



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



<b>Name of the Deliverable:</b>	<i>Protocolo de arranque de prototipos: Modulo Prototipo de Biodigestión con pretratamiento de ultrasonidos.</i>
<b>Number and name of the associated action:</b>	<i>Action B2. Puesta en marcha y validación de prototipos</i>
<b>Submission date:</b>	21/09/2017
<b>Partner responsible for this deliverable:</b>	Centro Tecnológico Fundación CARTIF

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

## INDEX

<b>A. Resumen ejecutivo</b> .....	<b>3</b>
<b>B. Executive Summary</b> .....	<b>3</b>
<b>C. Participantes</b> .....	<b>4</b>
<b>D. Puesta en marcha del prototipo</b> .....	<b>4</b>
D.1 Descripción del prototipo .....	4
D.2 Recomendaciones de uso, operación y mantenimiento .....	7
<b>E. Validación del prototipo</b> .....	<b>8</b>
<b>F. Protocolo de arranque del prototipo</b> .....	<b>9</b>
<b>G. Conclusiones</b> .....	<b>11</b>

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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. Resumen ejecutivo

Durante esta acción la Fundación CARTIF ha realizado tres tareas principales:

- 1) Puesta en marcha del prototipo, el cual está compuesto por una planta piloto de digestión anaerobia y un modulo de pretratamiento por ultrasonidos de la materia prima a digerir. En esta tarea se realiza una descripción detallada del prototipo y se realizan una serie de recomendaciones de uso, operación y mantenimiento del mismo.
- 2) Validación del prototipo, donde se ha comprobado el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos que lo componen, y la ausencia de fugas del sistema
- 3) Protocolo de arranque del prototipo, donde se describe cada uno de los pasos a seguir de forma que se realice el arranque del prototipo de forma eficiente y segura.

Tras solucionar los problemas que surgieron al inicio de la puesta en marcha de la planta, y después de 100 días de operación en continuo, se ha demostrado el correcto funcionamiento de los diferentes equipos y sistema de control de la planta, manteniéndose las diferentes variables de operación (temperatura, velocidad de agitación, caudal de alimentación de las bombas) dentro de los rangos de operación predeterminados.

## B. Executive Summary

During this action the CARTIF Foundation has carried out three main tasks:

- 1) Prototype start up. The prototype is composed of an anaerobic digestion pilot plant and an ultrasonic pretreatment module of the raw material to be digested. In this task a detailed description of the prototype is made and a series of recommendations of use, operation and maintenance of the prototype are made.
- 2) Validation of the prototype. In this task it was verified the correct functioning of each component of the prototype, and the absence of leaks in the pipes.
- 3) Prototype start up protocol. In this task it is described each of the steps to follow to starting up the prototype in a effective and safe way.

After solving the start up problems of the prototype, and after 100 days of continuous operation, it has been demonstrated the correct functioning of the different equipment and control system of the plant, maintaining the different variables of operation (temperature, stirring speed, pump feed rate) within the predetermined operating ranges.

*Protocolo de arranque de prototipos: Módulo Prototipo de Biodigestión con pretratamiento de ultrasonidos.*

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

## C. Participantes

**Responsable de la Acción:** Fundación CARTIF.

## D. Puesta en marcha del prototipo

### D.1 Descripción del prototipo

Durante esta acción la Fundación CARTIF ha realizado la puesta en marcha del módulo prototipo de biodigestión con pretratamiento de ultrasonidos.

El módulo prototipo portátil (Figura 1, Figura 2 y Figura 3) es un diseño novedoso de digestión anaerobia en dos fases con un reactor de acidogénesis de 100 L y uno de metanogénesis de 500 L. La planta cuenta además con un sistema de trituración previo, para adecuar el tamaño de la alimentación que entra al sistema de ultrasonidos y de un tanque de homogeneización de 500 L que alimenta al reactor acidogénico. Asimismo se dispone de un sistema cuantificación del volumen de biogás generado y de un tanque de 1000L para el almacenamiento del digestato.



**Figura 1.** Esquema del módulo prototipo de digestión con pretratamiento de ultrasonidos.

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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 2. Imagen del prototipo de biodigestión.



Figura 3. Detalle del equipo de pretratamiento de ultrasonidos.

A continuación se describen los diferentes equipos que conforman el prototipo, así como las principales características técnicas de los subsistemas e instrumentación de que se componen.

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

- Sistema triturador con tolva

Tolva de entrada de 50 L, construida de acero inoxidable de 3mm, con puerta, trampilla para vertido de producto sólido/líquido, conectado a triturador eléctrico de residuos orgánicos con arranque y parada controlado desde el sistema de control. Descarga del triturador conectado a buffer de residuos de 50L conectado a bomba peristáltica Boyser, de caudal controlado desde el sistema de control de 0 a 20 L/h. Esta bomba monta un tubo de 8mm de diámetro interno.

- Modulo de ultrasonidos

Equipo en acero inoxidable de 6 L de capacidad, que trabaja con una potencia de 1 kW a una frecuencia de 25 KHz. Los diámetros de entrada y salida del equipo son de 1,5", lo que facilita la carga y descarga de la materia prima a tratar.

- Tanque Homogeneizador de 500 L

Tanque de acero inoxidable con doble mirilla de 200 mm de diámetro para visualización interior y limpieza. Agitador en L con reductora, control de revoluciones de 0 a 90 rpm. Elemento de agitación tipo ánora de 700 mm. Sonda de temperatura tipo T envainada, de 1000 mm de longitud, monitorizada desde el control, con  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de precisión de medida. Válvula de sobrepresión tarada a 350 mbar con escape conducido a venteo. 2 conexiones de  $\frac{1}{2}$ " accesorias para instrumentación. Descarga de 50 mm de diámetro con conexión en T para descarga inferior a través de válvula de bola de 50 mm. Conexión a bomba peristáltica similar a la anterior.

- Display General

En este display (Figura 4) se encuentra representado de forma esquemática el proceso, mostrando los elementos más representativos de la planta, los valores de proceso, puntos de consigna y botones relacionados con el control, así como botones auxiliares para acceder a ciertas opciones de control o ayudas.

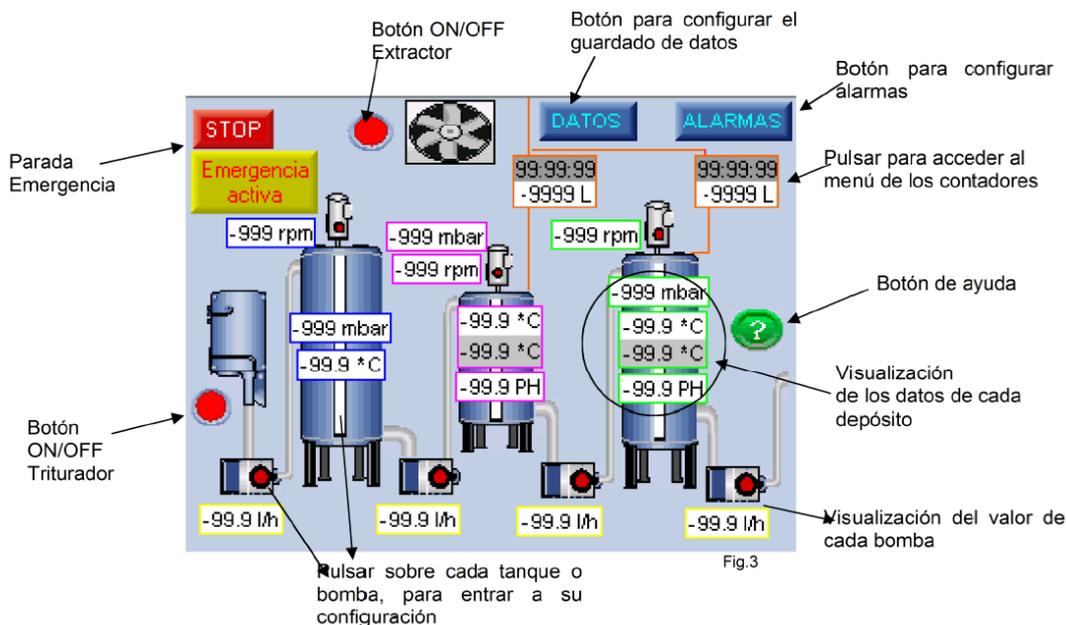


Figura 4. Display General del prototipo.

## D.2 Recomendaciones de uso, operación y mantenimiento.

- Transporte y desplazamiento del prototipo
  - Prestar atención al sistema de anclaje para el transporte por elevación del equipo.
  - Se dispone de dos vigas amarillas para compensar la tensión de las cadenas de izado en la parte superior de la estructura. El anclaje debe realizarse siempre desde los soportes inferiores de las patas de regulación.
  - Se dispone 4 cáncamos para izado del techo de la instalación. NO EMPLEAR ESTAS SUJECCIONES PARA EL IZADO DEL EQUIPO.
  - El transporte mediante ruedas de realizarse en distancias cortas y sobre superficies no rugosas o accidentadas.
  
- Producto a tratar
  - Cuando proceda a la carga de la tolva de la trituradora, asegúrese de que no acceden sólidos no triturables como madera, piedras, metales o plásticos.
  - No desatascar o facilitar el triturado empujando los residuos con la mano. No introducir las manos en la tolva.

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

- No manipular conexiones o demás partes calientes de los depósitos estando éstos en  
en
- operación. Por transmisión de calor pueden existir zonas del equipo con  
temperaturas altas.
- No calentar los depósitos sin previamente llenarlos al menos hasta el 50% de su  
capacidad y encender el sistema de agitación correspondiente.
- Mantener permanentemente encendido el extractor de aire y minimizar la  
distancia al sistema de ventilación, para facilitar el flujo de aire. Comprobar  
periódicamente que existe renovación del ambiente interior de la cabina.

## E. Validación del prototipo

Durante la puesta en marcha del prototipo se ha comprobado:

- La Ausencia de fugas del sistema, para lo cual se ha realizado una prueba hidrodinámica comprobando que todos los cierres y válvulas operan correctamente.
- El correcto funcionamiento y calibrado de bombas, para lo cual se ha determinado con una probeta y un cronómetro que proporcionaban los caudales deseados.
- El correcto funcionamiento de los agitadores, comprobando que giraban con las revoluciones y proporcionando una agitación adecuada según la consigna indicada en el cuadro de control.
- El correcto funcionamiento y calibrado de resistencias para calentamiento de los digestores, para lo cual se ha utilizado un termómetro patrón a diferentes temperaturas previstas en el rango de operación.
- Verificación del sistema de control, comprobando que actuaba sobre los diferentes equipos, gestionando de forma correcta las señales de orden y parada, los tiempos y las señales de alarma.
- Verificación de los contadores del biogás generado con un caudalímetro másico calibrado, comprobándose una adecuada señal de respuesta de los mismos.
- El correcto funcionamiento del sistema de trituración, introduciendo materia orgánica con sólidos (purín con sólidos) y comprobando que quedaba triturada a un tamaño inferior a 3mm, lo cual puede circular sin problemas por las tuberías del prototipo

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

- El correcto funcionamiento del equipo de ultrasonidos, introduciendo en el mismo 6L de purín de cerdo y comprobando que el aumento en la concentración de sólidos volátiles del purín era el esperado según bibliografía.

Durante las primeras pruebas, se tuvieron problemas de fluidez hidrodinámica de la mezcla por las tuberías y bombas existentes en la planta piloto de biodigestión anaerobia, por lo que ha sido necesario cambiarlas a unas de mayor diámetro. En esta primera prueba también se tuvieron problemas en el equipo de ultrasonidos, debido a que la materia prima a sonicar, al tener gran cantidad de sólidos, generaba zonas con burbujas de aire, con lo cual el sensor de nivel del equipo de ultrasonidos suponía que no se había alcanzado el nivel de fluido necesario y no daba permiso para poder utilizarlo. El problema se solucionó alargando este sensor de nivel de forma que hubiera un mayor contacto con el fluido.

## **F. Protocolo de arranque del prototipo**

El arranque de cualquier reactor anaerobio es lento, debido a la baja producción de biomasa en relación al sustrato consumido, por lo que es conveniente la inoculación para acelerar la puesta en marcha del reactor. En este caso para acelerar el arranque de los digestores se ha utilizado digestato procedente de los digestores anaerobios que tiene la empresa PURAL, que operan utilizando como materia prima purín y cadáveres de cerdo.

Aunque la mezcla de materias primas que deberían haberse utilizado en esta etapa según la memoria del proyecto, son las ensayadas como resultado de la Acción A3 (50% de purín, 10% de harinas, 30% de aguas de proceso y 10% de glicerina), debido a retrasos en la puesta en marcha de los equipos de los que se obtiene harinas y aguas de proceso, la mezcla de materias primas finalmente utilizadas en esta etapa han sido: purín de cerdo (50%) proporcionado por la empresa PURAL, pasta esterilizada procedente del proceso de trituración de cadáveres de cerdo (40%) proporcionado también por la empresa PURAL, y glicerina producida en el prototipo de obtención de biodiésel por cavitación hidrodinámica (10%).

Cuando se disponga de las materias primas definidas en un principio se realizarán los ensayos correspondientes en el módulo prototipo que nos permitirán obtener la producción de biogás y rendimientos de eliminación de sólidos volátiles de interés para el proyecto.

	<b>LIFE + VALPORC LIFE 13ENV/ES/001115</b> 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	

El protocolo de arranque del prototipo ha sido el siguiente:

- 1) Carga de digestato procedente del digestor anaerobia de la empresa PURAL (9 L en el reactor acidogénico y 40 L en el reactor metanogénico).
- 2) Trituración en el sistema de trituración de 500 L de materia prima a digerir.
- 3) Carga del equipo de ultrasonidos (6L) con la materia prima triturada, sonicación durante 10 minutos y descarga en el tanque de homogeneización, el cual se encuentra agitado a 60 rpm.
- 4) Repetir el paso 3 hasta sonicar los 500 L de materia prima triturada.
- 5) Alimentar desde el tanque de homogeneización, 70 L de materia prima triturada y sonicada en el reactor acidogénico, y 360 L en el reactor metanogénico.
- 6) Poner el set point del agitador de cada uno de los reactores a 60 rpm y el set point de temperatura en el interior de cada reactor a 35°C.
- 7) Comenzar a alimentar materia prima triturada y sonicada en continuo de forma que la carga volumétrica en un principio sea de 0,214 g/L·d, en el reactor metanogénico e ir la incrementando hasta que llegue a ser de 0,642 g/L·d Esto hace que los tiempos hidráulicos de residencia con los que empezamos sean muy altos. A medida que vamos aumentando la carga volumétrica, el tiempo de residencia va bajando hasta conseguir 3 días en el de acidogénesis y 17 en el de metanogénesis.
- 8) Controlar el pH de cada uno de los reactores. Si el pH en el reactor metanogénico baja por debajo de 6.5 parar la alimentación hasta que el pH vuelva a valores de  $7 \pm 0,5$ .

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del prototipo se determinó la concentración de sólidos volátiles de la materia prima (50% de purin, 40% de pasta render y 10% de glicerina) y del digestato final obtenido tras 100 días de operación, comprobándose que la eliminación de sólidos volátiles conseguida era mayor del 50% (85%) según lo esperado.

**Tabla 1.** Concentración de sólidos volátiles de la materia prima y del digestato.

	SV (g/L)
<b>Materia prima</b>	162,5
<b>Digestato</b>	25,0

Como puede comprobarse en la Figura 5 la producción de metano obtenida con el prototipo para una mezcla de a lo largo de los 100 días de operación se encuentra en valores normales para el tipo de materia prima tratada.

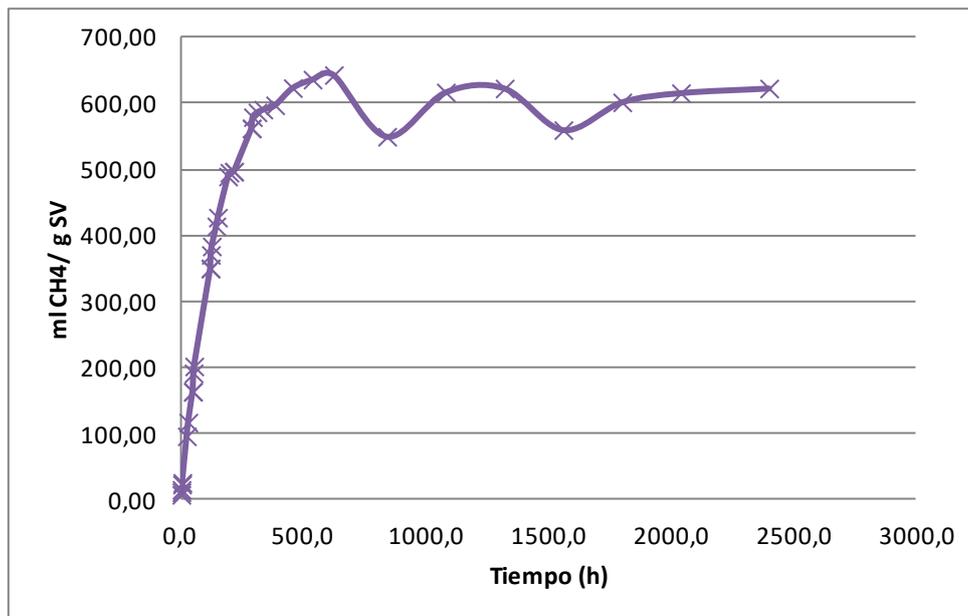


Figura 5. Producción de metano obtenida en el prototipo.

## G. Conclusiones

Una vez solucionados los problemas que surgieron al inicio de la puesta en marcha de la planta, y tras 100 días de operación en continuo, se ha demostrado el correcto funcionamiento de los diferentes equipos y sistema de control de la planta, manteniéndose las diferentes variables de operación (temperatura, velocidad de agitación, caudal de alimentación de las bombas) dentro de los rangos de operación predeterminados.