



LIFE VALPORC

Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers (LIFE13 ENV/ES/001115)



lifevalporc

Name of the Deliverable: Diseño y construcción de prototipos: producción de biodiesel (B1.3)

Number and name of the associated action: Action B1 Diseño y construcción de prototipos

Submission date: 18/05/2017

Partner responsible for this deliverable: Fundación CARTIF



INDEX

A. Executive summary	4
B. Participantes	4
C. Objetivo	4
D. Introducción	4
E.1 Reacción de obtención de biodiesel mediante transesterificación	4
E.2 Reacciones secundarios en el proceso de obtención de biodiesel	6
E.3 Reactores de cavitación	7
E. DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE CAVITACIÓN	8
F. Evaluación del fenómeno de la cavitación en función de las características del dispositivo que provoca la constricción.	10
G.1 Determinación de las propiedades termodinámicas de la mezcla reaccionante	10
G.1.1 Propiedades termodinámicas de los compuestos que intervienen en la reacción 11	
G.1.2 Determinación de las propiedades termodinámicas de la mezcla reaccionante	17
G.2 Determinación de las variables fluidodinámicas de la mezcla reaccionante	25
G.2.1 Modelo de cálculo	25
G.3 Aplicación del modelo al caso de las mezclas de reacción	29
G.3.1 Número de Cavitación para una mezcla Metanol:Grasa 3:1 a 60 °C, para el reactor de 52 mm	29
G.4 Descripción básica de diseño	32
G.4.1 Sistema de dosificación de reactivos	35
G.4.2 Sistemas de dosificación de mezcla reactiva a alta presión	41



G.4.3	Reactor de cavitación dinámico	45
G.4.4	Reactor de cavitación estático	46
G.4.5	Sistema de control de presión de reacción.....	47
G.4.6	Sistema de decantación de productos	48
G.5	Resumen de los principales equipos.....	49
G.6	Sistema de control.....	57
G.6.1	Arquitectura de control.....	57
G.	Anexo Fotos de la planta	61
H.	Referencias	66
I.	Anexo: Planos	66
J.	Anexo: Ofertas equipos	71



A. Executive summary

The objective of this deliverable is to evaluate the main design parameters, which are given in the biodiesel using cavitation reactors. As well as show the main elements resulting from the design and details of the biodiesel built plant.

B. Participantes

Responsable de la Acción: Fundación CARTIF.

C. Objetivo

El objetivo de este deliverable es evaluar los principales parámetros de diseño, que se dan en el proceso de obtención de biodiesel empleando reactores de cavitación. Así como mostrar los principales elementos resultantes del diseño y los detalles de la planta de obtención de biodiesel una vez construida.

D. Introducción

De forma general, se puede definir el biodiesel como los ésteres metílicos o etílicos de origen natural, obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales, pero también, a partir de esterificación de ácidos grasos.

E.1 Reacción de obtención de biodiesel mediante transesterificación

El método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholólisis). Se basa en la reacción de aceites o grasas (constituidas principalmente por triglicéridos), con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres alquílicos y glicerina.

La reacción de transesterificación (Figura 1), se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque en la práctica se suele añadir una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster). Según la reacción planteada en la Figura 1, 100 kg de grasa o aceite y 11 kg de metanol producen, a través de la reacción de transesterificación, 100 kg de ésteres metílicos y 11 kg de glicerina (Vicente, Martínez, & Aracil, 2001).

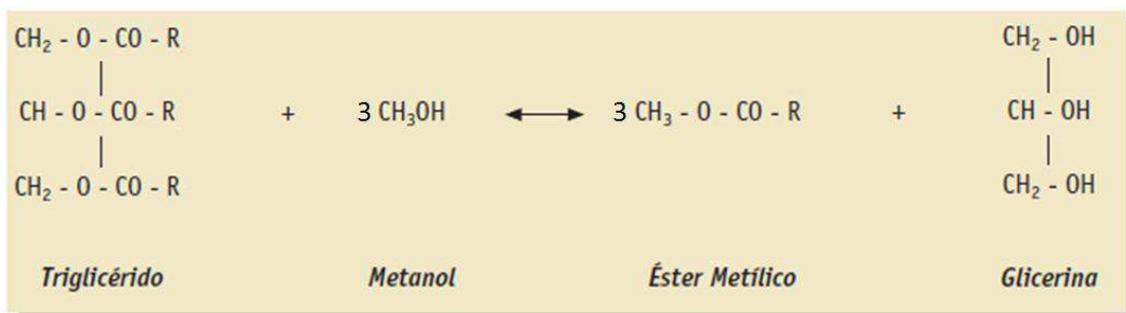


Figura 1. Reacción de transesterificación.

En la Figura 2, se presentan las reacciones del proceso de transesterificación, el cual consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.

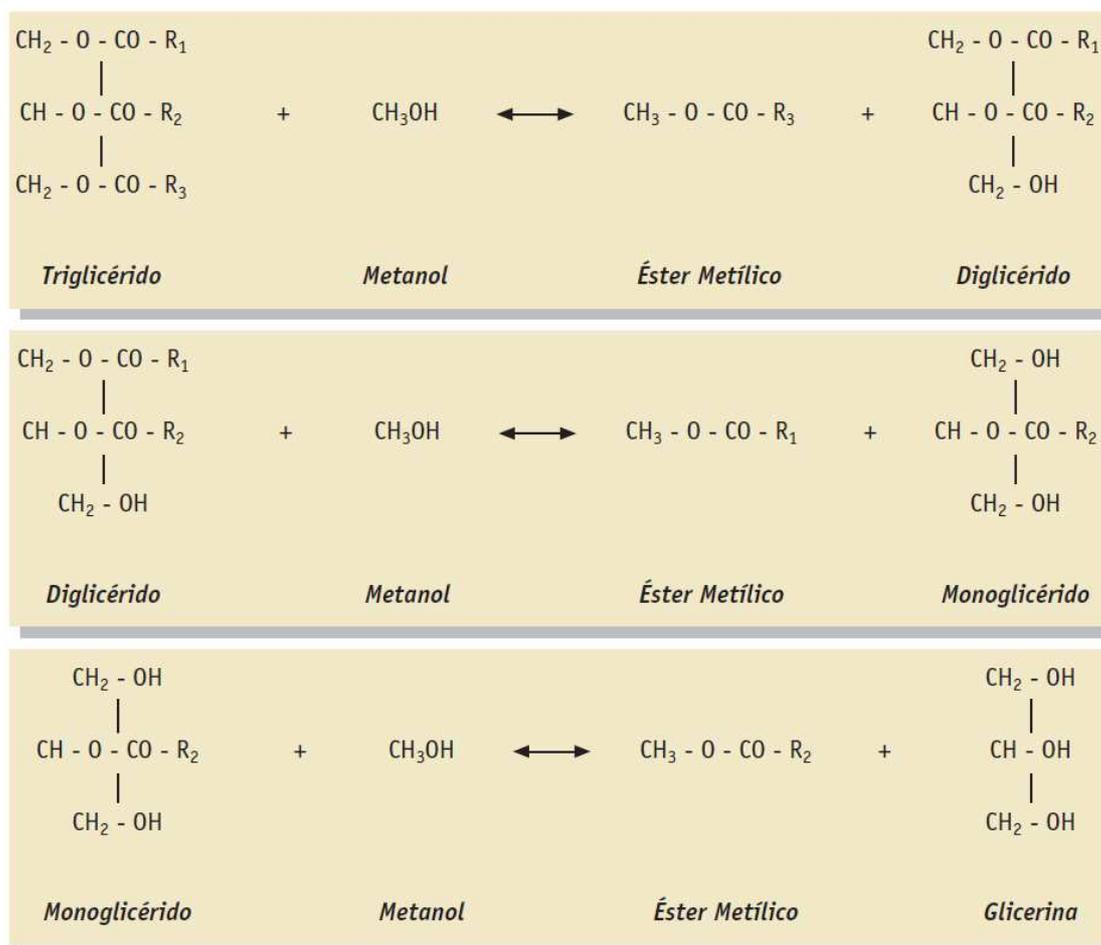


Figura 2. Reacciones implicadas en la transesterificación.



E.2 Reacciones secundarias en el proceso de obtención de biodiesel

Las principales reacciones secundarias que se pueden dar son las siguientes:

- Reacción de saponificación.
- Reacción de ésterificación de ácidos grasos libres.

La reacción de saponificación es la que se indica en la Figura 3, se da como consecuencia del ataque del grupo OH del catalizador, sobre el triglicérido en presencia de agua, generando glicerina y los ésteres de los ácidos correspondientes. Esta reacción se ve favorecida con la temperatura, y especialmente con la concentración de catalizador. También se ve favorecida por la presencia de agua, por lo que es deseable emplear reactivos y aceites lo más secos posibles.

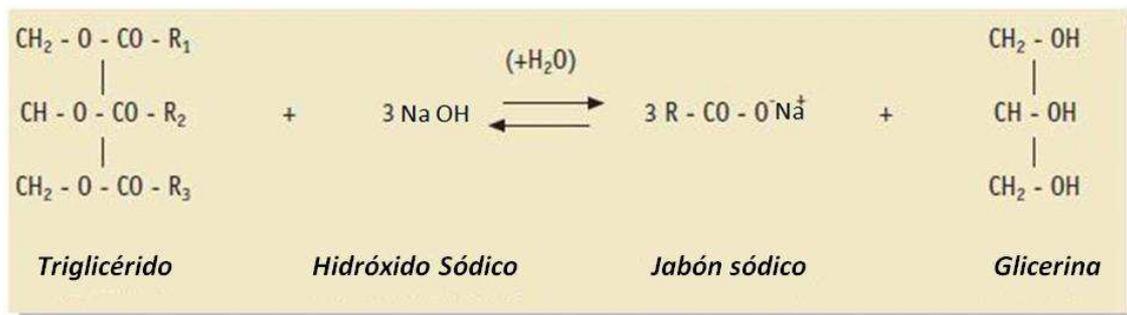


Figura 3. Reacciones de saponificación de los triglicéridos.

La reacción de esterificación de los ácidos grasos libres (Figura 4), sigue un mecanismo similar al anterior, sólo que en este caso se trata de la formación de jabones partiendo de los ácidos grasos libres que se encuentran en disolución. Esta reacción se ve muy favorecida cuando se emplean grasas o aceites con un elevado índice de acidez.

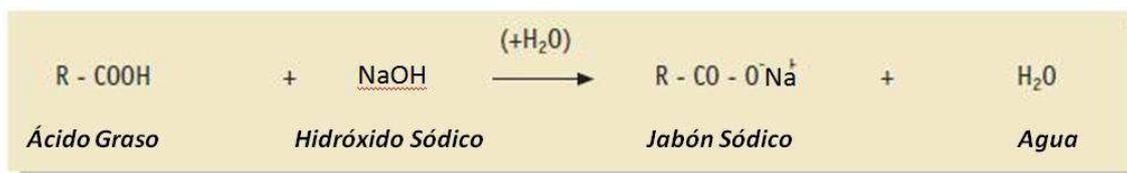


Figura 4. Reacciones de esterificación de los ácidos grasos libres.



E.3 Reactores de cavitación

La aplicación de reactores de cavitación y/o ultrasonidos en la producción de biodiésel, está enfocada a conseguir una mayor eficacia en los procesos de mezclado. Estas técnicas consiguen que la mezcla entre el aceite y la disolución alcohólica del catalizador se produzca instantáneamente tanto en procesos de esterificación como de transesterificación. El fundamento consiste en generar microemulsiones que aumentan el área de contacto, y por lo tanto las cinéticas de reacción. Como la eficacia de la reacción es mayor, se podrá minimizar la cantidad de catalizador, así como la reducción de corrientes residuales y subproductos.

El proceso de cavitación es similar al proceso que ocurre cuando hierve un líquido. La diferencia radica en que mientras en el proceso de ebullición, la presión de vapor local del líquido se iguala o supera la presión ambiente, en la cavitación la evaporación sucede cuando la presión ambiente se reduce a valores inferiores de la presión de vapor del líquido. De este modo, la aplicación de esta tecnología a procesos de reacción, permite incrementar las velocidades de transferencia de materia y calor, y por consiguiente la velocidad de reacción.

En la Figura 5, se muestra el ejemplo de un reactor de cavitación, constituido en este caso por un rotor y un estator. Al girar el rotor, hay un momento en el que coinciden los canales del estator con los del rotor, en este instante se crea una zona de alta presión, seguidamente cuando se cierran, se genera una onda de baja presión. Este efecto favorece la formación de una microemulsión en la que aumenta considerablemente el área de contacto disponible para la reacción.

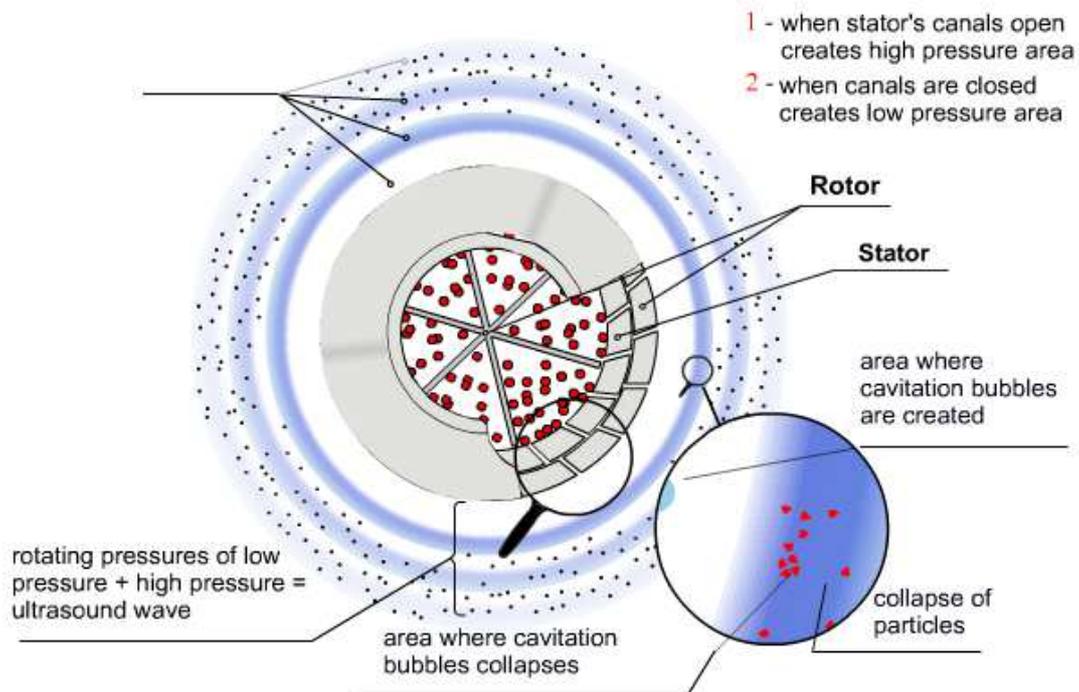


Figura 5. Esquema de un Reactor de cavitación (Cavitation Technologies, Inc., 2017)

E. DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE CAVITACIÓN

La cavitación hidrodinámica puede ser generada por el paso del líquido a través de una constricción, como una placa de orificio, una válvula, o sistema rotor-estator. Cuando el líquido pasa a través de la constricción, la energía cinética asociada al líquido aumenta a expensas de la presión local. Si la aceleración es suficiente, la presión cae por debajo del umbral de presión necesario para que se produzca cavitación (por lo general, la presión de vapor del medio a la temperatura de funcionamiento), generándose de este modo cavidades en el seno del fluido. Una vez que el líquido sale de la constricción, el líquido se expande y la presión se recupera y esto da lugar al colapso de las cavidades. Durante el paso del líquido a través de la constricción, se produce la separación de la capa límite y se pierde energía en forma de caída de presión permanente. También está presente una intensidad de la turbulencia muy alta aguas abajo de la constricción, su intensidad depende de la magnitud de la caída de presión que, a su vez, depende de la geometría de la constricción y las condiciones de flujo del líquido.

Generalmente se utiliza un número adimensional conocido como número de cavitación (C_v) para relacionar las condiciones de flujo, con la intensidad de la cavitación. El número de cavitación puede ser representado matemáticamente como (Shah, Pandit, & S., 1999):

$$C_v = \frac{P_2 - P_v}{\left(\frac{1}{2}\right)\rho v_o^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde P_2 es la presión recuperada aguas abajo de la constricción, P_v es la presión de vapor del líquido, v_o es la velocidad media del líquido en el orificio y ρ es la densidad del líquido. Un esquema de las variables implicadas es la que se indica en la Figura 6.

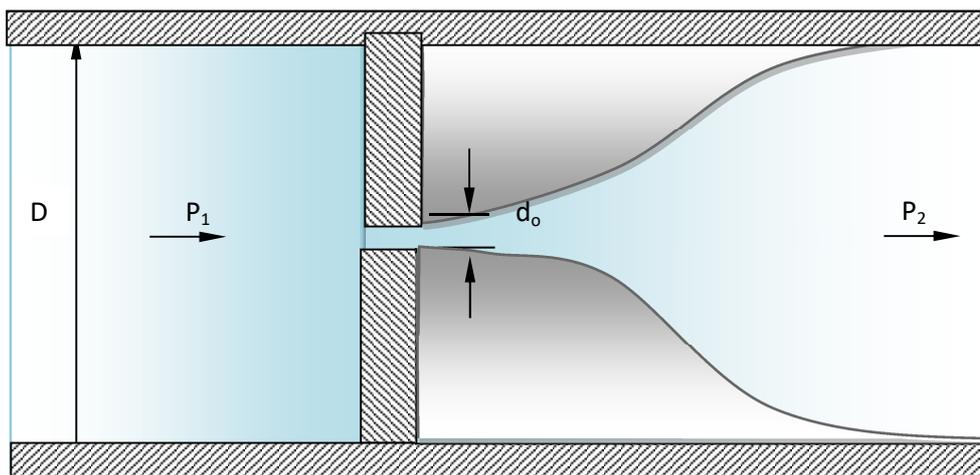


Figura 6. Esquema de proceso de cavitación.

En condiciones ideales, la cavitación se produce para $C_v < 1$. Esto se confirma también por las simulaciones realizadas en los distintos trabajos experimentales, donde también se ha observado que las cavidades generadas oscilan continuamente, pero no hay colapso, para valores de $C_v > 2$ (Gogate, et al, 2000). Esto último sucede cuando la cavidad se genera a través de ciclos continuos de expansión y contracción sin colapsarse. La magnitud de los pulsos de presión, para este caso ($C_v > 2$) es también bastante pequeña. En estas condiciones, las presiones generadas no provocan el colapso de las cavidades, por lo que no tendrán ningún efecto químico deseado. Así pues, esta condición debe evitarse en la medida de lo posible, pudiendo ser controlada por las variables de operación (temperatura, caudal, presión, etc).



Pero también debe tenerse en cuenta en esta etapa que el fenómeno de cavitación también puede ocurrir en valores de C_v superiores a 1. Esto se debe a la presencia de gases disueltos o partículas en suspensión en el líquido, que actúan como puntos débiles en el suministro de líquido para los núcleos de cavitación. El número de cavitación es función de la geometría del dispositivo y, en general, aumenta con el diámetro de los orificios de paso de fluido.

La cavitación hidrodinámica también se puede generar en la rotación de las máquinas (por ejemplo, homogeneizador de alta velocidad) ajustando la velocidad de rotación y la geometría del sistema de modo que la presión local cerca del rotor se sitúe por debajo de la presión de vapor (Gogate, 2008).

F. Evaluación del fenómeno de la cavitación en función de las características del dispositivo que provoca la constricción.

Para determinar el grado de cavitación se ha recurrido a la evaluación del número de cavitación en función de las características del fluido y del equipo empleado.

De la ecuación que describe el Número de cavitación (Ecuación 1), se observa que para un fluido determinado, es necesario determinar:

- Las propiedades termodinámicas de la mezcla reaccionante a lo largo de la reacción.
- Las variables fluidodinámicas de la mezcla, es decir:
 - La velocidad al paso del orificio (v_0).
 - La presión del fluido aguas arriba del orificio de salida (P_2), que coincide con la presión en el punto de impulsión del reactor de cavitación.

G.1 Determinación de las propiedades termodinámicas de la mezcla reaccionante

Para la determinación de las propiedades de la mezcla se ha recurrido al empleo del programa de simulación HYSYS. Para llevar a cabo la simulación se han realizado los siguientes pasos:



G.1.1 Propiedades termodinámicas de los compuestos que intervienen en la reacción

La principal dificultad en este caso consiste en definir correctamente las propiedades de la grasa animal, ya que no se trata de un compuesto único como puede ser el caso del metanol, o la glicerina, cuyas características se encuentran perfectamente definidas en la base de datos de HYSYS.

Como se observa en la Tabla 1, la grasa de cerdo está constituida mayoritariamente por triglicéridos formados por el ácido oleico (45%), palmítico (22%), esteárico (11%) y linoleico (14%).

Tabla 1. Composición en ácidos grasos de los principales aceites, y de la grasa de cerdo empleada.

Ácido Graso	Abreviatura ¹	Grasa cerdo ²	Soja	Palma	Oliva	Colza	Girasol
mirístico	14:0	1,84	-	0-15	-	-	-
palmítico	16:0	22,18	8-13	22,46	8-21	3,4	5-7
palmitoleico	16:1	3,23	-	0-2,5	1-4	-	<0,5
Margárico	17:0	0,73	-	-	-	-	-
Margaroleico	17:1	0,53	-	-	-	-	-
Esteárico	18:0	13,79	2-5	0,5-5	1-6	1-2	4-6
Oleico	18:1	45,19	17-26	36-68	53-80	9-16	15-25
Linoleico	18:2	10,84	50-62	2-20	2-24	11-16	62-70
Linolénico	18:3	0,72	4-10	<1	1-2	7-12	-
Aráquico	20:0	0,13	<1	<0,5	<0,5	-	<1
Gadoleico	20:1	0,46	<0,4	-	<0,5	7-13	<0,5
Behénico	22:0	0,22	<0,5	-	<1	-	<1
Erúcico	22:1	-	-	-	-	41-52	-
Lignocérico	24:0	0,08	-	-	-	-	-

¹ Los ácidos grasos se designan por dos números separados por ;, el primer número indica el número de átomos de carbono de que consta el ácido, y el segundo el número de dobles enlaces.

² Análisis realizado sobre la grasa de cerdo proporcionada.



Se puede observar que la grasa de cerdo presenta un mayor porcentaje de grasas saturadas (palmítico y esteárico) en comparación con los principales aceites vegetales. Este hecho confiere a las grasas animales un mayor punto de fusión, haciendo que éstas sean sólidas a temperatura ambiente.

Tabla 2. Composición de la grasa de cerdo empleada.

Ácidos Grasos	%
Insaturados	60,97
Poliinsaturados (Mayoritariamente ácido linoleico)	11,56
Monoinsaturados (Mayoritariamente ácido oleico)	49,41
Saturados (Mayoritariamente ácido palmítico)	38,97

Por ello, se ha recurrido a considerar que la grasa está constituida principalmente por trioleína (triglicérido derivado del ácido oleico), tripalmitina (derivado del ácido palmítico), triestearina (derivado del ácido esteárico) y trilinoleína (derivado del ácido linoleico). Normalizando la composición en base a la indicada para la grasa de cerdo en la Tabla 1, se obtiene la siguiente composición que ha sido la empleada para el cálculo de las propiedades:

Tabla 3. % de los ácidos grasos de la grasa de cerdo.

Ácido Graso	Grasa cerdo
palmítico	24%
Esteárico	15%
Oleico	49%
Linoleico	12%

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se recogen las propiedades de los triglicéridos: masa molecular (MM), temperatura de ebullición (T_{eb}), temperatura, presión y volumen críticos (T_c , P_c y V_c), así como el factor acéntrico (w).



Estas propiedades son fundamentales para definir las características de un compuesto empleando la herramienta *Hypo Manager* del programa de simulación HYSYS, que permite definir compuestos hipotéticos.

Tabla 4. Principales propiedades termodinámicas de los triglicéridos más importantes (Reid, 2001).

	Trioleína	Tripalmitina	Triestearina	Trilinoleína
Formula	$C_{57}H_{104}O_6$	$C_{51}H_{98}O_6$	$C_{57}H_{110}O_6$	$C_{57}H_{98}O_6$
MM, kg/kmol	885,43	807,29	891,48	879,413
Teb, K	705,32	722,72	727,77	687,10
Tc, K	776,53	801,04	800,15	757,54
Pc, bar	4,25	4,59	4,17	4,33
Vc, cm ³ /mol	3352,7	3082,1	3412,7	3292,7
w, acentrico	1,7558	1,7068	1,7567	1,7593



Tabla 5. Formulas estructurales de los triglicéridos.

Trioleína	
Triplamitina	
Triestearina	
Trilinoleína	

Tabla 6. Propiedades termodinámicas de los ésteres metílicos (Reid, 2001).

	Oleato de metilo	Palmitato de metilo	Estearato de metilo	Linoleato de metilo
Formula	$C_{19}H_{36}O_2$	$C_{17}H_{34}O_2$	$C_{19}H_{38}O_2$	$C_{19}H_{34}O_2$
MM, kg/kmol	296,49	270,46	298,50	294,48
Teb, K	670,97	686,60	686,60	636,50
Tc, K	832,88	861,84	850,31	791,98
Pc, bar	11,68	12,5	11,46	11,9
Vc, cm ³ /mol	1146,9	1056,7	1166,9	1126,9
w, acentrico	0,9417	0,8811	0,9509	0,9322



Dado que la grasa está constituida por una mezcla de trioleína, tripalmitina, triestearina y trilinoleína, el biodiesel obtenido se ha definido como la mezcla de los correspondientes ésteres derivados de la reacción del ácido oleico, palmítico, esteárico y linolénico con el metanol, es decir el metil-oleato, metil-palmitato, metil-estearato y metil-linoleato en las mismas proporciones que los correspondientes triglicéridos (Tabla 2). Estos compuestos se encuentran definidos en la base de HYSYS.

El modelo termodinámico escogido fue el modelo de actividad NRTL (non-random two liquids), ya que se tienen compuestos altamente polares como el metanol y la glicerina (Zhang, Dubé, McLean, & Kates, 2003). Los coeficientes de interacción binaria no disponibles en la librería del simulador fueron estimados con el método UNIFAC (Universal Functional Group Activity Coefficient) para equilibrio líquido-líquido.

La evolución de las propiedades termodinámicas de los reactivos y los productos en función de la temperatura se indican en las siguientes figuras.

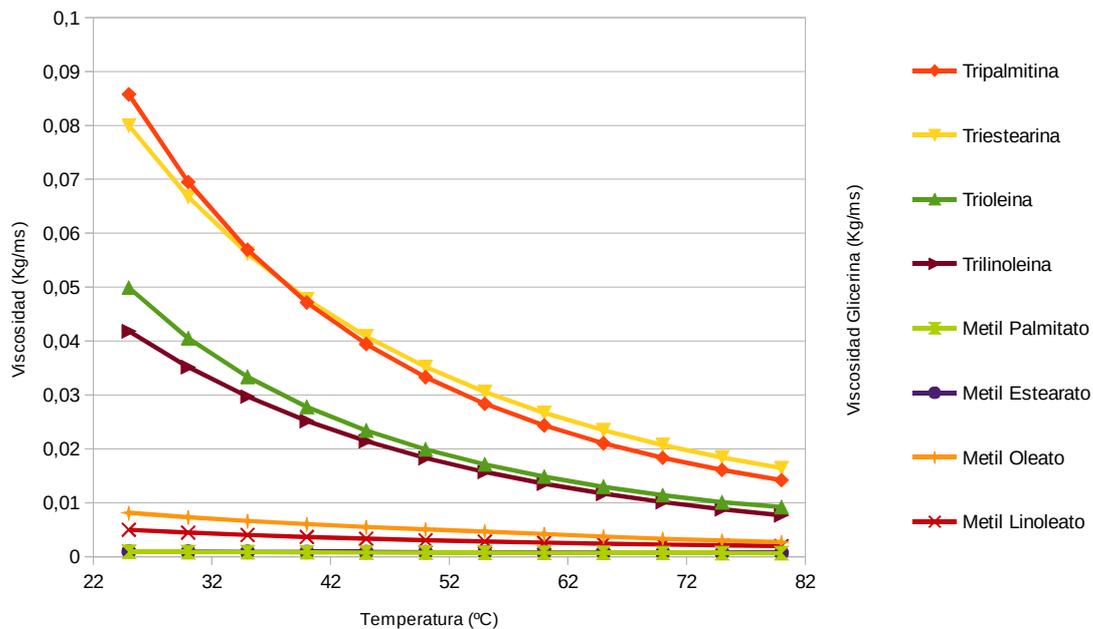


Figura 7. Viscosidad de los reactivos y productos en función de la temperatura (glicerina en eje secundario).



En la Figura 7 se muestra la variación de la viscosidad de los reactivos y productos con la temperatura. Se observa, que a medida que aumenta la temperatura, disminuye la viscosidad de todos los compuestos. El compuesto de viscosidad más elevada es la glicerina, presentando valores en torno a diez veces más que la grasa y sus constituyentes, mientras que el de menor viscosidad es el metanol. Se puede observar también, la fuerte disminución de la viscosidad del biodiesel respecto a la grasa, siendo ésta una de las razones del empleo del biodiesel frente al aceite como biocombustible.

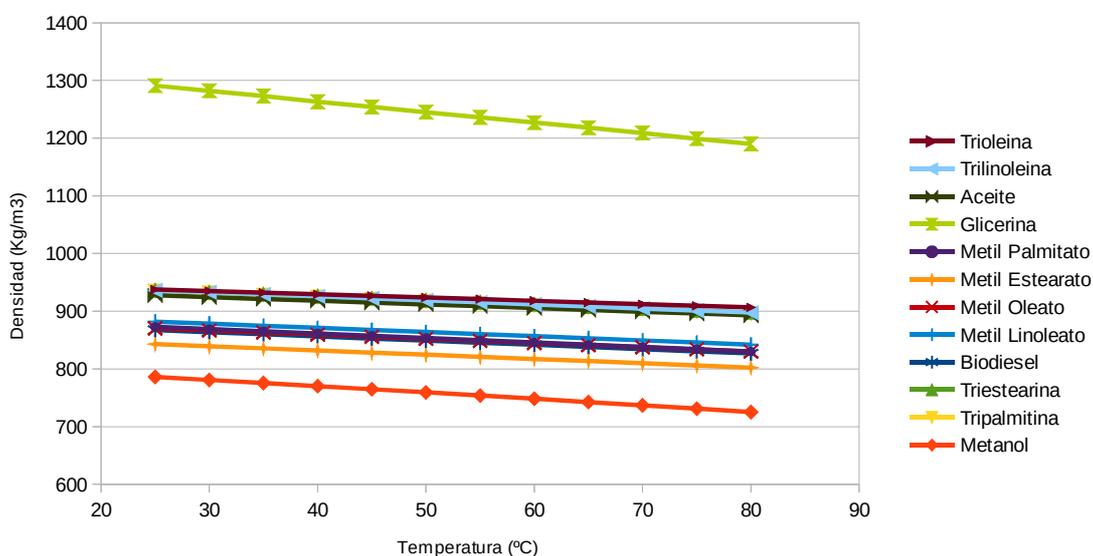


Figura 8. Densidad de los reactivos y productos en función de la temperatura.

En la Figura 8, se muestra igualmente como varía la densidad del líquido de los compuestos de interés en el rango de temperatura (25 - 75 °C). En todos los casos se observa una ligera disminución de la densidad a medida que la temperatura aumenta.

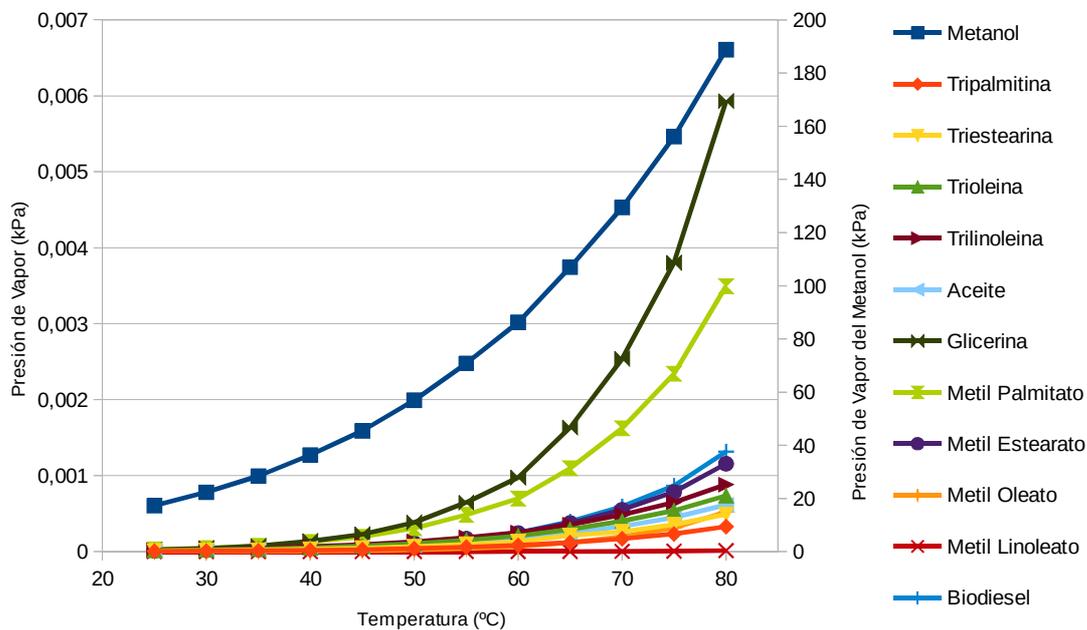


Figura 9. Presión de vapor de los reactivos y productos en función de la temperatura (metanol en eje secundario).

Con respecto a la variación de la presión de vapor (P_v) con la temperatura, se puede ver en la Figura 9, como ésta incrementa de manera exponencial a medida que lo hace la temperatura. En este caso, y dado que el metanol es el compuesto que presenta una menor temperatura de ebullición, la presión de vapor correspondiente es la más alta de todos los compuestos del orden de 20 – 1.500 kPa. El resto de los compuestos presentan presiones de vapor mucho más bajas, del orden de 10^{-3} – 10^{-6} kPa.

G.1.2 Determinación de las propiedades termodinámicas de la mezcla reaccionante

La composición de la mezcla, en función del grado de avance, depende de la concentración inicial de reactivos, es decir de la relación Metanol:Grasa. En las simulaciones llevadas a cabo se han empleado dos relaciones Metanol:Grasa 3:1 y 6:1 (mol/mol). Es decir, la correspondiente a la relación estequiométrica y al doble de esta relación, según la reacción global de transesterificación (Figura 10).

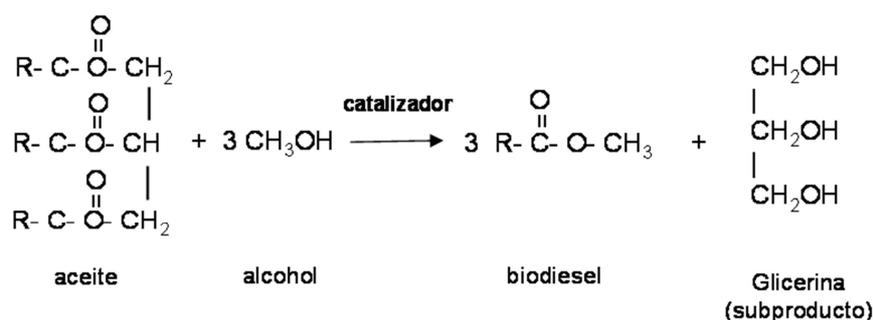


Figura 10. Reacción global de transesterificación.

En la Tabla 7 y

Tabla 8 se indican las concentraciones de reactivos y productos a medida que la reacción avanza para la relación Metanol:Grasa 3:1, y en la Tabla 9 y Tabla 10, las concentraciones para la relación Metanol:Grasa 6:1. (el grado de avance hace referencia al tanto por uno de los moles de grasa que han reaccionado).

Tabla 7. Fracción molar de los Reactivos en la mezcla reaccionante, en función del grado de avance de la reacción y una relación inicial Metanol:Grasa 3:1.

Avance reacción	Metanol	Tripalmitina	Triestearina	Trioleína	Trilinoleína	Grasa
0,0	0,7500	0,0655	0,0363	0,1103	0,0380	0,2500
0,1	0,6750	0,0590	0,0326	0,0992	0,0342	0,2250
0,2	0,6000	0,0524	0,0290	0,0882	0,0304	0,2000
0,3	0,5250	0,0459	0,0254	0,0772	0,0266	0,1750
0,4	0,4500	0,0393	0,0218	0,0662	0,0228	0,1500
0,5	0,3750	0,0328	0,0181	0,0551	0,0190	0,1250
0,6	0,3000	0,0262	0,0145	0,0441	0,0152	0,1000
0,7	0,2250	0,0197	0,0109	0,0331	0,0114	0,0750
0,8	0,1500	0,0131	0,0073	0,0221	0,0076	0,0500
0,9	0,0750	0,0066	0,0036	0,0110	0,0038	0,0250
1,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Tabla 8. Fracción molar de los Productos en la mezcla reaccionante, en función del grado de avance de la reacción y una relación inicial Metanol:Grasa 3:1.

Avance reacción	Glicerina	Metil Palmitato	Metil Estearato	Metil Oletato	Metil Linoleato	Biodiesel
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1	0,0250	0,0197	0,0109	0,0331	0,0114	0,0750
0,2	0,0500	0,0393	0,0218	0,0662	0,0228	0,1500
0,3	0,0750	0,0590	0,0326	0,0992	0,0342	0,2250
0,4	0,1000	0,0786	0,0435	0,1323	0,0456	0,3000
0,5	0,1250	0,0983	0,0544	0,1654	0,0570	0,3750
0,6	0,1500	0,1179	0,0653	0,1985	0,0684	0,4500
0,7	0,1750	0,1376	0,0761	0,2315	0,0798	0,5250
0,8	0,2000	0,1572	0,0870	0,2646	0,0912	0,6000
0,9	0,2250	0,1769	0,0979	0,2977	0,1026	0,6750
1,0	0,2500	0,1965	0,1088	0,3308	0,1140	0,7500

Tabla 9. Fracción molar de los Reactivos en la mezcla reaccionante, en función del grado de avance de la reacción y una relación inicial Metanol:Grasa 6:1.

Avance reacción	Metanol	Tripalmitina	Triestearina	Trioleina	Trilinoleina	Grasa
0,0	0,8571	0,0343	0,0214	0,0700	0,0171	0,1429
0,1	0,8143	0,0309	0,0193	0,0630	0,0154	0,1286
0,2	0,7714	0,0274	0,0171	0,0560	0,0137	0,1143
0,3	0,7286	0,0240	0,0150	0,0490	0,0120	0,1000
0,4	0,6857	0,0206	0,0129	0,0420	0,0103	0,0857
0,5	0,6429	0,0171	0,0107	0,0350	0,0086	0,0714
0,6	0,6000	0,0137	0,0086	0,0280	0,0069	0,0571
0,7	0,5571	0,0103	0,0064	0,0210	0,0051	0,0429
0,8	0,5143	0,0069	0,0043	0,0140	0,0034	0,0286
0,9	0,4714	0,0034	0,0021	0,0070	0,0017	0,0143
1,0	0,4286	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Tabla 10. Fracción molar de los Productos en la mezcla reaccionante, en función del grado de avance de la reacción y una relación inicial Metanol:Grasa 6:1.

Avance reacción	Glicerina	Metil Palmitato	Metil Estearato	Metil Oletato	Metil Linoleato	Biodiesel
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1	0,0143	0,0103	0,0064	0,0210	0,0051	0,0429
0,2	0,0286	0,0206	0,0129	0,0420	0,0103	0,0857
0,3	0,0429	0,0309	0,0193	0,0630	0,0154	0,1286
0,4	0,0571	0,0411	0,0257	0,0840	0,0206	0,1714
0,5	0,0714	0,0514	0,0321	0,1050	0,0257	0,2143
0,6	0,0857	0,0617	0,0386	0,1260	0,0309	0,2571
0,7	0,1000	0,0720	0,0450	0,1470	0,0360	0,3000
0,8	0,1143	0,0823	0,0514	0,1680	0,0411	0,3429
0,9	0,1286	0,0926	0,0579	0,1890	0,0463	0,3857
1,0	0,1429	0,1029	0,0643	0,2100	0,0514	0,4286

Una vez conocida la composición de la mezcla reaccionante, se ha procedido a la determinación de los valores correspondientes de la viscosidad absoluta, la densidad y la presión de vapor de la mezcla en función de la temperatura. Los resultados son los que se indican en las siguientes gráficas.

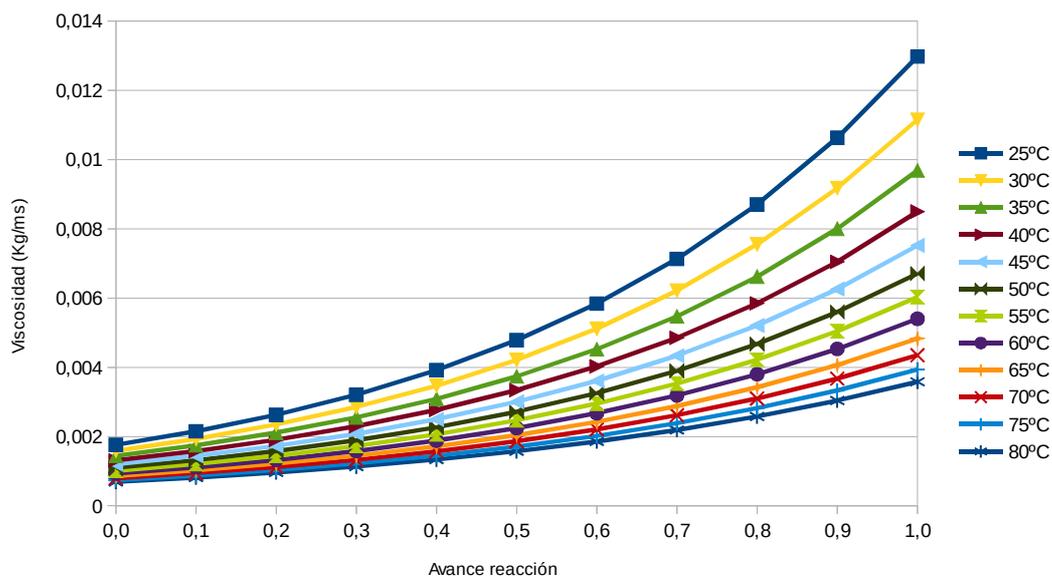


Figura 11. Viscosidad de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 3:1 (mol/mol).



Como se observa en la Figura 11, la viscosidad de la mezcla reaccionante disminuye progresivamente a medida que transcurre la reacción, y a medida que aumenta la temperatura de operación. Valores que están en consonancia con el comportamiento de cada compuesto por separado.

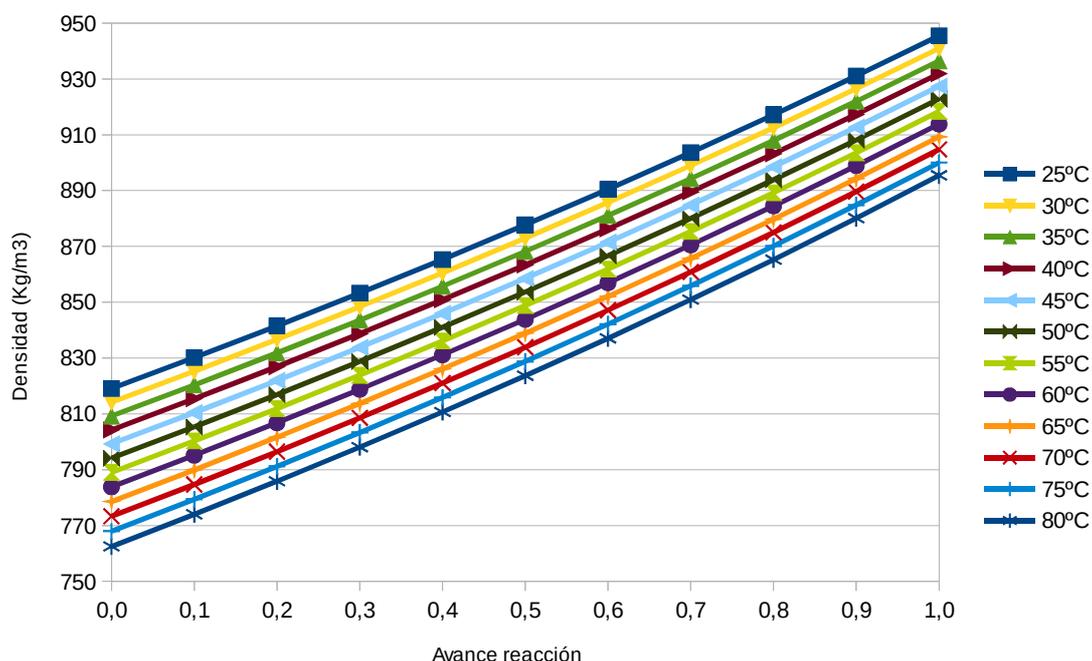


Figura 12. Densidad de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 3:1 (mol/mol).

En la Figura 12 se representa la evolución de la densidad, en este caso se observa que a medida que la temperatura aumenta la densidad disminuye, al igual que ocurriría con los compuestos de manera individual. Sin embargo, a medida que avanza la reacción se produce un ligero incremento de la densidad, motivado por la progresiva formación de glicerina, que como ya se ha comentado tiene una densidad muy superior al del resto de compuestos.

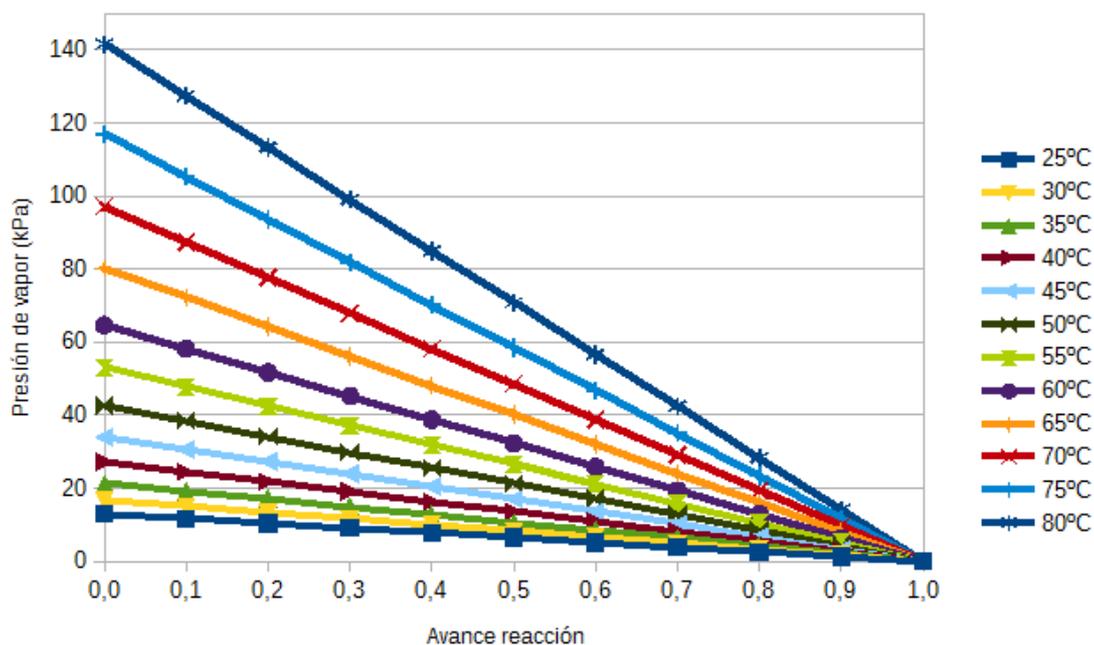


Figura 13. Presión de vapor de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 3:1 (mol/mol).

Otro parámetro esencial a la hora de estudiar el fenómeno de la cavitación, lo constituye la presión de vapor. En la Figura 13, se muestra su evolución a lo largo de la reacción. Al principio de la reacción la concentración de metanol es máxima, lo que origina que los valores de la Pv de la mezcla metanol-grasa sean altos. A medida que la reacción avanza, el metanol se va consumiendo para originar ésteres metílicos que poseen una Pv muy inferior a la del metanol. Al final de la reacción, cuando todo el metanol se ha consumido, se origina una mezcla de biodiesel y glicerina, siendo la Pv de la mezcla prácticamente nula, para el rango de temperaturas estudiado (25 - 65 °C).

En el caso de que se trabaje con un exceso de concentración de metanol, para forzar la transformación de los triglicéridos en metil ésteres, las propiedades de la mezcla reaccionante tenderán a parecerse algo más a las características del metanol, es decir disminuirá su viscosidad y densidad, y aumentará su presión de vapor. Esto puede verse en las siguientes gráficas, donde se muestra el comportamiento de una mezcla reaccionante Metanol:Grasa 6:1.

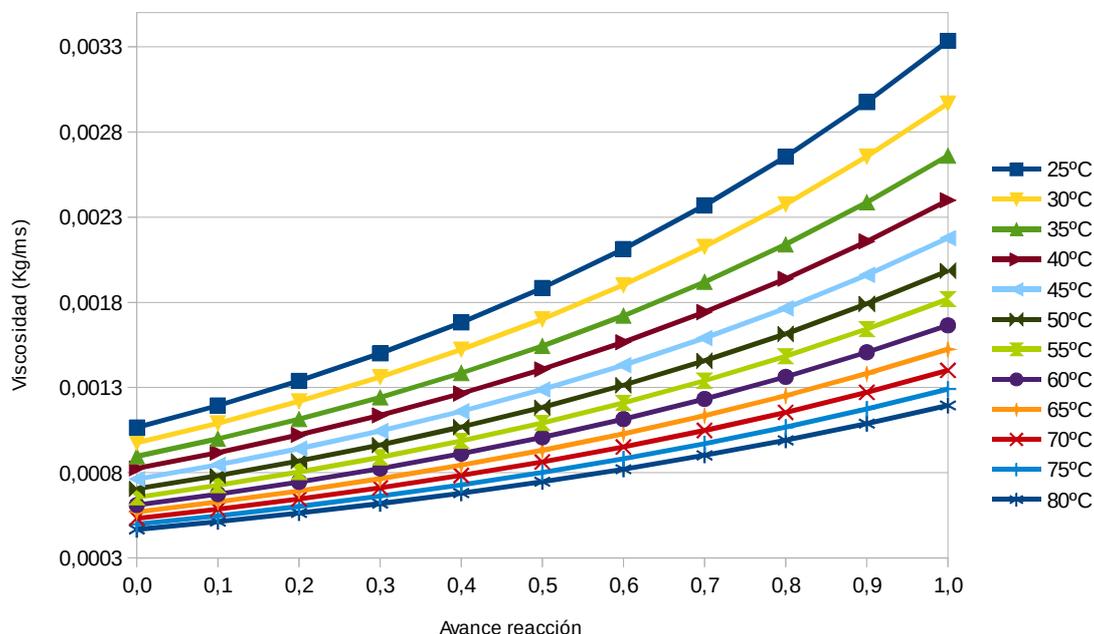


Figura 14. Viscosidad de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 6:1 (mol/mol).

La evolución del comportamiento de la mezcla, si nos fijamos sólo en la influencia del grado de avance de la reacción, es similar al de una mezcla 3:1, la viscosidad disminuye, al incrementarse la concentración de los ésteres metílicos, aun a costa del incremento de la concentración de la glicerina. Lo mismo ocurre con la temperatura, un aumento de la temperatura trae consigo una disminución de la viscosidad. Ahora bien, si se compara la Figura 14 con la Figura 11, se observa que al doblar la concentración de metanol, se produce una disminución de la viscosidad cercana a la mitad, para todos los valores de temperatura y avance de la reacción.

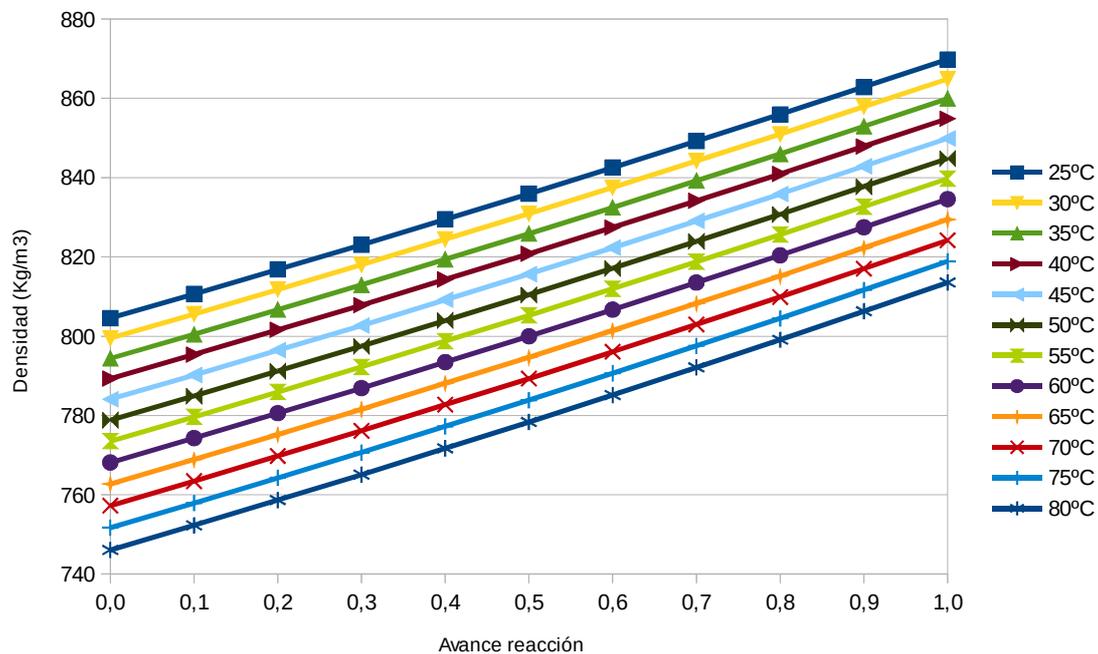


Figura 15. Densidad de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 6:1 (mol/mol).

Con lo que respecta a la evolución de la densidad, el comportamiento en este caso a medida que avanza la reacción, tiende a ser más bien asintótico, alcanzando un valor máximo a partir del cual permanece constante. Lo que ocurre para valores de avance de reacción del entorno al 0,6. En contraposición, el comportamiento observado para mezclas Metanol:Grasa 3:1 (Figura 12), tiene a ser lineal aumentando progresivamente a medida que la reacción tiene lugar. Esto es debido a que el metanol, en el caso de mezclas Metanol:Grasa 6:1, se encuentra en exceso, actuando como una especie de amortiguador. Otro efecto importante, es el hecho de que la densidad es sensiblemente inferior en todos los casos.

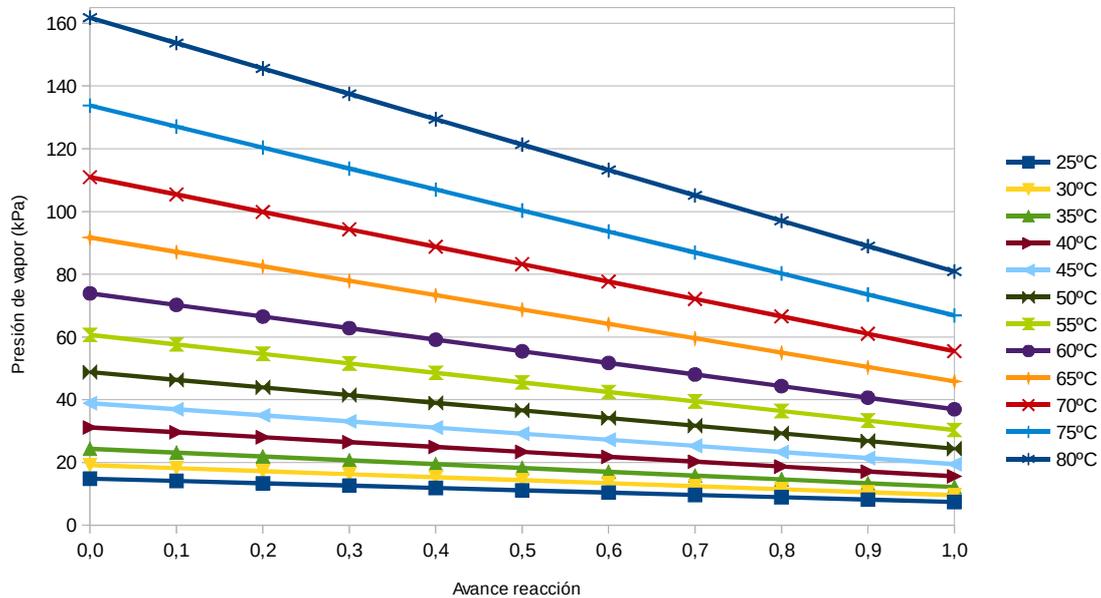


Figura 16. Presión de vapor de la mezcla reaccionante en función del grado de avance y de la temperatura de operación, para una relación Metanol:Grasa 6:1 (mol/mol).

Finalmente, en la Figura 16, se observa la evolución de la presión de vapor de la mezcla. En el caso de trabajar con metanol en exceso, la presión de vapor nunca será nula aun en el caso de que la reacción haya finalizado (Avance de reacción = 1). Comparando esta Figura con la Figura 13, se observa que la presión de vapor en la mezcla inicial es ligeramente superior en el caso de mezclas Metanol:Grasa 6:1, y además la disminución de este parámetro a medida que transcurre la reacción es más suave. Esto originará, como primera consecuencia, que el grado de cavitación sea mayor a lo largo de toda la reacción cuanto mayor sea el exceso de metanol con el que se trabaje.

G.2 Determinación de las variables fluidodinámicas de la mezcla reaccionante

G.2.1 Modelo de cálculo

El siguiente paso consiste en determinar cómo varía el caudal del fluido al paso por el reactor de cavitación, así como la presión de impulsión a la salida del mismo.

Para ello, se ha recurrido al análisis energético aplicado a una placa de orificio. El flujo de fluido a través de una placa de orificio, provoca la aparición del fenómeno de vena contracta, en esta zona el fluido alcanza la velocidad más elevada y la presión mínima, como se muestra en la Figura 17.

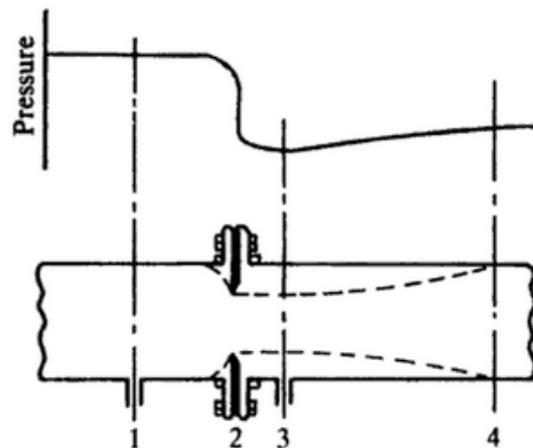


Figura 17. Evolución de la presión en una placa orificio.

El balance de energía (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es el punto de partida en el análisis de flujo a través de un orificio:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{U_1^2}{\alpha_1} - \frac{U_3^2}{\alpha_3} \right) + \frac{p_1}{\rho} - \frac{p_3}{\rho} - F' = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

donde se ha tenido en cuenta el término de corrección de energía cinética, sin embargo se ha supuesto que los términos de energía potencial y trabajo son cero.

La Ecuación 2 se aplica entre el punto 1 (aguas arriba) y el punto 3 (vena contracta), ya que es imposible medir la presión en un orificio comercial en el punto 2. Además esta ecuación asume la existencia de flujo isoterma. Si el orificio se encuentra situado en un ángulo con la horizontal, la presión de cabezas estaría incluida en p_1 y p_3 .

La ecuación que relaciona el flujo de masa en los puntos 1 y 3 es:

$$Q = \rho U_1 S_1 = \rho U_3 S_3 \quad \text{Ecuación 3}$$



Para α_1 igual a α_3 y densidad de líquido constante, la Ecuación 2 queda de la siguiente manera al sustituir U_3 de la Ecuación 3:

$$U_1^2 = \frac{2\alpha \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} + F' \right)}{\left(1 - \frac{S_3^2}{S_1^2} \right)} \quad \text{Ecuación 4}$$

La contribución de los términos de presión y pérdida de carga puede expresarse a través de la siguiente expresión:

$$\alpha \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} + F' \right) = C_1^2 \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde C_1 es un parámetro que depende del diseño del orificio y de la relación entre el diámetro de orificio d_2 y el diámetro de la tubería d_1 , así como del número de Reynolds del orificio $N_{Re,2}$:

$$N_{Re,2} = \frac{d_2 U_2 \rho}{\mu} = \frac{4Q}{\pi d_2 \mu} \quad \text{Ecuación 6}$$

En la Ecuación 6, U_2 es la velocidad media a través del orificio y Q es el flujo de masa (Ecuación 3).

La Ecuación 5 se utiliza para introducir C_1 en la Ecuación 4, obteniéndose la siguiente expresión:

$$U_1^2 = \frac{2C_1^2 \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} \right)}{\left(1 - \frac{S_3^2}{S_1^2} \right)} \quad \text{Ecuación 7}$$

En esta ecuación, la sección transversal de flujo en el punto 3 es desconocida debido al efecto de vena contracta producido en el flujo. Por ello, si se relaciona S_3 , a partir de una constante empírica C_2 , con el área conocido del orificio S_2 se obtiene:

$$S_2 = C_2 S_3 \quad \text{Ecuación 8}$$



Donde C_2 es un parámetro complejo. Tras la sustitución de S_3 , la Ecuación 7 queda de la siguiente forma:

$$U_1 = C_1 \left[\frac{2 \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} \right)}{\left(1 - C_2^2 \frac{S_2^2}{S_1^2} \right)} \right]^{1/2}$$

Ecuación 9

La determinación de estos dos coeficientes (C_1 y C_2) por separado es bastante complicada. Por esta razón, se utiliza la siguiente fórmula simplificada para realizar el cálculo:

$$U_1 = C_0 \left[\frac{2 \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho} \right)}{\left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} \right)} \right]^{1/2}$$

Ecuación 10

Donde C_0 es el coeficiente adimensional del orificio correlacionado con $N_{Re,2}$.

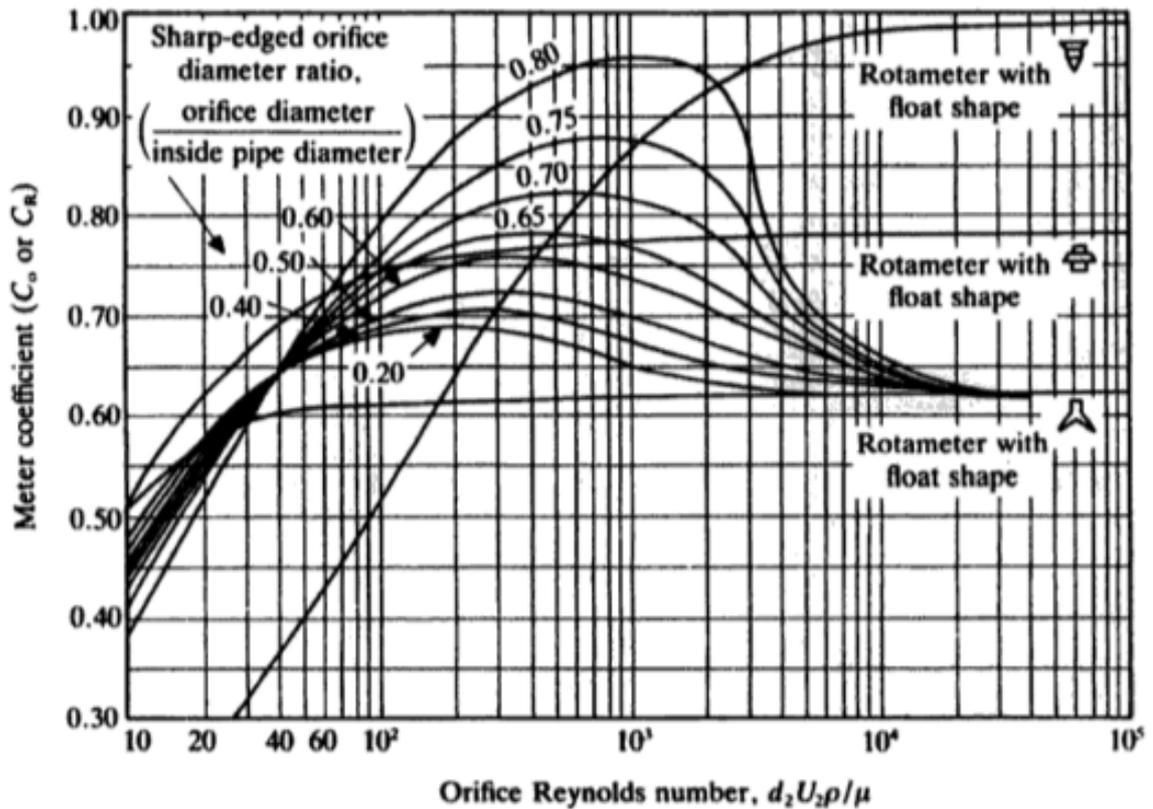


Figura 18. Coeficiente de orificio y rotámetros (Brodkey, 2003).



Y β es la relación entre el diámetro del orificio y el diámetro de la tubería:

$$\beta = d_2/d_1 \quad \text{o} \quad \beta^2 = S_2/S_1$$

Si se multiplican ambos lados de la Ecuación 10 por ρS_1 , la ecuación de diseño para el flujo de líquidos a través de un medidor de orificio, en términos del flujo de masa Q , queda de la siguiente forma:

$$Q = C_0 S_2 [(2\rho)(p_1 - p_3)/(1 - \beta^4)]^{1/2} = C_0 \beta^2 S_1 [(2\rho)(p_1 - p_3)/(1 - \beta^4)]^{1/2} \quad \text{Ecuación 11}$$

Por tanto, despejando β se obtiene:

$$\beta^4 = \frac{1}{1 + [(2\rho)(p_1 - p_3)](C_0 S_1/Q)^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

G.3 Aplicación del modelo al caso de las mezclas de reacción.

Siguiendo la metodología descrita, se ha realizado el cálculo del número de cavitación para el caso de dos mezclas reaccionantes:

Metanol:Grasa 3:1 y Temperatura de operación 60 °C

Metanol:Grasa 6:1 y Temperatura de operación 60 °C

La elección de la temperatura de 60 °C se debe a que esta es la comúnmente empleada en la producción de biodiesel.

G.3.1 Número de Cavitación para una mezcla Metanol:Grasa 3:1 a 60 °C, para el reactor de 52 mm.

Para su cálculo se han empleado los datos de las propiedades termodinámicas indicadas en la Tabla 11.

Tabla 11. Propiedades termodinámicas de la mezcla Metanol:Grasa 3:1 y 60 °C.

Avance Reacción	Metanol, mol/mol	Grasa, mol/mol	Biodiesel, mol/mol	Glicerina, mol/mol	ρ , kg/m ³	μ , kg/m s	Pv, atm
0	0,7500	0,2500	0,0000	0,0000	783,81	0,00093	64,67
0,1	0,6750	0,2250	0,0750	0,0250	795,12	0,00111	58,20
0,2	0,6000	0,2000	0,1500	0,0500	806,76	0,00132	51,74
0,3	0,5250	0,1750	0,2250	0,0750	818,75	0,00158	45,27
0,4	0,4500	0,1500	0,3000	0,1000	831,10	0,00188	38,80
0,5	0,3750	0,1250	0,3750	0,1250	843,83	0,00224	32,34



0,6	0,3000	0,1000	0,4500	0,1500	856,96	0,00267	25,87
0,7	0,2250	0,0750	0,5250	0,1750	870,49	0,00319	19,40
0,8	0,1500	0,0500	0,6000	0,2000	884,47	0,00380	12,93
0,9	0,0750	0,0250	0,6750	0,2250	898,90	0,00453	6,47
1	0,0000	0,0000	0,7500	0,2500	913,81	0,00540	0,00

Con estos datos, los resultados obtenidos son los que se indican en la siguiente tabla.

Seguidamente se ha tomado un valor medio de las propiedades de la mezcla reaccionante, y y se ha realizado un balance para el diámetro del reactor de 52 mm.

Las propiedades empleadas para el cálculo son las indicadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 12. Propiedades fluidodinámicas de la mezcla Metanol:Grasa 3:1 y 60 °C

Parámetro	Valor
Diámetro interior reactor(m)	0,05250
Área reactor (m ²)	0,00216
Diámetro orificio (m)	0,00040
Área orificio (m ²)	1,257E-07
Velocidad en orificio	0,00385
Densidad media mezcla, kg/m ³	845,82
Presión vapor, kPa	32336,1
Viscosidad media mezcla, Kg/ms	0,00261
Reynolds	66

Según esto se han realizado diferentes banales modificando el caudal de operación y el número de orificios de la planta y su diámetro, con el objetivo de obtener números de cavitación, dentro del rango $2 < Cn < 0$.



De este modo se han obtenido los siguientes resultados, para un reactor de dos placas con 2 y 3 orificios de 0,4 mm de diámetro cada una.

Tabla 13. Propiedades fluidodinámicas de la mezcla Metanol:Grasa 3:1 y 60 °C

	PLACA 1	PLACA 2
N.º agujeros	2	3
S ₂ , Area total orificios (m ²)	2,51E-07	3,77E-07
β	1,08E-02	1,32E-02
C ₀	0,66	0,67
v (m/s)	33,16	22,10
Reynolds	4304,06	2869,37
Q (Kg/s)	7,05E-03	7,05E-03
P ₁ -P ₃ (kPa)	1067377	460335
P ₁ (kPa)	1600000	532747
P ₃ (kPa)	532623	72412
P ₁ -P ₄ (kPa)	1067253	460254
P ₄ (kPa)	532747	72492

Como se puede observar, la presión a medida que el fluido va atravesando las distintas placas va disminuyendo, conforme a lo indicado en la Figura 19.

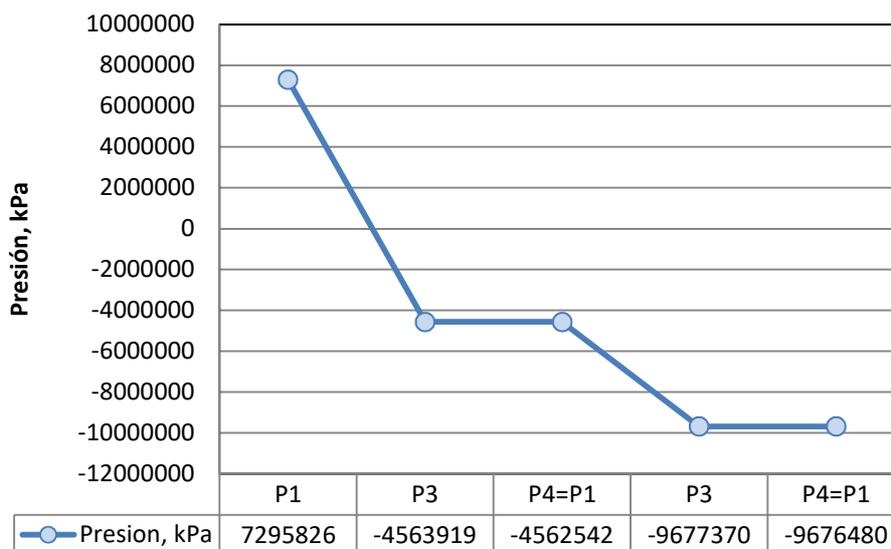


Figura 19. Evolución de la presión a lo largo del reactor.

Los valores del número de cavitación obtenidos se muestran en la siguiente tabla.



Tabla 14. Números de cavitación para el reactor de 2 placas de 0,4 mm de diámetro.

PLACA	Cv
1	1,2942
2	0,6847

Realizando este mismo procedimiento para distintos caudales de operación, se obtienen los siguientes parámetros de operación:

Tabla 15. Parámetros de operación para el reactor de 2 placas de 0,4 mm de diámetro.

Q, l/h	P entrada al reactor, kPa	Cv1	Cv2
10	110000	1,169	0,404
20	700000	1,426	0,981
30	1600000	1,294	0,685
40	2700000	1,055	0,145
50	4500000	1,242	0,568
60	6100000	1,022	0,071
64	7000000	1,045	0,125

Se observa que a medida que se incrementa el caudal es necesario incrementar en mayor medida la presión, con el fin de garantizar unos números de cavitación adecuados.

Este proceso se ha seguido también para el reactor de dos placas y 10 litros y el reactor de 4 placas.

G.4 Descripción básica de diseño

La planta construida se ha diseñado con el fin de que sea una planta versátil, adecuada para realizar el proceso desde varias configuraciones posibles.

Un diagrama de la instalación se muestra en la siguiente figura.

El proceso comienza con tres líneas de dosificación de reactivos (grasa, metanol y catalizador), de modo que estos reactivos se pueden ir añadiendo al sistema en función de la estequiometría de la reacción.



Los reactivos llegan a un tanque pulmón, el cual se encuentra calefactado y agitado, y es el encargado de suministrar la mezcla reaccionante a los reactores de cavitación a través de una bomba de presión.

Como reactores de cavitación se han implementado dos reactores que pueden trabajar en serie o bien de forma individual:

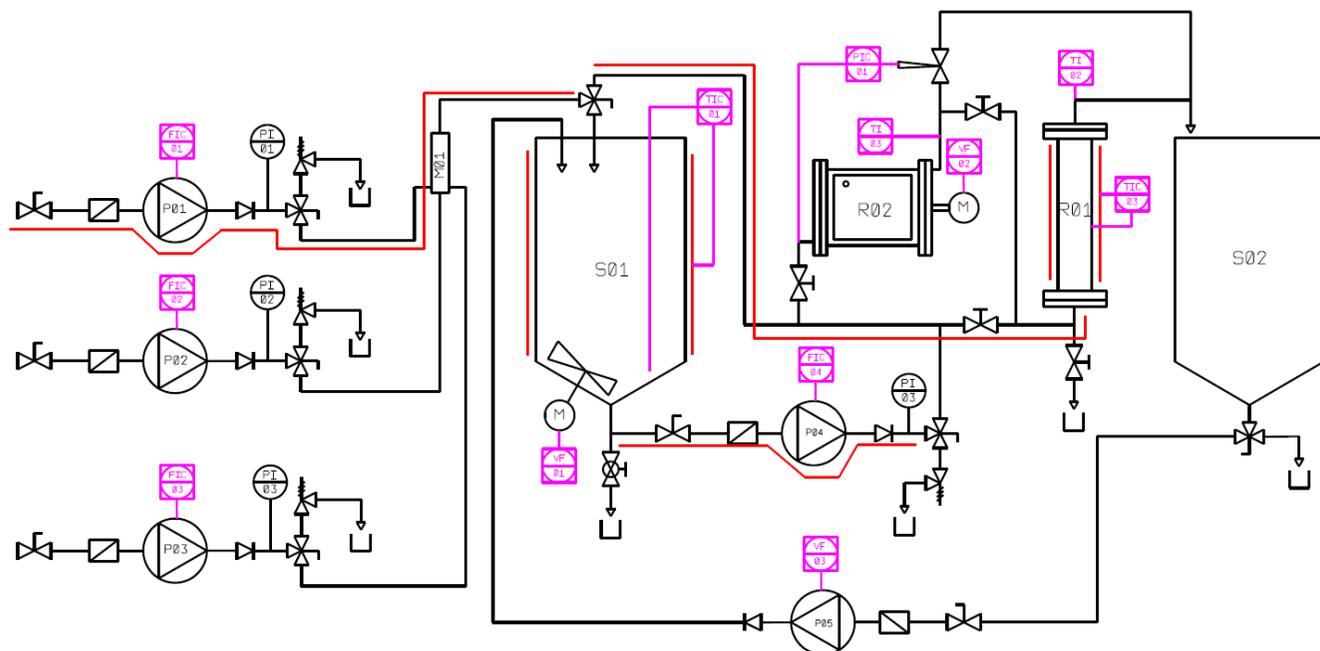
- Reactor de cavitación dinámico (sistema rotor-estator)
- Reactor de cavitación estático (sistema de placas orificio)

La mezcla reaccionante una vez pasa por uno o por los dos se envía a un decantador. Finalmente desde el decantador el producto de reacción (biodiesel y glicerina) pueden dejarse decantar y proceder a la obtención de las dos fases, o bien (si no ha reaccionado todo) volver a recircularse al tanque de mezcla del principio.



Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers

LIFE13 ENV/ES/001115



EQUIPMENT LIST		VOLUME	MATERIAL	P @ T Max Design
P01	PISTON PUMP FOR OIL	--	SS316	100 bar @ 80 °C
P02	PISTON PUMP FOR Me	--	SS316L	100 bar @ 80 °C
P03	PISTON PUMP FOR Cat	--	SS316L	100 bar @ 80 °C
P04	PISTON PUMP FOR MIX	--	SS316L	100 bar @ 80 °C
P05	CENTRIFUGAL PUMP FOR LOOP	--	SS316L	1 bar @ 80 °C
R01	TUBULAR FLOW REACTOR	1-10 l	SS316L	50 bar @ 80 °C
R02	CAVITATION FLOW REACTOR	l l	SS316L	20 bar @ 80 °C
S01	REACTANTS MIX STIRRED VESSEL	50 l	SS304	1 bar @ 80 °C
S02	PRODUCTS SEPARATION VESSEL	50 l	SS304	1 bar @ 80 °C

MANUAL OPERATED VALVES	
	MANUAL OPERATED BALL VALVE
	CHECK VALVE
	REGULATION NEEDLE VALVE
	3-WAYS BALL VALVE
	VENT VALVE
	RELIEF VALVE
	4-WAYS / 2 POSITIONS VALVE
ACTUATED VALVES	
	PNEUMAT. ACTUATED DIAPHRAGM VALVE
	SOLENOID VALVE
INSTRUMENTS	
	RUPTURE DISK
	IN-LINE FILTER
	PRESSURE REDUCING REGULATOR
	MASS FLOW CONTROLLER
	MASS FLOW METER
	L/G SEPARATORS
	MOTOR
INSTRUMENTATION & CONTROL	
	GAUGE
	THERMOCOUPLE K TYPE
	TEMPERATURE CONTROL
	OVERWALL TEMPERATURE ALARM
	PRESSURE INDICATOR
	PRESSURE CONTROL
	FLOW METER INDICATOR
	L/G SEPARATOR LEVEL CONTROL
	WEIGHT SCALE INDICATOR
	MASS FLOW CONTROLLER
	PLC

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

G.4.1 Sistema de dosificación de reactivos

El equipo se compone de tres líneas para la dosificación continua según proporciones establecidas en el sistema de control de aceite residual, metanol y catalizador, de flujos nominales 100, 60 y 1 l/h.

El sistema lo componen bombas de desplazamiento positivo con capacidad de bombeo a alta presión, para operar en descarga atmosférica sobre el tanque mezclador del sistema de dosificación siguiente o directamente a través de mezclador estático hacia los reactores de cavitación.

Las bombas seleccionadas, del fabricante Milton Roy, cuentan con las siguientes especificaciones dependiendo del producto y su flujo nominal:

TAG: P01. Producto: Aceite residual

Bomba dosificadora mRoy MRB con dosificador de simple membrana y regulación manual del caudal de 0 a 100% con bomba en marcha y parada.

- Caudal mínimo: 9,96 l/h
- Caudal máximo: 118,2 l/h
- Presión máxima: 69 bar
- Potencia: 0,55 kW
- Material del cuerpo dosificador: SS316L
- Material de la membrana: PTFE



	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

Tabla 16. Bomba MRB B1.1.L.10.H1.H.H.N.S.N.Y

mRoy Model	Plunger		Gear Ratio Code	Strokes/Minute		Capacity/Pressure 50Hz 1425 rpm					
	Diameter	Code		60 Hz 1725rpm	50 Hz 1425rpm	Ratings at 100 psi/7 bar		Capacity at Max pressure			
								Capacity		Max Pressure	
						gph	l/h	gph	l/h	psi	bar
B	7/8 in 22,2 mm	L	38	48	40	8,33	31,5	3,92	14,8	1,000	69
			25	72	60	13,33	50,5	9,17	34,7	1,000	69
			19	96	80	17,5	66,2	13,33	50,5	1,000	69
			12	144	120	25,33	95,9	21,33	80,7	1,000	69
			10	--	148	31,24	118,2	26,31	99,6	1,000	69

TAG: P02. Producto: Metanol

Bomba dosificadora mRoy MRB con dosificador de simple membrana y regulación manual del caudal de 0 a 100% con bomba en marcha y parada.

- Caudal mínimo: 8,07 l/h
- Caudal máximo: 95,9 l/h
- Presión máxima: 69 bar
- Potencia: 0,55 kW
- Material del cuerpo dosificador: SS316L
- Material de la membrana: PTFE



	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

Tabla 17. Bomba MRB B1.1.L.12.H1.H.H.E.S.N.N.Y

mRoy Model	Plunger		Gear Ratio Code	Strokes/Minute		Capacity/Pressure 50Hz 1425 rpm					
	Diameter	Code		60 Hz 1725rpm	50 Hz 1425rpm	Ratings at 100 psi/7 bar		Capacity at Max pressure			
						gph	l/h	Capacity		Max Pressure	
								gph	l/h	psi	bar
B	7/8 in 22,2 mm	L	38	48	40	8,33	31,5	3,92	14,8	1,000	69
			25	72	60	13,33	50,5	9,17	34,7	1,000	69
			19	96	80	17,5	66,2	13,33	50,5	1,000	69
			12	144	120	25,33	95,9	21,33	80,7	1,000	69
			10	--	148	31,24	118,2	26,31	99,6	1,000	69

TAG: P03. Producto: Catalizador

Bomba dosificadora mRoy MRA con dosificador de simple membrana y regulación manual del caudal de 0 a 100% con bomba en marcha y parada.

- Caudal mínimo: 0,11 l/h
- Caudal máximo: 2,3 l/h
- Presión máxima: 69 bar
- Potencia: 0,25 kW
- Material del cuerpo dosificador: SS316L
- Material de la membrana: PTFE



	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS		
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers		

Tabla 18. Bomba MRA A1.1.C.48.F1.C.H.H.E.S.N.N.Y

mRoy Model	Plunger		Gear Ratio Code	Stroken/Minute		Capacity/Pressure 50Hz 1425 rpm					
	Diameter	Code		60 Hz 1725rpm	50 Hz 1425rpm	Ratings at 100 psi/7 bar		Capacity at Max pressure			
								Capacity		Max Pressure	
						gph	l/h	gph	l/h	psi	bar
A	3/8 in 9,5 mm	C	77	23	19	0,30	1,1	0,17	0,6	1,000	69
			48	37	30	0,61	2,3	0,28	1,1	1,000	69
			24	73	60	1,20	4,5	0,57	2,2	1,000	69
			15	117	96	1,93	7,3	0,91	3,4	1,000	69
			10	185	152	3,03	11,5	1,43	5,4	1,000	69
			8	--	178	3,55	13,4	1,67	6,3	1,000	69

Para mayor precisión de la dosificación el sistema cuenta con tres balanzas de fondo de escala proporcional al volumen de reactivo almacenado. A continuación se describen las características para cada una de las balanzas en función del producto a dosificar:

Balanza para producto: Aceite residual

Balanza industrial PCE-SD 150C, del fabricante PCE, con salida analógica 4-20 mA para comunicación con el sistema de control.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Rango de pesaje: 150 kg
- Capacidad de lectura: 50 g
- Valor de verificación: 50 g
- Peso mínimo: 1 kg
- Dimensiones del plato de pesado: 400x500 mm
- Dimensiones globales: 400x620x850 mm



Balanza para producto: Metanol

Balanza industrial PCE-SD 60C, del fabricante PCE, con salida analógica 4-20mA para comunicación con el sistema de control.

- Rango de pesaje: 60 kg
- Capacidad de lectura: 20 g
- Valor de verificación: 20 g
- Peso mínimo: 400 g
- Dimensiones del plato de pesado: 400x500 mm
- Dimensiones globales: 400x620x850 mm



Balanza para producto: Catalizador

Balanza compacta PCE-TB 3, del fabricante PCE, con salida analógica 4-20mA para comunicación con el sistema de control.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Rango de pesaje: 3 kg
- Resolución: 0,1 g
- Dimensiones de la plataforma: 316x223 mm
- Dimensiones de la balanza: 350x328x115 mm



Para el aceite o grasa residual se incluye en el suministro un depósito o bidón de 50 litros, termostatzado para mantener el producto a 60°C. Este depósito servirá como almacenaje para el aceite así como para pesar el mismo con facilidad en la balanza propuesta anteriormente.

Las dimensiones aproximadas de este depósito serán de unos 400 mm de diámetro por 500 mm de altura, construido en acero inoxidable 304. Cuenta con una tapa y conexión inferior para la salida del producto hacia la línea de dosificación.

En la siguiente imagen puede verse un ejemplo del depósito propuesto a tal fin:



Figura 20. Depósito 50 litros aceite residual.

Por su parte la camisa calefactora para el aceite o grasa residual cuenta con un termostato para mantener el producto a 60 °C. Un ejemplo de la disposición o forma final de dicha manta calefactora puede verse en la siguiente imagen:

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	



Figura 21. Manta calefactora termostatazada para depósito 50 litros.

G.4.2 Sistemas de dosificación de mezcla reactiva a alta presión

El sistema se compone de un depósito de acero inoxidable de 50 l de capacidad con agitador de palas para la mezcla de los componentes reactivos, Metanol, Metóxido y grasa de origen, así como eventualmente Sulfúrico para tratamiento posterior. El depósito se emplea para la preparación del lote de reactivo a tratar y permite el mezclado dinámico de dicha mezcla.

TAG: S01. Depósito troncocónico 50 litros

Este depósito troncocónico de 50 litros, construido en acero inoxidable 304, posee un fondo cónico a 60º, patas, y unas dimensiones aproximadas de 385mm de diámetro y 1350 mm de altura total.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	



Figura 22. Depósito troncocónico para mezclas de reactivos de 50 litros.

El depósito cuenta con abrazadera para termostatación hasta 60 °C con el fin de licuar la grasa de origen y permitir su bombeo a través de los sucesivos reactores.

La resistencia calefactora, tipo abrazadera, contará con 2000 W de potencia y una forma acorde al depósito que permita abrazarlo por completo. Puede verse un ejemplo en la siguiente imagen:



Figura 23. Resistencia tipo abrazadera para depósito de 50 litros.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

TAG: M (VF01). Agitador de mezcla de reactivos. Depósito S01

Un agitador vertical que cuenta una hélice tipo marina de 100 mm de diámetro será el encargado de realizar la mezcla de los componentes reactivos.

El fabricante del mismo, al igual que con las bombas seleccionadas para la dosificación es Milton Roy, serie HRmix, HR1. La potencia del motor agitador es 0,37 kW para trabajo a 1500 rpm de velocidad máxima.



Figura 24. Agitador para mezcla de reactivos.

A la salida del depósito de 50 litros el sistema cuenta con una línea de bombeo de líquido de alta presión y cabezal termostatzado hasta 60 °C con el fin de reducir la viscosidad del producto de partida. El caudal nominal de bombeo de la línea es de 11 y 110 l/h.

TAG: P04. Producto: Mezcla de reactivos

Bomba dosificadora mRoy MRB con dosificador de simple membrana y regulación manual del caudal de 0 a 100% con bomba en marcha y parada.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Caudal mínimo: 9,96 l/h
- Caudal máximo: 118,2 l/h
- Presión máxima: 69 bar
- Potencia: 0,55 kW
- Material del cuerpo dosificador: SS316L
- Material de la membrana: PTFE



Tabla 19. Bomba MRB B1.1.L.10.H1.H.H.E.S.N.N.Y

mRoy Model	Plunger		Gear Ratio Code	Stroken/Minute		Capacity/Pressure 50Hz 1425 rpm					
	Diameter	Code		60 Hz 1725rpm	50 Hz 1425rpm	Ratings at 100 psi/7 bar		Capacity at Max pressure			
								Capacity		Max Pressure	
						gph	l/h	gph	l/h	psi	bar
B	7/8 in 22,2 mm	L	38	48	40	8,33	31,5	3,92	14,8	1,000	69
			25	72	60	13,33	50,5	9,17	34,7	1,000	69
			19	96	80	17,5	66,2	13,33	50,5	1,000	69
			12	144	120	25,33	95,9	21,33	80,7	1,000	69
			10	--	148	31,24	118,2	26,31	99,6	1,000	69

En este punto cabe destacar que las líneas de reactivos cuentan con traceado autocontrolado a 60 °C para evitar la solidificación de la grasa o mezcla en el tubing. Dicho traceado puede verse representado por líneas rojas presentes en el esquema de proceso. Estos cables autorregulados presentan la forma que se muestra en la siguiente imagen y permiten el calentamiento fijo a 60°C de las líneas de producto en la planta, sin necesidad de ningún control por parte del usuario.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	



Figura 25. Cable autorregulado 60 °C.

G.4.3 Reactor de cavitación dinámico

El equipo cuenta con un reactor de cavitación mediante rotor de alta velocidad y cámara de reacción de 1 l de volumen aproximado. El reactor cuenta con un control de temperatura asociado al variador de frecuencia que controla el régimen del motor, para regulación continua de la temperatura de reacción.

A continuación se describen las características técnicas de diseño del reactor de cavitación dinámico:

TAG: R02. Reactor de cavitación dinámico

- Presión máxima: 20 bar
- Temperatura máxima: 200 °C
- Material del cuerpo del reactor: Acero inoxidable SS304
- Clase de presión de las bridas: PN40
- Volumen útil: 1 l (aprox.)
- Potencia del motor M (VF02): 4 kW

El reactor está diseñado para operar hasta 20 bar de presión hidrostática y 200 °C de temperatura máxima. Las condiciones de operación máximas son independientes del régimen de cavitación factible, que depende de la composición de los reactivos, la estequiometría de la reacción y la presión de trabajo del reactor y su temperatura. El reactor cuenta con instrumentación específica de temperatura en entrada y salida, presión e indicación de revoluciones de giro, conectadas y adquiridas por el sistema de control central.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

A continuación se muestra una vista esquemática del reactor de cavitación dinámico:

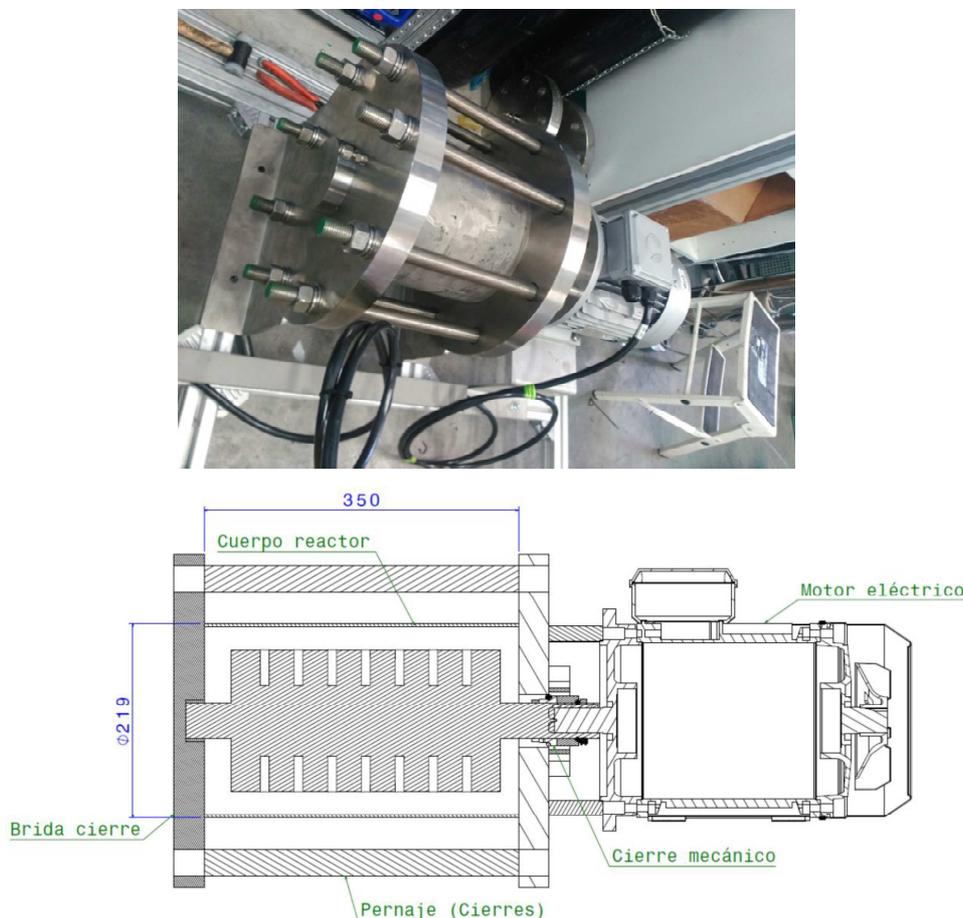


Figura 26. Ejemplo y vista en sección del reactor de cavitación dinámico.

G.4.4 Reactor de cavitación estático

El sistema cuenta con dos reactores de cavitación estáticos de acero inoxidable, de 1 y 10 l de volumen útil, diseñados para alta presión 50 bar, con fabricación del interior según diseño de cliente, placas perforadas o microcanales para favorecer la cavitación.

TAG: R01. Reactor de cavitación estático. (2 unidades)

- Presión de diseño máxima: 50 bar
- Temperatura máxima: 80 °C
- Material del cuerpo del reactor: Acero inoxidable SS304
- Clase de presión de las bridas: PN63
- Volumen del reactor: 1 l
- Dimensiones interiores del reactor de 1 litro:

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Diámetro interior: 52,5 mm

- Longitud: 500 mm

- Volumen del reactor: 10 l

-Dimensiones interiores del reactor de 1 litro:

- Diámetro interior: 102 mm

- Longitud: 1250 mm

NOTA: Con estos datos dimensionales del interior de los reactores el cliente deberá diseñar el interior de los mismos, placas perforadas o microcanales para favorecer la cavitación.

Una vez se haya definido el interior de los reactores de acuerdo a las dimensiones establecidas en este documento se procederá a su fabricación.

Los reactores estáticos incluyen camisa de calentamiento, como la mostrada en la Figura 23, con lazo de control de temperatura en sistema de control central, con rango de operación hasta 80 °C y termopar en contacto con pared de reactores.

Las resistencias calefactoras, tipo abrazadera, contarán con 1000 y 500 W de potencia para los reactores de 10 y 1 litro respectivamente, y una forma acorde al depósito que permita abrazarlo por completo.

Los reactores están diseñados como equipos a presión mediante código ASME y certificados de acuerdo a la normativa PED 97/23/CE por ATISAE.

G.4.5 Sistema de control de presión de reacción

El sistema incorpora un sistema de control de presión basado en válvula de contrapresión por regulación de paso, automatizada en lazo cerrado con medida de la presión de reacción.

El sistema está conectado y monitorizado por el sistema de control central y permite la regulación continua de la presión de reacción en el rango de trabajo del reactor.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	



Figura 27. Sistema de control de presión de reacción.

G.4.6 Sistema de decantación de productos

El equipo cuenta con un sistema de decantación final de 50L de volumen útil, con fondo cónico para la separación del producto.

TAG: S02. Depósito troncocónico 50 litros

Este depósito troncocónico de 50 litros, construido en acero inoxidable 304, posee un fondo cónico a 60º, patas, y unas dimensiones aproximadas de 385 mm de diámetro y 1350 mm de altura total. (Depósito igual al mostrado en la Figura 22).

El depósito cuenta con mirillas longitudinales de vidrio para visualización de la separación o decantación de productos.

El equipo cuenta con la valvulería necesaria que permite el vaciado de la fase pesada y la ligera de forma separada, así como la recirculación al tanque de origen mediante bomba centrífuga para posterior tratamiento del biodiesel.

TAG: P05. Bomba centrífuga de recirculación de biodiesel

- Identificación en el esquema de proceso: P05
- Fabricante, tipo y referencia: Caldepa CAM 60E. Bomba autoaspirante, anillo líquido
- Potencia: 0,26/0,15 kW
- Temperatura máxima: 90 °C

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Caudal nominal: 10 l/min
- Altura de aspiración máxima: 9 m



Figura 28. Bomba autoaspirante de anillo líquido

NOTA: Las líneas principales de tubing de los reactores tendrán un tamaño de ¼” (6,35 mm de diámetro exterior).

G.5 Resumen de los principales equipos

BOMBA DOSIFICADORA 1

- Identificación en el esquema de proceso: P01
- Fabricante: Milton Roy
- Tipo: Bomba dosificadora modelo mROY MRB
- Referencia: mROY MRB B 1.1.L.10.H1.H.H.N.S.N.N.Y
- Potencia: 0,55 kW
- Tensión: 230/400V; trifásico
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad: 1500 rpm
- Protección: IP-55
- Aislamiento: F
- Temperatura máxima: 90 °C
- Presión máxima: 69 bar
- Caudal mínimo: 9,96 l/h
- Caudal máximo: 118,2 l/h
- Carrera: 38,1 mm
- Cadencia: 148 gpm

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Reducción: 1/10
- Diámetro del pistón: 22,2 mm
- Diámetro de la membrana: 132 mm
- Conexión aspiración: ½" Gas-h
- Conexión impulsión: 3/8" Gas-h
- Material cuerpo dosificador: SS316 L
- Material caja válvulas: SS316 L
- Material asientos: SS316 L
- Material conexiones: SS316 L
- Material membrana: PTFE
- Material cárter bancada: Fundición
- *Regulación manual del caudal con bomba en marcha y parada de 0 a 100% del caudal nominal.

BOMBA DOSIFICADORA 2

- Identificación en el esquema de proceso: P02
- Fabricante: Milton Roy
- Tipo: Bomba dosificadora modelo mROY MRB
- Referencia: mROY MRB B 1.1.L.12.H1.H.H.E.S.N.N.Y
- Potencia: 0,55 kW
- Tensión: 230/400 V; trifásico
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad: 1500 rpm
- Protección: IP-55
- Aislamiento: F
- Temperatura máxima: 90 °C
- Presión máxima: 69 bar
- Caudal mínimo: 8,07 l/h
- Caudal máximo: 95,9 l/h
- Carrera: 38,1 mm
- Cadencia: 120 gpm
- Reducción: 1/12
- Diámetro del pistón: 22,2 mm

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Diámetro de la membrana: 132 mm
- Conexión aspiración: ½" Gas-h
- Conexión impulsión: 3/8" Gas-h
- Material cuerpo dosificador: SS316 L
- Material caja válvulas: SS316 L
- Material asientos: SS316 L
- Material conexiones: SS316 L
- Material membrana: PTFE
- Material cárter bancada: Fundición
- *Regulación manual del caudal con bomba en marcha y parada de 0 a 100% del caudal nominal.

BOMBA DOSIFICADORA 3

- Identificación en el esquema de proceso: P03
- Fabricante: Milton Roy
- Tipo: Bomba dosificadora modelo mROY MRA
- Referencia: mROY MRA A 1.1.C.48.F1.C.H.H.E.S.N.N.Y
- Potencia: 0,25 kW
- Tensión: 230/400 V; trifásico
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad: 1500 rpm
- Protección: IP-55
- Aislamiento: F
- Temperatura máxima: 90 °C
- Presión máxima: 69 bar
- Caudal mínimo: 0,11 l/h
- Caudal máximo: 2,3 l/h
- Carrera: 19 mm
- Cadencia: 30 gpm
- Reducción: 1/48
- Diámetro del pistón: 9,5 mm
- Diámetro de la membrana: 73 mm
- Conexión aspiración: ½" Gas-h

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Conexión impulsión: 3/8" Gas-h
- Material cuerpo dosificador: SS316 L
- Material caja válvulas: SS316 L
- Material asientos: SS316 L
- Material conexiones: SS316 L
- Material membrana: PTFE
- Material cárter bancada: Fundición
- *Regulación manual del caudal con bomba en marcha y parada de 0 a 100% del caudal nominal.

BOMBA DOSIFICADORA 4

- Identificación en el esquema de proceso: P04
- Fabricante: Milton Roy
- Tipo: Bomba dosificadora modelo mROY MRB
- Referencia: mROY MRB B 1.1.L.10.H1.H.H.E.S.N.N.Y
- Potencia: 0,55 kW
- Tensión: 230/400V; trifásico
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad: 1500 rpm
- Protección: IP-55
- Aislamiento: F
- Temperatura máxima: 90 °C
- Presión máxima: 69 bar
- Caudal mínimo: 9,96 l/h
- Caudal máximo: 118,2 l/h
- Carrera: 38,1 mm
- Cadencia: 148 gpm
- Reducción: 1/10
- Diámetro del pistón: 22,2 mm
- Diámetro de la membrana: 132 mm
- Conexión aspiración: 1/2" Gas-h
- Conexión impulsión: 3/8" Gas-h
- Material cuerpo dosificador: SS316 L

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Material caja válvulas: SS316 L
- Material asientos: SS316 L
- Material conexiones: SS316 L
- Material membrana: PTFE
- Material cárter bancada: Fundición
- *Regulación manual del caudal con bomba en marcha y parada de 0 a 100% del caudal nominal.

BALANAZAS

Balanza para aceite residual

- Fabricante: PCE
- Modelo: PCE-SD 150C
- Rango de pesaje: 150 kg
- Capacidad de lectura: 50 g
- Valor de verificación: 50 g
- Peso mínimo: 1 kg
- Salida analógica: 4-20 mA
- Dimensiones del plato de pesado: 400x500 mm
- Dimensiones globales: 400x620x850 mm

Balanza para metanol

- Fabricante: PCE
- Modelo: PCE-SD 60C
- Rango de pesaje: 60 kg
- Capacidad de lectura: 20 g
- Valor de verificación: 20 g
- Peso mínimo: 400 g
- Salida analógica: 4-20 mA
- Dimensiones del plato de pesado: 400x500 mm
- Dimensiones globales: 400x620x850 mm

Balanza para catalizador

- Fabricante: PCE

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Modelo: PCE-TB 3
- Rango de pesaje: 3 kg
- Resolución: 0,1 g
- Salida analógica: 4-20 mA
- Dimensiones de la plataforma: 316x223 mm
- Dimensiones de la balanza: 350x328x115 mm

DEPÓSITOS

Depósito troncocónico (mezcla)

- Identificación en el esquema de proceso: S01
- Tipo de proceso: Mezcla
- Material de construcción: Acero inoxidable SS304
- Diámetro aproximado: 385 mm
- Altura aproximada: 1350 mm
- Temperatura máxima: 60 °C

Depósito troncocónico (decantación)

- Identificación en el esquema de proceso: S02
- Tipo de proceso: Decantación
- Material de construcción: Acero inoxidable SS304
- Diámetro aproximado: 385 mm
- Altura aproximada: 1350 mm

Depósito almacenaje aceite residual

- Tipo de proceso: Almacenaje y pesaje
- Material de construcción: Acero inoxidable SS304
- Diámetro aproximado: 400 mm
- Altura aproximada: 500 mm
- Temperatura máxima: 60 °C
- *Agitador
- Fabricante, tipo y referencia: Caldepa CAM 60E
- Potencia: 0,37 kW
- Velocidad máxima: 1500 rpm
- Tensión: 230/400 V

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Material del eje: Acero AISI 316L
- Diámetro de la hélice marina: 100 mm
- Protección: IP55

REACTORES DE CAVITACIÓN

Reactor de cavitación dinámico

- Identificación en el diagrama de proceso: R02
- Presión máxima: 20 bar
- Temperatura máxima: 200 °C
- Material del cuerpo del reactor: Acero inoxidable SS304
- Clase de presión de las bridas: PN40
- Volumen útil: 1 l (aprox.)
- Potencia del motor M (VF02): 4 kW

Reactor de cavitación estático 1 litro

- Identificación en el diagrama de proceso: R01
- Presión de diseño máxima: 50 bar
- Temperatura máxima: 80 °C
- Material del cuerpo del reactor: Acero inoxidable SS304
- Clase de presión de las bridas: PN63
- Volumen del reactor: 1 l

-Dimensiones interiores del reactor de 1 litro:

- Diámetro interior: 52,5 mm
- Longitud: 500 mm

Reactor de cavitación estático 10 litros

- Identificación en el diagrama de proceso: R01
- Presión de diseño máxima: 50 bar
- Temperatura máxima: 80 °C
- Material del cuerpo del reactor: Acero inoxidable SS304
- Clase de presión de las bridas: PN63
- Volumen del reactor: 10 l

-Dimensiones interiores del reactor de 1 litro:

- Diámetro interior: 102 mm

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Longitud: 1250 mm

BOMBA CENTRÍFUGA

- Identificación en el esquema de proceso: P05
- Fabricante, tipo y referencia: Caldepa CAM 60E
- Potencia: 0,26/0,15 kW
- Tensión: 230 Vac
- Temperatura máxima: 90 °C
- Caudal nominal: 10 l/min
- Altura de aspiración máxima: 9 m
- Conexión aspiración: 1/2" Gas-h
- Conexión impulsión: 1/2" Gas-h

SENSOR DE PRESIÓN

- Identificación en el diagrama de proceso: PIC01
- Fabricante: WIKA
- Tipo: A-10
- Rango de presión: 0 - 100 bar
- Salida analógica: 4-20 mA
- Conexión a proceso: 1/4" NPT macho
- Precisión: $\leq \pm 0.5\%$
- Alimentación: 24 VDC

MANÓMETROS

- Identificación en el diagrama de proceso: PI01, PI02, PI03, PI04
- Fabricante: WIKA
- Tipo: 233.50.63
- Rango de escala: 0 - 100 bar
- Material: Acero inoxidable
- Conexión a proceso: 1/4" G macho

TERMOPARES

Termopares tipo K

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

- Rango de medida: -200 a 1100 °C
- Material de la vaina: Acero inoxidable AISI 310
- Hilo de compensación: Tipo K reforzado con cubierta de PTFE

G.6 Sistema de control

El sistema de control está diseñado para poder operar el proceso de manera dinámica y segura desde un cuadro de control mediante HMI con pantalla táctil. Adicionalmente permite adquirir y mostrar los datos del proceso en tiempo real, así como recuperarlos remotamente más tarde mediante el uso del interfaz Ethernet. A continuación, se presentan y detallan los distintos elementos hardware y software.

G.6.1 Arquitectura de control

El Sistema de control permite configurar consignas automatizadas, así como niveles de alarma para monitorizar el curso del proceso. Existe la posibilidad tanto de visualizar como de controlar temperaturas, caudales y presiones de acuerdo al diagrama de proceso, de tal manera que se pueda modificar el comportamiento del proceso mientras éste está en marcha.

El PLC escogido es un Entronices de 10.4" completado con los módulos suficientes para poder controlar y monitorizar las variables de proceso necesarias. Los módulos adicionales que necesita el PLC tanto para medir como para controlar se muestran en la siguiente lista:

- UIS-08TC: Entradas de termopar.
- UIA-0800N: Entradas 4/20 ms.
- UIA-0006: Salidas 4/20 ms. Existen dos unidades de este módulo para cubrir las necesidades del equipo.

El cuadro de control cuenta con un puerto Ethernet conectado directamente al PLC gracias al cual un PC externo podría acceder remotamente al SCADA del equipo. La arquitectura de control implementada, así como la relación entre los distintos elementos eléctricos de control se muestra a continuación:

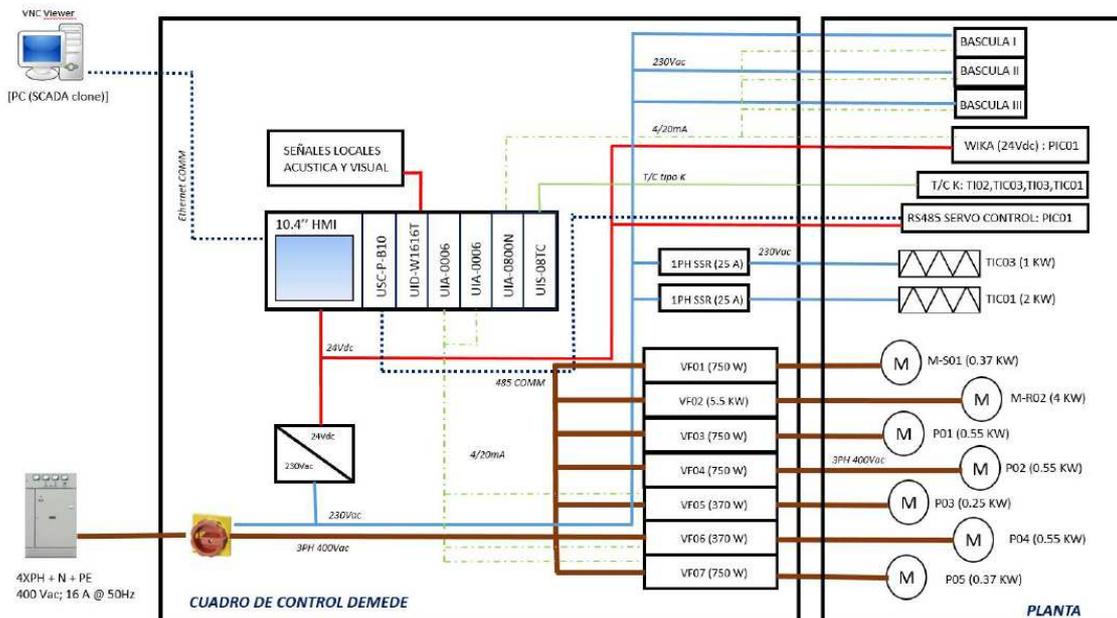


Figura 29. Arquitectura de control.

- PC -PLC: Mediante la aplicación VNC Viese se puede acceder remotamente a un clonado de la pantalla del equipo, tanto para ver como para controlar el estado del sistema.
 - PLC – Motores/Variadores: El comando se envían a los variadores mediante señales 4/20 mA y se habilita el funcionamiento mediante señales digitales a través de relés.
 - PLC – ELEMENTOS CALEFACTORES: El control de las resistencias se realiza mediante relés de estado sólido regulados por señales 4/20 mA provenientes de bucles de control PID.
 - PLC – Controlador de presión PIC01: El controlador de presión es un equipo independiente que recibe comandos de % de apertura de válvula a través de comunicación serie 485.
 - PLC – básculas: La lectura de variables de proceso se realiza a través de señales 4/20 mA
- Las señales acústicas y visuales del sistema, así como el seccionador de encendido y la seta de emergencia se localizan en la puerta frontal del cuadro de control, cuyo tamaño es 1200x800x300. Así mismo en la puerta frontal existe un botón azul de armado de sistema, de tal manera que se necesiten dos acciones mecánicas para devolver el sistema a un estado operativo después de una emergencia o nada más encender. El piloto verde indica si el sistema está armado o no, además de estos existen otros dos pilotos:
- Pilotos blancos: indica que el sistema está alimentado.
 - Pilotos rojos: indica que el sistema está en un estado de emergencia (luz fija) o de alarma (luz parpadeando).

- Piloto amarillo: indica que el sistema se encuentra en unas condiciones en las que es peligroso operar manualmente el equipo.

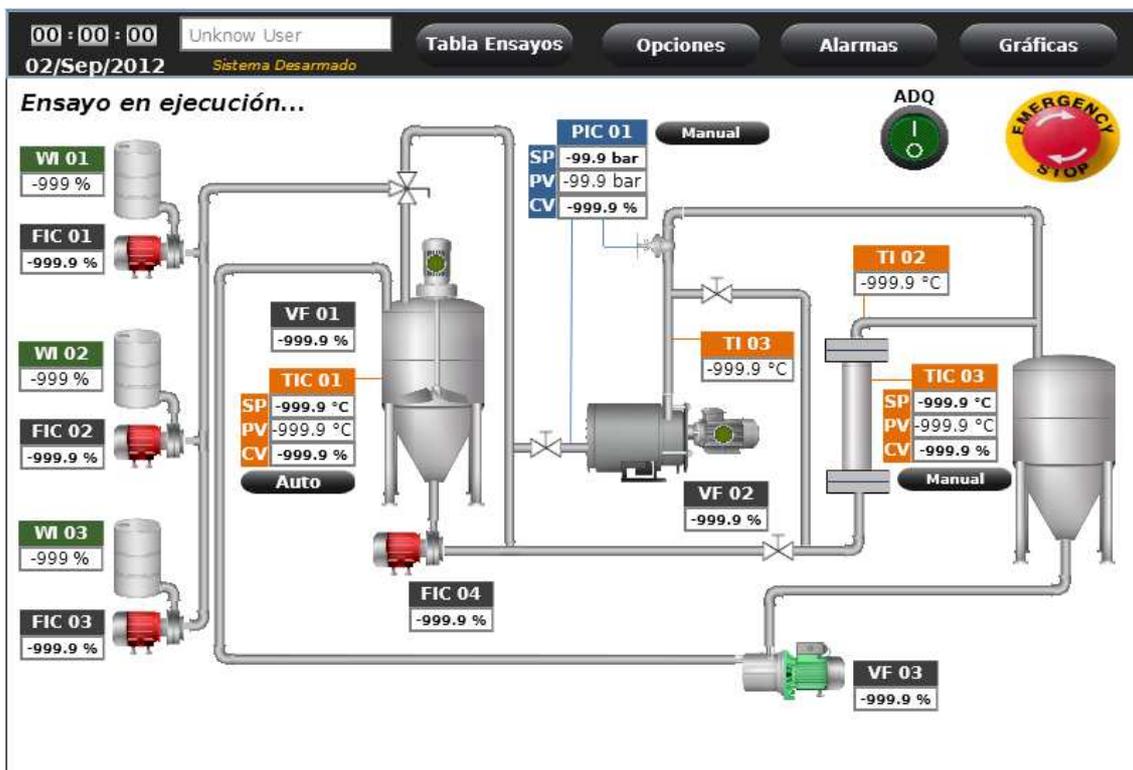


Figura 30. Imagen sistema de control.

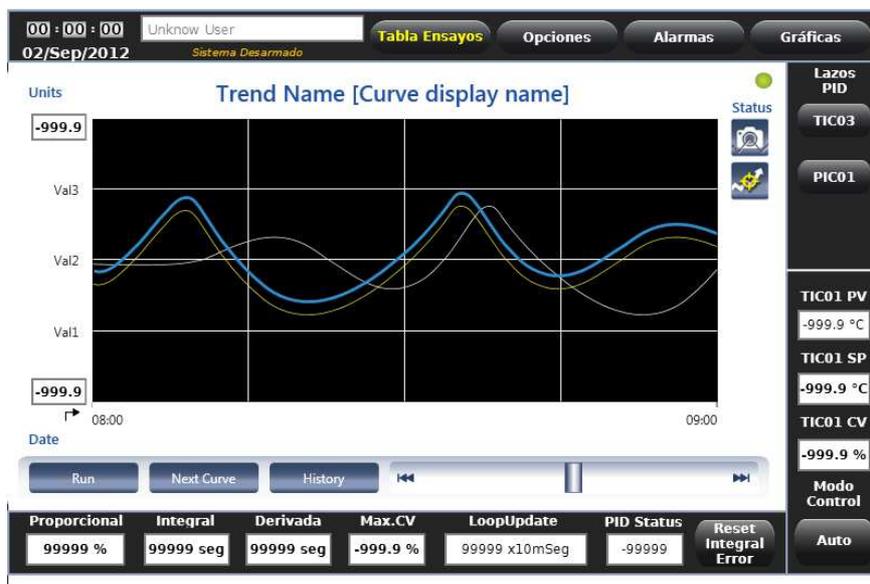


Figura 31. Pantalla de graficas.



Figura 32. Pantalla de alarmas.

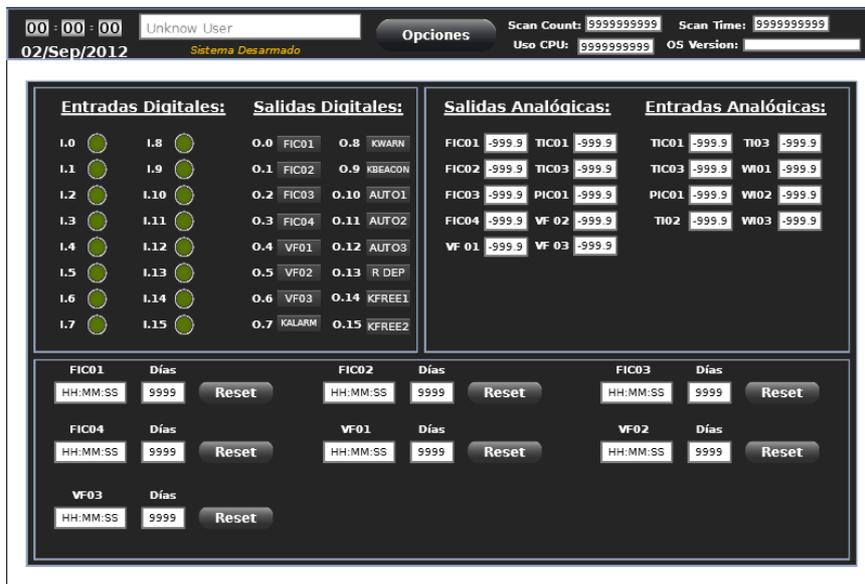


Figura 33. Pantalla de evolución de variables.

G. Anexo Fotos de la planta



Figura 34. Vista general de la planta 1.



Figura 35. Vista general de la planta 2.



Figura 36. Vista general de la planta 3.



Figura 37. Reactor estático de 4 placas y de 2 placas para caudales elevados.



Figura 38. Reactor estático de 1 l de capacidad con 2 placas de orificio.

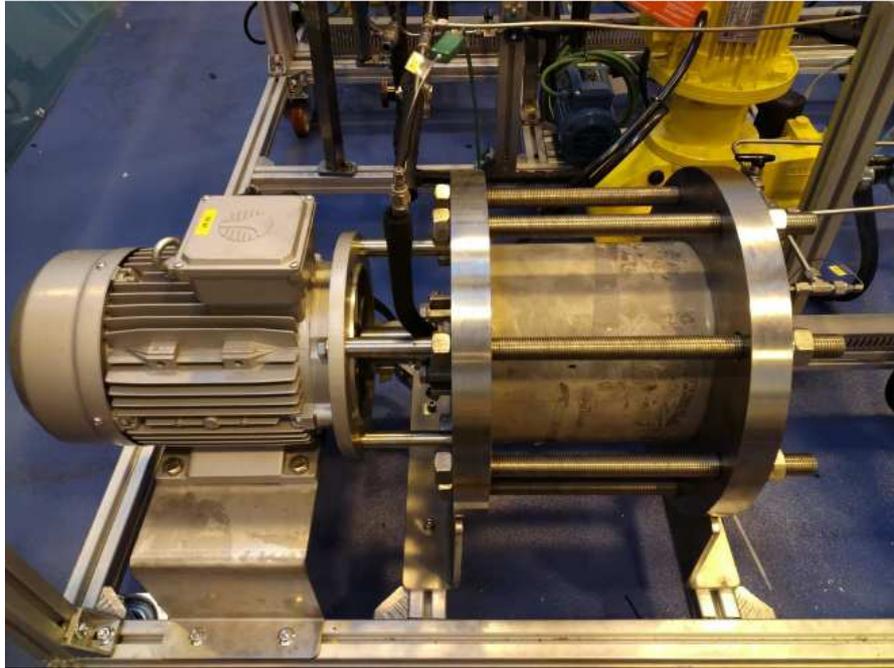


Figura 39. Reactor dinámico.

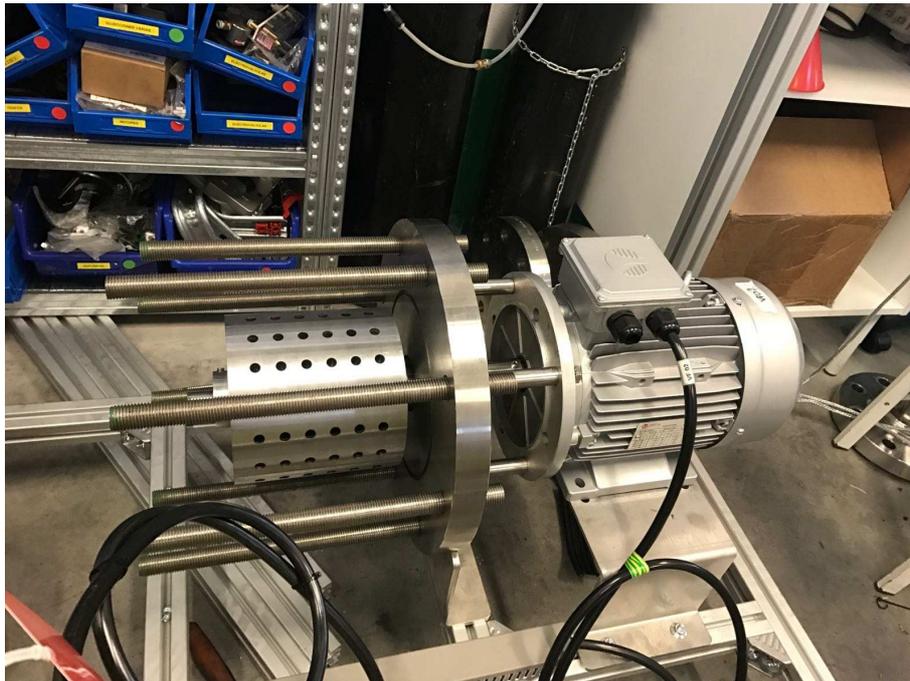


Figura 40. Interior Reactor dinámico.

	<p>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS</p>	
<p>Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers</p>		

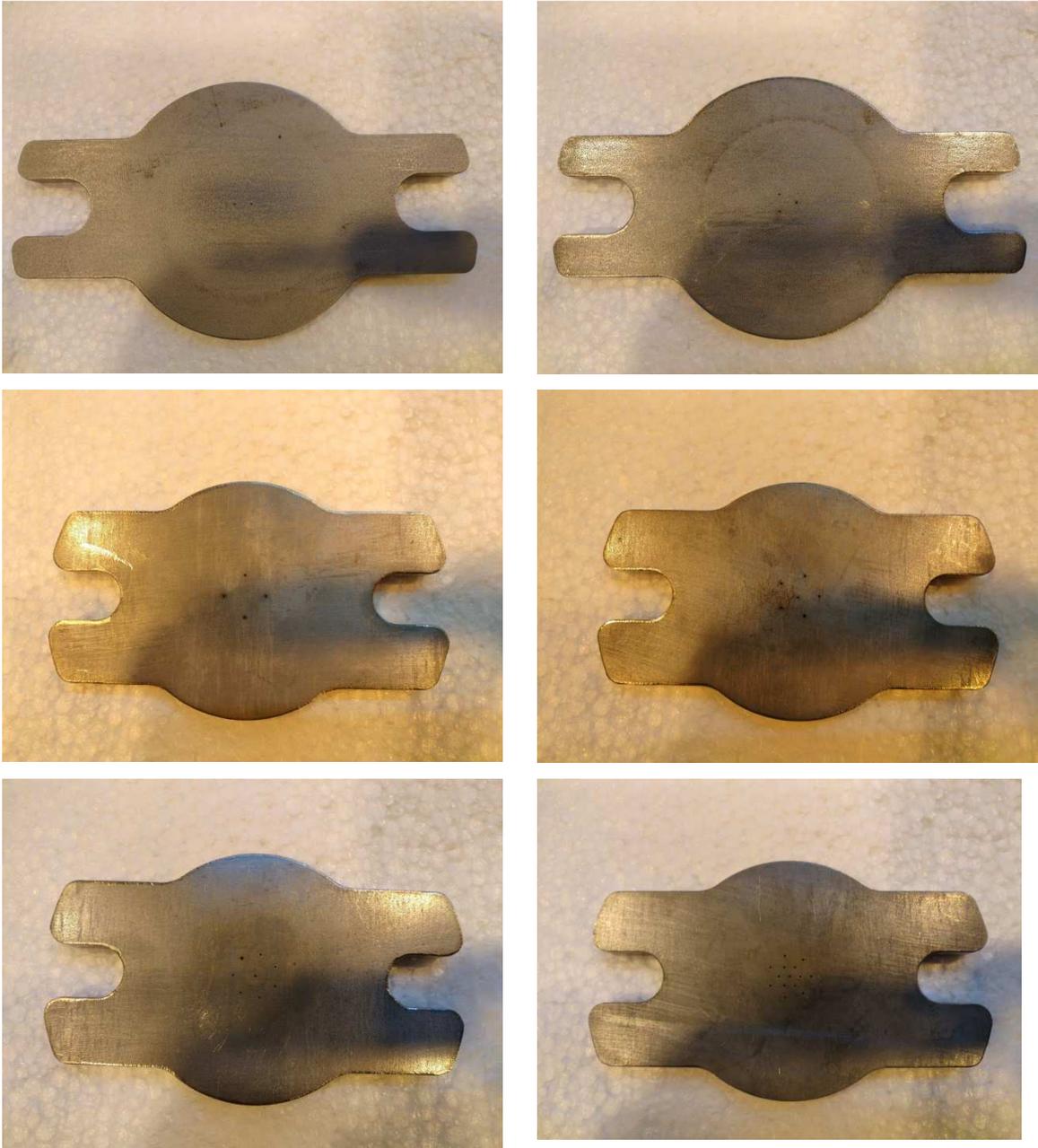


Figura 41. Placas orificio de 0,4 mm de diámetro.

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

H. Referencias

Brodkey, R. S., & Hershey, H. C. (2003). Transport phenomena: a unified approach. Brodkey publishing.

Cavitation Technologies, Inc.(2017). Technology Overview. Recuperado de <http://ctinanotech.com/technology/technology-overview>.

Clements, L. D., & Gerpen, J. V. (2004). Biodiesel production technology. NREL-National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-510-36244.

Crespo, G. V., Rodríguez, M. M., & Mira, J. A. (2001). Biodiésel: una alternativa real al gasóleo mineral. Ingeniería Química, (377), 135-145.

Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2000). Engineering design methods for cavitation reactors II: hydrodynamic cavitation. AIChE journal, 46(8), 1641-1649.

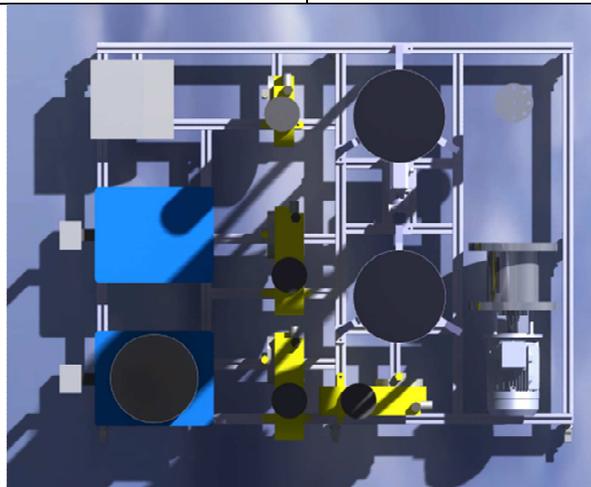
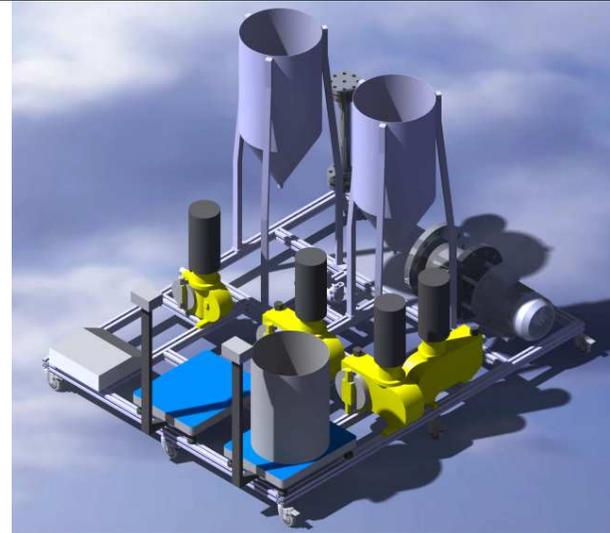
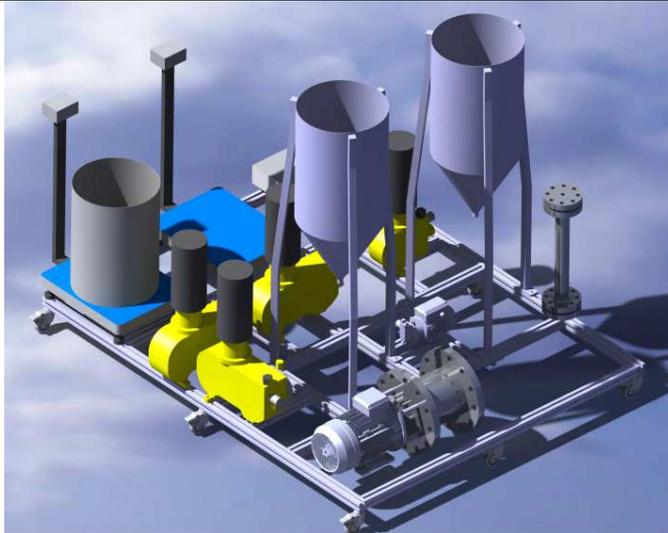
Gogate, P. R. (2008). Cavitational reactors for process intensification of chemical processing applications: a critical review. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47(4), 515-527.

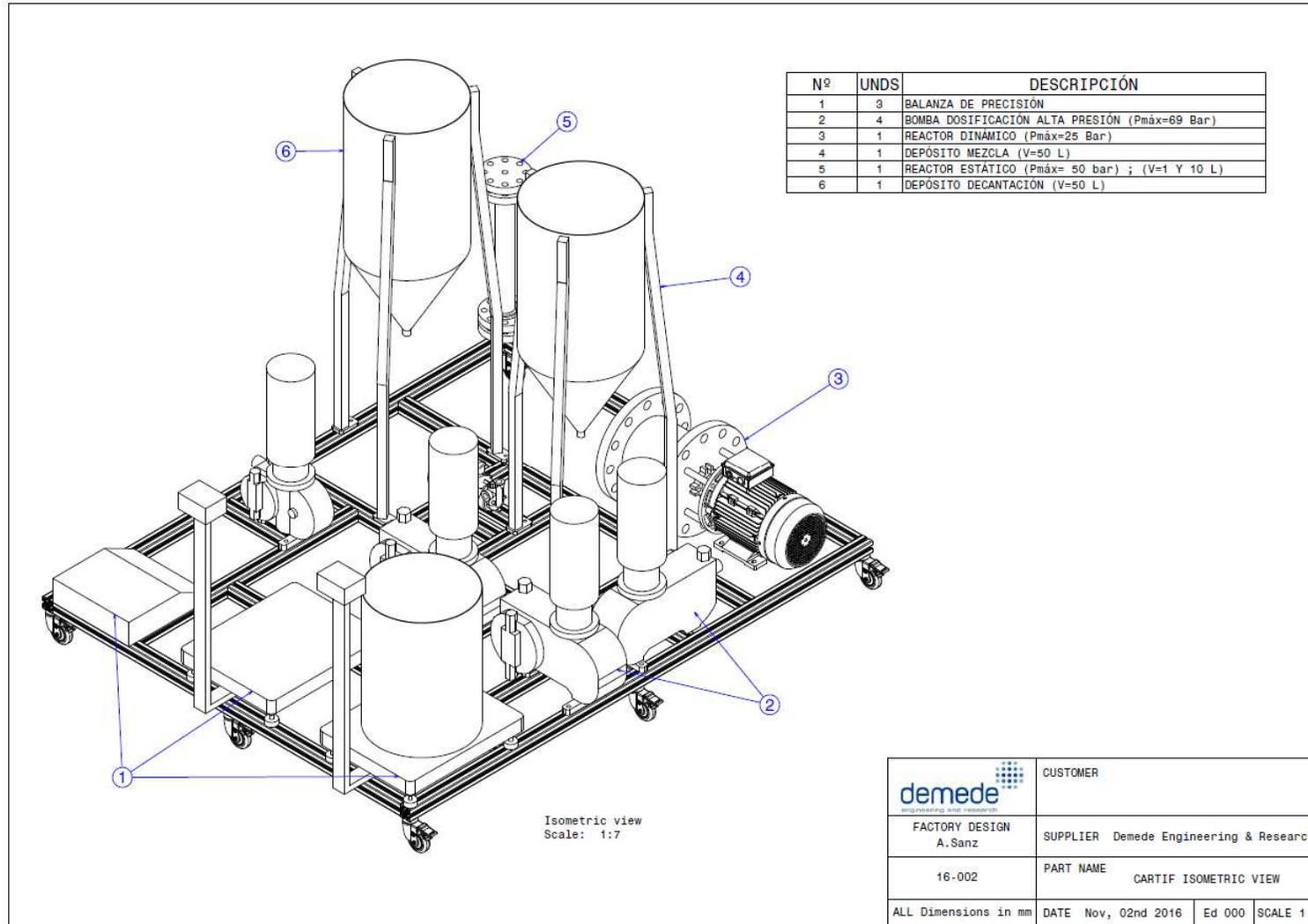
Reid, R. e. (2001). The Properties of Gases & Liquids. New York: McGraw-Hill.

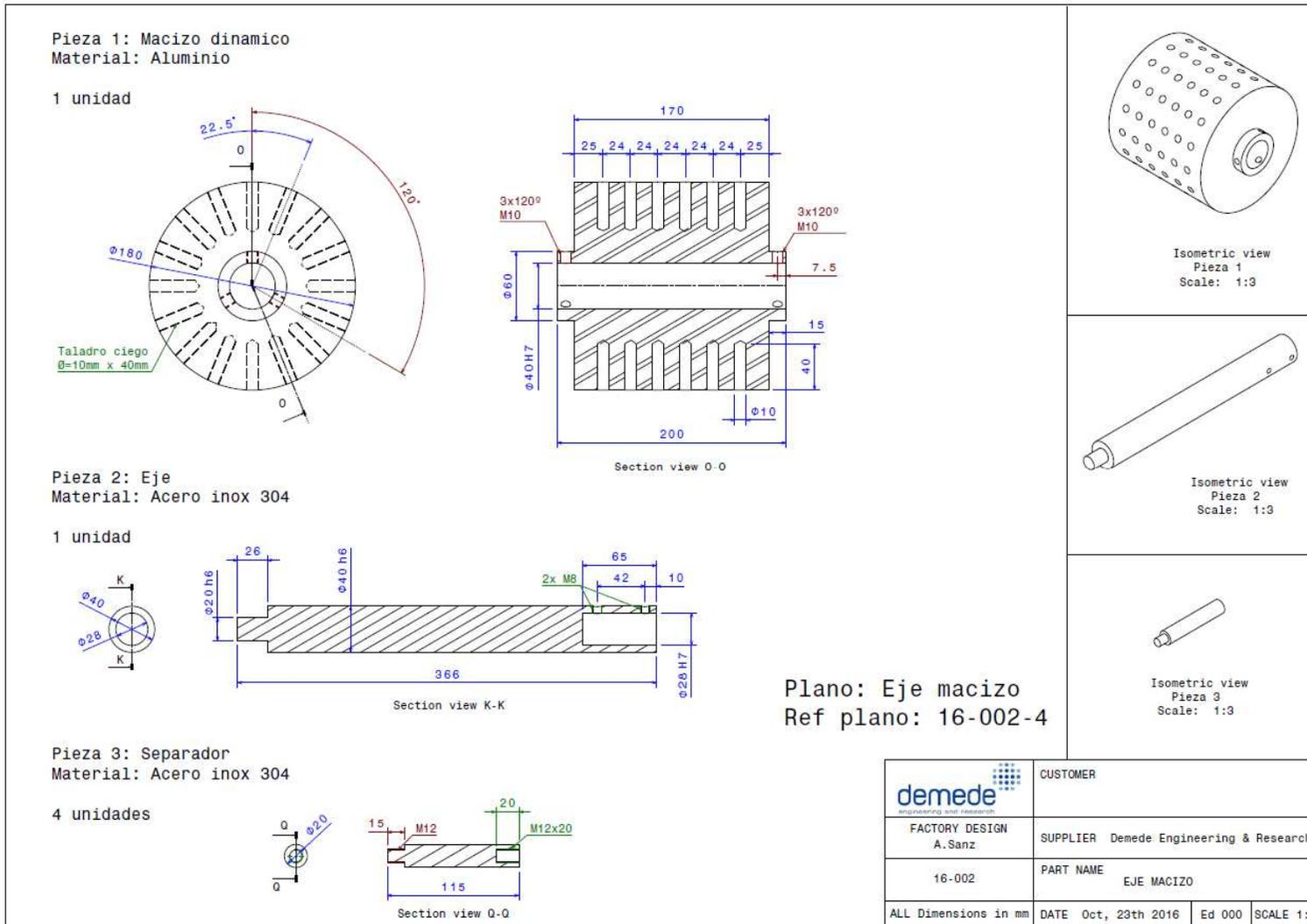
Shah, Y., Pandit, A., & S., M. V. (1999). Cavitation reaction engineering. KA/PP.

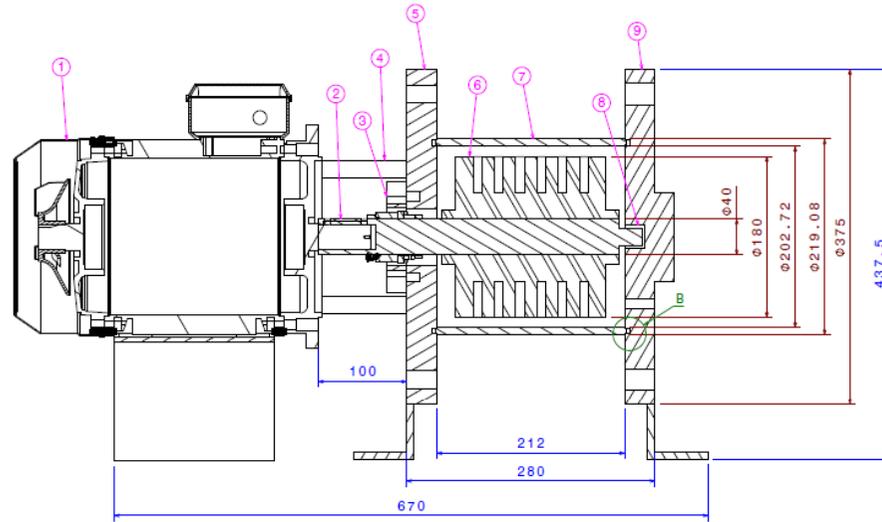
Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D. L., & Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource technology, 89(1), 1-16.

I. Anexo: Planos

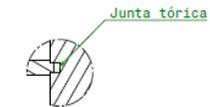








Section view A-A



Detail B
Scale: 2:3

PIEZA	UNDS	DESCRIPCIÓN MATERIAL DE PARTIDA	MATERIAL
1	1	MOTOR ELÉCTRICO 4KW	-
2	1	EJE 40mm	SS 304
3	1	CARTUCHO CIERRE MECÁNICO	-
4	4	SEPARADOR	SS 304
5	1	BRIDA FIJA	SS 304
6	1	MACIZO DINÁMICO CON ORIFICIOS	ALUMINIO
7	1	TUBO 8'' SCH40	SS 304
8	1	RODAMIENTO 20mm	-
9	1	BRIDA CIERRE CON RODAMIENTO ALOJADO	SS 304

	CUSTOMER		
	FACTORY DESIGN A.Sanz	SUPPLIER Demede Engineering & Research	
16-002	PART NAME	REACTOR DINÁMICO	
ALL Dimensions in mm	DATE Mar, 09th 2017	Ed 000	SCALE 1:1

	LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115 VALORIZACIÓN DE CADÁVERES DE PORCINO MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS	
	Valorization of pig carcasses through their transformation into biofuels and organic fertilizers	

J. Anexo: Ofertas equipos

Para la adquisición de la planta se obtuvieron 3 ofertas de las empresas: NANOINNOVA TECHNOLOGIES SL, DEMEDE y FSA INGENIEROS siendo adjudicada finalmente a la empresa DEMEDE, al ser la oferta más económica de las presentadas. Una vez se adquirió la planta se realizó una modificación de la misma con el fin de incluir un nuevo cuerpo de reacción y proceder a la medida de la presión en varios puntos suministrada también por la empresa DEMEDE. La oferta en conjunto de DEMEDE (oferta principal + ampliación) fue de todos modos la más barata.

PRESUPUESTO



CLIENTE: FUNDACION CARTIF
C.I.F.:
DIRECCIÓN: Parque Tecnológico Boecillo - parcela 205
POBLACIÓN: Boecillo
PROVINCIA: Valladolid
MAIL:

PRESUPUESTO N°: 001/2016
FECHA: 25 de marzo de 2016

Muy Sres. Nuestros:

De acuerdo con su propuesta, les ofrecemos a continuación el siguiente presupuesto:

Producto	Unidades	Precio Unitario	Importe
PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	1,00	176.500,00 €	176.500,00 €
Planta piloto de producción de biodiesel por cavitación estática e hidrodinámica [ud]			

BASE IMPONIBLE	€	176.500,00
IVA (21 %)	€	37.065,00
TOTAL PRESUPUESTO	€	213.565,00

FSA INGENIEROS, S.L.P.
C/ Cabeza de Hierro nº 26
28440 - Guadarrama - Madrid
Tel: 91 854 74 00
Fax: 91 854 14 72
CIF: B-85904738
palonso@fsaingenieros.com
www.fsaingenieros.com

PRESUPUESTO



CLIENTE: *FUNDACION CARTIF*
C.I.F.:
DIRECCIÓN: *Parque Tecnológico Boecillo - parcela 205*
POBLACIÓN: *Boecillo*
PROVINCIA: *Valladolid*
MAIL:

PRESUPUESTO N°: **001/2016**
FECHA: **25 de marzo de 2016**

Observaciones:

- Forma de pago:
- A convenir.

- Validez de la oferta: 60 días contados a partir de la fecha del presente presupuesto.

Fdo. FSA INGENIEROS, S.L.P.

Fdo. EL CLIENTE



Nanoinnova Technologies SL, C/ Faraday 7, 28049-Madrid. Phone +34 91 831 73 66; info@nanoinnova.com

VAT number = ESB85984367

Prepared for

Company name: FUNDACION CARTIF

Contact: Dr. David Díez

Address: Parque Tecnológico del Boecillo, Parcela 205

City Boecillo- Valladolid

VAT

e-mail

Phone:

To place your order please contact us at rafa@nanoinnova.com or +34 662145951

Item	Product description		Price
1	Sistema de reacción para ensayos de producción de biodiesel con bombeo a alta presión y cavitadores de tipo estático y rotativo.		€ 189.500,00
		Net TOTAL	€ 189.500,00
		IVA	€ 39.795,00
		TOTAL	€ 229.295,00

Terms and Conditions:

PAYMENT BY WIRE TRANSFER TO Nanoinnova Technologies VAT ESB85984367

IBAN ES5301280098350500000795

SWIFT BKBKESMMXXX

BANK: Bankinter

BANK Address: Avda de Pablo Iglesias 83; 28521-Rivas Vaciamadrid (MADRID)

Please, add the invoice number in your wire bank transfer

Madrid, 15 de Marzo-2016

Rafael Ferritto

General Manager Nanoinnova Technologies SL

VAT= ESB85984367

OFERTA 16-031 12 de Mayo de 2016

Fundación CARTIF

Parque Tecnológico del Boecillo, Parcela 205
47151 – Boecillo, Valladolid

cartif@cartif.es

Estimado cliente:

Nos complace presentar nuestra propuesta, correspondiente al suministro de

EQUIPO PILOTO DE REACCIÓN POR CAVITACIÓN PARA BIODIESEL

A continuación le ofrecemos descripción del alcance del suministro, información técnica y económica.

Agradeciendo la confianza depositada, le saluda atentamente,



Javier Roa Fresno
Director Técnico

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Este documento describe la fabricación y suministro de un equipo piloto de reacción para la producción de biodiesel mediante reactor de cavitación y sistemas accesorios de separación y mezcla, con destino a la fundación CARTIF en Boecillo, Valladolid.

A continuación se describen los distintos elementos que conforman el sistema:

- **Sistema de dosificación de reactivos**

El sistema consta de 3 líneas para la dosificación continua según proporciones establecidas en el sistema de control de aceite residual, Metanol y catalizador, de flujos nominales 100, 60 y 1 L/h.

El sistema lo componen bombas de desplazamiento positivos con capacidad de bombeo a alta presión, para operar en descarga atmosférica sobre el tanque mezclador del sistema de dosificación siguiente o directamente a través de mezclador estático hacia los reactores de cavitación.

El sistema lo controlan sendos variadores de frecuencia y cuentan con la valvulería necesaria para la conmutación, así como filtros y válvulas antirretorno. Se incluye un bidón termostatzado con camisa calefactora para el aceite o grasa residual.

Para mayor precisión de la dosificación el sistema cuenta con 3 balanzas de fondo de escala proporcional al volumen de reactivo almacenado, con comunicación al sistema de control que monitoriza el flujo másico dosificado al sistema.

- **Sistemas de dosificación de mezcla reactiva a alta presión**

El sistema se compone de un depósito de acero inoxidable de 50 L de capacidad con agitador de palas para la mezcla de los componentes reactivos, Metanol, Metóxido y grasa de origen, así como eventualmente Sulfúrico para tratamiento posterior. El depósito se emplea para la preparación del lote de reactivo a tratar, y permite el mezclado dinámico de dicha mezcla.

El depósito cuenta con abrazadera para termostatzación hasta 60°C con el fin de licuar la grasa de origen y permitir su bombeo a través de los sucesivos reactores.

El sistema cuenta con dos líneas de bombeo de líquido de alta presión con amortiguador de pulsos y cabezal termostatzado hasta 60°C con el fin de reducir la viscosidad del producto de partida. El caudal nominal de bombeo de cada línea es de 11 y 110 L/h.

El sistema cuenta con instrumentación específica de presión y temperatura, así como regulación del

caudal mediante variador de frecuencia conectado a sistema de control central.

- **Reactor de cavitación dinámico.**

El equipo cuenta con un reactor de cavitación mediante rotor de alta velocidad y cámara de reacción de 1L de volumen aproximado. El reactor cuenta con un control de temperatura asociado al variador de frecuencia que controla el régimen del motor, para regulación continua de la temperatura de reacción.

El reactor está diseñado para operar hasta 20 bar de presión hidrostática y 200°C de temperatura máxima. Las condiciones de operación máximas son independientes del régimen de cavitación factible, que depende de la composición de los reactivos, la estequiometría de la reacción y la presión de trabajo del reactor y su temperatura.

El reactor cuenta con instrumentación específica de temperatura en entrada y salida, presión e indicación de revoluciones de giro, conectadas y adquiridas por el sistema de control central.

- **Reactor de cavitación estático.**

El suministro incluye la fabricación de 2 reactores de cavitación estáticos, mediante holders de acero inoxidable de 1 y 10 L de volumen útil y diseño para alta presión 50 bar, con fabricación del interior según diseño de cliente, placas perforadas o microcanales para favorecer la cavitación.

Los reactores estáticos incluyen camisa de calentamiento con lazo de control de temperatura en sistema de control central, con rango de operación hasta 80°C y termopar en contacto con pared de reactores.

Los reactores están diseñados como equipos a presión mediante código ASME y certificados de acuerdo a la normativa PED 97/23/CE por ATISAE.

- **Sistema de control de presión de reacción**

El sistema incorpora un sistema de control de presión basado en válvula de contrapresión por regulación de paso, automatizada en lazo cerrado con medida de la presión de reacción.

El sistema está conectado y monitorizado por el sistema de control central y permite la regulación continua de la presión de reacción en el rango de trabajo del reactor.

- **Sistema de decantación de productos.**

El equipo cuenta con un sistema de decantación final de 50L de volumen útil, con fondo cónico para la separación del producto, con mirillas longitudinales de vidrio para visualización de la separación o

decantación de productos. El equipo cuenta con la valvulería necesaria que permite el vaciado de la fase pesada y la ligera de forma separada, así como la recirculación al tanque de origen mediante bomba centrífuga para posterior tratamiento del biodiesel.

- **Sistema de control central.**

El sistema de control central cuenta con un cuadro eléctrico que integra un PLC programable con interfaz táctil para la operación y monitorización de todo el proceso.

El sistema incorpora las protecciones eléctricas, fuentes de alimentación, variadores de frecuencia, adaptadores y convertidores de señal y módulos de adquisición necesarios.

El sistema de control cuenta con puerto de comunicación Ethernet para el control remoto del equipo y la extracción de datos almacenados en tabla Excel

El sistema de reacción se entrega integrado en un bastidor autoportante de acero inoxidable que contiene todos los elementos y las instalaciones mecánicas, eléctricas y de proceso que precisa su operación.

Las líneas de reactivos cuentan con traceado autocontrolado a 60°C para evitar la solidificación de la grasa o mezcla en el tubing.

INFORMACIÓN ECONÓMICA

A continuación se detalla el importe de las partidas anteriormente descritas.

- Diseño, fabricación y suministro de planta piloto de producción de Biodiesel por cavitación a partir de grasa animal, según pliego..... 169.900 EUR

TOTAL 169.900 EUR

CONDICIONES DE ENTREGA

El plazo de entrega se establece en

12-14 semanas

a contar desde la recepción de la Orden de Compra.

El mes de Agosto se considerará inhábil a efectos de plazos de entrega.

INSTRUCCIONES DE COMPRA

Le rogamos formalice el Pedido de esta Oferta mediante Orden de Compra Oficial o remitiendo este documento firmado por persona autorizada al e-mail demedede@demedede.es

TÉRMINOS DE PAGO

21% de IVA no incluido. Transferencias bancarias a:

Demedenes, S.L.
IBAN: ES4830250006261433241598
Caja de Ingenieros
C/Carranza, 5 – 28004 Madrid

Plazos de pago a negociar entre partes.

GARANTÍA

Demedenes, S.L. garantiza el correcto funcionamiento del material suministrado, de acuerdo a las especificaciones detalladas en esta oferta durante el período de 1 año, a contar desde la fecha de recepción del material en sus instalaciones.

VALIDEZ

La validez de esta oferta es de **# 15 semanas#**.

OFERTA 17-023 25 de Mayo de 2017

Fundación CARTIF

Parque Tecnológico del Boecillo, Parcela 205
47151 – Boecillo, Valladolid

cartif@cartif.es

Estimado cliente:

Nos complace presentar nuestra propuesta, correspondiente al suministro de

AMPLIACIÓN REACTOR ESTÁTICO Y ACCESORIOS

A continuación le ofrecemos descripción del alcance del suministro, información técnica y económica.

Agradeciendo la confianza depositada, le saluda atentamente,



Javier Roa Fresno
Director Técnico

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Este documento describe el suministro de un reactor de ampliación estático y accesorios con destino a la fundación CARTIF en Boecillo, Valladolid.

El suministro lo compone un reactor estático de cuatro secciones, embreado, diseñado y certificado para 50 bar de operación máxima, 100°C, con sistema de calentamiento.

Tres puntos de toma de muestra compuestos por te y válvula de regulación.

Cuatro puntos de manómetro, compuestos por te y reloj de medida de presión.

Cuatro puntos de medida electrónica de presión mediante transductor analógico.

INFORMACIÓN ECONÓMICA

A continuación se detalla el importe de las partidas anteriormente descritas.

– Reactor estático de cuatro secciones.....	3.780 EUR
– Calefactores de reactro.....	480 EUR
– Tres puntos de toma de muestra.....	410 EUR
– Cuatro puntos de manómetro.....	490 EUR
– Cuatro puntos de medida de presión.....	1.240 EUR

TOTAL 6.400 EUR

CONDICIONES DE ENTREGA

El plazo de entrega se establece en

2-4 semanas

a contar desde la recepción de la Orden de Compra.

El mes de Agosto se considerará inhábil a efectos de plazos de entrega.

INSTRUCCIONES DE COMPRA

Le rogamos formalice el Pedido de esta Oferta mediante Orden de Compra Oficial o remitiendo este documento firmado por persona autorizada al e-mail demedede@demedede.es

TÉRMINOS DE PAGO

21% de IVA no incluido. Transferencias bancarias a:

Demedenes, S.L.
IBAN: ES4830250006261433241598
Caja de Ingenieros
C/Carranza, 5 – 28004 Madrid

100% A LA ENTREGA

GARANTÍA

Demedenes, S.L. garantiza el correcto funcionamiento del material suministrado, de acuerdo a las especificaciones detalladas en esta oferta durante el período de 1 año, a contar desde la fecha de recepción del material en sus instalaciones.

VALIDEZ

La validez de esta oferta es de **# 15 semanas#**.