola y de engorde: un reto de Sostenibilidad*, Ámsterdam, 2008.
- Hall S., *Rules of Thumb for Chemical Engineers*, 5ª edición, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2012.
- Hemaiswarya S., Ravi Kumar R., Raja R., Ganesan V., Anbazhagan C., *Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture*, *World Journal Microbiology Biotechnology*, 27 (2011) 1737 – 1746.
- Instituto Nacional de Estadística (INE), *Estadística sobre la generación de residuos en la pesca y la acuicultura*, 2006.
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDEA), *Biomasa: digestores anaerobio*, Madrid, 2007.
- Kocer M., Kanyilmaz M., Yilayaz A., Sevgili H., *Waste loading into a regulated stream from land-based trout farms*, *Aquaculture Environment Interactions*, 3 (2013) 187-195.
- Larrán A. M., Illán G., *El Sector Acuícola en Castilla y León*, 2006.
- Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4ª edición, McGraw Hill, Nueva York, 2003, pp 33
- *Ministerio de Industria, energía y turismo (MINETUR)*, 2015, http://www.minetur.gob.es/energia/gas/Legislacion/2015/830_Resolucion_Par ametros_Subasta_TUR_jun_15.pdf (último acceso 1 de Julio de 2015).
- Omil F., Méndez R., Lema J., *Anerobic treatment of seafood processing waste waters in an industrial anaerobic pilot plant*, *Water S. A.*, 22 (1996) 173-181.
- Oswald W., *Large-scale algal culture systems (engineering aspects)*, *Micro-algal biotechnology* (Borowitzka M. A. y Borowitzka L. J.), pp. 357 - 394, Cambridge University Press, 1998.
- Park J., Craggs R., Shilton A., *Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production*, *Bioresource Technology*, 102 (2011) 35 – 42.
- Peters M., K. Timmerhaus, R. West, *Equipment Cost (Plant Design and Economics for Chemical Engineers)*, MacGraw Hill, <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/>, (último acceso 28 de Junio de 2015).
- Piedrahita R., *Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation*, *Aquaculture*, 226 (2003) 35-44.
- Posadas E., Bochón S., Coca M., García-González M., García-Encina P., Muñoz R., *Microalgae-based agro-industrial wastewater treatment: a preliminary screening of biodegradability*, *Journal of Applied Phycology*, 26 (2014) 2335-2345.
- Posadas E., Muñoz A., García-González M., Muñoz R., García-Encina P., *A case study of a pilot high rate algal pond for the treatment of fish farm and domestic wastewaters*, *Journal Chemical Technology Biotechnology*, 6 (2014) 1094-1101.

- Scientific Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF), *The Economic Performance of the EU Fish Processing Industry*, Bruselas, 2013.
- Serejo M., Posadas E., Boncz M., Blanco S., García-Encina P., Muñoz R., *Influence of biogas flow rate on biomass composition during the optimization of biogas upgrading in microalgal-bacterial processes*, *Environmental science & technology*, 49 (2015), 3228-3236.
- Sinnott R., *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*, Vol. 6, 4ª edición, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005, pp 758, 243 – 275.
- Soo Suh I., Lee C., *Photobioreactor Engineering: Design and performance*, *Biotechnology and bioprocess engineering*, 8 (2003) 313 – 321.
- Tay J., Show K., Hung Y., *Seafood Processing Wastewater Treatment*, en: L. Wang (Eds), *Waste Treatment in the Food Processing Industry*, 4ª edición, Taylor & Francis, Florida 2006, pp 184.
- Turovskiy T., Mathai P., *Wastewater Sludge Processing*, Wiley – Interscience, New Jersey, 2006 pp 153.
- Ugwu C., Aoyagi H., Uchiyama H., *Photobioreactors for mass cultivation of algae*, 99 (2008) 4021 – 4028.

ANEXO 1. DIAGRAMA DE BLOQUES



General Notes

(1) Reactor continuo de tanque agitado (CSRT)

(2) Fotobiorreactores High algal rate pond (HRAP)

Drawing Name

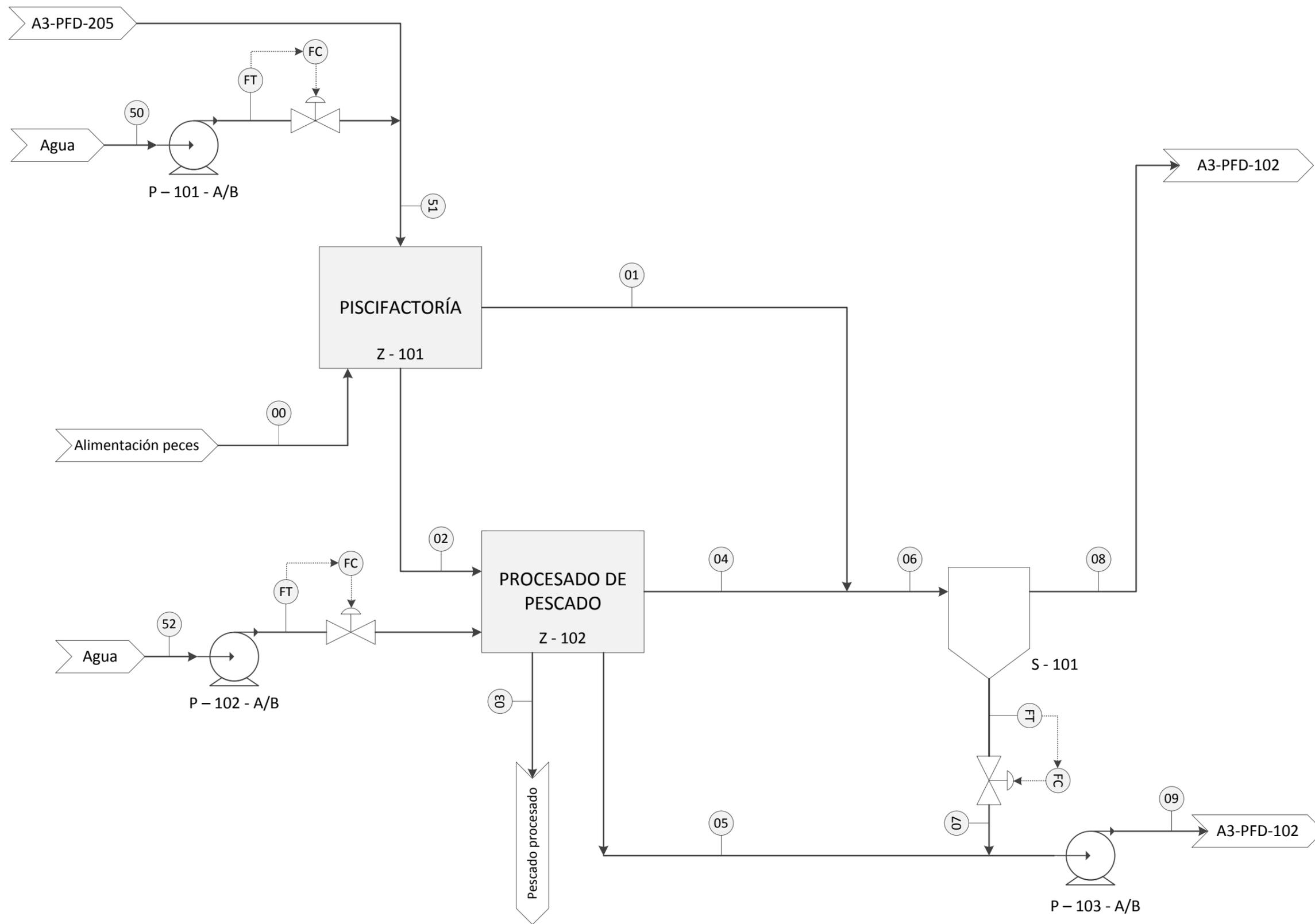
Diagrama de bloques

Project Name

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas para reutilización de agua y valorización de nutrientes

Area	
Drawing Number	
Author	ERB

ANEXO 2. DIAGRAMAS DE FLUJO (PFD)



General Notes

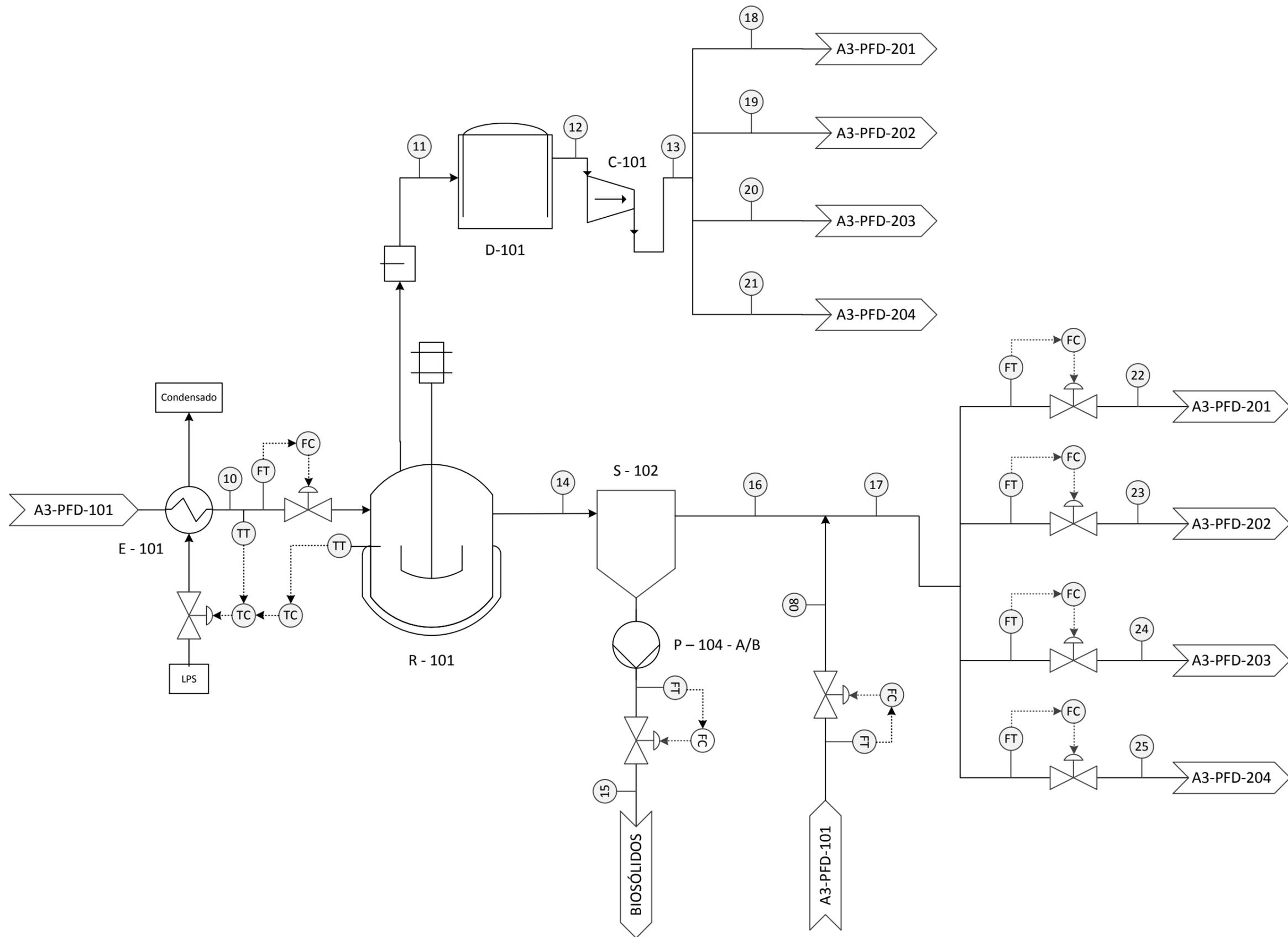
Drawing Name

Recepción de aguas y sólidos residuales procedentes de piscifactoría y planta de procesado de pescado

Project Name

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas para reutilización de agua y valorización de nutrientes

Area	Área 1
Drawing Number	A3 - PFD - 101 - 1
Author	ERB



General Notes

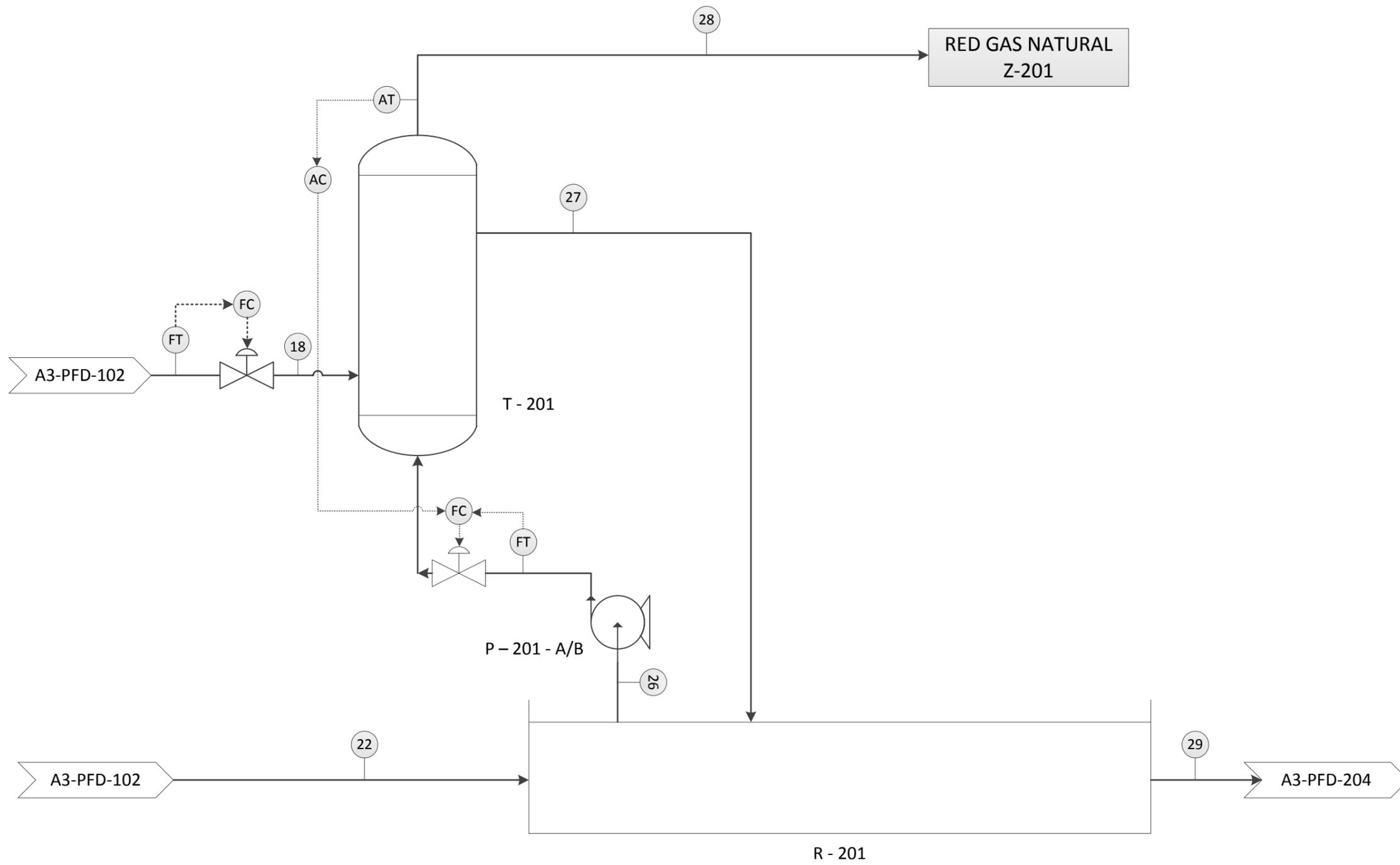
Drawing Name

Digestión anaerobia de los residuos sólidos del proceso

Project Name

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas para reutilización de agua y valorización de nutrientes

Area	Área 1
Drawing Number	A3 - PFD - 102 - 1
Author	ERB



General Notes

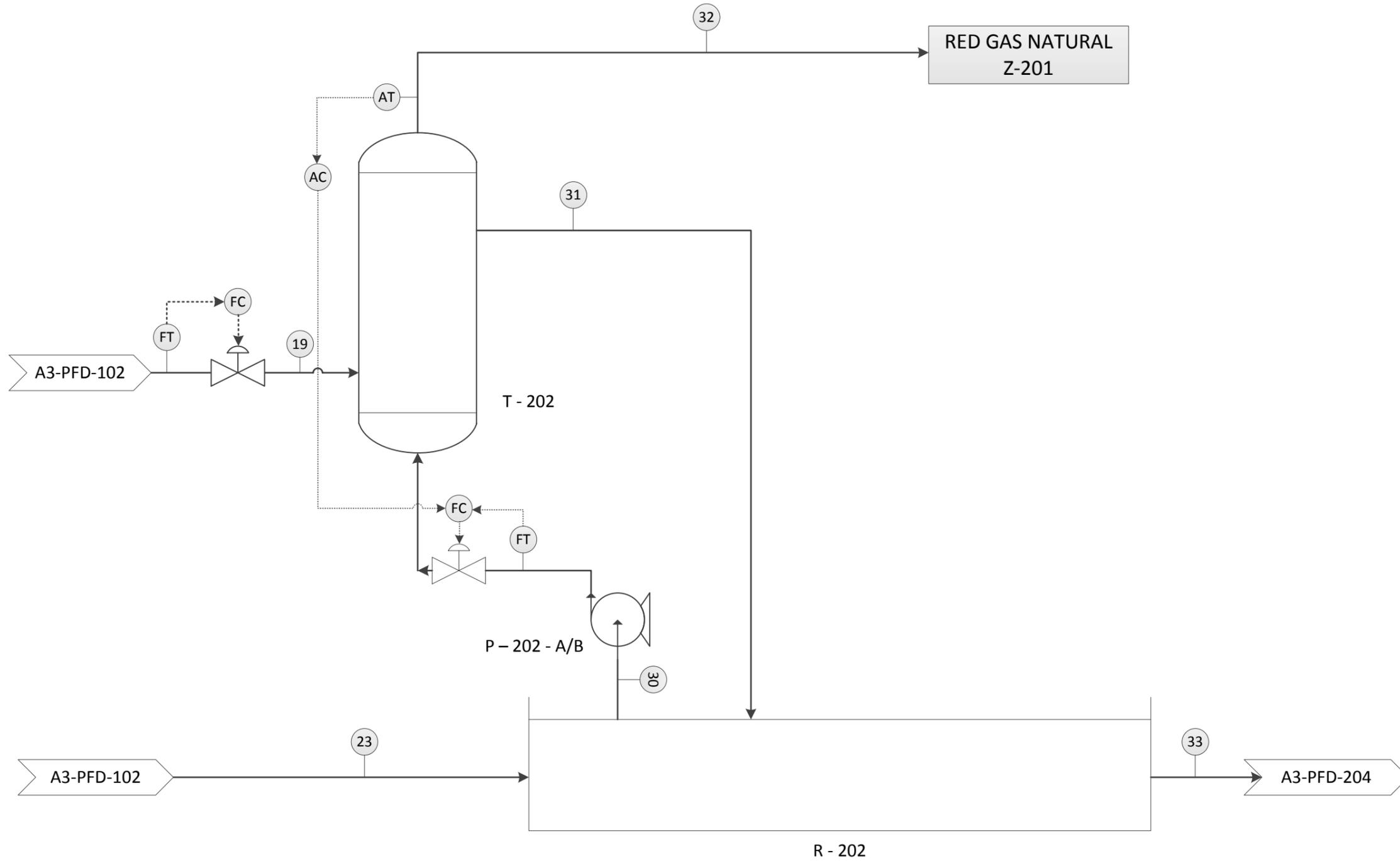
Drawing Name

*Tratamiento del agua residual en
fotobiorreactor de microalgas 1
(HRAP)*

Project Name

*Diseño de un sistema de tratamiento
de aguas residuales de piscifactoría
mediante fotobiorreactores de
microalgas para reutilización de agua
y valorización de nutrientes*

Area	Área 2
Drawing Number	A3 - PFD - 201 - 1
Author	ERB



General Notes

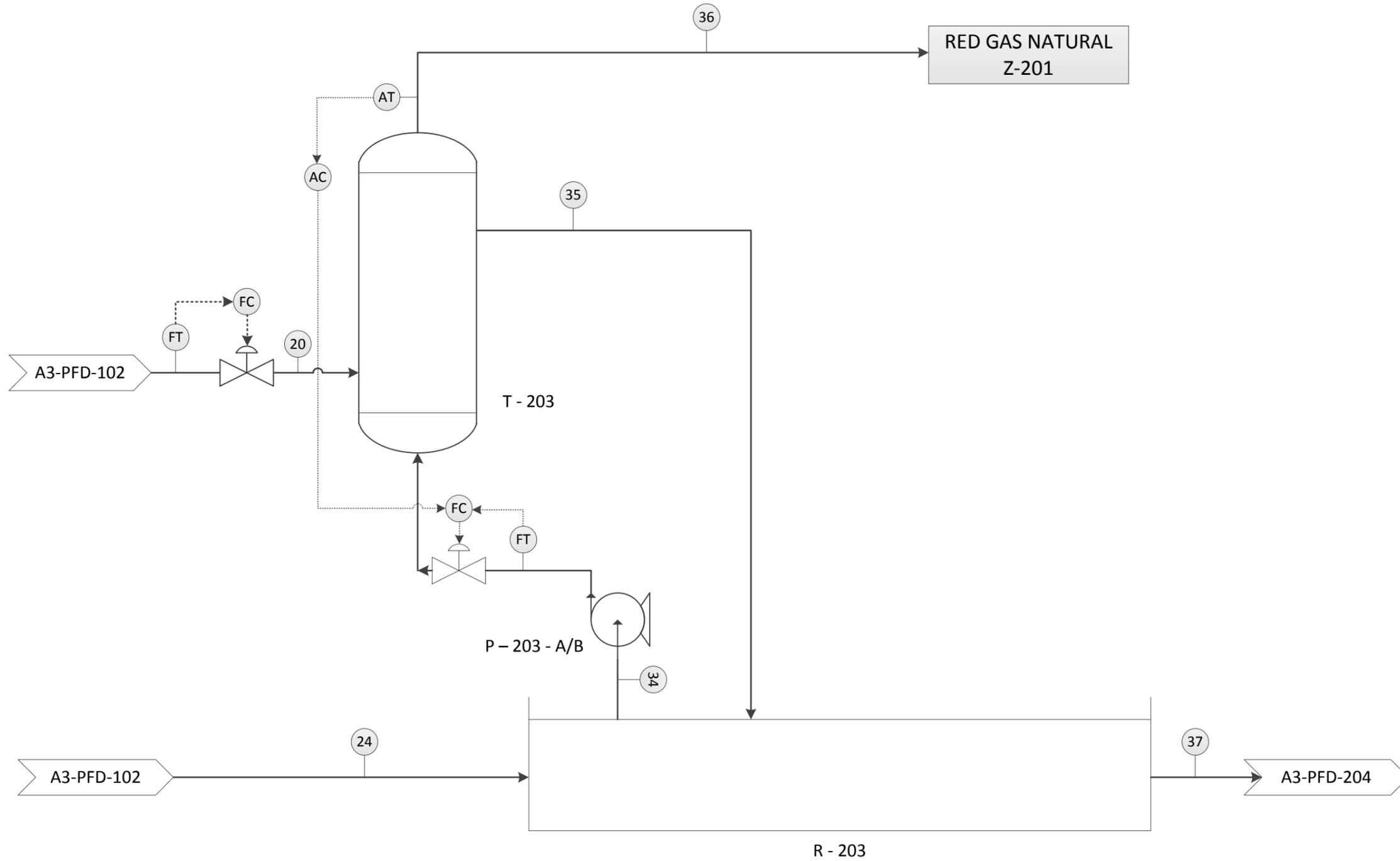
Drawing Name

*Tratamiento del agua residual en
fotobiorreactor de microalgas 2
(HRAP)*

Project Name

*Diseño de un sistema de tratamiento
de aguas residuales de piscifactoría
mediante fotobiorreactores de
microalgas para reutilización de agua
y valorización de nutrientes*

Area	Área 2
Drawing Number	A3 - PFD - 202 - 1
Author	ERB



General Notes

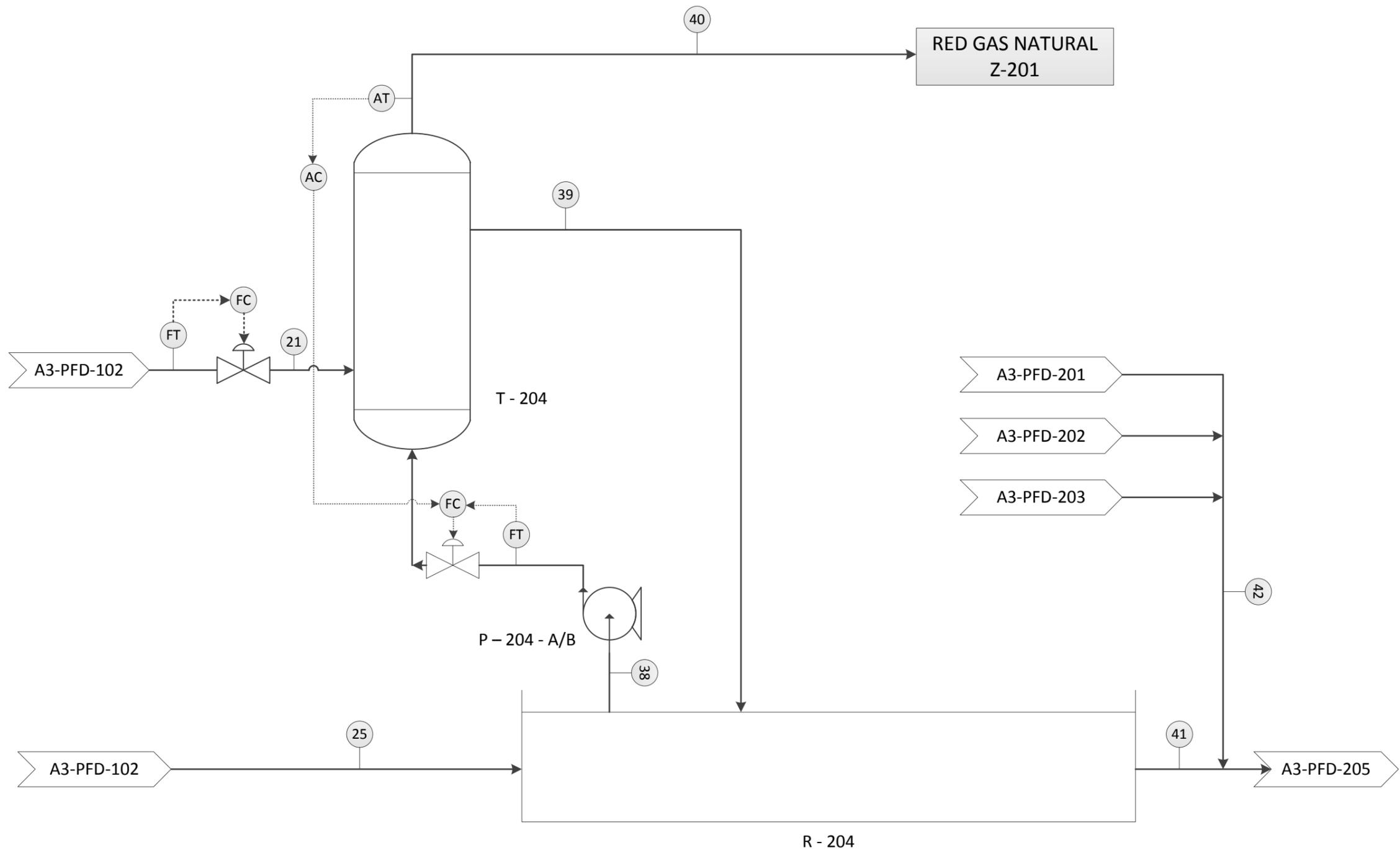
Drawing Name

Tratamiento del agua residual en fotobiorreactor de microalgas 3 (HRAP)

Project Name

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas para reutilización de agua y valorización de nutrientes

Area	Área 2
Drawing Number	A3 - PFD - 203 - 1
Author	ERB



General Notes

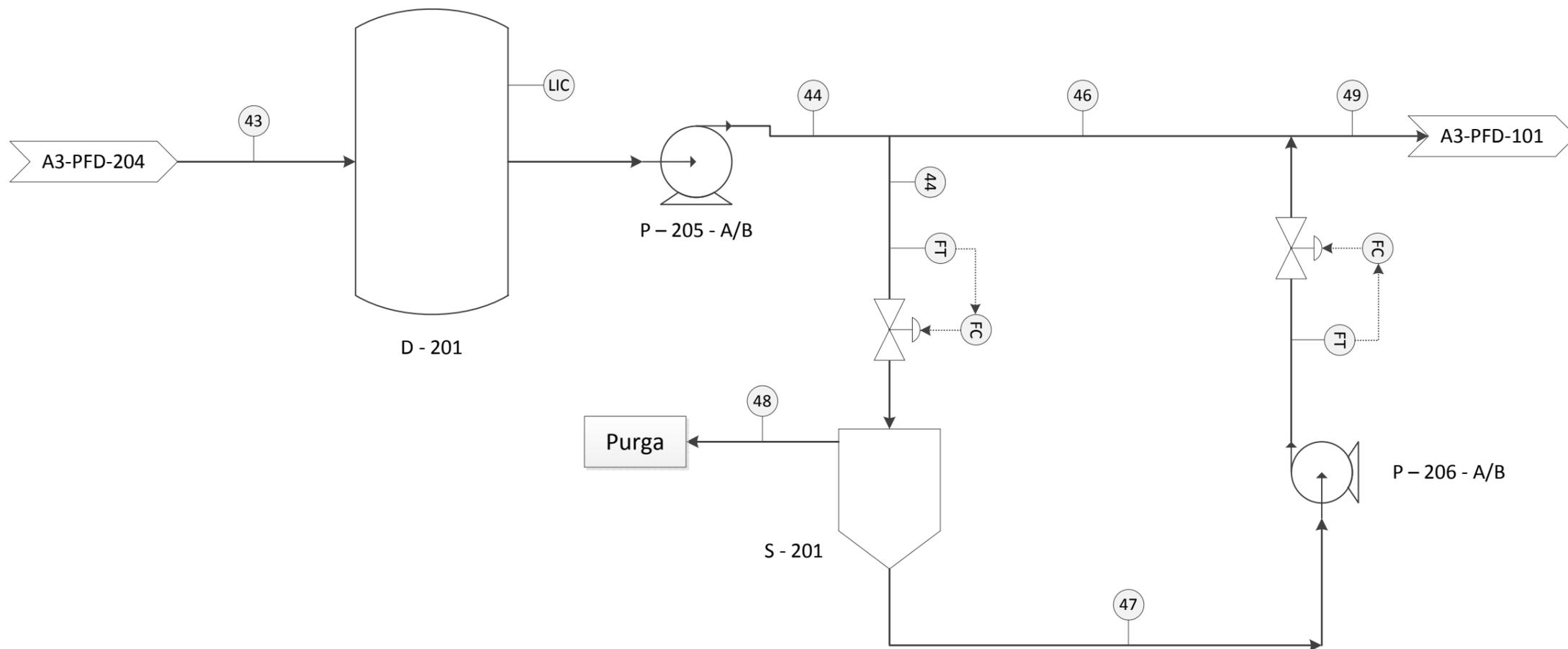
Drawing Name

*Tratamiento del agua residual en
fotobiorreactor de microalgas 4
(HRAP)*

Project Name

*Diseño de un sistema de tratamiento
de aguas residuales de piscifactoría
mediante fotobiorreactores de
microalgas para reutilización de agua
y valorización de nutrientes*

Area	Área 2
Drawing Number	A3 - PFD - 204 - 1
Author	ERB



General Notes

Drawing Name

Purga de la corriente de agua de recirculación hacia piscifactoría

Project Name

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas para reutilización de agua y valorización de nutrientes

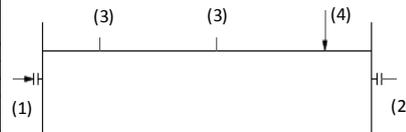
Area	Área 2
Drawing Number	A3 - PFD - 205 - 1
Author	ERB



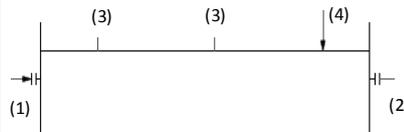
 Universidad de Valladolid				INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS PROCESS DATA SHEET			
REV.	0			JOB N°	2015		
DATE	03/07/2015			UNIT			
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPRV				LOCATION	Castilla y León (España)		
REV.							
0	1	ITEM NUMBER	E-101	QUANTITY	1		
0	2	SERVICE	Calentamiento de residuos sólidos				
0	3	OPERATING CASE	Caso normal				
0	4	Type	Placas	Units	FLUIDO CALIENTE	FLUIDO FRÍO	
0	5	FLUID CIRCULATED			Vapor baja presión	Agua residual	
0	6	FLOW	TOTAL.	Normal (Máx.)	kg/h		
0	7		Gas				
0	8		Liquid			4509,31	
0	9		Steam				
0	10		Incondensables				
0	11		Vaporized or condensate				
0	12		Steam or condensate		5163,56		
0	13	LIQUID DENSITY (Inlet/Outlet)		kg/m ³	1,13	942,82	999,15 992,23
0	14	VISCOSITY-LIQUID (Inlet/Outlet)		cP	0,013	0,23	1,14 0,65
0	15	MOLECULAR WEIGHT-GAS (Inlet/Outlet)			18		
0	16	SPECIFIC HEAT (Inlet/Outlet)		kcal/kg K	0,51	1,02	1,00 0,99
0	17	ENTHALPY (Inlet/Outlet)		kcal/h	1,03E+06	6,32E+05	6,76E+04 1,79E+05
0	18	THERMAL CONDUCTIVITY		kW/m·K	2,77E-05	6,86E-04	5,96E-04 6,32E-04
0	19	SURFACE TENSION		N/m	0,0548		0,07349
0	20	TEMPERATURE	INLET	°C	120		15
0	21		OUTLET	°C	120		40
0	22	OPERATING PRESSURE (Normal, Inlet)		barg	0		0
0	23	ALLOWABLE PRESSURE DROP		bar	0,26		0,3
0	24	FOULING FACTOR		h m ² °C/kJ	2,00E-04		3,33E-05
0	25	DUTY		kcal/h	113145,3		
0	26	SURFACE OVERDESIGN		%	15		
0	27	DESIGN CONDITIONS					
0	28	PRESSURE		barg	3,5		3,5
0	29	TEMPERATURE		°C	155		67,5
0	30	MATERIALS					
0	31	Shell and cover	Acero	Tubes	-		
0	32	Floating head and cover	-	Channel and cover	Acero		
0	33	Fixed tubesheet	-	Floating tubesheet	-		
0	34	Wear plate	Titanio	Baffles	-		
0	35	Joint type	Gaskets				
0	36	CORROSION ALLOWANCE	Plates	1,5 mm	Tube side	-	mm
0	37	NOZZLES	Cold side	Inlet	1	inch	Outlet 1 inch
0	38		Hot side	Inlet	1	inch	Outlet 1 inch
0	39	CODE REQUIREMENTS	ASME code sec VIII Div 1				
0	40	NOTES					
0	41						
0	41						
0	42						
0	43						
0	44						

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PISCIFACTORIAS MEDIANTE FOTOBIORREACTORES DE MICROALGAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA Y VALORIZACIÓN DE NUTRIENTES

 Universidad de Valladolid				FOTOBIORREACTOR PROCESS DATA SHEET	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	10/07/2015		UNIT	
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV				LOCATION	Castilla y León (España)
REV.					
0 1	Item Number:	R-201	Quantity:	1	
0 2	Service:	Tratamiento de agua residual con microalgas			
0 3	Fluids:	Agua con microalgas			
0 4	Volume	28752,7	m ³		
0 5	Length (ID)	536,2	Height (TL-TL)	500 mm	
0 6	Width (ID)	13,41 m			
0 7	Horizontal or Vertical	Horizontal			
0 8	Demister	D P	bar	Thickness	mm
0 9					
0 10			PRESSURE bar g		TEMPERATURE °C
0 11		Operating	Design	Operating	Design
0 12	Shell	0	3,5	20	55
0 13	Jacket				
0 14	Coil				
0 15					
0 16			MATERIAL		CORR. ALLOW.
0 17	Shell	Recubrimiento PVC		0,75 mm	
0 18	Heads	-		mm	
0 19	Jacket	-		mm	
0 20	Coil	-		mm	
0 21	Demister	-		mm	
0 22					
0 23	Internal liner				Thickness: mm
0 24	Head type				
0 25	Code				
0 26	Liquid height	500 mm			
0 27	Specific Gravity	1000 kg/m ³	@	20	°C
0 28	Steam Out conditions	-	bar g	@	°C
0 29	Stress Relieve for Process Reasons				
0 30	Minimum Elevation (BTL to Grade)	0 mm			
0 31	Insulation:	Type	-		
0 32		Thickness	mm		
0 33	Radiograph				
0 34					
0 35	NOZZLES				
0 36	Mark N°	Quantity	Size (mm)	Service	
0 37	1	1	10"	Entrada residuos líquidos	
0 38	2	1	10"	Salida de agua tratada con algas	
0 39	3	1	1/4"	Salida de agua hacia absorbedor	
0 40	4	1	1/4"	Retorno de agua del absorbedor	
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					
0 56					
0 57					



 Universidad de Valladolid				FOTOBIOREACTOR PROCESS DATA SHEET	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	10/07/2015		UNIT	
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV				LOCATION	Castilla y León (España)
REV.					
0 1	Item Number:	R-203	Quantity:	1	
0 2	Service:	Tratamiento de agua residual con microalgas			
0 3	Fluids:	Agua con microalgas			
0 4	Volume	28752,7	m ³		
0 5	Length (ID)	536,2	Height (TL-TL)	500 mm	
0 6	Width (ID)	13,41 m			
0 7	Horizontal or Vertical	Horizontal			
0 8	Demister	D P	bar	Thickness	mm
0 9					
0 10	PRESSURE		bar g	TEMPERATURE °C	
0 11	Operating	Design	Operating	Design	
0 12	Shell	0	3,5	20	55
0 13	Jacket				
0 14	Coil				
0 15					
0 16	MATERIAL		CORR. ALLOW.		
0 17	Shell	Recubrimiento PVC		0,75 mm	
0 18	Heads	-		mm	
0 19	Jacket	-		mm	
0 20	Coil	-		mm	
0 21	Demister	-		mm	
0 22					
0 23	Internal liner	Thickness:			mm
0 24	Head type				
0 25	Code				
0 26	Liquid height	500 mm			
0 27	Specific Gravity	1000 kg/m ³	@	20	°C
0 28	Steam Out conditions	-	bar g	@	°C
0 29	Stress Relieve for Process Reasons				
0 30	Minimum Elevation (BTL to Grade)	0 mm			
0 31	Insulation:	Type	-		
0 32		Thickness	mm		
0 33	Radiograph				
0 34					
0 35	NOZZLES				
0 36	Mark N°	Quantity	Size (mm)	Service	
0 37	1	1	10"	Entrada residuos líquidos	
0 38	2	1	10"	Salida de agua tratada con algas	
0 39	3	1	1/4"	Salida de agua hacia absorbedor	
0 40	4	1	1/4"	Retorno de agua del absorbedor	
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					
0 56					
0 57					

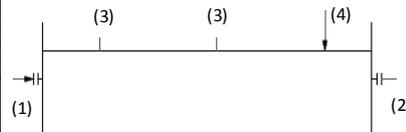


DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PISCIFACTORIAS MEDIANTE FOTOBIORREACTORES DE MICROALGAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA Y VALORIZACIÓN DE NUTRIENTES

 Universidad de Valladolid				FOTOBIORREACTOR PROCESS DATA SHEET	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	10/07/2015		UNIT	
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV				LOCATION	Castilla y León (España)
REV.					
0 1	Item Number: R-202		Quantity: 1		
0 2	Service: Tratamiento de agua residual con microalgas				
0 3	Fluids: Agua con microalgas				
0 4	Volume		28752,7 m ³		
0 5	Length (ID)	536,2	Height (TL-TL)	500 mm	
0 6	Width (ID)	13,41 m			
0 7	Horizontal or Vertical Horizontal				
0 8	Demister	D P	bar	Thickness	mm
0 9					
0 10			PRESSURE bar g	TEMPERATURE °C	
0 11			Operating	Design	Operating
0 12	Shell		0	3,5	20
0 13	Jacket				55
0 14	Coil				
0 15					
0 16			MATERIAL	CORR. ALLOW.	
0 17	Shell		Recubrimiento PVC	0,75 mm	
0 18	Heads		-	mm	
0 19	Jacket		-	mm	
0 20	Coil		-	mm	
0 21	Demister		-	mm	
0 22					
0 23	Internal liner		Thickness:	mm	
0 24	Head type				
0 25	Code				
0 26	Liquid height	500 mm			
0 27	Specific Gravity	1000 kg/m ³		@	20 °C
0 28	Steam Out conditions	-	bar g	@	°C
0 29	Stress Relieve for Process Reasons				
0 30	Minimum Elevation (BTL to Grade)	0 mm			
0 31	Insulation:	Type	-		
0 32		Thickness	mm		
0 33	Radiograph				
0 34					
0 35	NOZZLES				
0 36	Mark N°	Quantity	Size (mm)	Service	
0 37	1	1	10"	Entrada residuos líquidos	
0 38	2	1	10"	Salida de agua tratada con algas	
0 39	3	1	1/4"	Salida de agua hacia absorbedor	
0 40	4	1	1/4"	Retorno de agua del absorbedor	
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					
0 56					
0 57					



 Universidad de Valladolid				FOTOBIOREACTOR PROCESS DATA SHEET	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	10/07/2015		UNIT	
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV				LOCATION	Castilla y León (España)
REV.					
0 1	Item Number:	R-204	Quantity:	1	
0 2	Service:	Tratamiento de agua residual con microalgas			
0 3	Fluids:	Agua con microalgas			
0 4	Volume	28752,7	m ³		
0 5	Length (ID)	536,2	Height (TL-TL)	500	mm
0 6	Width (ID)	13,41	m		
0 7	Horizontal or Vertical	Horizontal			
0 8	Demister	D P	bar	Thickness	mm
0 9					
0 10		PRESSURE bar g		TEMPERATURE °C	
0 11		Operating	Design	Operating	Design
0 12	Shell	0	3,5	20	55
0 13	Jacket				
0 14	Coil				
0 15					
0 16		MATERIAL		CORR. ALLOW.	
0 17	Shell	Recubrimiento PVC		0,75 mm	
0 18	Heads	-		mm	
0 19	Jacket	-		mm	
0 20	Coil	-		mm	
0 21	Demister	-		mm	
0 22					
0 23	Internal liner			Thickness:	mm
0 24	Head type				
0 25	Code				
0 26	Liquid height	500 mm			
0 27	Specific Gravity	1000	kg/m ³	@	20 °C
0 28	Steam Out conditions	-	bar g	@	°C
0 29	Stress Relieve for Process Reasons				
0 30	Minimum Elevation (BTL to Grade)	0 mm			
0 31	Insulation:	Type	-		
0 32		Thickness	mm		
0 33	Radiograph				
0 34					
0 35		NOZZLES			
0 36	Mark N°	Quantity	Size (mm)	Service	
0 37	1	1	10"	Entrada residuos líquidos	
0 38	2	1	10"	Salida de agua tratada con algas	
0 39	3	1	1/4"	Salida de agua hacia absorbedor	
0 40	4	1	1/4"	Retorno de agua del absorbedor	
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					
0 56					
0 57					



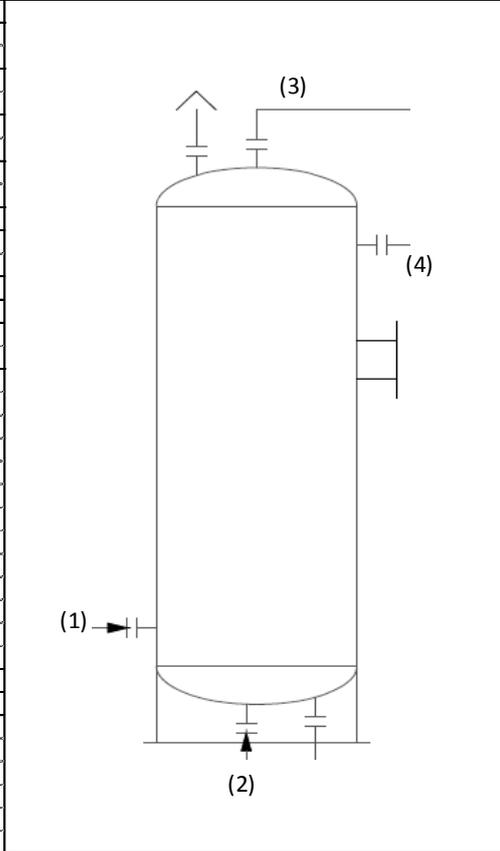


Universidad de Valladolid

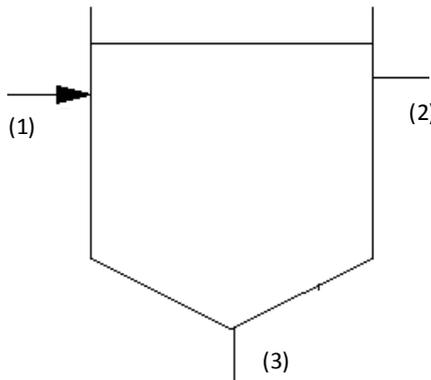
ABSORBEDOR PROCESS DATA SHEET

REV.	0	1			JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	06/06/2015			UNIT	
BY	ERB	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid
APPRV					LOCATION	Castilla y León (España)

REV.	0	1	Item Number: T-203 Quantity: 1			
0	2		Service: Eliminación de CO ₂ y H ₂ S			
0	3		Fluids:		Liquid stream	Gas stream
0	4				Agua con microalgas	Biogas
0	5		Volume	8,65 m ³		
0	6					
0	7		1900			
0	8		3000			
0	9		PRESSURE bar g		TEMPERATURE °C	
0	10		Operating	Design	Operating	Design
0	11		0	3,5	20	55
0	12					
0	13		MATERIAL		CORR. ALLOW.	
0	14	Shell	FRP		2 mm	
0	15	Heads	FRP		2 mm	
0	16	Internal liner	Thickness: mm			
0	17	Heads type	Elipsoidal			
0	18	Code	ASME VIII div 1			
0	19	Type of flow	Co-corriente			
0	20	Specific Gravity	Liquid	1	@	20 °C
0	21		Gas	0,001	@	20 °C
0	22	Steam Out conditions	bar g		@	°C
0	23	Stress Relieve for Process Reasons				
0	24	Minimum Elevation (BTL to Grade)	500 mm			
0	25	Insulation: Type				
0	26		Thickness mm			
0	27	Radiograph				
0	28					
0	29	NOZZLES				
0	30	Mark N°	Quantity	Size	Service	
0	31		1	0,5"	Entrada de bio gas	
0	32		1	0,25"	Entrada de líquido con microalgas	
0	33		1	0,5"	Salida de bio gas	
0	34		1	0,25"	Salida de líquido	
0	35					
0	36					
0	37					
0	38					
0	39					
0	40					
0	41					
0	42					
0	43					
0	44					
0	45					
0	46					
0	47					
0	48					
0	49					
0	50					
0	51					



REV.	0	37	NOTES			
0	38					
0	39					
0	40					
0	41					
0	42					
0	43					
0	44					
0	45					
0	46					
0	47					
0	48					
0	49					
0	50					
0	51					

 Universidad de Valladolid				<h2 style="text-align: center;">SEDIMENTADOR PROCESS DATA SHEET</h2>			
REV.	0	1		JOB N°	2015		
DATE	19/05/2015	06/06/2015		UNIT			
BY	ERB	ERB		CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V				LOCATION	Castilla y León (España)		
REV.	0 1 Item Number: S-101 Quantity: 1 0 2 Service: Sedimentador de sólidos 0 3 Fluid: Agua con sólidos en suspensión 0 4 Capacity: 500.7 m³ 0 5 Diameter (ID) 1880 mm Height 3330 mm 0 6 PRESSURE Operating 1 Atm 0 7 IN TANK Design 3.5 barg 0 8 Vacuum Des. 0 9 TEMPERATURE Operating 15 °C 0 10 IN TANK Design 50 °C 0 11 COIL Operating Pressure bar g 0 12 Operating Temp. °C 0 13 Design Pressure bar g 0 14 Design Temperature °C 0 15 Nominal Diameter inch 0 16 Length m 0 17 MATERIAL CORR. ALLOW. 0 18 Shell / Roof SA-515 3 mm 0 19 Cladding mm 0 20 Coil mm 0 21 Type: <input type="checkbox"/> Helipsoidal Roof <input type="checkbox"/> Floating Roof 0 22 <input type="checkbox"/> API <input type="checkbox"/> Refrigerated 0 23 Bottom <input checked="" type="checkbox"/> Helipsoidal 0 24 <input type="checkbox"/> Conical Pointing Downwards 0 25 <input type="checkbox"/> Conical Pointing Upwards 0 26 Code: ASME VIII div 1 0 27 Stress Relieve for Process reasons: 0 28 Insulation: Type 0 29 Thickness mm						
							
0 31	NOTES			NOZZLES			
0 32				Mark N°	Quantity	Size	Service
0 33				1	1	20"	Entrada de agua con sólidos
0 34				2	1	3"	Salida de sólidos
0 35				3	1	20"	Salida de líquido sin sólidos
0 36							
0 37							
0 38							
0 39							
0 40							
0 41							
0 42							
0 43							
0 44							
0 45							
0 46							
0 47							
0 48							
0 49							
0 50							
0 51							
0 52							
0 53							
0 54							
0 55							

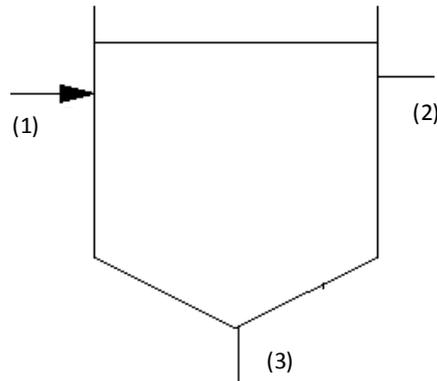


Universidad de Valladolid

SEDIMENTADOR PROCESS DATA SHEET

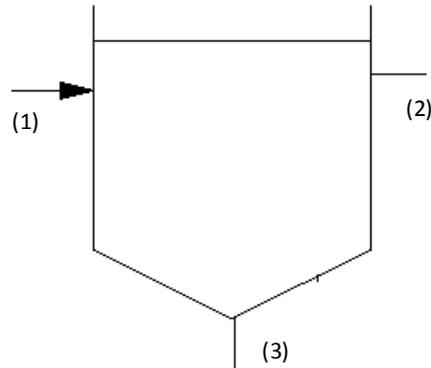
REV.	0	1			JOB N°	2015	
DATE	19/05/2015	06/06/2015			UNIT		
BY	ERB	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid	
APPR'V					LOCATION	Castilla y León (España)	

REV.			
0 1	Item Number:	S-102	Quantity: 1
0 2	Service:	Sedimentador de sólidos	
0 3	Fluid:	Agua con sólidos en suspensión	
0 4	Capacity:	1127	m ³
0 5	Diameter (ID)	2220	mm
	Height	2920	mm
0 6	PRESSURE	Operating	1 Atm
0 7	IN TANK	Design	3,5 barg
0 8		Vacuum Des.	
0 9	TEMPERATURE	Operating	36 °C
0 10	IN TANK	Design	71 °C
0 11	COIL	Operating Pressure	bar g
0 12		Operating Temp.	°C
0 13		Design Pressure	bar g
0 14		Design Temperature	°C
0 15		Nominal Diameter	inch
0 16		Length	m
0 17		MATERIAL	CORR. ALLOW.
0 18	Shell / Roof	SA-515	3 mm
0 19	Cladding		mm
0 20	Coil		mm
0 21	Type:	<input type="checkbox"/> Helipsooidal Roof	<input type="checkbox"/> Floating Roof
0 22		<input type="checkbox"/> API	<input type="checkbox"/> Refrigerated
0 23	Bottom	<input checked="" type="checkbox"/> Helipsooidal	
0 24		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Downwards	
0 25		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Upwards	
0 26	Code:	ASME VIII div 1	
0 27	Stress Relieve for Process reasons:		
0 28	Insulation:	Type	
0 29		Thickness	mm



REV.	NOTES	NOZZLES			
		Mark N°	Quantity	Size	Service
0 31					
0 32					
0 33		1	1	3"	Entrada de corriente con sólidos
0 34		2	1	0,375"	Salida de biosólidos
0 35		3	1	3"	Salida de líquido sin sólidos
0 36					
0 37					
0 38					
0 39					
0 40					
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					

 Universidad de Valladolid				SEDIMENTADOR PROCESS DATA SHEET	
REV.	0	1		JOB N°	2015
DATE	19/05/2015	06/06/2015		UNIT	
BY	ERB	ERB		CLIENT	Universidad de Valladolid
APPR'V				LOCATION	Castilla y León (España)
REV.					
0 1	Item Number:	S-102	Quantity:	1	
0 2	Service:	Sedimentador de sólidos			
0 3	Fluid:	Agua con sólidos en suspensión			
0 4	Capacity:	45,4	m ³		
0 5	Diameter (ID)	450	mm	Height	3330 mm
0 6	PRESSURE	Operating	1	Atm	
0 7	IN TANK	Design	3,5	barg	
0 8		Vacuum Des.			
0 9	TEMPERATURE	Operating	20	°C	
0 10	IN TANK	Design	55	°C	
0 11		COIL	Operating Pressure	bar g	
0 12		Operating Temp.	°C		
0 13		Design Pressure	bar g		
0 14		Design Temperature	°C		
0 15		Nominal Diameter	inch		
0 16		Length	m		
0 17		MATERIAL	CORR. ALLOW.		
0 18	Shell / Roof	SA-515	3	mm	
0 19	Cladding		mm		
0 20	Coil		mm		
0 21	Type:	<input type="checkbox"/> Helipsooidal Roof	<input type="checkbox"/> Floating Roof		
0 22		<input type="checkbox"/> API	<input type="checkbox"/> Refrigerated		
0 23	Bottom	<input checked="" type="checkbox"/> Helipsooidal			
0 24		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Downwards			
0 25		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Upwards			
0 26	Code:	ASME VIII div 1			
0 27	Stress Relieve for Process reasons:				
0 28	Insulation:	Type			
0 29		Thickness	mm		
0 30					
0 31	NOTES			NOZZLES	
0 32			Mark N°	Quantity	Size Service
0 33			1	1	3" Entrada de corriente con algas
0 34			2	1	0,25" Salida de microalgas
0 35			3	1	6" Salida de líquido sin microalgas
0 36					
0 37					
0 38					
0 39					
0 40					
0 41					
0 42					
0 43					
0 44					
0 45					
0 46					
0 47					
0 48					
0 49					
0 50					
0 51					
0 52					
0 53					
0 54					
0 55					



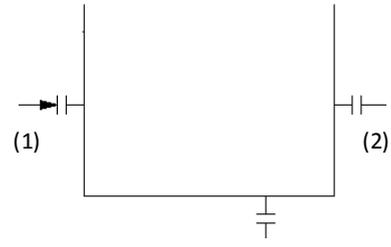


Universidad de Valladolid

COMPRESOR PROCESS DATA SHEET

REV.	0	1				JOB N°	2015		
DATE	06/06/2015	10/07/2015				UNIT			
BY	ERB					CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V						LOCATION	Castila y León (España)		
REV.									
0	1	ITEM NUMBER				QUANTITY	1		
0	2	SERVICE	Compresión del biogas hacia las columnas de absorción						
0	3	TYPE	Turbocompressor				LUBRICATION (Yes/No)	Yes	
0	4	OPERATION:Cont./Intermit.	Continuous				OPERATING	SPARE	
0	5	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Indoors				ALTITUDE ABOVE SEA LEVEL	857,93 m	
0	6	ROOF COVERED (YES/NO)	Yes				DRIVER (Motor/Turbine)	Motor	
0	7	ALTERNATIVE SERVICES							
0	8	STREAM N°				11			
0	9	TEMPERATURE				20			
0	10	PRESSURE (bar a)				1			
0	11	SUCTION TEMPERATURE				20			
0	12	DISCHARGE TEMPERATURE				55,84			
0	13	DISCHARGE PRESSURE (bar a)				1,5			
0	14	COMPRESSION RATIO				1,3			
0	15	N° OF STAGES				1			
0	16	MASS FLOW (kg/h)				27,06			
0	17	VOLUMETRIC FLOW (@ NC) (m3/h)				6,60			
0	18	VOLUMETRIC FLOW (suction)				6,60			
0	19	GAS COMPOSITION (1)	UNITS						
0	20	Components				MW	%w		
0	21	Metano (CH ₄)				16	50,1		
0	22	Dióxido de Carbono (CO ₂)				44	49,1		
0	23	Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)				34,1	0,8		
0	24								
0	25								
0	26								
0	27								
0	28								
0	29	TOTAL				19,1387	100,0		
0	30	Cp/Cv				1,4			
0	31	COMPRESSIBILITY FACTOR				1			
0	32								
0	33								
0	34	NOTES							
0	35								
0	36								
0	37								
0	38								
0	39								
0	40								
0	41								
0	42								
0	43								
0	44								

 Universidad de Valladolid				DEPÓSITO (SURGE DRUM) PROCESS DATA SHEET				
REV.	0	1		JOB N°	2015			
DATE	19/05/2015	06/06/2015		UNIT				
BY	ERB	ERB		CLIENT	Universidad de Valladolid			
APPR'V				LOCATION	Castilla y León (España)			
REV.								
0 1	Item Number:	D-201		Quantity:	1			
0 2	Service:	Depósito de agua con microalgas						
0 3	Fluid:	Agua con microalgas						
0 4	Capacity:	28.21 m ³						
0 5	Diameter (ID)	3790 mm	Height	3000 mm				
0 6	PRESSURE	Operating	1		Atm			
0 7	IN TANK	Design	3.5		barg			
0 8		Vacuum Des.						
0 9	TEMPERATURE	Operating		20 °C				
0 10	IN TANK	Design	55		°C			
0 11		COIL	Operating Pressure		bar g			
0 12		Operating Temp.		°C				
0 13		Design Pressure		bar g				
0 14		Design Temperature		°C				
0 15		Nominal Diameter		inch				
0 16		Length		m				
0 17		MATERIAL	CORR. ALLOW.					
0 18	Shell / Roof	SA-515		3		mm		
0 19	Cladding	mm						
0 20	Coil	mm						
0 21	Type:	<input type="checkbox"/> Helipsoidal Roof	<input type="checkbox"/> Floating Roof					
0 22		<input type="checkbox"/> API	<input type="checkbox"/> Refrigerated					
0 23	Bottom	<input checked="" type="checkbox"/> Helipsoidal						
0 24		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Downwards						
0 25		<input type="checkbox"/> Conical Pointing Upwards						
0 26	Code:	ASME VIII div 1						
0 27	Stress Relieve for Process reasons:							
0 28	Insulation: Type							
0 29		Thickness		mm				
0 30								
0 31	NOTES				NOZZLES			
0 32		Mark N°	Quantity	Size	Service			
0 33		1	1	18"	Entrada de agua con microalgas			
0 34		2	1	10"	Salida de agua con microalgas			
0 35								
0 36								
0 37								
0 38								
0 39								
0 40								
0 41								
0 42								
0 43								
0 44								
0 45								
0 46								
0 47								
0 48								
0 49								
0 50								
0 51								
0 52								
0 53								
0 54								
0 55								





Universidad de Valladolid

BOMBA PROCESS DATA SHEET

REV.	0				JOB N°	2015				
DATE	06/06/2015				UNIT					
BY	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid				
APPR'V					LOCATION	Castila y León (España)				
REV.										
0	1	ITEM NUMBER	P-101 A/B							
0	2	SERVICE	Bombear agua fresca al proceso							
0	3	TYPE	Centrífuga							
0	4	NO. OF PUMPS	2							
0	5	IN OPERATION	1							
0	6	SPARE								
0	7	DRIVER	MOTOR	X						
0	8		TURBINE							
0	9		OTHERS							
0	10	LIQUID PUMPED	Agua							
0	11	OPERATING CASE	Caso normal							
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20						
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1						
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar	0,02339						
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25						
0	16									
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	46,80						
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	56,16						
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,84	3,50					
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,29	2,95					
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,55	0,55					
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	8,12	7,50					
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	30,06	29,65					
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	3,84						
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	4,50						
0	26	DUTY (Continuous/Intermittent)	Continuo							
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	0,13						
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO								
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí							
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior							
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	1264 W // 9,3 m							
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216						
0	33		IMPELLER	SA-217						
0	34		SHAFT	SA-218						
0	35	NOTES								
0	36									
0	37									
0	38									
0	39									
0	40									
0	41									
0	42									
0	43									
0	44									

 Universidad de Valladolid				BOMBA PROCESS DATA SHEET			
REV.	0			JOB N°	2015		
DATE	06/06/2015			UNIT			
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V				LOCATION	Castilla y León (España)		
REV.							
0	1	ITEM NUMBER	P-102 A/B				
0	2	SERVICE	Bombear agua fresca a planta procesado de pescado				
0	3	TYPE	Centrífuga				
0	4	NO. OF PUMPS	2				
0	5	IN OPERATION	1				
0	6	SPARE					
0	7	DRIVER	MOTOR	X			
0	8		TURBINE				
0	9		OTHERS				
0	10	LIQUID PUMPED	Agua				
0	11	OPERATING CASE	Caso normal				
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20			
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1			
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,02339			
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25			
0	16						
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,33			
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,40			
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,79	3,50		
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,29	3,00		
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,50	0,50		
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	8,12	7,8		
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	24,86	24,75		
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	3,83			
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	4,45			
0	26	DUTY (Continuous/Intermittent)	Continuo				
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	0,001			
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO					
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí				
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior				
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	9,5 W // 9,8 m				
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216			
0	33		IMPELLER	SA-217			
0	34		SHAFT	SA-218			
0	35	NOTES					
0	36						
0	37						
0	38						
0	39						
0	40						
0	41						
0	42						
0	43						
0	44						



Universidad de Valladolid

BOMBA PROCESS DATA SHEET

REV.	0				JOB Nº	2015					
DATE	06/06/2015				UNIT						
BY	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid					
APPR'V					LOCATION	Castila y León (España)					
REV.											
0	1	ITEM NUMBER	P-103 A/B								
0	2	SERVICE	Bombear agua residual hacia digestor anaerobio								
0	3	TYPE	Centrífuga								
0	4	NO. OF PUMPS	2								
0	5	IN OPERATION	1								
0	6	SPARE									
0	7	DRIVER	MOTOR	X							
0	8		TURBINE								
0	9		OTHERS								
0	10	LIQUID PUMPED	Agua residual								
0	11	OPERATING CASE	Caso normal								
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	15							
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1,14							
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,017058							
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	999,14							
0	16										
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	4,50							
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	5,40							
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	1,00	3,50						
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,32	2,82						
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,68	0,68						
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	7,94	7,9						
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	34,23	34,22						
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	3,73							
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	4,55							
0	26	DUTY (Continuous/Intermitent)	Continuo								
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	0,01							
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO									
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí								
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior								
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	129,3 W // 9,84 m								
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216							
0	33		IMPELLER	SA-217							
0	34		SHAFT	SA-218							
0	35	NOTES									
0	36										
0	37										
0	38										
0	39										
0	40										
0	41										
0	42										
0	43										
0	44										

 Universidad de Valladolid				BOMBA PROCESS DATA SHEET			
REV.	0			JOB N°	2015		
DATE	06/06/2015			UNIT			
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V				LOCATION	Castila y León (España)		
REV.							
0	1	ITEM NUMBER	P-201 A/B				
0	2	SERVICE	Bombear agua con microalgas hacia la columna de absorción				
0	3	TYPE	Centrífuga				
0	4	NO. OF PUMPS	2				
0	5	IN OPERATION	1				
0	6	SPARE					
0	7	DRIVER	MOTOR	X			
0	8		TURBINE				
0	9		OTHERS				
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas				
0	11	OPERATING CASE	Caso normal				
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20			
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1			
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,23393			
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25			
0	16						
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,05			
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,06			
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,70	3,50		
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,05	2,85		
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,65	0,65		
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	9,32	9,29		
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	4,04	4,03		
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	2,24			
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	3,02			
0	26	DUTY (Continuous/Intermittent)	Continuo				
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	1,80E-04			
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO					
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí				
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior				
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	1,75 W // 11,58 m				
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216			
0	33		IMPELLER	SA-217			
0	34		SHAFT	SA-218			
0	35	NOTES					
0	36						
0	37						
0	38						
0	39						
0	40						
0	41						
0	42						
0	43						
0	44						



Universidad de Valladolid

BOMBA PROCESS DATA SHEET

REV.	0				JOB N°	2015				
DATE	06/06/2015				UNIT					
BY	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid				
APPR'V					LOCATION	Castila y León (España)				
REV.										
0	1	ITEM NUMBER	P-202 A/B							
0	2	SERVICE	Bombear agua con microalgas hacia la columna de absorción							
0	3	TYPE	Centrífuga							
0	4	NO. OF PUMPS	2							
0	5	IN OPERATION	1							
0	6	SPARE								
0	7	DRIVER	MOTOR	X						
0	8		TURBINE							
0	9		OTHERS							
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas							
0	11	OPERATING CASE	Caso normal							
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20						
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1						
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,23393						
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25						
0	16									
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,05						
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,06						
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,70	3,50					
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,05	2,85					
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,65	0,65					
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	9,32	9,29					
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	4,04	4,03					
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	2,24						
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	3,02						
0	26	DUTY (Continuous/Intermitent)	Continuo							
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	1,80E-04						
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO								
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí							
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior							
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	1,75 W // 11,58 m							
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216						
0	33		IMPELLER	SA-217						
0	34		SHAFT	SA-218						
0	35	NOTES								
0	36									
0	37									
0	38									
0	39									
0	40									
0	41									
0	42									
0	43									
0	44									

 Universidad de Valladolid				BOMBA PROCESS DATA SHEET			
REV.	0			JOB N°	2015		
DATE	06/06/2015			UNIT			
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V				LOCATION	Castila y León (España)		
REV.							
0	1	ITEM NUMBER	P-203 A/B				
0	2	SERVICE	Bombear agua con microalgas hacia la columna de absorción				
0	3	TYPE	Centrífuga				
0	4	NO. OF PUMPS	2				
0	5	IN OPERATION	1				
0	6	SPARE					
0	7	DRIVER	MOTOR	X			
0	8		TURBINE				
0	9		OTHERS				
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas				
0	11	OPERATING CASE	Caso normal				
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20			
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1			
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,23393			
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25			
0	16						
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,05			
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,06			
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,70	3,50		
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,05	2,85		
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,65	0,65		
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	9,32	9,29		
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	4,04	4,03		
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	2,24			
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	3,02			
0	26	DUTY (Continuous/Intermitent)	Continuo				
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	1,80E-04			
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO					
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí				
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior				
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	1,75 W // 11,58 m				
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216			
0	33		IMPELLER	SA-217			
0	34		SHAFT	SA-218			
0	35	NOTES					
0	36						
0	37						
0	38						
0	39						
0	40						
0	41						
0	42						
0	43						
0	44						



Universidad de Valladolid

BOMBA PROCESS DATA SHEET

REV.	0				JOB N°	2015				
DATE	06/06/2015				UNIT					
BY	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid				
APPR'V					LOCATION	Castila y León (España)				
REV.										
0	1	ITEM NUMBER	P-203 A/B							
0	2	SERVICE	Bombear agua con microalgas hacia la columna de absorción							
0	3	TYPE	Centrífuga							
0	4	NO. OF PUMPS	2							
0	5	IN OPERATION	1							
0	6	SPARE								
0	7	DRIVER	MOTOR	X						
0	8		TURBINE							
0	9		OTHERS							
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas							
0	11	OPERATING CASE	Caso normal							
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20						
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1						
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,234						
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25						
0	16									
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,05						
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,06						
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,70	3,50					
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,05	2,85					
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,65	0,65					
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	9,32	9,29					
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	4,04	4,03					
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	2,24						
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	3,02						
0	26	DUTY (Continuous/Intermitent)	Continuo							
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	1,80E-04						
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO								
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí							
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior							
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	1,75 W // 11,58 m							
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216						
0	33		IMPELLER	SA-217						
0	34		SHAFT	SA-218						
0	35	NOTES								
0	36									
0	37									
0	38									
0	39									
0	40									
0	41									
0	42									
0	43									
0	44									

 Universidad de Valladolid				BOMBA PROCESS DATA SHEET			
REV.	0			JOB N°	2015		
DATE	06/06/2015			UNIT			
BY	ERB			CLIENT	Universidad de Valladolid		
APPR'V				LOCATION	Castila y León (España)		
REV.							
0	1	ITEM NUMBER	P-205 A/B				
0	2	SERVICE	Bombear agua desde depósito D-201				
0	3	TYPE	Centrífuga				
0	4	NO. OF PUMPS	2				
0	5	IN OPERATION	1				
0	6	SPARE					
0	7	DRIVER	MOTOR	X			
0	8		TURBINE				
0	9		OTHERS				
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas				
0	11	OPERATING CASE	Caso normal				
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20			
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1			
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,23393			
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25			
0	16						
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	225,69			
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	270,82			
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	1,52	3,50		
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,83	2,81		
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,69	0,69		
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	14,61	14,3		
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	83,42	83,41		
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	4,37			
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	5,19			
0	26	DUTY (Continuous/Intermittent)	Continuo				
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	1,21			
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO					
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí				
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior				
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	11,72 kW // 17,83 m				
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216			
0	33		IMPELLER	SA-217			
0	34		SHAFT	SA-218			
0	35	NOTES					
0	36						
0	37						
0	38						
0	39						
0	40						
0	41						
0	42						
0	43						
0	44						

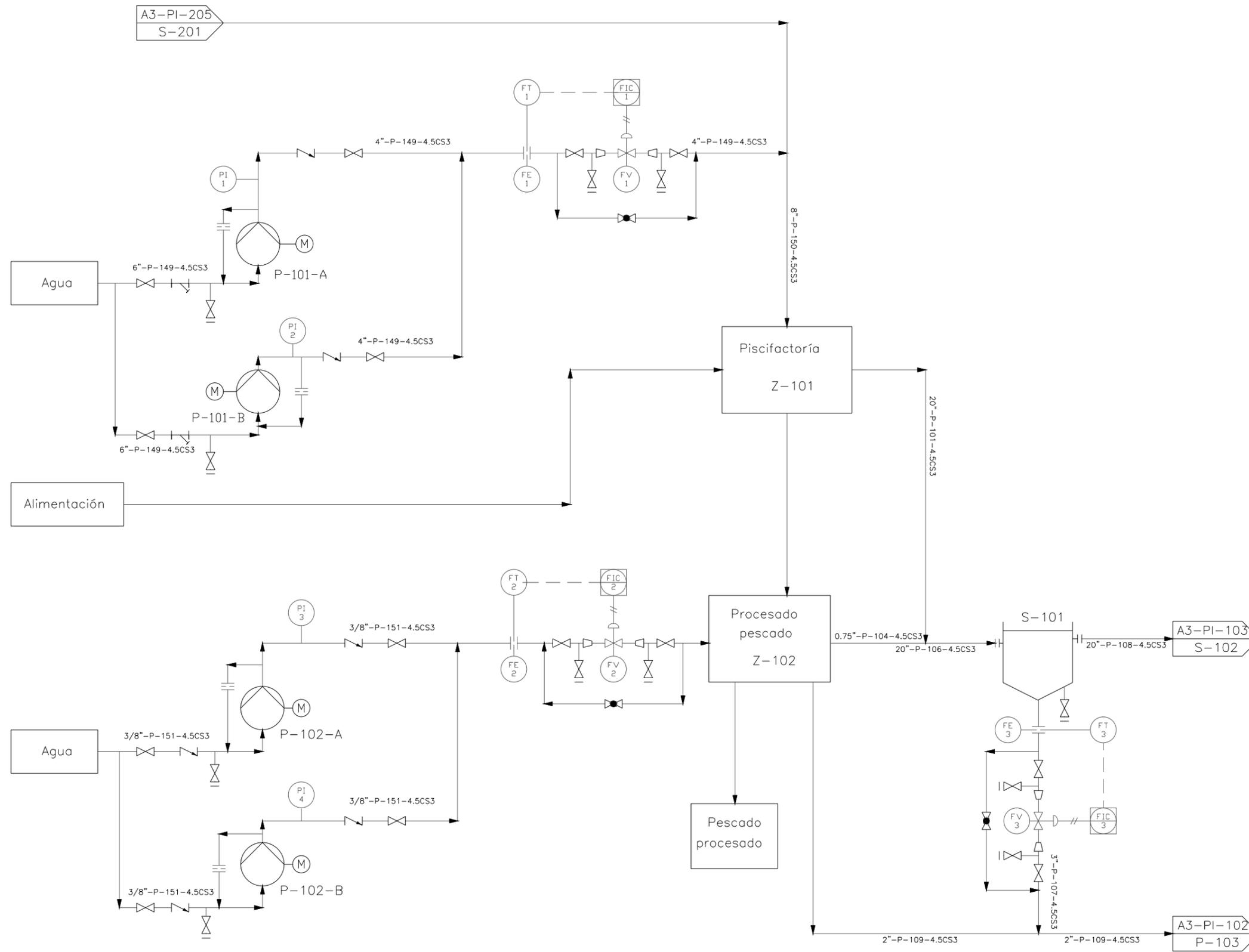


Universidad de Valladolid

BOMBA PROCESS DATA SHEET

REV.	0				JOB Nº	2015				
DATE	06/06/2015				UNIT					
BY	ERB				CLIENT	Universidad de Valladolid				
APPR'V					LOCATION	Castila y León (España)				
REV.										
0	1	ITEM NUMBER	P-206 A/B							
0	2	SERVICE	Bombear corriente de microalgas del sedimentador S-201							
0	3	TYPE								Centrífuga
0	4	NO. OF PUMPS								2
0	5	IN OPERATION								1
0	6	SPARE								
0	7	DRIVER	MOTOR							X
0	8		TURBINE							
0	9		OTHERS							
0	10	LIQUID PUMPED	Agua con microalgas							
0	11	OPERATING CASE	Caso normal							
0	12	PUMPING TEMPERATURE (T)	°C	20						
0	13	VISCOSITY (@ T)	cP	1						
0	14	VAPOR PRESSURE (@ T)	bar a	0,23393						
0	15	DENSITY (@ T)	kg/m ³	998,25						
0	16									
0	17	NORMAL CAPACITY	m ³ /h	0,17						
0	18	DESIGN CAPACITY	m ³ /h	0,21						
0	19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design	bar g	0,84	3,50					
0	20	SUCTION PRESSURE Normal/Design	bar g	0,32	2,98					
0	21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design	Bar	0,52	0,52					
0	22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design	m	8,61	8,35					
0	23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design	m	31,27	31,18					
0	24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE	bar g	3,89						
0	25	SHUT-OFF PRESSURE	bar g	4,51						
0	26	DUTY (Continuous/Intermitent)	Continuo							
0	27	MINIMUM CIRCULATION FLOW	m ³ /h	4,00E-04						
0	28	CORROSION OR EROSION DUE TO								
0	29	SOLIDS IN SUSPENSION	Sí							
0	30	LOCATION (Indoors/Outdoors)	Exterior							
0	31	HIDRAULIC POWER @ Design flow	5,19 W // 10,4 m							
0	32	CONSTRUCTION MATERIALS	CASE	SA-216						
0	33		IMPELLER	SA-217						
0	34		SHAFT	SA-218						
0	35	NOTES								
0	36									
0	37									
0	38									
0	39									
0	40									
0	41									
0	42									
0	43									
0	44									

ANEXO 4. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN (PID)



P-101-A
Bomba centrífuga

P-101-B
Bomba centrífuga

P-102-A
Bomba centrífuga

P-102-B
Bomba centrífuga

FV-1
Válvula control
de flujo

FV-2
Válvula control
de flujo

S-101
Sedimentador

FV-3
Válvula control
de flujo

General Notes

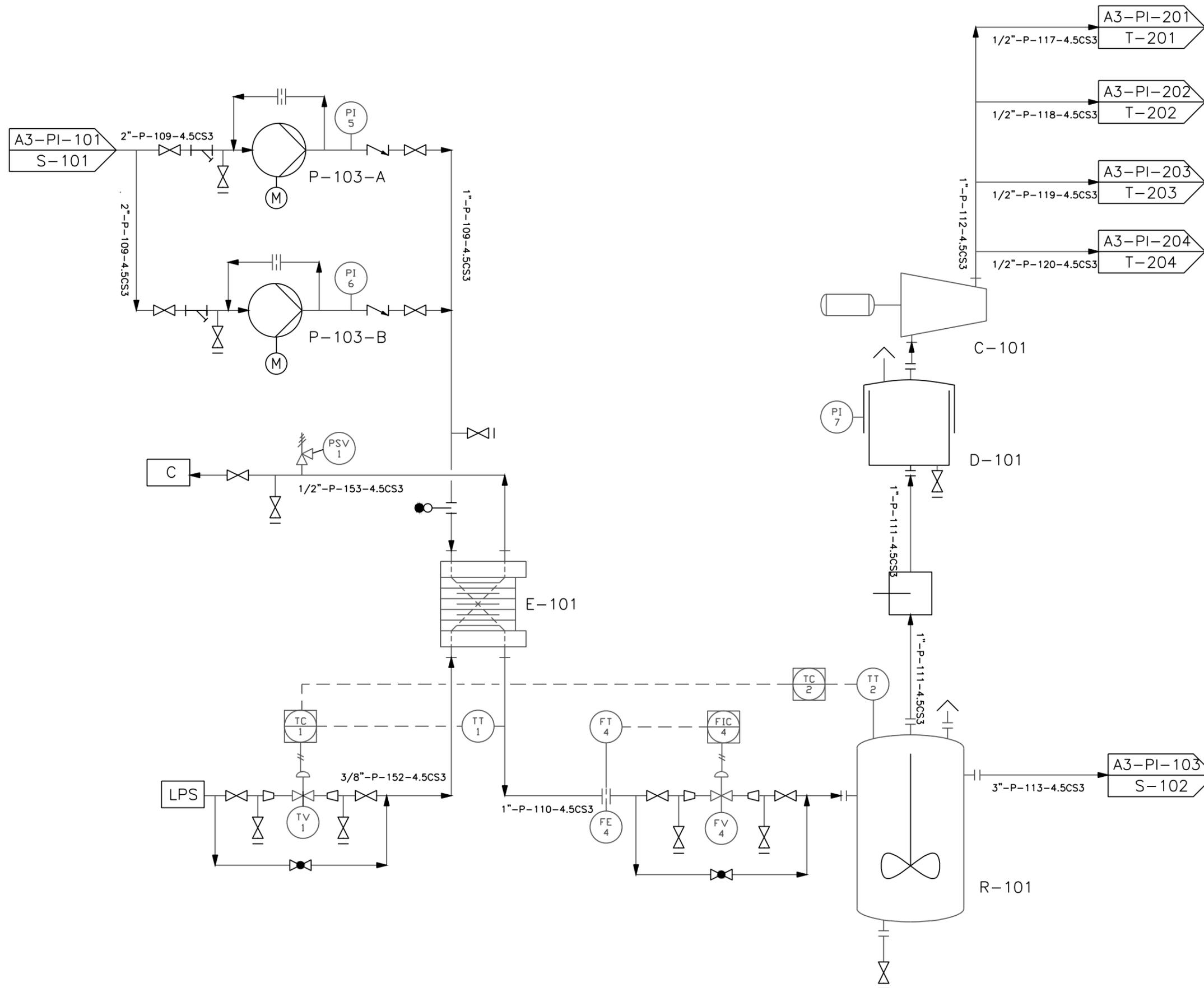
- P-101A: bomba centrífuga
- P-101B: bomba centrífuga
- P-102A: bomba centrífuga
- P-102B: bomba centrífuga
- S-101: sedimentador
- FV-1: válvula control de flujo
- FV-2: válvula control de flujo
- FV-3: válvula control de flujo

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
 Recepción de aguas y sólidos residuales de piscifactoría y planta procesado de pescado

Project Name and Address
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

Area Area 1	Stamp
Drawing Number A3-PI-101-2	
Author ERB	



P-103-A
Bomba centrífuga

P-103-B
Bomba centrífuga

TV-1
Válvula control
de temperatura

E-101
Intercambiador
de placas

FV-4
Válvula control
de flujo

R-101
Reactor

D-101
Gasómetro

C-101
Compresor

General Notes

- P-103A: bomba centrífuga
- P-103B: bomba centrífuga
- E-101: intercambiador de placas
- R-101: reactor anaerobio (CSTR)
- TV-1: válvula control de temperatura
- FV-4: válvula control de flujo
- D-101: gasómetro
- C-101: compresor

No.	Revision/Issue	Date

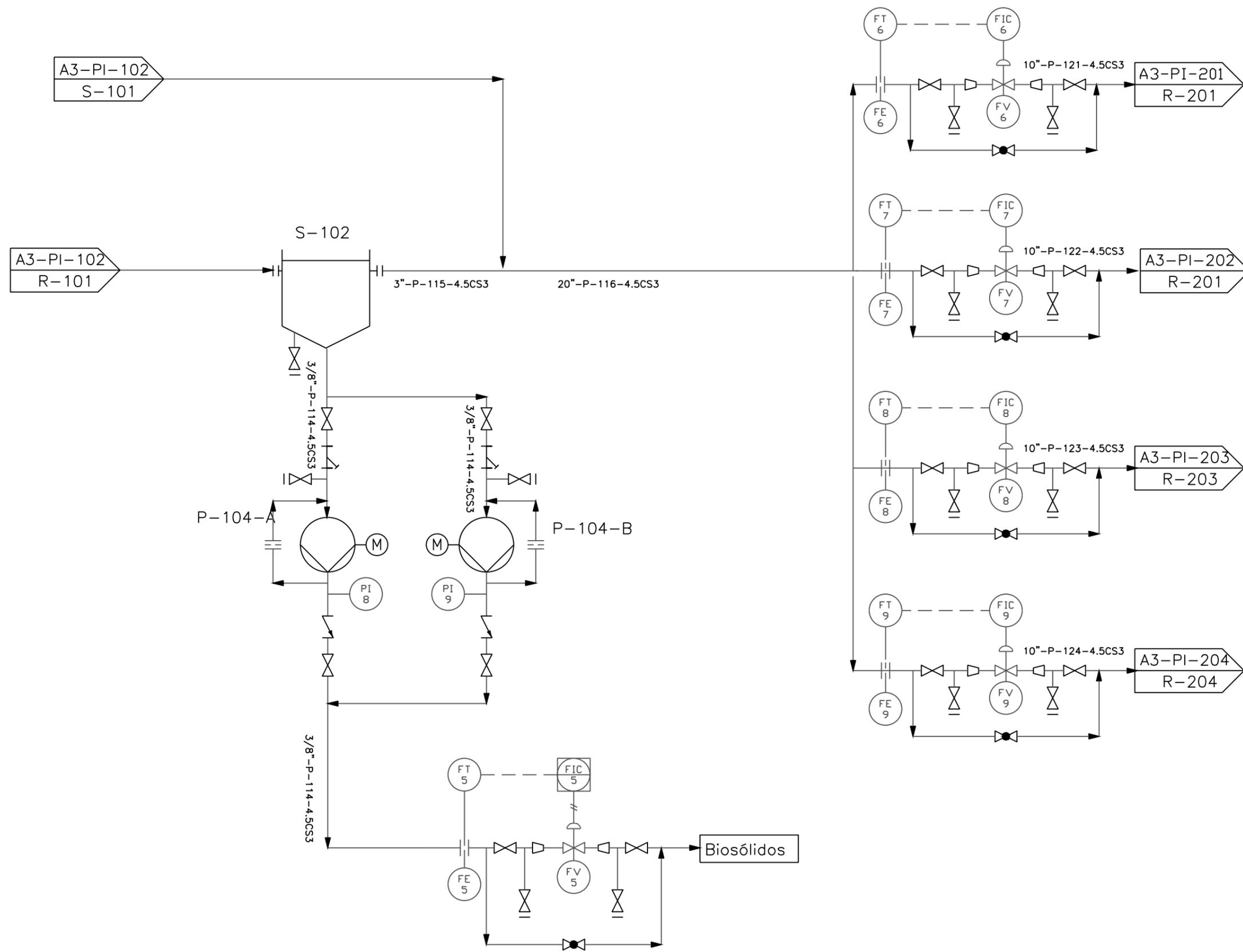
Drawing Name

Digestión anaerobia
residuos sólidos
del proceso

Project Name and Address

Diseño de un sistema de
tratamiento de aguas
residuales de piscifactoría
mediante fotobiorreactores
de microalgas

Area	Stamp
Area 1	
Drawing Number	
Author	
A3-PI-102-2	
ERB	



S-102 Sedimentador P-104-A Bomba centrífuga P-104-B Bomba centrífuga FV-5 Válvula control de flujo FV-6 Válvula control de flujo FV-7 Válvula control de flujo FV-8 Válvula control de flujo FV-9 Válvula control de flujo

General Notes

- P-104A: bomba centrífuga
- P-104B: bomba centrífuga
- S-102: sedimentador
- P-105A: bomba centrífuga
- P-105B: bomba centrífuga
- FV-5: válvula control de flujo
- FV-6: válvula control de flujo
- FV-7: válvula control de flujo
- FV-8: válvula control de flujo
- FV-9: válvula control de flujo

No.	Revision/Issue	Date

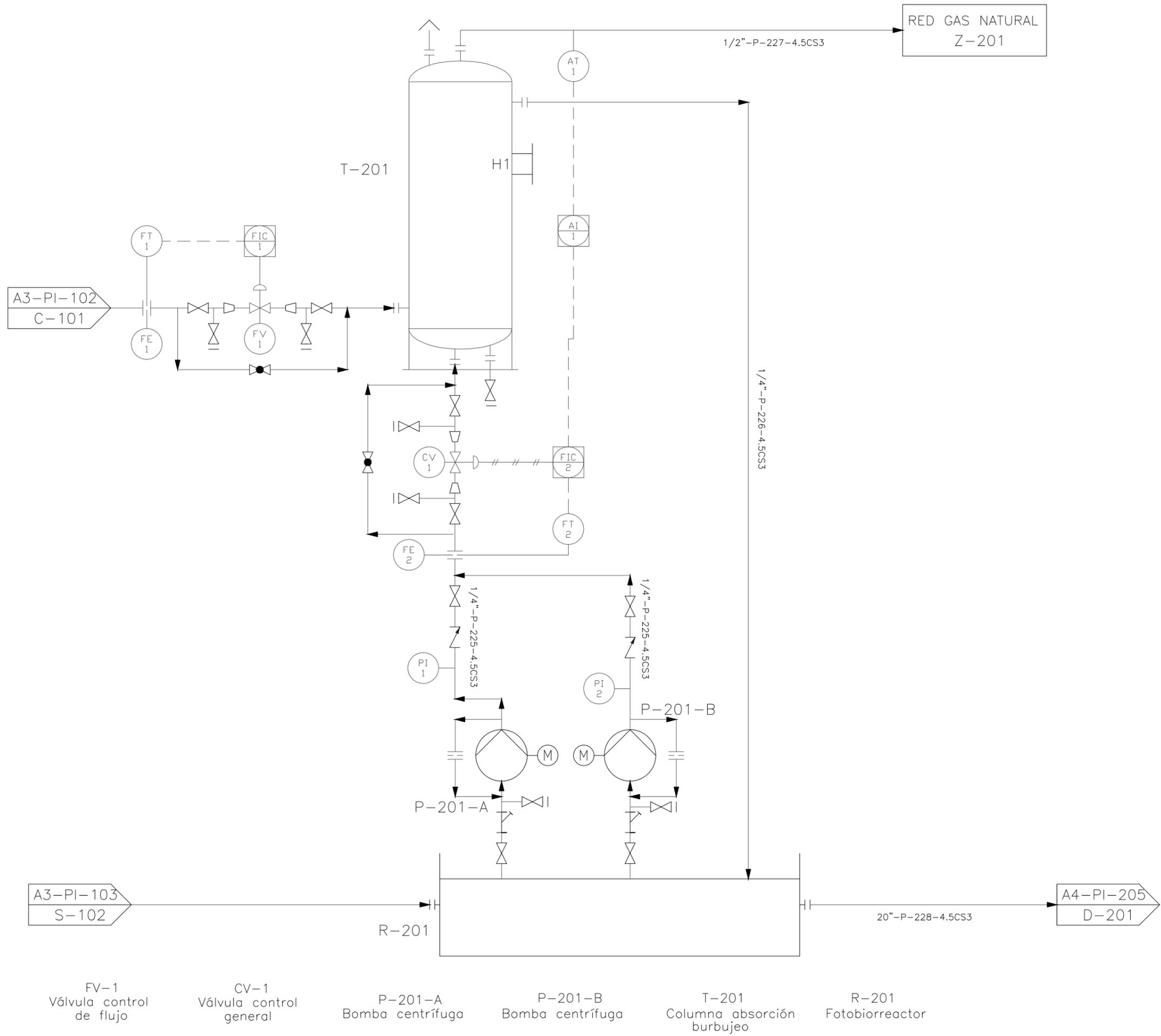
Drawing Name

Envío agua residual a fotobiorreactores

Project Name and Address

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

Area	Area 1	Stamp
Drawing Number	A3-PI-103-2	
Author	ERB	



RED GAS NATURAL
Z-201

General Notes

- P-201A: bomba centrífuga
- P-202B: bomba centrífuga
- T-201: columna absorción burbujeo
- R-201: fotobiorreactor HRAP
- CV-1: válvula control general
- FV-1: válvula control de flujo

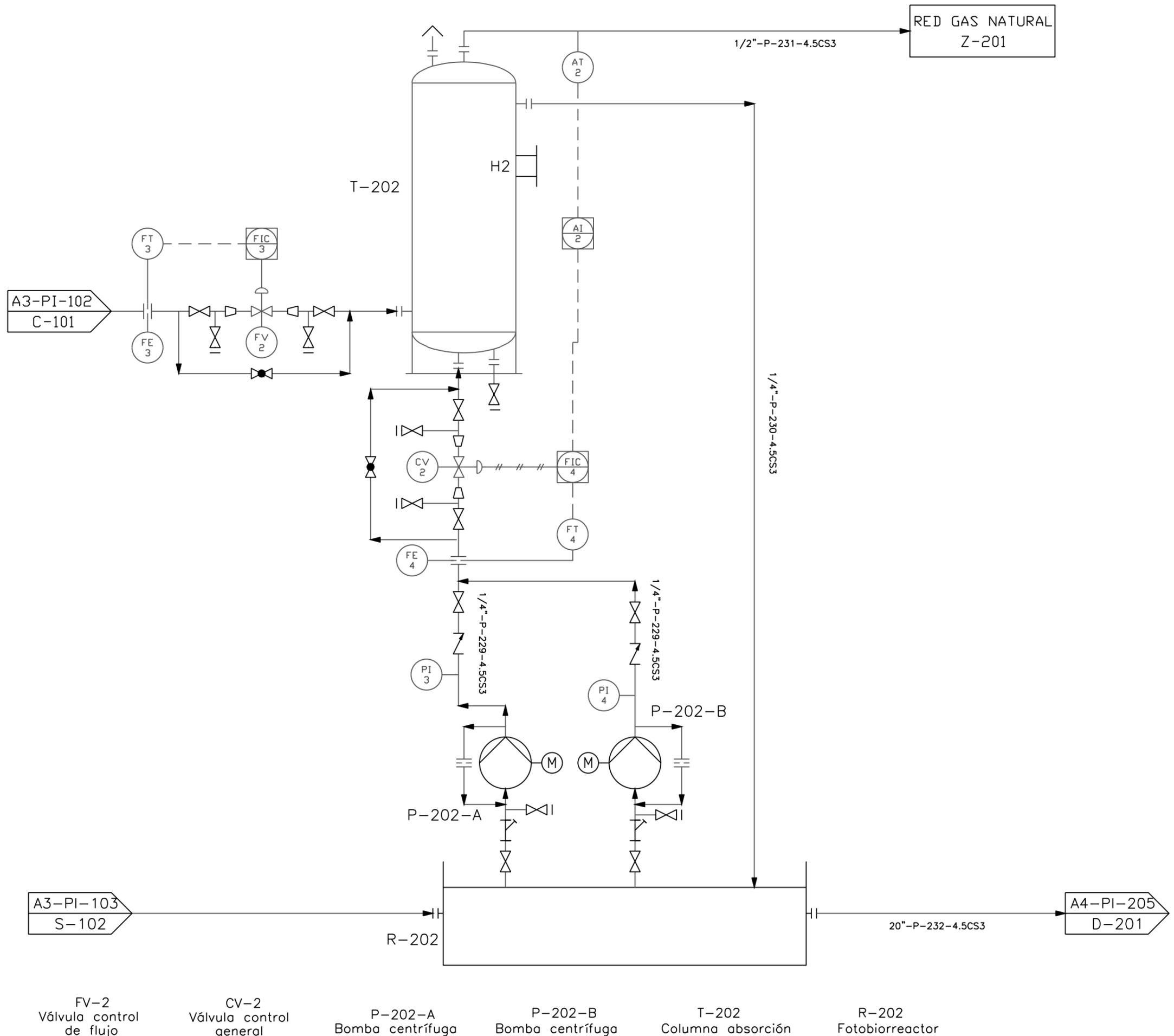
No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
 Tratamiento de agua residual en fotobiorreactor de microalgas 1 (HRAP)

Project Name and Address
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

- FV-1
Válvula control de flujo
- CV-1
Válvula control general
- P-201-A
Bomba centrífuga
- P-201-B
Bomba centrífuga
- T-201
Columna absorción burbujeo
- R-201
Fotobiorreactor

Area Area 2	Stamp
Drawing Number A3-PI-201-1	
Author ERB	



FV-2
Válvula control de flujo

CV-2
Válvula control general

P-202-A
Bomba centrífuga

P-202-B
Bomba centrífuga

T-202
Columna absorción

R-202
Fotobiorreactor

General Notes

P-202A: bomba centrífuga
P-202B: bomba centrífuga
T-202: columna absorción burbujeo
R-202: fotobiorreactor HRAP
CV-2: válvula control general
FV-2: válvula control de flujo

No.	Revision/Issue	Date

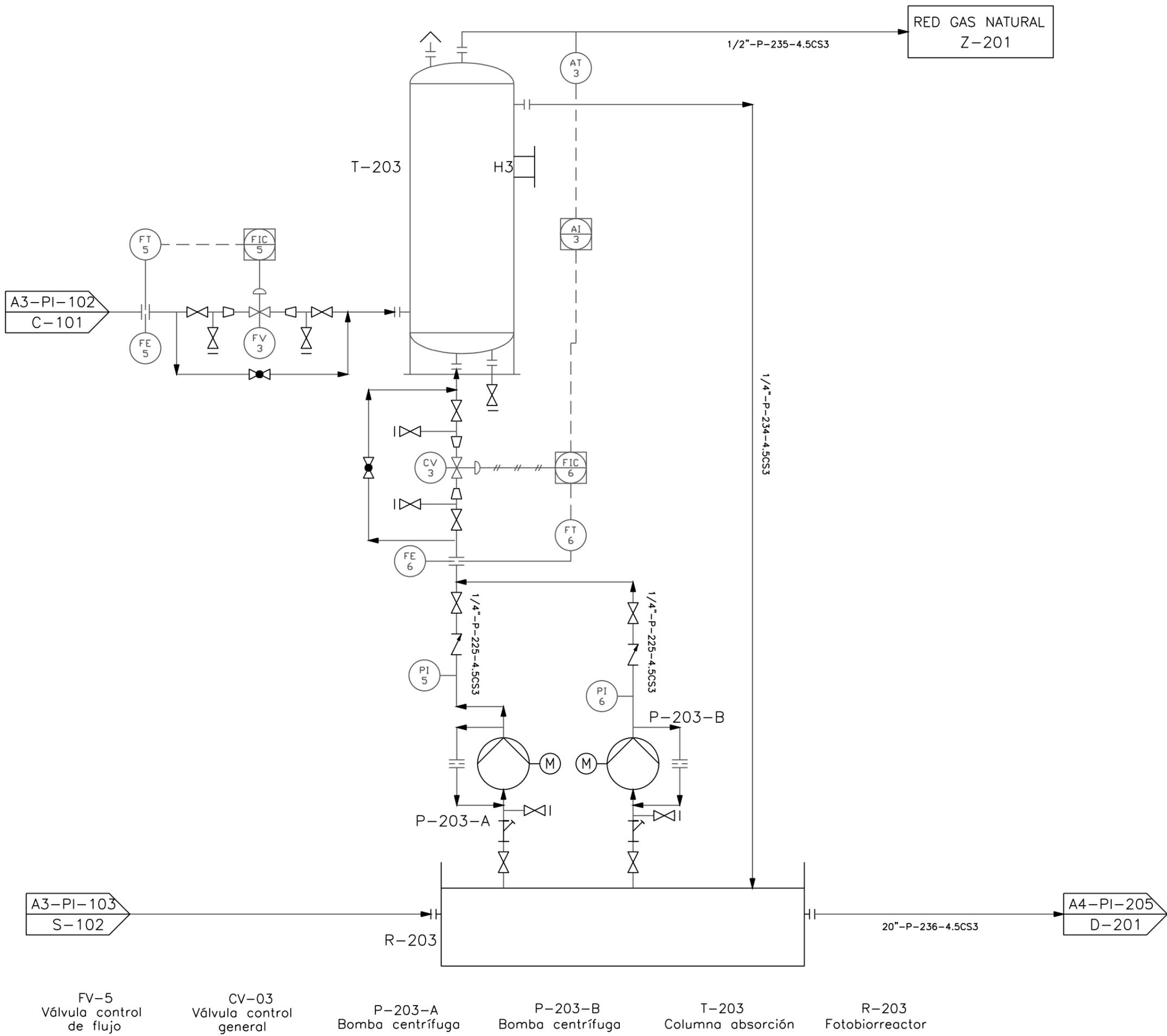
Drawing Name

Tratamiento de agua residual en fotobiorreactor de microalgas 2 (HRAP)

Project Name and Address

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

Area	Area 2	Stamp
Drawing Number	A3-PI-202-1	
Author	ERB	



General Notes

- P-203A: bomba centrífuga
- P-203B: bomba centrífuga
- T-203: columna absorción burbujeo
- R-203: fotobiorreactor HRAP
- CV-3: válvula control general
- FV-3: válvula control de flujo

No.	Revision/Issue	Date

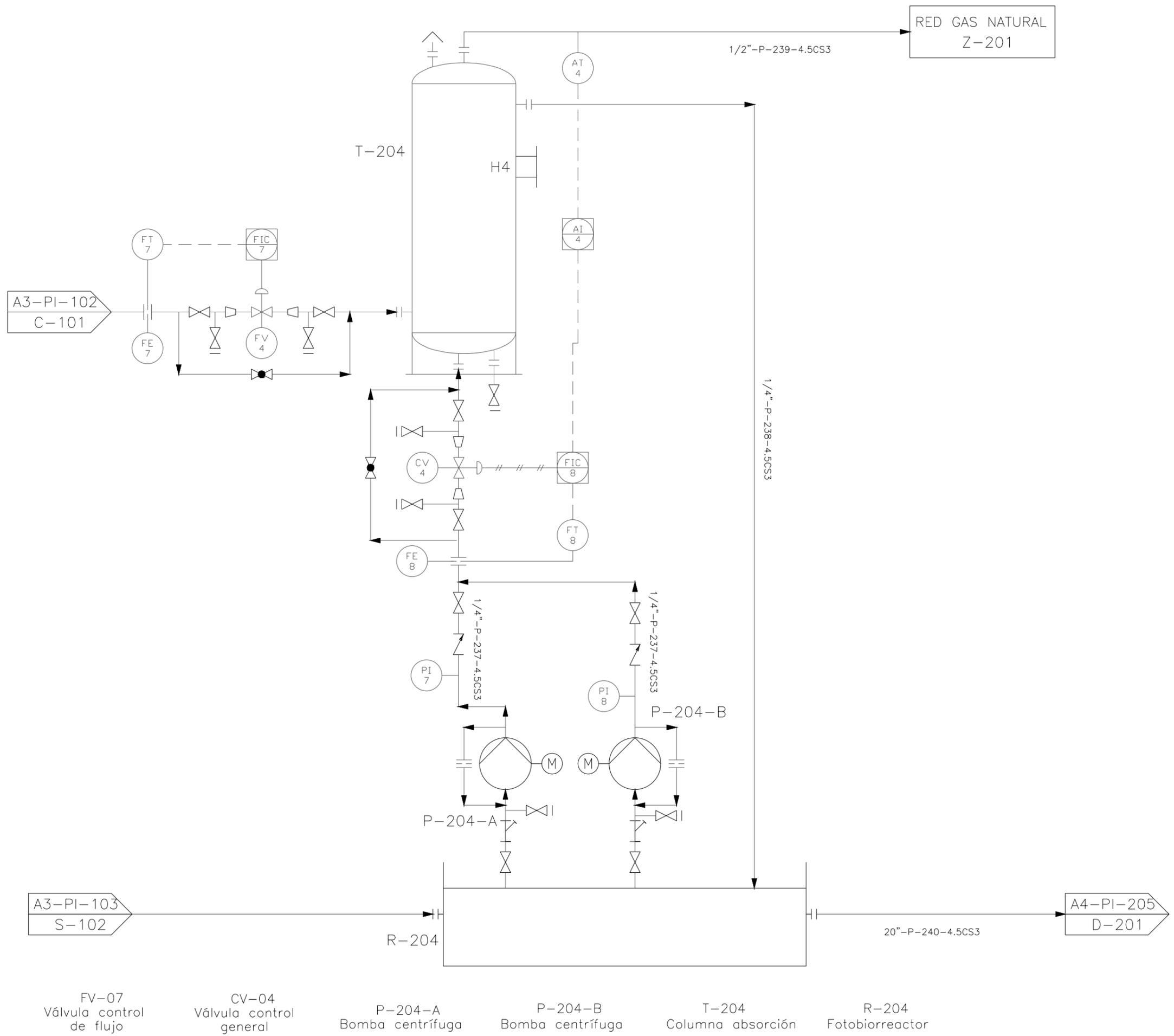
Drawing Name

Tratamiento de agua residual en fotobiorreactor de microalgas 3 (HRAP)

Project Name and Address

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

Area	Area 2	Stamp
Drawing Number	A3-PI-203-1	
Author	ERB	



General Notes

- P-204A: bomba centrífuga
- P-204B: bomba centrífuga
- T-204: columna absorción burbujeo
- R-204: fotobiorreactor HRAP
- CV-4: válvula control general
- FV-4: válvula control de flujo

No.	Revision/Issue	Date

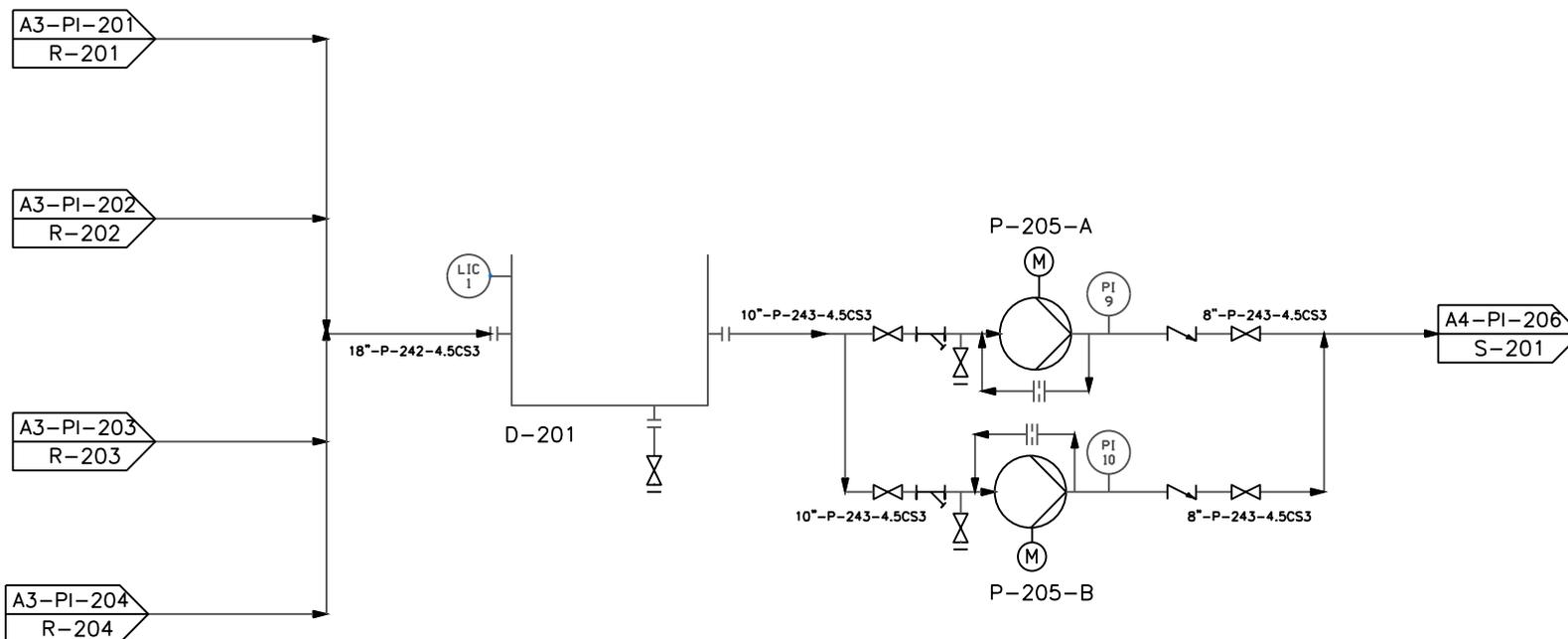
Drawing Name

Tratamiento de agua residual en fotobiorreactor de microalgas 4 (HRAP)

Project Name and Address

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de piscifactoría mediante fotobiorreactores de microalgas

Area	Area 2	Stamp
Drawing Number	A3-PI-204-1	
Author	ERB	



S-102
Sedimentador

P-205-A
Bomba centrífuga

P-205-B
Bomba centrífuga

General Notes

P-205A: bomba centrífuga
P-205B: bomba centrífuga
D-201: depósito (surge drum)

No.	Revision/Issue	Date

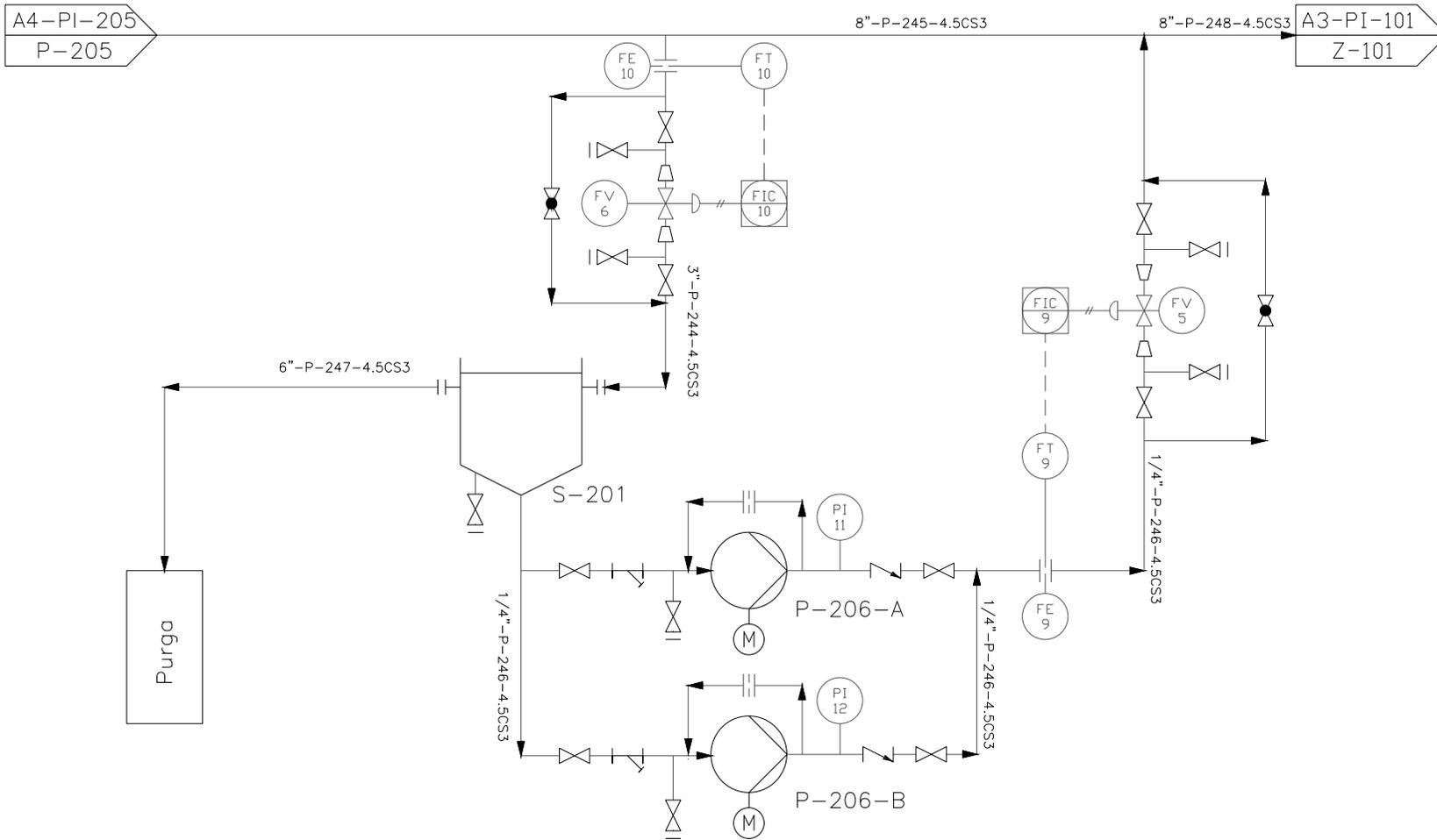
Drawing Name

Purga de microalgas
en corriente hacia
piscifactoría

Project Name and Address

Diseño de un sistema de
tratamiento de aguas
residuales de piscifactoría
mediante fotobiorreactores
de microalgas

Area Area 2	Stamp
Drawing Number A4-PI-205-1	
Author ERB	



S-201
Sedimentador

S-201
Bomba tornillo

S-201
Bomba tornillo

FV-09
Válvula control
de flujo

General Notes

S-201: sedimentador
 FV-5: válvula control de flujo
 P-206A: bomba centrífuga
 P-206B: bomba centrífuga

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name

Corriente microalgas
 hacia
 piscifactoría

Project Name and Address

Diseño de un sistema de
 tratamiento de aguas
 residuales de piscifactoría
 mediante fotobiorreactores
 de microalgas

Area	Area 2	Stamp
Drawing Number	A4-PI-206-1	
Author	ERB	

ANEXO 5. HOJAS DE SEGURIDAD

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANO		ICSC: 0291 Febrero 2000	
CAS: 74-82-8 Hidruro de metilo RTECS: PA1490000 CH ₄ NU: 1971 Masa molecular: 16.0 CE Índice Anexo I: 601-001-00-4 CE / EINECS: 200-812-7			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Asfixia. Ver Notas.	Ventilación. A altas concentraciones protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: equipo autónomo de respiración. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.		Clasificación UE Símbolo: F+ R: 12 S: (2)-9-16-33 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.1	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1F Código NFPA: H1; F4; R0;		A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo y techo.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
IPCS International Programme on Chemical Safety		     	

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANO		ICSC: 0291
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Gas licuado o comprimido incoloro e inodoro.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El gas es más ligero que el aire.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: (Hidrocarburos Alifáticos Alcanos (C1-C4), gases) 1000 ppm (como TWA) (ACGIH 2005). MAK no establecido.</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -161°C Punto de fusión: -183°C Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 3.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6</p>	<p>Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 537°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5-15 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.09</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Densidad del líquido en el punto de ebullición: 0.42 kg/l. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Una vez utilizado para la soldadura, cerrar la válvula; verificar regularmente el estado de la tubería, etc., y comprobar si existen escapes utilizando agua y jabón. Las medidas mencionadas en la sección PREVENCIÓN son aplicables a la producción, llenado de botellas y almacenamiento del gas. Otro número NU: 1972 (líquido refrigerado), clase de peligro: 2.1. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Respuesta de Emergencia</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED: (como Hidrocarburos alifáticos alcanos (C1-C4) y sus mezclas, gases) 1000 ppm</p>		
NOTA LEGAL	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
<small>© IPCS, CE 2005</small>		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIÓXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
		Octubre 2006
Gas ácido carbónico		Anhidrido carbónico
CAS:	124-38-9	CO₂
RTECS:	FF6400000	Masa molecular: 44,0
NU:	1013	
CE / EINECS:	204-696-9	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	¡Los envases pueden arder en un incendio!		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	En contacto con líquido: congelación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.2 Clasificación GHS Atención Puede ser nocivo si se inhala. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1013 o 20G2A	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo.
 <p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea @ IPCS, CE 2007</p>	

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIÓXIDO DE CARBONO	ICSC: 0021
---------------------------	-------------------

DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. A velocidades elevadas pueden generarse cargas electrostáticas y puede inflamarse cualquier mezcla explosiva presente. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, por encima 2000 °C produciendo monóxido de carbono tóxico.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 5000 ppm como TWA, 30000 ppm como STEL; (ACGIH 2006). MAK: 5000 ppm, 9100 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2); (DFG 2006).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación a niveles elevados puede originar pérdida de conciencia. Asfixia.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: La sustancia puede afectar al metabolismo.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Punto de sublimación: -79 °C Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20 °C: 88 Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5720 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,5</p>	<p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,83</p>
DATOS AMBIENTALES	
<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Otros números de clasificación NU para el transporte son: NU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); NU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.</p>	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m³</p> <p>Notas: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.</p>	
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>
© IPCS, CE 2007	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

SULFURO DE HIDRÓGENO		ICSC: 0165 Abril 2000	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	7783-06-4 MX1225000 1063 016-001-00-4 231-977-3	Hidruro de azufre Ácido sulfhídrico H ₂ S Masa molecular: 34.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra) si aparece en estado líquido. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de cabeza. Vértigo. Tos. Dolor de garganta. Náuseas. Dificultad respiratoria. Pérdida del conocimiento. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. No aplicar respiración boca a boca. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Eliminar el gas con agua pulverizada. Protección personal: traje hermético de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		Clasificación UE Símbolo: F+, T+, N R: 12-26-50 S: (12-)9-18-36-38-45-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 2.1	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G2TF o 20S1063 Código NFPA: H4; F4; R0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco. Mantener en lugar bien ventilado. Instalar sistema de vigilancia con alarma continuo.	
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005</p> 			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

