



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

**TRABAJO FIN DE MASTER**

MASTER EN ING. AMBIENTAL

DISEÑO DE UN REACTOR ANAEROBIO DE  
LECHO EXPANDIDO A PARTIR DE TANQUES  
PREFABRICADOS W-TANK®.

PÉREZ ANTOLÍN, DANIEL

SEPTIEMBRE 2014

Fernando Fdez.-Polanco, profesor del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, INFORMA:

Que D. Daniel Pérez Antolín ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Master, del Master en Ingeniería Ambiental, titulado "DISEÑO DE UN REACTOR ANAEROBIO DE LECHO EXPANDIDO A PARTIR DE TANQUES PREFABRICADOS W-TANK®"

Valladolid, 9 de Septiembre de 2013

Fdo. TUTOR

Reunido el Tribunal designado por el Comité Académico del Master en Ingeniería Ambiental, para la evaluación de los Trabajos Fin de Master, y después de estudiar la memoria y atender a la defensa del trabajo “DISEÑO DE UN REACTOR ANAEROBIO DE LECHO EXPANDIDO A PARTIR DE TANQUES PREFABRICADOS W-TANK®”, presentado por el alumno D. Daniel Pérez Antolín decidió otorgarle la calificación de \_\_\_\_\_.

Valladolid, 11 de Septiembre de 2013

El presidente

El secretario

Fdo:

Fdo:

Vocal

Fdo:

# **DISEÑO DE UN REACTOR ANAEROBIO DE LECHO EXPANDIDO A PARTIR DE TANQUES PREFABRICADOS W-TANK®**

---

## **RESUMEN**

El tratamiento biológico de aguas residuales ha experimentado un gran avance a partir del desarrollo de tecnologías anaerobias de lecho expandido, lo cual ha permitido tratar mediante estas técnicas vertidos que se venían tratando de manera aerobia.

Esto permite una mayor eliminación de la materia orgánica así como un aprovechamiento energético debido al biogás generado.

Este trabajo fin de master muestra los datos bibliográficos recopilados, así como una primera aproximación al diseño de un reactor anaerobio de lecho expandido a partir de depósitos construidos en PRFV denominados W-TANKS®.

---

## **ABSTRACT**

The biological wastewater treatment has experienced a breakthrough from the development of anaerobic expanded bed technology, which has allowed treated by these techniques dumping were coming trying aerobically.

This allows for greater removal of organic matter and allows us to get energy from biogas generated.

This work shows bibliographic data collected and how a first approach to the design of an anaerobic expanded bed reactor constructed starting from GRP called W-TANKS® deposits.

## 1. INTRODUCCIÓN

Entendemos la digestión anaerobia como un proceso biológico que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma en biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos en forma de ácidos grasos volátiles. Aunque es un proceso natural, sólo en los últimos años ha llegado a ser una tecnología competitiva en comparación con otras alternativas convencionales. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de sistemas que separan o diferencian el tiempo de retención hidráulico (TRH), del tiempo de retención celular (TRC). Durante este proceso también se obtiene un gas combustible (Biogás) y lodos con propiedades adecuadas para ser usados como bioabonos. (Bermúdez, et. al., 2011)

El desarrollo de los procesos anaerobios se dio a partir de 1950, y desde entonces el conocimiento sobre ellos y sus fundamentos de diseño han venido incrementándose de manera significativa dando lugar a nuevos sistemas: filtro anaerobio de flujo ascendente (1960), manto de lodo de flujo ascendente o conocidos también como RAFAS en español o UASB en inglés, (1978), reactor de biopelícula inmovilizada (1985), reactor de lecho fluidizado (1985) (Van Der Berg. L.)

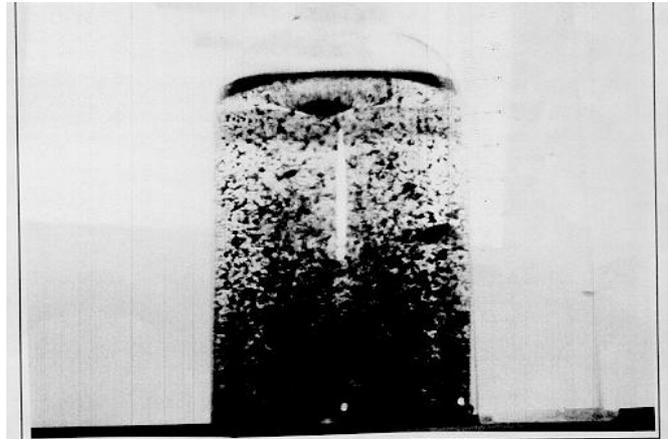
Inicialmente, este tipo de tecnología solo se empleaba para el tratamiento de aguas residuales industriales con un alto contenido de materia orgánica, pero su uso se ha extendido a las aguas residuales municipales, ya que según Cakir y Stenstrom (2005), para cargas a partir de 300 mg/L de DQO, los tratamientos aerobios podrían resultar menos adecuados que los anaerobios.

Sin embargo, los tratamientos anaerobios no pueden emplearse como único medio de depuración, deben combinarse con procesos aerobios para alcanzar la calidad requerida para su descarga (Chan, et. al., 2009); algunas opciones de post tratamiento están incluso diferenciadas como post tratamiento primario para remover compuestos orgánicos e inorgánicos y material suspendido, post tratamiento secundario para eliminar coloides y nutrientes y tratamientos de pulimento para eliminar patógenos (Khan, et. al., 2011).

El desarrollo de la tecnología anaerobia no se entendería hoy en día sin la aportación del Dr. Gatzke Lettinga y sus colegas de la Universidad de Wageningen en (Holanda).

En la década de los años 70, el Dr. Gatzke Lettinga y sus colegas de la Universidad de Wageningen (Holanda) estaban trabajando en diversos experimentos con filtros anaerobios, cuando apreciaron que la biomasa, aparte de crecer en el material de soporte, se desarrollaba en unos gránulos compactos que se desarrollaban libres en el reactor.

Fue tras un viaje a Sudáfrica, en el que el Dr. Lettinga y sus colegas visitaron una planta de tratamiento de vinazas, en la cual, y tras observar de nuevo la formación de estos gránulos de biomasa compacta, terminaron de definir el concepto del reactor UASB.



*Lodo granular.*

*Fuente: R. Ivan Medina H. / Walter Mamani Q.*

La primera implantación de este tipo de reactores a nivel industrial se llevo a cabo en Holanda, en una industria de refinado del azúcar de remolacha. Tras esta, se llevaron a cabo numerosas implantaciones más en industrias dispares como la alimentaria, el reciclaje, la papelera, etc. Pero siempre dentro de Holanda.

La idea general en torno a la cual está basada la tecnología UASB, consiste en un reactor que sea capaz de retener grandes cantidades de biomasa, ofreciendo además una elevada superficie de contacto entre la biomasa y el afluente a tratar, hecho que se consigue a través de la biomasa granular. De hecho, la clave del correcto funcionamiento de un reactor UASB es conseguir la mayor acumulación de lodo granular frente a la generación de lodos dispersos. Otra clave fundamental sería conseguir la correcta separación líquido-sólido-gas mediante un separador trifásico, el cual debería asegurar el mínimo arrastre de la biomasa granular y evitar la desintegración de dichos gránulos.

## **2. OBJETIVOS**

Mediante la realización de este TFM se pretende llevar a cabo una primera aproximación al diseño de reactores anaerobios de lecho expandido construidos a partir de tanques prefabricados W-TANK®.

Estos tanques fabricados en PRFV y reforzados mediante nervaduras internas disponen de varias capacidades, comprendidas entre los 14 y más de 5.000 m<sup>3</sup> de capacidad, con alturas que varían entre 1 y 16 metros, y diámetros comprendidos entre 4 y 29 metros.

Los tanques están específicamente diseñados para la industria del tratamiento de aguas, siendo empleados en la actualidad en multitud de aplicaciones, desde depósitos de almacenamiento, reactores biológicos aerobios mediante la instalación de difusores en su fondo, decantadores, ejecutando la obra civil pertinente...

Así mismo, el concepto de versatilidad de estos tanques hace que puedan ser transportados en contenedores estándar 20 o 40 pies dependiendo del modelo, lo cual les permite ser instalados en cualquier parte del mundo en un breve espacio de tiempo.

Teniendo como base estos tanques, se llevarán a cabo una serie de cálculos basados en la bibliografía que nos permitan dimensionar, en sus parámetros más importantes, el reactor anaerobio, ayudándonos estos mismos cálculos a tomar las decisiones acertadas acerca del diseño.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **DEBIDO AL PROCESO**

La eliminación de la materia orgánica presente en las aguas residuales es uno de los objetivos fundamentales de los tratamientos que se llevan a cabo para la correcta depuración de este tipo de vertidos, empleándose en la mayoría de casos procesos biológicos para llevarlo a cabo. El metabolismo bacteriano es el mecanismo más importante para este fin.

Este proceso consiste en hacer uso, por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y aporte de carbono para generar nuevos organismos.

El metabolismo se subdivide en 2 etapas, el Anabolismo, mecanismo por el cual la materia orgánica es transformada en nuevo material celular, y el Catabolismo, proceso liberador neto de energía.

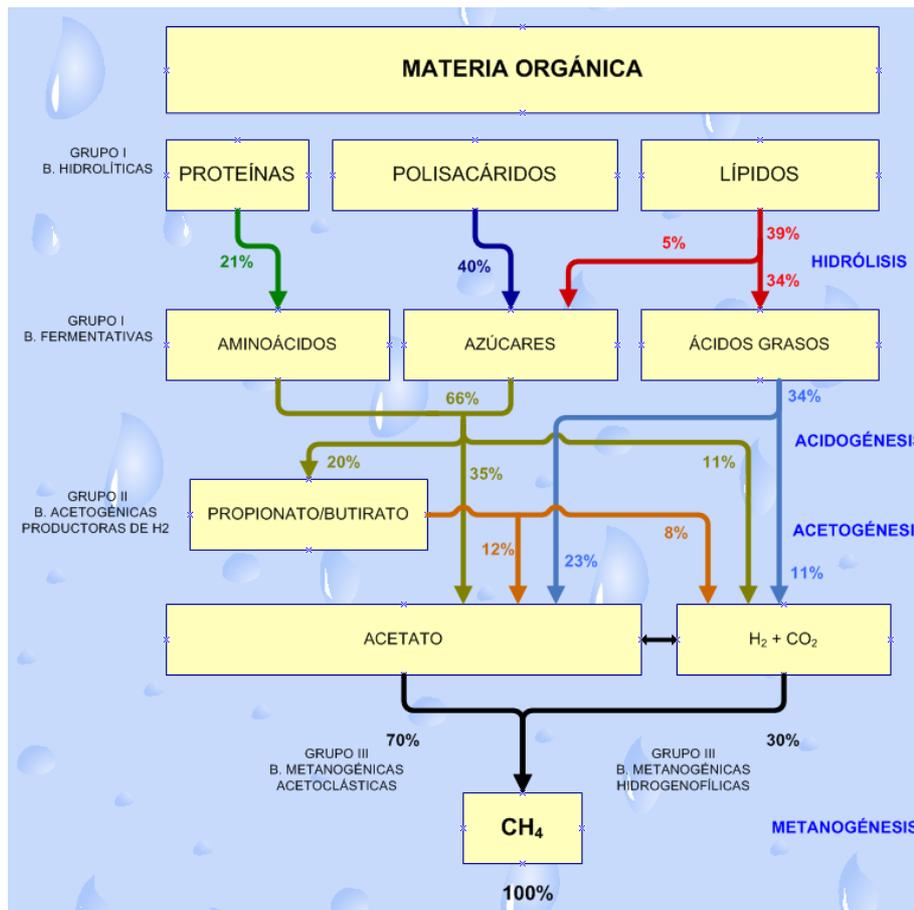
Esta etapa productora de energía, en función de las condiciones en las que se desarrolle, puede tratarse de un catabolismo oxidativo, o de un catabolismo fermentativo.

El catabolismo oxidativo consiste en una serie de reacciones redox, mediante las cuales la materia orgánica es oxidada (materia orgánica como reductor) por el oxígeno (agente oxidante). Por el contrario, el Catabolismo Fermentativo se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, por lo que no existe una especie oxidada y una especie reducida en el proceso.

La digestión anaerobia de las aguas residuales se basa en un proceso fermentativo que tiene como principal objetivo, la conversión de parte de la materia orgánica en metano y dióxido de carbono.

En este proceso intervienen diversos grupos de bacterias, algunas de ellas facultativas, y otras estrictamente anaerobias, interviniendo de manera secuencial, al emplear cada uno de los grupos, los productos metabólicos generados por el otro.

Este proceso comprende a 3 grupos tróficos de bacterias, las hidrolíticas, las acetogénicas y las metanogénicas.



\*(Madigan, 1997; Van Haandel, 1994)

## DEBIDO A LOS W-TANK®

Estos tanques están fabricados mediante la tecnología Flex Molding, la cual consigue piezas de plástico con alto contenido en vidrio orientado en el sentido de las tensiones, consiguiendo que el conjunto tenga alta resistencia mecánica.



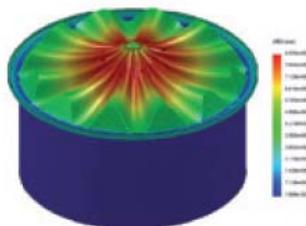
*Depósito W-TANK®*

*Cortesía: Toro Equipment S.L.*

Esta técnica consiste en inyectar un polímero reactivo a presión dentro del molde el cual contiene los refuerzos en forma de fibras, todo ello bajo vacío controlado.

Este proceso de impregnación (Flex Molding) se utiliza para construir piezas a molde cerrado, lo cual hace que sea un proceso ecológico al eliminar emisiones y residuos.

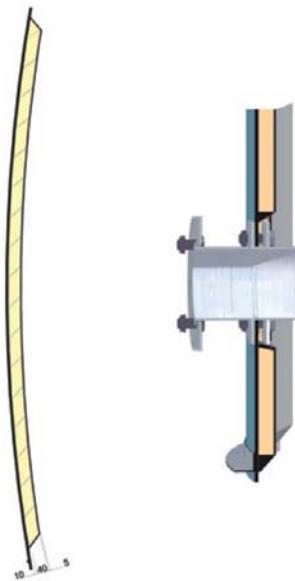
Las partes de las que consta son un molde y un contra molde flexible que hace el sellado con el molde principal, entre ambos se hace un vacío para poder eliminar el aire contenido. La impregnación de la resina se produce por un diferencial de presión entre los puntos de inyección y de venteo dentro del molde. El enriquecimiento de resina hace que el compuesto tenga una gran protección exterior e interior ante los agentes químicos.



Composición de la placa de dentro a fuera:

- Barrera química:
  - Top Coat isoftálico 600 micras, (calidad náutica). Estabilizado UVA.
  - Capa de vidrio de 1 mm 150 gr/m2 especial enriquecimiento en resina isoftálica.
- Estratificado de elevado contenido en vidrio de alto módulo de tracción realizado en resinas isoftálicas.
- Barrera química exterior Gel Coat isoftálico 600 micras (calidad náutica). Estabilizado UVA.

La resina isoftálico está autorizada para aplicaciones alimentarias como por ejemplo agua potable. Se puede aplicar en la capa interior vinylester para caso de líquidos especiales o temperatura elevada.



*Diferentes detalles del W-TANK®.*

*Cortesía: Toro Equipment*

Otros materiales utilizados:

Tornillería en formato estándar AISI 304 en opción: 316, 316L Duplex.

Junta de EPDM, caucho de etileno propileno dieno o EPDM elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste. Su buena resistencia a los agentes atmosféricos, ácidos y álcalis, y a los productos químicos en general. La temperatura de trabajo oscila entre los -40 y los 140 °C.

La arandela de teflón (PTFE) es un polímero prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas gracias a la protección de átomos de flúor. Tiene muy bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad, manteniendo sus cualidades en ambientes húmedos. Es sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde -270°C hasta 270 °C.

Núcleos internos de PUR como en la Placa Burgos y Placa Valladolid.

Mortero de alta resistencia autonivelante y de baja contracción. Revestido de pintura elástica alimentaria.

## 4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

*Dado el número de variables que intervienen, la caracterización rigurosa de los parámetros de diseño de un reactor de lechos fluidizado resulta prácticamente imposible.  
(F. Fdz.-Polanco y V. Díez)*

Tras esta afirmación categórica, se prevé imposible controlar al 100% un reactor que cumpla fielmente con todos los parámetros para los que ha sido diseñado, sin embargo, antes de comenzar cualquier diseño de un reactor anaerobio para el tratamiento de un agua residual, deben ser evaluados una serie de parámetros:

### **Analítica del agua residual.**

Son muchas las tipologías de aguas residuales que pueden tratarse mediante tecnología anaerobia, de hecho, muchos vertidos que hace unos años era impensable tratarlos anaeróticamente, hoy día y gracias al avance de las tecnologías, pueden ser depurados mediante esta técnica, aunque por descontado, aquellos vertidos provenientes de industrias alimentarias, con una elevada DQO, son los más idóneos para tratar de este modo.

### **Carga Orgánica Volumétrica.**

Este parámetro nos indica la cantidad máxima de materia orgánica que se puede aportar al reactor por unidad volumétrica de éste y por día, estando sus valores comprendidos entre 10-30 kg DQO/m<sup>3</sup> d. [8],[9]

### **Temperatura.**

La temperatura idónea de operación se encuentra entre 25-35°, aunque el proceso anaerobio es viable a temperaturas inferiores, del orden de 10- 20 ° C. [10]

### **Velocidad del flujo ascendente.**

La velocidad ascendente del flujo permitirá la fluidización del lecho, pero siendo este un lecho trifásico no estacionario, esta velocidad estará en gran medida debida a la experiencia, pero siempre comprendida en valores por debajo de los 8-10 m/h, aumentando a valores por encima del doble en el espacio libre del separador trifásico. [7], [8]

### **Tiempo de retención de sólidos.**

Este parámetro tan fundamental en el diseño del reactor fue posible controlarlo a raíz de poder separar el tiempo hidráulico de residencia del tiempo de retención de sólidos, el cual toma valores del orden de 30 días [3] para procesos a temperaturas comprendidas entre 25-30 ° C, aumentando este tiempo a medida que desciende la temperatura del proceso.

**Producción esperada de gas metano.**

Cuanta más carga orgánica a tratar entre en el reactor mayor será la cantidad de metano que se genere por unidad de volumen.

La cantidad de metano producida por unidad de DQO convertida en condiciones anaerobias es de 0.35 L CH4/ g DQO en condiciones estándar (0°C a 1 atm). [9], [10]

**Eficiencia de tratamiento necesaria.**

Los procesos anaerobios son capaces de convertir eficientemente concentraciones de DQO entre el 75-85 % con la consiguiente generación de metano y con una producción de biomasa mínima. [9]

El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente se ha llevado a cabo mediante la elaboración de una hoja de cálculo. Este archivo tiene diferentes hojas (Datos de Entrada, W-TANK®, Cálculos, Difusores y Biogás).

Mediante la introducción en esta hoja de los parámetros del análisis del agua residual y tras unas previas decisiones por parte del usuario en cuanto al volumen y tamaño del tanque W-TANK® seleccionado como reactor anaerobio, la hoja de cálculo nos arroja los principales parámetros de diseño necesarios para el desarrollo del reactor.

**HOJA (DATOS DE ENTRADA):**

Para el diseño del reactor contemplado en este TFM, se ha partido de los siguientes datos de entrada, a fin de hacer más visuales los cálculos y decisiones adoptadas.

**DATOS DE ENTRADA**

TIPOS DE DATOS	
	introducidos por el usuario
	calculados
	proveniente de otra hoja

		DATOS DE ENTRADA	Out Anaerobio				Límites
			Red. mín.		Red. máx.		
<b>Caudal día</b>	m³/día	1500,00	0		0		
<b>Horas de trabajo</b>	h	24,00	24		24		
<b>Caudal Hora</b>	m³/h	62,50	0		0		
<b>Temperatura</b>	°C	18,00					
<b>pH</b>	Uds	6,50					6 - 9
<b>DQO</b>	mg/l	3000,00	900	70%	450	85%	125
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	2000,00	500	75%	300	85%	25
<b>MSS</b>	mg/l	300,00	90	70%	45	85%	35
<b>Ac. y G.</b>	mg/l	13,00	7	50%	2	85%	-
<b>NKT</b>	mg/l	0,00	0	0%	0	85%	-
<b>N-NH4 in</b>	mg/l	0,00	0	0%	0	85%	-
<b>PT</b>	mg/l	0,00	0	40%	0	85%	2

El caudal adoptado es un caudal Standard para cualquier industria de tamaño medio, y con una DQO de 3.000 mg/l podría perfectamente tratarse de un vertido de una empresa alimentaria. Con respecto al resto de datos, se han supuesto valores medios observados en analíticas de vertidos de industrias reales.

En el cuadro anterior están recogidos los parámetros de entrada de la corriente a tratar en el reactor anaerobio justo a su entrada, es decir, tras haber sufrido el pretratamiento de acondicionamiento necesario, por lo tanto, este análisis no se corresponde con lo que serían los datos de entrada a la planta depuradora.

Para este diseño no se han contemplado sustancias tóxicas o inhibidoras para el proceso.

**HOJA (W-TANK®):**

**W-TANK**

Nº DE PLACAS	DIAMETRO (m)	SUPERFICIE (m2)	ALTURA (m)						
			6	8	10	12	14	16	
N6	4,2	13,9	76,2	103,9	131,6	159,3	187,0	214,7	m3
N8	5,4	22,9	126,0	171,8	217,6	263,4	309,2	355,0	V
N11	7,3	41,9	230,2	313,9	397,6	481,3	565,0	648,7	O
N14	9,3	67,9	373,6	509,5	645,3	781,2	917,0	1052,9	L
N17	11,3	100,3	551,6	752,2	952,7	1153,3	1353,9	1554,5	U
N20	13,2	136,8	752,7	1026,4	1300,1	1573,7	1847,4	2121,1	M
N24	15,9	198,6	1092,1	1489,2	1886,3	2283,4	2680,5	3077,6	E
N28	18,5	268,8	1478,4	2016,0	2553,6	3091,2	3628,8	4166,4	N
N32	21,1	349,7	1923,2	2622,5	3321,8	4021,2	4720,5	5419,8	util

Volumen de Reactor Seleccionado

En esta hoja se recogen las dimensiones de los tanques W-TANK® más útiles en cuanto a volumen y sobretodo altura, comprendidos entre los 6 y 16 metros, los cuales son los más apropiados para el desarrollo de reactores anaerobios, quedándose fuera de esta tabla otros modelos que por sus dimensiones no serían adecuados para desempeñar esta labor.

Esta hoja es una mera hoja de decisión, por lo tanto no contiene fórmulas ni cálculos entre sus celdas.

Ayuda al usuario a seleccionar un volumen de reactor adecuado en función del caudal de entrada al sistema contemplado en la hoja anterior, dándole la opción de jugar con la altura y el diámetro a la hora de su selección.

## HOJA (CÁLCULOS):

En esta hoja están recogidos los principales cálculos para el diseño del reactor. La hoja tiene multitud de llamadas a otras hojas, principalmente a la hoja (DATOS DE ENTRADA), por lo que un cambio en esta provocará cambios en la presente hoja.

CÁLCULOS						
PARÁMETROS	UNIDADES	v. tipico	v. tipico	v. tipico	v. tipico	valor
VOLUMEN REACTOR (m3)	m3					645,30
ÁREA REACTOR (m2)	m2					67,90
TASA DE RECIRCULACION						5,5
CAUDAL EN EL REACTOR (m3/h)	m3/h					343,75
THR (h)	h	8,00	48-480	5,00	8-10	10,32
V ASCENSIONAL (m/h)	m/h	5-6	<6	6,00		5,06
V ASCENSIONAL SUPERFICIE LIBRE(m/h)	m/h		<15			12,23
V DE CAIDA DEL LODO (m/h)	m/h	30-80	>50	68,00		50,00
TEMPERATURA (valor de entrada)	°C					18,00
pH (valor de entrada)	ud.		6,8-7,4			6,50
CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (kg DQO/m3 d)	kg DQO/m3 d	12 -- 30	5-25	10-25		6,97

La hoja está compuesta de una tabla de 6 columnas y 12 filas, de manera que quedan ordenados los parámetros de diseño en la primera columna, seguidos por sus correspondientes unidades, y a continuación tenemos 4 columnas rellenas con valores típicos obtenidos de la bibliografía, las cuales sirven como orientación para comprobar si el valor obtenido en la última de las columnas es correcto o no.

En la primera fila, volumen de reactor, el valor debe ser introducido manualmente por el usuario tras haber sido seleccionado en la hoja anterior (HOJA W-TANK®), se ha de tener cuidado de introducir este dato correctamente, ya que de su precisión dependerá la selección automática que la hoja de cálculo lleve a cabo en otras celdas. El área del reactor es otro dato que deberá ser introducido de manera manual, y por lo tanto deberá corresponder con el área del reactor seleccionado anteriormente.

Con la tasa de recirculación se podrá aumentar o disminuir el flujo a través del reactor, de manera que se pueda aumentar o disminuir la velocidad ascensional.

El tiempo hidráulico de residencia dependerá exclusivamente del caudal de entrada al reactor y del volumen de este, por lo tanto, ya que en una situación real no se podrá variar el caudal de llegada ya que este dependerá del proceso de la industria de la cual se intente depurar el agua, se deberá jugar con el volumen del reactor para obtener un THR(h) adecuado.

Con el cálculo de la carga volumétrica se tiene una situación similar a la anterior, no se pueden variar las celdas referentes a concentración de DQO y Caudal diario de llegada al reactor, sin embargo si que se podrá modificar el volumen del mismo, teniendo en cuenta que una modificación de éste tendrá efecto sobre el tiempo de retención hidráulico, por lo tanto se tendrá que jugar con el volumen del reactor para que tanto el THR como la carga volumétrica tengan valores admisibles.

**HOJA (DIFUSORES):**

En esta hoja se calcula la distribución de difusores por parte del usuario. En ella queda seleccionado de manera automática y resaltada en verde la superficie del depósito seleccionado. La segunda columna recoge el área por metro cuadrado destinada a cada difusor, y es un parámetro de diseño que puede introducir el usuario en función de las variables del proceso de las que disponga, siendo habitual un área de 4 m<sup>2</sup>/difusor, pero pudiendo variar en función del tipo de difusor y de las características del afluente a tratar.

**DIFUSORES**

DISTRIBUCIÓN DE ENTRADA				
SUPERFICIE	m2/DIFUSOR	Nº DE DIFUSORES (CALCULO)	Nº DE DIFUSORES (REDONDEO)	CAUDAL POR DIFUSOR (m3/h)
13,9	2	6,95	8,00	43
22,9	2	11,45	12,00	29
41,9	2	20,95	22,00	16
67,9	2	33,95	34,00	10
100,3	2	50,15	52,00	7
136,8	2	68,40	70,00	5
198,6	2	99,30	100,00	3
268,8	2	134,40	136,00	3
349,7	2	174,85	176,00	2

\*en verde superficie de reactor elegida

La hoja nos devuelve el cálculo exacto de difusores y el redondeo a la alza hasta el número par más próximo, de manera que sea más simple la distribución espacial en la superficie circular del reactor.

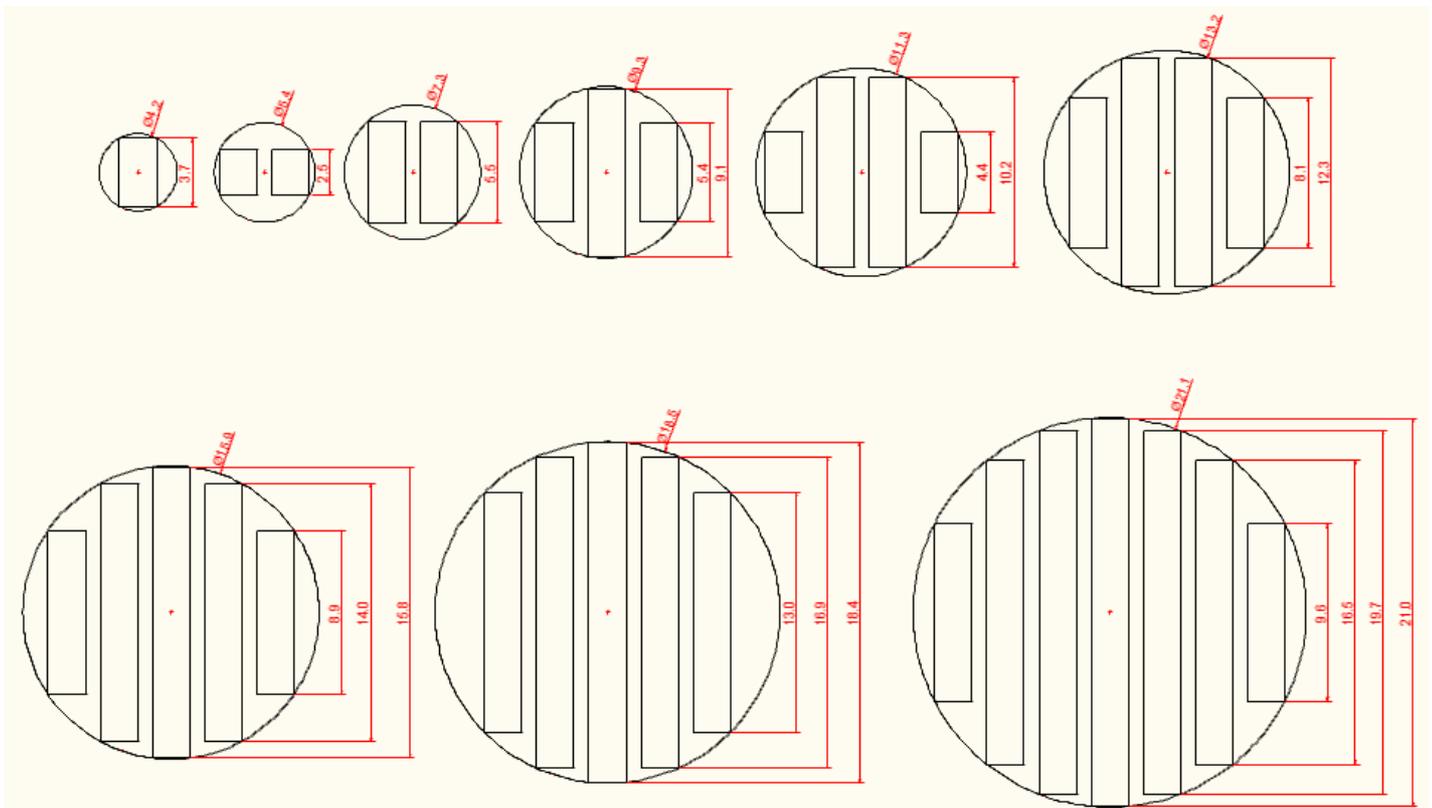
La última columna, recoge a modo de indicación el cálculo del caudal por difusor, dato de valiosa utilidad a la hora de seleccionar el tipo de difusor.

### HOJA (BIOGAS):

En la hoja BIOGAS se muestra de color verde y de manera automática la celda referida a la superficie total referida al tanque seleccionado previamente. Al tener esta celda resaltada es más sencillo localizarla y poder comprobar la diferencia entre este valor y los valores de las columnas anexas, los cuales muestran las superficies de campanas y el área libre para el tanque seleccionado.

La distribución de las campanas se ha hecho en base a diferentes medidas en función del tanque en el cual se vayan a instalar, pero siempre manteniendo 2 parámetros fundamentales:

El primero es un ángulo de  $55^\circ$  del plano inclinado de la campana, para que este pueda llevar a cabo la función de separador trifásico para la cual ha sido diseñada, y segundo, el intentar mantener una relación entre la superficie libre y la superficie total del reactor entorno a 0,4/0,5 lo cual evitará que el flujo sea muy elevado en esta zona y por lo tanto no lleve a cabo una sedimentación efectiva de la biomasa granular, pudiéndose dar la situación de lavado del reactor.



Distribución de las campanas en función del área del reactor.

Fuente propia.

En la tabla inferior, se recogen los valores referidos a la tasa de producción de biogás, al tanto por ciento de metano contenido en el biogás, y al poder calorífico de este gas, recogidos de la bibliografía, y en la cuarta columna de esta tabla, el usuario deberá introducir el valor seleccionado o medio para llevar a cabo los cálculos pertinentes.

En las dos últimas tablas de esta hoja se recogen los cálculos realizados con los datos introducidos anteriormente. La celda superficie del reactor se rellenará de manera automática, de igual forma que el número de campanas, las cuales son seleccionadas tras el diseño de las mismas que se ha explicado anteriormente. Las celdas de superficie libre y velocidad ascensional quedan de igual forma rellenas de manera automática por el sistema.

## BIOGÁS

Nº DE PLACAS	DIAMETRO	SUPERFICIE TOTAL (M2)	SUPERFICIE CAMPANAS (M2)	SUPERFICIE LIBRE (m2)	FACTOR
N6	4,2	13,9	7,4	6,5	0,5
N8	5,4	22,9	10,0	12,9	0,6
N11	7,3	41,9	22,0	19,9	0,5
N14	9,3	67,9	39,8	28,1	0,4
N17	11,3	100,3	58,4	41,9	0,4
N20	13,2	136,8	81,6	55,2	0,4
N24	15,9	198,6	123,2	75,4	0,4
N28	18,5	268,8	156,4	112,4	0,4
N32	21,1	349,7	225,2	124,5	0,4

	UNIDADES	valor tipico	valor tipico	valor tipico	valor
TASA DE PRODUCCIÓN DEL BIOGAS	m3/kg DQO removida	0,38	0,4	0,4–0,5	0,4
CONTENIDO EN CH4	%	75,0%	69,0%		70,0%
PODER CALORÍFICO DEL METANO	MJ/Nm3 CH4	35,0			

La última tabla, presenta las producciones de biogás máxima y mínima en función de las tasas de conversión de la materia orgánica que consiga el reactor anaerobio, las cuales han sido introducidas en forma de tanto por ciento en la primera hoja de DATOS de entrada. La producción de metano y la cantidad de energía vienen dadas en función del biogás producido.

	UNIDADES	
SUPERFICIE REACTOR	m <sup>2</sup>	67,9
Nº DE CAMPANAS	uds.	3,0
SUPERFICIE LIBRE	m <sup>2</sup>	28,1
V ASCENSIONAL AREA LIBRE	m/h	12,2

	UNIDADES	minimo	maximo
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	Nm <sup>3</sup> /dia	1260,0	1530,0
PRODUCCIÓN DE METANO	Nm <sup>3</sup> /d	882,0	1071,0
ENERGÍA	MJ/d	30870,0	37485,0

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido llevar a cabo una recopilación de parámetros de diseño y operacionales recogidas en las principales bibliografías que existen al respecto, así como datos de empresas que se dedican a la construcción y/o explotación de este tipo de reactores.

Con estos datos se ha podido elaborar una hoja de cálculo que permitirá llevar a cabo los diseños previos de un reactor anaerobio de flujo ascendente, basado únicamente en la recopilación de datos mencionada.

Esto hace que la fiabilidad de los valores calculados sea baja a la hora de pretender llevar el proyecto a un estadio superior y realizar una construcción a escala real del mismo, por lo que se recomienda llevar a cabo previamente ensayos y pruebas a escala piloto para contrastar los datos recogidos en este trabajo.

Sin embargo, y pese a estas contras, el estudio ha permitido corroborar la factibilidad de poder llevar a cabo estos reactores a partir de tanques W-TANKS, ya que son numerosos los casos hallados en los que esta tecnología de construcción de reactores anaerobios ya esta funcionando a escala real en el tratamiento de aguas residuales de diferentes industrias.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

El autor desea agradecer a la empresa AGUAMBIENTE S.L. la ayuda recibida y el soporte técnico facilitados

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Metcalf; Eddy (2003). 'Wastewater engineering. Treatment and reuse'. McGraw-Hill.
- [2] APHA, AWWA and WEF. (1992). 'Standard methods for the examination of water and wastewater'. 18th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- [3] R.S. Ramalho (1990). 'Tratamiento de aguas residuales'. Ed. Reverté, S.A.
- [4] Correa, M. A., Sierra, J. H. (2004). 'Remoción de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un sistema de filtros (biofiltros) en serie anaerobio/anóxico/aerobio en condiciones dinámicas.' Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia (Colombia). Número 031.pp 5-22.
- [5] García Arrazola, R. (2007). 'Políticas óptimas de operación de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales por desnitrificación'. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química. Universidad Iberoamericana. México, D. F.
- [6] DÍAZ-BÁEZ, M.; Espitia, S. y Molina, F. (2002) 'Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología'. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia
- [7] Zamora Sauna, S. (2001). 'Análisis de fiabilidad técnica para la utilización de un reactor anaeróbico UASB en las purgas de equipos de sedimentación utilizados en el tratamiento de aguas residuales avícolas'. Proyecto de Investigación.
- [8] Tshilumba Mutombo, D. 'Internal circulation reactor: pushing the limits of anaerobic industrial effluents treatment Technologies.' Proyecto de Investigación.
- 
- [9] Biobed EGSB technology for Latvian Brewery:  
<http://www.veoliawaterst.com/biobedegsb/en/modular-package.htm>.
- [10] Aqualimpia Consultores:  
<http://www.aqualimpia.com>
- [11] Web Course  
<http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/wasteWater/Lecture%2032.htm>