



Universidad de Valladolid

**Escuela de Ingeniería de la Industria Forestal,
Agronómica y de la Bioenergía**

Campus de Soria

MASTER EN INGENIERÍA DE LA BIOENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

TRABAJO FIN DE MASTER

**TITULO: EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA E.D.A.R EN LOS
RABANOS (SORIA)**

~~~~~

**AUTOR: ALEJANDRO ROMERO ESTEBAN**

**DEPARTAMENTO: INGENIERÍA AGRÍCOLA Y FORESTAL**

**TUTOR/ES: MARÍA DAPHNE HERMOSILLA REDONDO  
ANTONIO MARÍA GASCÓ GUERRERO**

# ÍNDICE

## Contenido

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                          | 2  |
| Situación Actual .....                      | 2  |
| OBJETIVOS.....                              | 4  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                   | 5  |
| 1. Inventario de equipos .....              | 5  |
| 2. Equipación de la Instalación .....       | 6  |
| 3. Proceso de la EDAR.....                  | 8  |
| 4. Efluente.....                            | 10 |
| 5. Proceso del Biodigestor.....             | 11 |
| 6. Residuos.....                            | 12 |
| 7. Cálculo del Biodigestor .....            | 15 |
| 8. Balance Energético del Biodigestor ..... | 17 |
| 9. Estudio de la explotación.....           | 18 |
| RESULTADOS.....                             | 22 |
| 1. Biodigestor.....                         | 22 |
| 2. Diseño del Biodigestor.....              | 23 |
| 3. Balance Energético.....                  | 25 |
| 4. Estudio de la Explotación .....          | 25 |
| CONCLUSIONES .....                          | 28 |
| 1. Biodigestor.....                         | 28 |
| 2. Evaluación Energética.....               | 29 |

# INTRODUCCIÓN

En el presente estudio ha realizado una evaluación de la eficiencia energética de estaciones depuradoras de aguas residuales de la industria cárnica española. Para ello se toma como ejemplo la E.D.A.R propiedad de IC Villar, la cual gestiona las aguas residuales tanto del matadero de porcino como de la fábrica de jamones y embutidos junto a los que se encuentra situada en el municipio de Los Rábanos (Soria).

Para la elaboración de esta evaluación, se estudia tanto la reducción de los consumos energéticos existentes, como las posibilidades de conseguir una producción energética a partir de los distintos residuos de la depuradora así como de otros residuos de distintas explotaciones de la compañía.

Para la reducción de consumos se realiza un análisis del proceso de la E.D.A.R y todos los equipos susceptibles de realizar un consumo energético en el mismo. Mientras que para el estudio de una posible producción energética a partir de residuos de la depuradora, se realiza un estudio de viabilidad técnica de la instalación de un biodigestor a partir de la caracterización principalmente bibliográfica de los residuos de la compañía.

## Situación Actual

La estación depuradora de aguas residuales fue construida en el año 2006 cumpliendo la normativa vigente en aquel momento. Las instalaciones a estudiar constan de una nave en la que se emplazan los equipos desarenadores principalmente y varias balsas.

La edificación cuenta con cerramientos de paneles prefabricados de hormigón armado de 12 cm de espesor, con aislamiento incorporado. Las cubiertas están constituidas por placa de fibrocemento de perfil de gran onda color blanco, con aislamiento de poliuretano incorporado de 30 kg/m<sup>3</sup> de densidad.

El Promotor, cuenta a su vez, con varias explotaciones de cebo de ganado porcino en el municipio, y asociado a las mismas, 300 hectáreas de terreno cultivable, las cuales entran dentro de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) a la cual están sujetas estas explotaciones.

La instalación se encuentra ubicada en las parcelas 5186 y 9000 del polígono 1 perteneciente al municipio de Los Rábanos (Soria), en el paraje conocido como Las Hoyas, a la que se accede desde la carretera N-111 que une Soria hasta el mismo municipio.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRÓNOMICA Y DE LA BIOENERGÍA



Datos Municipio Los Rábanos:

-Latitud  $41^{\circ}43' 28,2''$ N

-Longitud  $2^{\circ}28' 42,12''$ W

-Coordenadas UTM Huso 30 (ETRS89): 543.142 m , 4.619.430 m

-Altitud: 1089m

Las parcelas con una superficie de 1,63 y 5,73 ha respectivamente, están fuera del casco urbano de Los Rábanos al Norte de esta localidad. Catastralmente las fincas están clasificadas como urbanizables.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

MASTER EN INGENIERÍA DE LA BIOENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD ENERGETICA

## OBJETIVOS

La empresa promotora del estudio, IC Villar, como empresa puntera en el sector, cuenta con prestigiosas acreditaciones dentro del campo de la seguridad alimentaria, estando certificada tanto en IFS como en BRC, así como en gestión medioambiental, contando con certificado ISO 14001. IC Villar centra ahora su interés en la eficiencia energética, pensando en el desarrollo e implantación de un sistema de gestión de la energía con el fin último de conseguir la acreditación en ISO 50001.

La empresa promotora del estudio IC Villar, tras un análisis por parte del departamento de gestión de la misma, determina el área energética como una de las áreas a desarrollar en una búsqueda de ahorro económico que mejore su desempeño y competitividad en un sector cada día más duro.

Como labor adicional al trabajo ya realizado por el departamento de mantenimiento industrial, el técnico propone a la empresa el desarrollo de este estudio como posible medida de ahorro y eficiencia.

El estudio pretende analizar las instalaciones actuales de la EDAR, identificar posibles áreas de mejora, y plantear alternativas o inversiones a llevar a cabo con la intención de mejorar el desempeño energético de la planta.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

# MATERIALES Y MÉTODOS

## 1. Inventario de equipos

El inventario de equipos de la explotación queda reflejado en la Tabla 4.

Se presentan como principales fuentes de consumo los sistemas de Bombeo, Pretratamiento, Tratamiento Biológico, y Fangos.

Una vez inventariados los equipos, se debe realizar una relación de las características generales de cada uno, consiguiendo la ficha técnica siempre que sea posible, en caso de no contar con la ficha técnica de los equipos, durante la auditoría se tomarán todos los datos necesarios para el cálculo del consumo de las placas identificativas de cada equipo.

Uno de los parámetros necesarios para el cálculo del consumo es el horario de funcionamiento de los equipos. Se ha tratado de conseguir una aproximación lo más realista posible de este horario basándose en la carga de trabajo y su distribución. Finalmente se realiza un ajuste del consumo calculado al consumo real, ya que las estimaciones del horario de funcionamiento siempre dejan un cierto error que debe ser corregido. En nuestro caso, dada la linealidad del proceso y siguiendo el consejo del técnico de mantenimiento de la instalación se ha estimado un tiempo de funcionamiento anual de 3120 horas, estimación que tras el cálculo y ajuste resultó ser bastante precisa, dado que el coeficiente de ajuste a la potencia facturada es de 1.11 dando un horario de funcionamiento de 3470 horas equivalentes.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

---

## 2. Equipación de la Instalación

A continuación se detallarán los equipos susceptibles de realizar un consumo energético presentes en la EDAR. Con todos ellos se ha realizado un inventario en el que vienen caracterizados por sistema al que pertenecen, potencia, coeficiente de potencia, y horas de funcionamiento.

### 2.1 Filtro rotativo

El filtro rotativo presente en la depuradora cuenta con una capacidad de 90m<sup>3</sup>/h. El paso establecido es de 1mm, por lo que retiene toda partícula superior a este tamaño. El equipo es autolimpiable por lo que el mantenimiento requerido es mínimo. El motor eléctrico encargado de accionar el filtro cuenta con una potencia de 370W.

### 2.2 Poceta de Bombeo

En la poceta de bombeo se cuenta con dos bombas sumergibles, y válvula antiretorno. La poceta se identifica como uno de los puntos problemáticos de la instalación dado que cabe la posibilidad de acumulación de productos en suspensión que terminen por saturar o reducir en sobremanera la capacidad de la poceta.

### 2.3 Unidad DAF pretratamiento

La unidad DAF del pretratamiento consta de una bomba de fangos para la eliminación del producto decantado (750W), una bomba de saturación, presuriza en un calderín aire hasta 6 bar, para generar las burbujas de aire a alta presión encargadas de arrastrar hasta superficie las grasas y productos coloidales susceptibles de flotar (7.5kW), y un motor eléctrico encargado de accionar el rascador de superficie (250W).

### 2.4 Balsa de Homogenización

La Balsa de Homogenización cuenta con una bomba (750W) y un agitador encargado de homogenizar el efluente accionado por un motor eléctrico de 15kW.

### 2.5 Selector

En el selector, la adición de oxígeno se realiza mediante la actuación de una soplante de canal lateral (5.5kW) con una capacidad de 170m<sup>3</sup>/h de aire presurizado que será liberado por los difusores de burbuja gruesa.

### 2.6 Balsa de Desnitrificación

En la balsa de desnitrificación se cuenta con un agitador de alta velocidad (2.9kW) con el fin de evitar la decantación de los sólidos suspendidos, así como un agitador de flujo empleado para conseguir la altura suficiente para la recirculación del flujo desde la balsa de aireación a la balsa de desnitrificación (flujo inverso). El flujo desde la balsa de desnitrificación a la balsa de aireación se realiza por diferencias de nivel.

## **2.7 Balsa de Aireación**

En la balsa de aireación se encuentran dos aireadores de superficie de gran potencia, 37kW cada uno. Estos aireadores cuentan con una tubería por la que generan una succión de la parte baja de la balsa, y realizan la descarga a una escasa distancia sobre la lámina de agua consiguiendo la aireación de la mezcla disminuyendo la formación de espumas y olores.

Tras la balsa de aireación actúa un dosificador de polielectrolito, un compuesto de acción floculante. El dosificador presenta una potencia eléctrica de 550W.

## **2.8 Unidad DAF**

Previa a la unidad DAF se encuentra una bomba de efluente (2200W). De forma similar a la unidad DAF descrita previamente, esta unidad cuenta con una bomba de fangos (750W) encargada de evacuar los fangos decantados, una bomba de saturación para la formación de burbujas (7500W), y un rascador de superficie accionado por un motor eléctrico (250W).

## **2.9 Tanque de Fangos**

El tanque de fangos cuenta con un aireador del tanque de fangos (1500W), así como una bomba de fangos (750W) que impulsa los fangos hasta la centrífuga (25kW) equipo encargado de disminuir el contenido en humedad de los fangos de la depuración.

## **2.10 Iluminación**

Por último, y para completar el inventario, encontramos los equipos de luminarias fluorescentes 2x58W presentes en la nave en la que se encuentran las unidades DAF.

---

## 3. Proceso de la EDAR

### 3.1 Pretratamiento

En primer lugar, el agua residual procedente tanto de matadero como de la fábrica de embutidos y jamones pasa por una reja de desbaste y un filtro rotativo con el fin de eliminar las partículas sólidas de un tamaño superior a 1 mm. Tras esta etapa de filtrado, el agua residual pasa a la poceta de bombeo donde se impulsa el fluido hasta una unidad de desarenación-flotación (unidad DAF), en la que se eliminan tanto posibles sólidos en suspensión que decantarán al fondo, como grasas que serán eliminadas por una rasqueta en superficie, ya que mediante la inyección de burbujas de aire se fuerza su flotación. Tras estas dos etapas de pretratamiento físico, el agua residual pretratada pasa a una balsa de homogenización.

### 3.2 Tratamiento

Tras completar el proceso de pretratamiento, el agua a tratar pasa de la balsa de homogenización al selector, una balsa de menor tamaño en la que se busca crear condiciones idóneas para maximizar el crecimiento de bacterias floculantes, manteniendo el crecimiento de las bacterias filamentosas. En esta balsa se lleva a cabo la adición de cloruro férrico con el fin de llevar a cabo una desfosfatación del efluente mediante la precipitación del fosfato férrico formado.

Tras el selector el flujo pasa a la balsa de desnitrificación, donde, en un ambiente anóxico, a través del tratamiento biológico se consigue la reducción de los nitratos a nitrógeno gas. Para conseguir una eliminación equilibrada de nitrógeno y DQO/DBO el flujo se recircula entre la balsa anóxica y la balsa de aireación.

La balsa de aireación es la zona óxica de la fase de nitrificación-desnitrificación y del tratamiento biológico, en la que las bacterias se encargan de reducir los valores de la DQO y oxidar los compuestos de nitrógeno a nitratos.

Una vez el flujo deja atrás la balsa de aireación se dosifica un floculante para maximizar la eficiencia del decantado que se producirá en la unidad DAF presente a continuación.

El proceso completo es descrito en la figura 9.

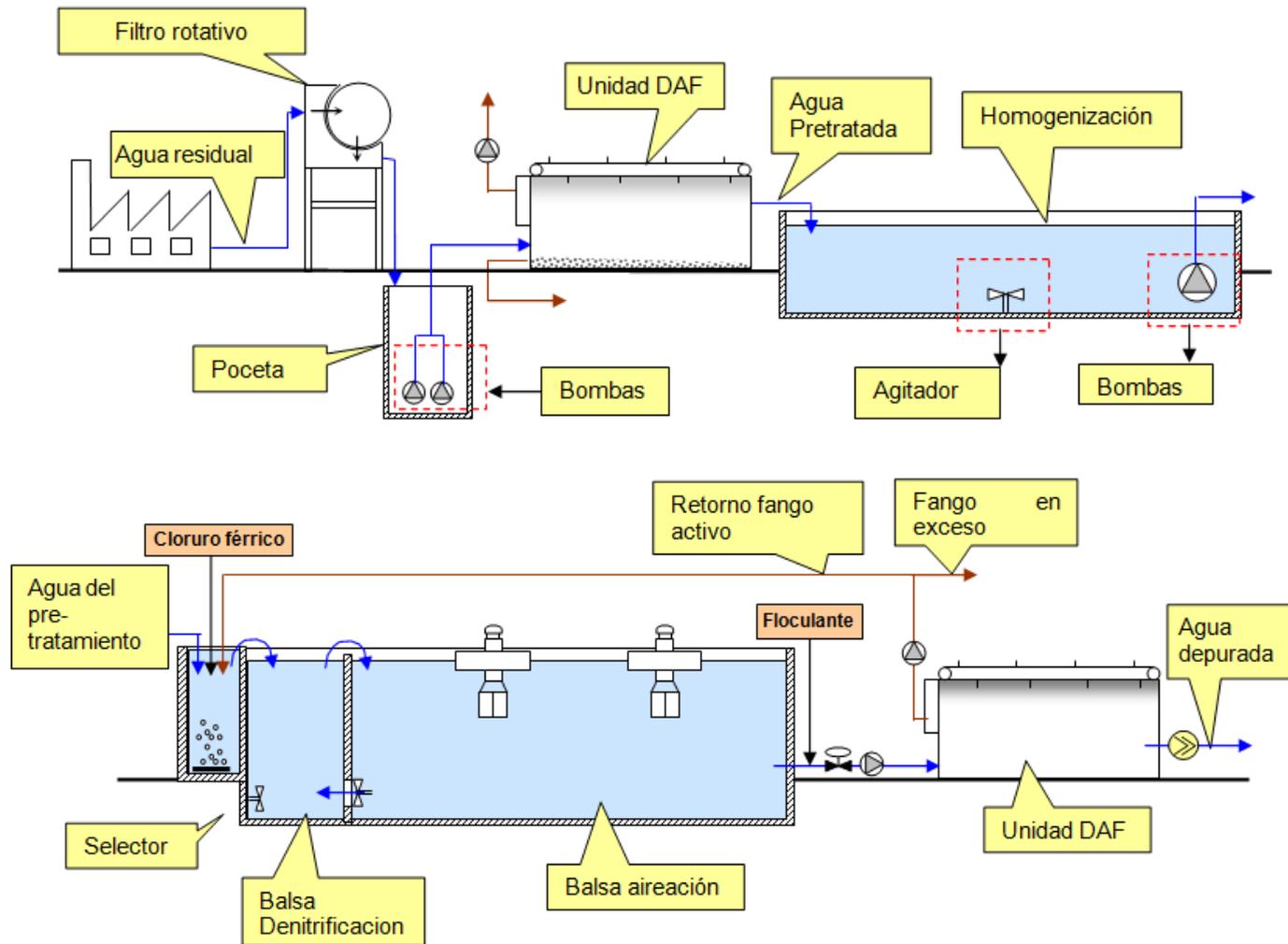


Figura 9. Esquema de Proceso de la EDAR. Fuente: Elaboración Propia

## 4. Efluente

El efluente que llega a la EDAR reúne las aguas residuales tanto del matadero como de la fábrica de embutidos y jamones, y tras ser procesado por la EDAR es vertido de vuelta al curso fluvial más próximo, siendo este el río Mazos, dentro de los parámetros establecidos por la normativa de vertidos de aguas residuales.

El efluente viene caracterizado en las tablas 2 y 3, los datos proceden del análisis del efluente realizado previamente a la construcción de la depuradora.

Tabla 2. Caracterización del Efluente.

| Tipo de industria                            | Procesado de porcino |
|----------------------------------------------|----------------------|
| Tiempo de procesado                          | 8 h/día              |
| Suministro agua residual (incluido limpieza) | 12 h/día             |
| Días de producción                           | 5                    |
| Temperatura ambiente                         | 5 < t < 35 °C        |
| Altura sobre el nivel del mar                | < 1100 m             |

Tabla 3. Caracterización del Efluente. Análisis Químico

|                                | Concentración máxima          | Carga máxima |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> | 2450 mg/l                     | 1700 kg/día  |
| DQO                            | 4285 mg/l                     | 3000 kg/día  |
| NTK                            | 215 mg/l                      | 150 kg/día   |
| NO <sub>3</sub>                | 40 mg/l                       | 30 kg/día    |
| Aceites y grasas libres        | 1000 mg/l                     | 700 kg/día   |
| SS                             | 2300 mg/l                     | 1620 kg/día  |
| Cloruro                        | 250 mg/l                      | 180 kg/día   |
| Fósforo total                  | 30 mg P/l                     | 20 kg/día    |
| Alcalinidad                    | > 100 mg CaCO <sub>3</sub> /l |              |
| Temperatura del agua           | 17 < t < 35                   |              |
| pH                             | 6 – 9                         |              |

Fuente: Archivo de IC VILLAR

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

## 5. Proceso del Biodigestor

Dado que se va a estudiar la instalación de un reactor de digestión anaerobio, se procede a describir el proceso biológico del mismo:

### 5.1 Hidrólisis

Proceso por el cual los compuestos orgánicos complejos sufren la ruptura de sus estructuras por acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. El proceso de hidrólisis es un proceso complejo, y que supone el cuello de botella en la mayoría de los procesos de digestión biológica, su eficiencia depende de la temperatura, el tiempo de retención hidráulico, pH y composición del sustrato, así como del tamaño de partícula del mismo.

Durante este proceso, los carbohidratos de cadena larga son descompuestos en azúcares de cadena corta por acción de hidrolasas, las proteínas son descompuestas en aminoácidos por acción de las proteasas, y las grasas se descomponen en ácidos grasos por acción de lipasas. Dentro de estos grupos, *Firmicutes*, y *Chloroflexi* son dos familias de bacterias comunes, que realizan una eficiente labor de hidrolización.

### 5.2 Acidogénesis

En esta fase, los productos resultantes de la fase anterior son utilizados por bacterias acidogénicas, que pueden ser anaerobias estrictas o facultativas, para dar lugar a ácidos orgánicos volátiles (acetato, butirato, propirato). Parte de los compuestos resultantes de esta fase como acetatos e hidrógeno pueden ser empleados directamente por bacterias metanogénicas.

### 5.3 Acetogénesis

Durante la fase de Acetogénesis, los compuestos resultantes de la fase anterior son empleados por bacterias acetogénicas para dar lugar a compuestos orgánicos más sencillos como acetatos e hidrógeno.

### 5.4 Metanogénesis

La fase final del proceso, a partir de la cual se genera metano a través de dos vías diferenciadas, la vía acetoclástica, y la vía hidrogenófila. Esta fase es llevada a cabo por bacterias del dominio *Archaea*, que presentan características muy diferenciadas del resto de bacterias en el proceso.

Dado nuestro residuo a digerir, hemos de ser cuidadosos con el pH, ya que este parámetro es determinante en el equilibrio dinámico entre el amonio y el amoniaco, siendo este último un compuesto inhibidor de la digestión anaerobia, especialmente de la fase de Metanogénesis por su ruta acetoclástica. Últimos estudios proponen la adaptación a este efecto de inhibición por una sustitución de las bacterias metanogénicas acetoclásticas por microorganismos sintróficos. Estos microorganismos presentan un tiempo de duplicación de 28 días, por lo que los reactores que pretendan desarrollar actividad sintrófica deben presentar tiempos de retención hidráulica superiores a los 41 días, lo que si bien nos aporta mayor flexibilidad en la alimentación del digestor (aumenta porcentaje de alimentación de residuos procedentes del matadero), resta capacidad de tratamiento total, y no presenta un aumento de la producción de biogás que justifique esta ampliación de la duración del ciclo.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

## 6. Residuos

Con el biodigestor no solo se pretende dar salida a los fangos generados en el proceso de depuración, sino realizar codigestión de residuos procedentes de las explotaciones de cebo porcino propiedad del promotor del estudio presentes en el mismo municipio, así como de los procedentes de la explotación cerealista asociada en la autorización ambiental integrada (AAI) de las explotaciones porcinas.

Se opta por la codigestión de residuos ya que el volumen de fangos producido diariamente no justifica la instalación de este dispositivo por sí solo, pero si aportamos los residuos anteriormente mencionados se puede obtener una producción de biogás que revierta la balanza energética de la EDAR, pasando de ser consumidor neto, a productor de energía.

Antes de comenzar con los cálculos del biodigestor, se ha de caracterizar los residuos a digerir, comenzando por los fangos de la depuradora, el volumen de producción de los mismos se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 24. Producción de fango de depuración mensual. Elaboración Propia

|              | Producción fango (m3) | Media diaria |        |
|--------------|-----------------------|--------------|--------|
| ENERO        | 174                   | 5,60         | 49,72% |
| FEBRERO      | 137                   | 4,91         |        |
| MARZO        | 166                   | 5,37         |        |
| ABRIL        | 157                   | 5,22         |        |
| MAYO         | 154                   | 4,97         |        |
| JUNIO        | 144                   | 4,81         |        |
| JULIO        | 161                   | 5,20         | 50,28% |
| AGOSTO       | 166                   | 5,36         |        |
| SEPTIEMBRE   | 154                   | 5,12         |        |
| OCTUBRE      | 165                   | 5,33         |        |
| NOVIEMBRE    | 147                   | 4,90         |        |
| DICIEMBRE    | 150                   | 4,83         |        |
| <b>TOTAL</b> | <b>1.875</b>          | <b>5,14</b>  |        |

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

Los principales parámetros de interés que caracterizan a los residuos para el proceso de digestión anaerobia son, el porcentaje de Materia Seca, el porcentaje de Sólidos Volátiles, la Relación C:N que presenta el residuo en su composición, y la degradabilidad o ratio de conversión a biogás (m<sup>3</sup> biogás/kg SV digerido), y se proceden a exponer:

Tabla 25. Caracterización de Residuos.

| Fangos                      |        |                              |        |
|-----------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Materia Seca ST (%)         | 49,54% | Sólidos Volátiles (%)        | 80,80% |
| Temperatura media soria     | 11     | °C                           |        |
| Producción diaria fangos    | 5,14   | m <sup>3</sup> /dia          |        |
| Ratio conversion            | 0,40   | m <sup>3</sup> biogas /kg SV |        |
| Producción Biogas digestión | 822,18 | m <sup>3</sup> /dia          |        |
| Relación C:N                | 5,32   |                              |        |

Datos obtenidos de 1. Liangliang Wei et. al. (2019) "Optimization of the co-digestion of sewage sludge, maize straw and cow manure: microbial responses and effect of fractional organic characteristics"

Tabla 26. Caracterización de Residuos.

| Purin                       |        |                              |        |
|-----------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Materia Seca ST (%)         | 30,94% | Sólidos Volátiles (%)        | 81,70% |
| Temperatura media soria     | 11     | °C                           |        |
| Producción diaria           | 2,50   | m <sup>3</sup> /dia          |        |
| Ratio conversion            | 0,35   | m <sup>3</sup> biogas /kg SV |        |
| Producción Biogas digestión | 221,18 | m <sup>3</sup> /dia          |        |
| Relación C:N                | 13,00  |                              |        |

Datos obtenidos de Jing Ninget. al. (2019) "Simultaneous biogas and biogas slurry production from co-digestion of pig manure and corn straw: Performance optimization and microbial community shift"

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

Tabla 27. Caracterización de Residuos.

| Paja Cereal                 |        |                              |        |
|-----------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Materia Seca ST (%)         | 86,00% | Sólidos Volátiles (%)        | 92,00% |
| Temperatura media soria     | 11     | °C                           |        |
| Producción diaria           | 2,10   | m <sup>3</sup> /día          |        |
| Ratio conversion            | 0,30   | m <sup>3</sup> biogas /kg SV |        |
| Producción Biogas digestión | 497,48 | m <sup>3</sup> /día          |        |
| Relación C:N                | 90,00  |                              |        |

La provisión de purines viene dada por las naves de porcino de la compañía, se provee de una cuba de 20 m<sup>3</sup> y se abastece cada 8 días.

La provisión de paja de cereal viene dada por la explotación cerealista asociada a las explotaciones ganaderas, y aunque se calcula una producción diaria de 2,1 m<sup>3</sup>, esta viene dada por el almacenamiento de la producción de 300 hectáreas, a una producción media de 900 kg por hectárea y año, contemplando un factor de ocupación de la tierra del 0,85, ya que no todas las parcelas están en producción cerealista a la vez. La densidad con la que se calcula el volumen de paja disponible es de 300 kg/m<sup>3</sup>.

Con el fin de evitar inhibiciones de la digestión se calcula la mezcla a aportar al biodigestor teniendo en cuenta la relación carbono nitrógeno de cada uno de los residuos y fijando una relación C:N de la mezcla de 25. De este cálculo obtenemos que la mezcla a aportar al digestor para consumir en su totalidad los fangos y los purines requiere de 0,9340 m<sup>3</sup> de paja de cereal, quedando un volumen de alimentación total de 8,57 m<sup>3</sup> de mezcla al día.

Al consumirse únicamente parte de la producción de paja de la explotación, quedan a disposición de la compañía, ya sea para emplear como aporte al suelo, o para su venta, 424,08 m<sup>3</sup> de paja.

---

## 7. Cálculo del Biodigestor

Se proyecta un biodigestor de mezcla completa como etapa final de la línea de fangos de la EDAR. Se opta por un biodigestor de mezcla completa en rango mesófilo (operación a 35°C) dado que en las latitudes en las que nos encontramos es la tecnología más sencilla, fiable y barata disponible.

A continuación se procede a especificar los cálculos realizados tanto para el dimensionado del digestor como el de los equipos auxiliares.

### 7.1 Biodigestor

El volumen alimentado diariamente al digestor es de 5.14 m<sup>3</sup> de fangos de la EDAR, 2,5 m<sup>3</sup> de purines, y 0,9340 m<sup>3</sup> de paja de cereal. El volumen total del biodigestor se calcula como el producto del volumen total de mezcla alimentado diariamente al digestor, el tiempo de residencia hidráulica (21 días), y un factor de sobredimensionamiento espacial debido al volumen de biogás producido estimado en 1.4. Con estos datos, obtenemos un digestor de 251,93 m<sup>3</sup>. Las dimensiones del mismo serán:

Altura del cilindro = 4,5 m

Altura del casquete = 1 m

Diámetro = 6,2 m

Obteniéndose un coeficiente de esbeltez de 0.73, algo superior al 0.5 recomendado, pero aceptable.

### 7.2 Tanque de acumulación

El tanque de acumulación es un depósito cuyo objetivo es el de conseguir el mezclado de los cosustratos antes de proceder a la alimentación del digestor. El volumen requerido para este tanque se calcula como el volumen de alimentación diaria del digestor, por el tiempo de retención hidráulica y un factor de sobredimensionamiento espacial del 25%, obteniéndose así un volumen de 224,94 m<sup>3</sup>.

### 7.3 Tuberías

Para el cálculo de tuberías necesitamos conocer el caudal de alimentación. Como se conoce dicho caudal de forma diaria, no hay más que pasarlo a m<sup>3</sup>/s obteniéndose un caudal de  $3,1 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s. Conociéndose el caudal y la velocidad de flujo, se puede calcular la sección de la tubería, y por lo tanto el diámetro. Dada una velocidad de flujo de 0,6m/s el diámetro de la tubería necesario es de 0,0455m, cuando buscamos el diámetro comercial superior más próximo, se obtiene que las tuberías deberán ser de 2".

---

#### 7.4 Gasómetro

El dimensionado del gasómetro viene en relación directa al volumen del digestor. Normalmente se suele emplear una relación de volúmenes de 1:1 por lo que el tamaño del gasómetro será de 252 m<sup>3</sup>.

#### 7.5 Equipos de Bombeo

El dimensionado del equipo de bombeo se realiza en función de la densidad del fluido, el caudal, y la altura de elevación requerida. La potencia requerida se obtendrá como el producto de la densidad del fluido, por la altura de elevación, por el caudal, por la aceleración de la gravedad, dividido la eficiencia de la bomba, obteniéndose un valor de 0,023 kW por lo que se opta por una bomba de 0,15 kW.

#### 7.6 Agitadores

El dimensionado de la potencia requerida por los agitadores viene dado por una relación entre la potencia y el volumen del digestor que habitualmente se fija en 5 W por cada m<sup>3</sup> de biodigestor. Dado nuestro digestor de 252 m<sup>3</sup> obtenemos una potencia requerida por los agitadores de 1,25 kW por lo que se opta por un agitador de 2,5 kW de potencia.

Hay que resaltar que el grado de agitación del sustrato en el digestor, tiene gran influencia en la eficiencia de las fases de hidrólisis y Acidogénesis, y por tanto, en la productividad de biogás.

#### 7.7 Aprovechamiento

Actualmente la fábrica de jamones y embutidos cuenta con un motor de gas en régimen de cogeneración alimentado por metano. Dicho motor de gas es un motor de combustión interna, configuración de 12 cilindros en V a 45° y una cilindrada de 86 l, cada bancada de cilindros cuenta con un equipo turbocompresor que se encarga de aumentar hasta 19,2 bares la presión de admisión, la inyección se realiza mediante dos inyectores por cilindro, y la ignición mediante sistema twin-spark de dos bujías por cilindro. El motor es capaz de prestar una producción en régimen estacionario de hasta 2MW.

Este motor admite alimentación de biogás como combustible, por lo que no sería necesario realizar ninguna modificación, adaptación o sustitución de equipos.

Dado que la producción calculada es superior a la potencia actual del motor, sería necesario realizar la instalación de otro motor para conseguir aprovechar el biogás producido en su totalidad.

---

## 8. Balance Energético del Biodigestor

Para calcular el balance energético del biodigestor hay que tener en cuenta tanto el balance de energía térmica como el balance de energía eléctrica.

Para calcular el balance de energía térmica, en primer lugar procederemos a calcular las necesidades energéticas del digestor. Dentro de las necesidades energéticas podemos distinguir entre el calor requerido para adecuar la temperatura del material alimentado al digestor a temperatura mesófila, y el calor requerido para compensar las pérdidas de temperatura del digestor.

En el primer caso, obtendremos dicha necesidad energética como el producto del gradiente térmico entre la temperatura de operación del reactor y la temperatura media de Los Rábanos, el volumen de alimentación diaria del digestor, el poder calorífico de la mezcla, que podemos aproximar al del agua dado su alto contenido en humedad.

En el segundo caso, obtenemos las pérdidas energéticas del digestor como el producto entre el coeficiente de transferencia de calor de cada superficie del digestor (suelo, pared lateral, y casquete superior) el área correspondiente a cada superficie, y el gradiente térmico entre la temperatura media de Los Rábanos y la temperatura de operación del digestor.

La producción de energía térmica la obtendremos como el producto del volumen de biogás producido por el poder calorífico del biogás, por una eficiencia estimada del 50% del motor de combustión.

De este modo, las necesidades térmicas son 239,93 kWh/día en calentar el sustrato y 111,68 kWh/día en pérdidas energéticas. La producción de energía térmica sería de 4.427,72 kWh/día. Por lo que el balance de energía térmica queda en 4.076,1 kWh/día en positivo, el cual podría ser empleado tanto para requerimientos de calor en calefacción, en agua de limpieza y proceso, o necesidades energéticas de proceso como los secaderos de la fábrica.

Para calcular el balance de energía eléctrica obtendremos las necesidades eléctricas del biodigestor como la suma de los consumos realizados por los equipos auxiliares de bombeo y agitación.

La producción de energía eléctrica se calculará como en producto del volumen de biogás producido por el poder calorífico del biogás, por una eficiencia estimada del grupo generador de 0,33.

De esta forma el consumo de energía eléctrica de los equipos auxiliares del digestor sería de 99,6 kWh día, la energía producida es de 2.922,3 kWh/día, obteniéndose un balance de energía eléctrica de 2.858,7 kWh/día en positivo. El cual podría ser utilizado tanto para suplir las necesidades energéticas de la fábrica, como para su venta e inyección a red, en función claro esta de las necesidades del momento y del precio de la energía dado por el OMIE.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

---

## 9. Estudio de la explotación

### 9.1 Facturas

Una vez recibidos los datos de facturas, ya sea a través del CUPS, o de las facturas físicas de la empresa eléctrica suministradora, se realiza una comprobación y desglose de cargos, por los que se estudiará término de potencia, energía consumida, y reactiva consumida, así como impuestos y otros cargos. En esta evaluación no se llevará a cabo un estudio de proveedores, simplemente se procederá al análisis de la factura, estableciendo posibles mejoras en el ajuste de potencia contratada, así como dimensionamiento de equipos capacitores con el fin de compensar el factor de potencia y evitar las penalizaciones por consumo de energía reactiva.

Se estudia también si la tarifa a la que están sujetos es la más adecuada, en este caso, tarifa 6.1B, que implica facturación de la potencia y energía dividida en seis periodos, siendo siempre  $P6 > 450$  kW.

Así pues, se calcula el precio del kWh como el importe facturado entre el consumo total, y se empleará este valor de referencia para el cálculo de cada una de las mejoras de ahorro y eficiencia. Una vez realizado este estudio se obtienen las tablas 5-7 y se genera el gráfico de la figura 1.

Una vez conocemos en profundidad los datos que nos proporciona la factura eléctrica, podemos realizar una comparación rápida de la potencia contratada con la evolución de los máxímetros, lo que nos permite plantear un ajuste rápido de potencia contratada, que luego será desarrollado en una de las MAES. Esta comparación se realiza a partir de la tabla 8. Empleando los gráficos de las figuras 2-4 para realizar una visualización gráfica de estos datos.

De este breve estudio concluimos que la potencia contratada más adecuada para la instalación actual es 110 kw, sin embargo, posteriormente se estudiará con mayor exactitud, pues la acción de otras mejoras de ahorro y eficiencia pueden tener efectos sinérgicos y conseguirse una reducción de la potencia necesaria. Hemos de tener en cuenta que este estudio se hace en base únicamente a los datos de la factura, no se ha cruzado todavía con los datos obtenidos del inventario de equipos.

Se observa también la existencia de recargos por excesos en consumo de energía reactiva, lo cual dará lugar al estudio en una mejora de ahorro y eficiencia más adelante de la instalación de equipos capacitores con el fin de compensar el coeficiente de potencia y eliminar estos excesos.

Este estudio preliminar también nos permite fijar un precio del kWh total, sobre el cual calcularemos la viabilidad económica de las MAES, basada en la factura anual, siendo este precio de 0.1354 €/kWh.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

---

## 9.2 Estudio y corrección del inventariado

Una vez conocida la potencia y las unidades de cada equipo, se calcula la potencia total del mismo, y con este dato y las horas de funcionamiento, se calcula el consumo tal que:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \times \text{Horas de Funcionamiento}$$

Por lo que conocidos todos estos factores, calculamos el consumo total de la explotación, que, como es lógico, dicho valor obtenido diferirá en mayor o menor medida con el valor facturado en función de la exactitud de nuestro cálculo de horarios de funcionamiento. Por lo cual, para obtener un valor realista del consumo de cada equipo, se ajustan las horas de funcionamiento mediante un factor corrector que relaciona consumo facturado con consumo calculado.

## 9.3 Agrupación de consumos por sistemas

Una vez corregido el consumo, se realiza la sectorización de los consumos obteniéndose la tabla 9 y la figura 5.

## 9.4 Cálculo de Ratios e Indicadores

El cálculo de ratios se realiza a partir de la tabla de datos 10, generándose las figuras 6 y 7.

## 9.5 Cálculo y proyectado de mejoras de ahorro y eficiencia

### 9.5.1 Sustitución de Motores eléctricos

Como primera medida de ahorro y energía se propone la sustitución de los motores eléctricos empleados en la actuación mecánica de los agitadores de la balsa de aireación, así como los empleados en los aireadores de la balsa de aireación por motores similares de una clase de eficiencia energética superior. Para llevar a cabo la sustitución de los equipos se empleará personal de mantenimiento propio de la empresa, así como útiles, equipos y herramientas, ya que actualmente se cuenta con ellos, y se aprovechará una de las revisiones de mantenimiento de carácter bianual a la que son sometidos dichos equipos. Las especificaciones de los motes empleados vienen detalladas en las tabla 11.

El factor de potencia de los motores de eficiencia energética IE3 viene dado por la tabla 12.

Mediante las siguientes formulas calculamos el ahorro que se consigue al pasar de motores IE2 presentes en la explotación, a una clase de eficiencia energética superior IE3:

$$\text{Ahorro} = CV \times 0,736 \times (1/\eta_{IE1} - 1/\eta_{IE2}) \times \text{Precio} \times t$$

$$\eta = (\text{Potencia mecánica}) / (\text{Potencia eléctrica absorbida}) = (\text{Potencia eléctrica absorbida} - \text{pérdidas}) / (\text{Potencia eléctrica absorbida})$$

Se realiza por tanto un estudio detallado del consumo, ahorro energético e inversión a realizar para cada cambio de motor en las tablas 13 y 14. Este cálculo se reproduce para el cambio de la totalidad de los motores de la explotación, obteniéndose la tabla 15

La inversión a realizar sería de 9.317€.

En este caso la reducción del consumo no viene dada por la reducción de la potencia del equipo nuevo frente al sustituido, sino por el mayor aprovechamiento de la energía. Los motores IE3 presentan menos pérdidas, por lo que requieren menos energía para realizar el mismo trabajo. Con estos datos la inversión se recuperaría en 5,68 años. En este caso no tiene sentido la comparación del periodo simple de retorno de la inversión frente a la vida útil, dada la longevidad de estos equipos.

### 9.5.2 MAE1. Sustitución de pantallas fluorescentes por LED

Como segunda medida de ahorro y energía se propone la sustitución de los fluorescentes de las naves por luminarias tipo LED. Se ha optado por tubos Phillips LED 2x22W o similares, realizándose una justificación económica del cambio en las Tablas 16 y 17.

La inversión a realizar sería de 2.501,20 €.

Como podemos observar, mediante esta medida de ahorro y eficiencia se consigue una reducción de la potencia necesaria de 0,77kW, lo que supondría una reducción del consumo de 2.665,11 kWh de forma anual. Con estos datos la inversión se recuperaría en 6,34 años, lo que supone una cifra esperanzadora, dado que con el horario de funcionamiento que tiene la explotación (3470 horas/año) y la vida útil de los equipos LED (50.000 horas) se calcula que la sustitución de los equipos se debería realizar a los 14 años.

### 9.5.3 Análisis de las facturas

Tras un primer análisis en base a los datos recogidos únicamente en las facturas facilitadas por el promotor se determinó que la potencia contratada más adecuada para la explotación eran 110kW, tras la realización del resto de mejoras de ahorro y eficiencia, se lleva a cabo una reducción de las necesidades de potencia de la explotación gracias al empleo de equipos más eficientes menor a 1kW, por lo que en este caso, se considera despreciable el efecto sinérgico, y se descarta realizar una corrección de los máxímetros y la potencia contratada.

Con esta simple acción no se produce una mejora del desempeño energético, ya que no se consigue ningún ahorro en el consumo energético, sin embargo se produce una mejora de la competitividad de la explotación, ya que lo que se consigue es un ahorro económico cuantificado en 1.920,30€ de forma anual.

Los cálculos siguientes se realizan en la tabla 18.

### 9.5.4 Compensación de la energía reactiva

La instalación de la EDAR genera un elevado consumo de potencia reactiva, principalmente debido a los arranques de los motores eléctricos de gran potencia.

En la tarifa 6.1B se considera un exceso de reactiva aquel consumo de energía reactiva (en kVArh) que exceda el 33% del consumo de energía activa (en kWh), es decir, aquel consumo de energía reactiva que haga que el  $\cos(\phi)$  sea menor que 0,95. Todo exceso de energía reactiva consumido se debe pagar a la compañía eléctrica como penalización.

En el caso de nuestra instalación, una vez obtenidos los datos de consumo horario por periodo de un año, se obtiene que el  $\cos(\phi)$  es de 0,93, por lo que se ha incurrido en un exceso de energía reactiva consumida de 50.423,83 kVArh suponiendo un coste de 2.079,04€. Con estos datos, se ha planteado la instalación de una batería de condensadores al frente de la instalación con el fin de compensar el factor de potencia hasta 0,96, para así tener un margen del 1%.

El trabajo de análisis de datos realizado para el cálculo de esta instalación se ha realizado con los datos de consumo de potencia tanto activa como reactiva en las 8760 horas del año. Se procederá a exponer una muestra, y explicar la manera de proceder para la realización de los cálculos con los datos horarios de un día en la tabla 19.

Los datos de Potencia activa, y Potencia Reactiva son obtenidos de la distribuidora eléctrica, por lo que basta con darles formato, y agruparlos de manera correcta para calcular los factores de potencia horarios. Se calcula el ángulo  $\phi$  como el arcotangente de la reactiva entre la activa, el factor de potencia es el coseno de  $\phi$ , y se empleará la media para calcular la corrección necesaria. Los datos de corrección de factor de potencia se obtienen de la tabla 20 deduciéndose que la corrección a realizar es de 0,134. Para asegurar un factor de potencia de 0,96 en todo momento se calcula la potencia que la batería de condensadores ha de ser capaz de suministrar como el producto entre la corrección a realizar y el máximo de los máxímetros. Tablas 21-22.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

# RESULTADOS

## 1. Biodigestor

En un primer momento se planteó la posibilidad de instalar un biodigestor con la idea de gestionar únicamente los fangos de la depuradora, pero el estudio reveló la imposibilidad técnica, ya que los requisitos energéticos de la operación del digestor no eran cubiertos por la producción de biogás que podría generar el tratamiento de los fangos. Por lo tanto, se optó por la codigestión de los fangos de la depuradora junto a purines de las naves de cebo porcino, y paja de cereal de las parcelas incluidas en la AAI de dichas explotaciones con la idea de compensar una relación carbono-nitrógeno muy baja debido a la alta aportación de nitrógeno de los residuos animales.

Una vez fijada la relación carbono nitrógeno ideal para la operación del biodigestor, se calcula a partir de esta las cantidades adecuadas de cada residuo. Al tener como premisa consumir en su totalidad los fangos producidos por la EDAR, así como la mayor carga posible de purines disponible, se obtiene que la alimentación del digestor se realizará con 5,14 m<sup>3</sup> de fangos y 2,5m<sup>3</sup> de purines, y la cantidad de paja necesaria para compensar la relación carbono nitrógeno es de 0,9340 m<sup>3</sup> por lo que el volumen total de alimentación diaria del digestor es de 8,57 m<sup>3</sup>.

Al consumirse únicamente parte de la producción de paja de la explotación, quedan a disposición de la compañía, ya sea para emplear como aporte al suelo, o para su venta, 424,08 m<sup>3</sup> de paja de forma anual.

Una vez calculado el volumen de alimentación diaria, y conociendo el tiempo de retención hidráulica y el factor de sobredimensionado, obtenemos que el biodigestor a instalar posee una capacidad de 251,93 m<sup>3</sup>. El volumen y dimensiones del mismo posibilitan su instalación en alguna de las parcelas adyacentes a la depuradora de las cuales dispone la compañía. Dichas parcelas se encuentran con una altura de cota menor al nivel del suelo de la E.D.AR lo que a su vez facilita el bombeo y transporte hasta el posible emplazamiento

Una vez calculado el volumen del digestor se procede a realizar el dimensionado de los equipos auxiliares:

El tanque de alimentación en el que se realizará el mezclado de los sustratos deberá tener una capacidad de 224,94 m<sup>3</sup>.

Las tuberías que alimentarán al biodigestor para una velocidad de flujo de 0,6m/s deberán presentar un diámetro comercial de 2”.

El gasómetro de la instalación debe ser capaz de albergar biogás por un volumen similar al volumen del digestor por lo que su capacidad será de 252 m<sup>3</sup>.

Los equipos de bombeo requeridos presentarán una potencia de 0,15 kW.

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

El agitador encargado de mantener el sustrato en movimiento con la intención de aumentar la cinética de las reacciones dentro del biodigestor deberá ser de 2,5 kW.

Finalmente, el aprovechamiento del biogás podrá ser realizado por el motor ya presente en la fábrica de jamones y embutidos, pero se requerirá de la instalación de otro motor adicional, ya que el actual no presenta potencia suficiente como para consumir todo el biogás producido en el biodigestor.

## 2. Diseño del Biodigestor

Tras la caracterización bibliográfica de los residuos a digerir, se procedió a una toma de muestras para realizar un estudio de degradabilidad. El estudio fue llevado a cabo por personal competente del departamento de calidad de IC Villar. El pequeño ensayo de biodegradabilidad se realiza únicamente con el fin de corroborar la información bibliográfica con la que se han llevado a cabo los cálculos del biodigestor.

El ensayo realizado tuvo una duración de 40 días, durante los cuales se estudió la producción de biogás, calculando posteriormente producción acumulada, y productividad.

Producción acumulada: nos da una idea del potencial de producción de biogás del sustrato, y mediante la misma podremos calcular ratios de degradabilidad y productividad.

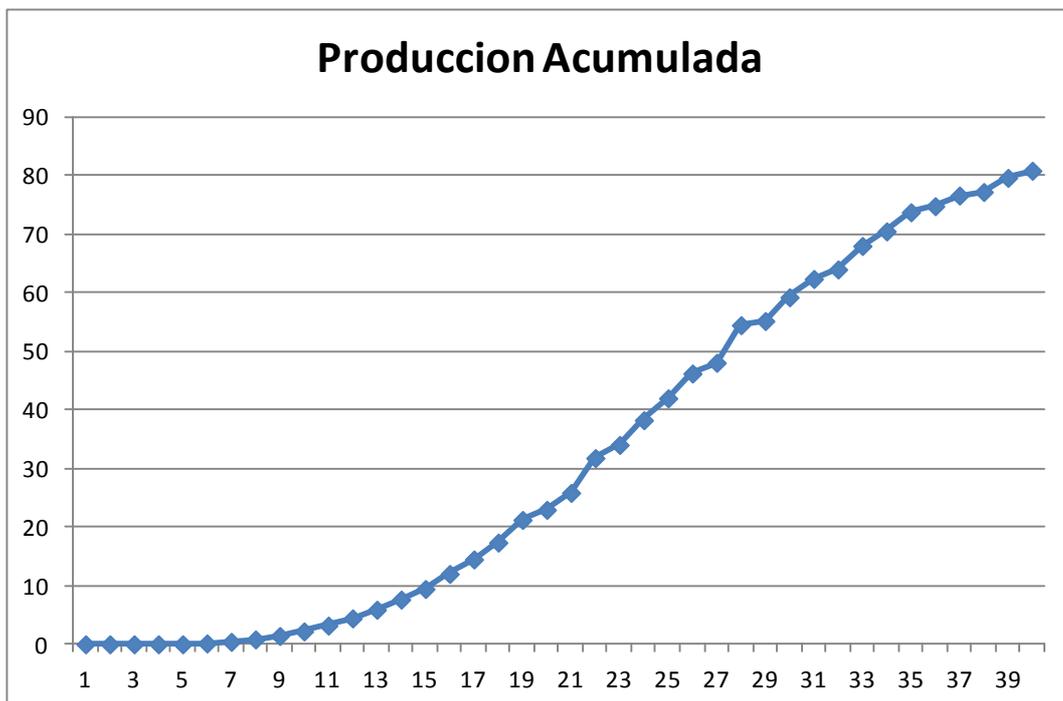


Figura 10. Producción Acumulada de Biogás. Elaborada por el departamento de calidad de IC Villar

Productividad: la productividad nos da una idea acerca del tiempo de retención hidráulica ideal para nuestro sustrato, de forma que aprovechemos al máximo su potencia producción de biogás pero acortemos lo máximo posible el ciclo, de forma que maximicemos la alimentación del digestor, aumentando la cantidad de residuo tratado.

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

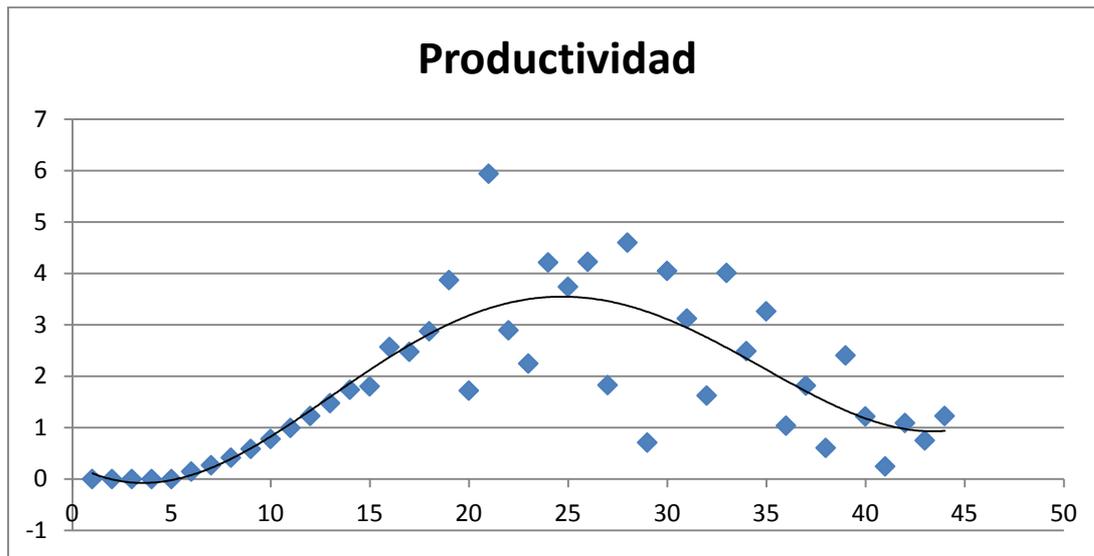


Figura 11. Productividad. Elaborada por el departamento de calidad de IC Villar

### 3. Balance Energético

La viabilidad técnica de la instalación se evalúa con la realización de los balances energéticos de la misma, tanto en energía térmica como energía eléctrica.

Para calcular el balance de energía térmica, en primer lugar procederemos a calcular las necesidades térmicas, entre las cuales distinguimos 239,93 kWh/día en calentar el sustrato y 111,68 kWh/día en pérdidas energéticas.

La producción de energía térmica de los motores al consumir el biogás sería de 4.427,72 kWh/día. Por lo que el balance de energía térmica queda en 4.076,1 kWh/día en positivo, el cual podría ser empleado tanto para requerimientos de calor en calefacción, en agua de limpieza y proceso, o necesidades energéticas de proceso como los secaderos de la fábrica.

Para calcular el balance de energía eléctrica se procede a realizar el sumatorio de los consumos realizados por todos los equipos auxiliares de la instalación. Con este balance se pretende evaluar la viabilidad de la instalación del biodigestor, no la independencia energética de la EDAR, por lo que los consumos eléctricos de la EDAR quedan excluidos.

De esta forma las necesidades eléctricas del biodigestor serían de 99,6 kWh día, la energía producida es de 2.922,3 kWh/día, obteniéndose un balance de energía eléctrica de 2.858,7 kWh/día en positivo. El cual podría ser utilizado tanto para suplir las necesidades energéticas de la EDAR, suplir las necesidades de la fábrica o como para su venta e inyección a red, en función claro esta de las necesidades del momento y del precio de la energía dado por el OMIE.

### 4. Estudio de la Explotación

El estudio de la factura energética de la explotación deja de manifiesto dos problemas o puntos sobre los que podemos actuar. En primer lugar, un sobredimensionamiento de la potencia contratada, por lo que se plantea una reducción de la misma hasta 110kW en los periodos de P1 a P5, y el mantenimiento de P6 en 451 kW (mínimo legal para acceder a la tarifa 6.1B). Esta actuación supone un ahorro de 1.920,30€ de forma anual sin suponer inversión alguna.

En segundo lugar, se evidencia la existencia de sobrecargos por consumo de energía reactiva, por lo que se realiza el dimensionado de una batería de condensadores el cual se representa en las siguientes tablas:

Tabla 21. Batería de Condensadores

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

| <b>BATERÍA DE CONDENSADORES</b>               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| cos(phi) promedio                             |            |
|                                               | 0,93615009 |
| Factor compensación (para cos(phi)=0,96)      |            |
|                                               | 0,134      |
| Potencia máxima de maxímetro (kW)             |            |
|                                               | 136        |
| Potencia de la batería de condensadores (kVA) |            |
|                                               | 18,224     |

Tabla 22. Batería de Condensadores. Estudio Económico

|              |          |       |
|--------------|----------|-------|
| Inversión    | 1.800,00 | €     |
| Ahorro anual | 2.079,04 | €     |
| PSRI         | 0,87     | años  |
| PSRI         | 10,39    | meses |

Tras el estudio del inventario de equipos realizados se plantean dos actuaciones con el fin de mejorar el desempeño energético de la instalación.

La primera actuación a realizar es la sustitución de los motores eléctricos responsables del accionamiento de agitadores y aireadores por motores similares de una clase energética superior. Esta sustitución genera un ahorro anual de 1.639,43 €. La inversión a realizar sería de 9.317€ por lo que sería amortizada en 5,68 años. Los motores eléctricos son equipos de una elevadísima fiabilidad por lo que la vida útil de estos equipos queda fuera de toda duda, por lo que se considera una inversión viable. Más aún si se realiza esta sustitución aprovechando alguna de las operaciones de mantenimiento preventivo o revisión de equipos.

La segunda actuación sería la sustitución de las luminarias presentes en la nave. Actualmente la iluminación se realiza con pantallas fluorescentes con una elevada potencia. La tecnología LED ofrece una luminosidad superior con una potencia muy inferior. Al reducir la potencia necesaria, dado que el factor de potencia en luminarias es similar, se reduce el consumo de energía, consiguiéndose un ahorro energético de 2.665,11 kWh lo que suponen 2.501,20 €. La amortización de los equipos se realizaría en 6,34 años, lo que, comparado con la vida útil del equipo (50.000 horas) siguiendo con el patrón de consumo actual (14 años) hacen de esta actuación una inversión aceptable.

Si se llevan a cabo todas las mejoras de ahorro y eficiencia propuestas conseguiría un ahorro total de 6.033,24 € anuales y un ahorro energético de 63.197,05 kWh. Para ello deberá invertir 13.618,20 € que recuperaría en forma de amortización simple de las mejoras de ahorro y eficiencia en torno a los 2 años. Hay que tener en cuenta que el ajuste de la potencia contratada es una mejora que no requiere inversión alguna, y que la compensación de la energía reactiva se recupera en menos de un año, por lo que bajo el criterio del técnico son medidas que se deberían ejecutar de inmediato. Estas mejoras quedan resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 23. Resumen MAES. Elaboración Propia.

|              |                                                   | Ahorro (kWh)     | Ahorro (€)      | PSRI        | Inversión        |
|--------------|---------------------------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------------|
| <b>MAE 1</b> | Sustitución de motores de Agitadores y Aireadores | 10.108,11        | 1.639,43        | 5,68        | 9.317,00         |
| <b>MAE 2</b> | Sustitución de luminarias fluorescentes           | 2.665,11         | 394,46          | 6,34        | 2.501,20         |
| <b>MAE 3</b> | Ajuste de Potencia contratada                     | 0,00             | 1.920,31        | 0,00        | 0,00             |
| <b>MAE 4</b> | Compensación de Energía Reactiva                  | 50.423,83        | 2.079,04        | 0,87        | 1.800,00         |
| <b>TOTAL</b> |                                                   | <b>63.197,05</b> | <b>6.033,24</b> | <b>2,26</b> | <b>13.618,20</b> |

# CONCLUSIONES

## 1. Biodigestor

La capacidad del digestor será de 251,93 m<sup>3</sup>. Siendo las dimensiones del mismo:

Altura del cilindro = 4,5 m

Altura del casquete = 1 m

Diámetro = 6,2 m

El balance energético del biodigestor viene dado tanto por el balance de energía térmica como de energía eléctrica.

Las necesidades térmicas son 239,93 kWh/día en calentar el sustrato y 111,68 kWh/día en pérdidas energéticas. La producción de energía térmica sería de 4.427,72 kWh/día. Por lo que el balance de energía térmica queda en 4.076,1 kWh/día en positivo, el cual podría ser empleado tanto para requerimientos de calor en calefacción, en agua de limpieza y proceso, o necesidades energéticas de proceso como los secaderos de la fábrica.

La producción de energía eléctrica se calculará como en producto del volumen de biogás producido por el poder calorífico del biogás, por una eficiencia estimada del grupo generador de 0,33.

De esta forma el consumo de energía eléctrica de los equipos auxiliares del digestor sería de 99,6 kWh día, la energía producida es de 2.922,3 kWh/día, obteniéndose un balance de energía eléctrica de 2.858,7 kWh/día en positivo. El cual podría ser utilizado tanto para suplir las necesidades energéticas de la fábrica, como para su venta e inyección a red, en función claro esta de las necesidades del momento y del precio de la energía dado por el OMIE.

Técnicamente, por tanto, es posible la instalación y operación no deficitaria del digestor.

## 2. Evaluación Energética

Tras realizar el estudio de la factura eléctrica de la instalación, el desembolso económico anual por necesidades energéticas de la instalación asciende a 62.588,49 €.

Como medidas de ahorro y eficiencia resultantes de este estudio obtenemos:

1. La sustitución de motores eléctricos de clase energética IE2 presentes en agitadores y aireadores por equipos de características similares pero clase energética IE3 genera un ahorro anual de 1.639,43 €. La inversión a realizar sería de 9.317€ por lo que sería amortizada en 5,68 años, plazo aceptable y muy inferior a la vida útil de los equipos. El ahorro viene dado por una menor necesidad de energía o tiempo de funcionamiento para conseguir el mismo grado de agitación, debido a una mejor conversión de la energía eléctrica en energía mecánica.
2. La sustitución de los fluorescentes de las naves por luminarias tipo consigue una reducción de la potencia necesaria de 0,77kW y una mejora sustancial de la iluminación de la instalación, lo que supondría una reducción del consumo de 2.665,11 kWh de forma anual, y una reducción de la factura eléctrica de 394,46 €. La inversión a realizar sería de 2.501,20 €, por lo que sería amortizada en 6,34 contando con un uso anual similar al actual. La vida útil sería de 14 años, por lo que se considera una inversión aceptable.
3. El estudio de la factura eléctrica pone de manifiesto un desajuste en la potencia contratada, por lo que se calcula el ahorro que supondría el ajuste de la misma. Esta acción no produce un ahorro energético, sin embargo se produce una mejora de la competitividad de la explotación, ya que lo que se consigue es un ahorro económico cuantificado en 1.920,30€ de forma anual. La amortización es inmediata, dado que no se requiere inversión, simplemente una llamada a la comercializadora con la cual se tiene contratado el servicio.
4. En el estudio de la factura eléctrica se observa una cuantía considerable en recargos por consumo de energía reactiva por lo que se procede al cálculo de una batería de condensadores con el objeto de compensar el factor de potencia y eliminar estos recargos. Tras este cálculo, se obtiene que la batería de condensadores debe ser de 18,2 KVA. El ahorro generado sería de 2.079,04 €, y la inversión a realizar 1.800 €, por lo que sería amortizada en menos de un año.

Finalmente si el promotor lleva a cabo todas las mejoras de ahorro y eficiencia propuestas conseguiría un ahorro total de 6.033,24 € anuales y un ahorro energético de 63.197,05 kWh. Para ello deberá invertir 13.618,20 € que recuperaría en forma de amortización simple en torno a los 2 años por lo que bajo el criterio del técnico son medidas que se deberían ejecutar de inmediato.

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

Podemos concluir por tanto, que la Estación de Depuración de Aguas Residuales de la Industria Cárnica IC Villar presenta un amplio margen de mejora de su desempeño energético, dejando a la elección del Promotor del Estudio la puesta en marcha de las mejoras de ahorro y eficiencia anteriormente descritas. En cuanto al estudio de implantación de un biodigestor con el objeto de gestionar los lodos de depuración y otros residuos de la compañía, se considera como una buena opción a tener en cuenta, dado que fomenta la independencia energética de la compañía. Queda pendiente la búsqueda de una empresa y presupuesto que se ajuste a las exigencias detalladas en el estudio de viabilidad económica para valorar la idoneidad de la inversión. Desde aquí, se agradece la colaboración de los departamentos de Ingeniería y Mantenimiento, y Calidad de IC Villar, sin la cual no hubiese sido posible el desarrollo de este trabajo.

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

# Anejo I: Tablas y Figuras

---

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

MASTER EN INGENIERÍA DE LA BIOENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD ENERGETICA

# ÍNDICE ANEJO I: Tablas

## Contenido

|               |    |
|---------------|----|
| TABLAS .....  | 3  |
| FIGURAS ..... | 17 |

## TABLAS

Tabla 4. Inventario de equipos

| INVENTARIO DE EQUIPOS |                     |          |                              |                        |
|-----------------------|---------------------|----------|------------------------------|------------------------|
| Ref                   | Ubicación           | Cantidad | Equipo                       | Potencia eléctrica (W) |
|                       | Bombeo              | 2        | Bombas Poceta                | 750                    |
|                       | Filtro Rotativo     | 1        | Motor Filtro Rotativo        | 370                    |
|                       | DAF 1               | 1        | Bomba Fangos DAF 1           | 750                    |
|                       | DAF 1               | 1        | Rascador DAF 1               | 250                    |
|                       | DAF 1               | 1        | Bomba Saturacion DAF 1       | 7500                   |
|                       | B. Homogenizacion   | 1        | Agitador B. Homogenizacion   | 15000                  |
|                       | B. Homogenizacion   | 1        | Bomba B. Homogenizacion      | 750                    |
|                       | Tanque Selector     | 1        | Soplante selector            | 5500                   |
|                       | B. Desnitrificacion | 1        | Agitador AV B. Denitrific    | 2900                   |
|                       | B. Desnitrificacion | 1        | Agitador flujo B. Denitrific | 1500                   |
|                       | B. Aireacion        | 2        | Aireadores                   | 37000                  |
|                       | Tanque Selector     | 1        | Dosificador Polielectrolito  | 550                    |
|                       | DAF 2               | 1        | Bomba a DAF 2                | 2200                   |
|                       | DAF 2               | 1        | Rascador DAF 2               | 250                    |
|                       | DAF 2               | 1        | Bomba Saturacion DAF 2       | 7500                   |
|                       | DAF 2               | 1        | Bomba Fangos DAF 2           | 750                    |
|                       | Tanque Fangos       | 1        | Aireador Tanque de Fangos    | 1500                   |
|                       | Tanque Fangos       | 1        | Bomba Fangos a Deshidratado  | 750                    |
|                       | Centrifuga          | 1        | Centrifuga (Deshidratado)    | 25000                  |
|                       | Luminarias          | 8        | Fluorescente 2x58W           | 140                    |

ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 5. Potencia contratada

| <b>ANÁLISIS DE LAS FACTURAS ELÉCTRICAS</b> |                      |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Periodo</b>                             | Desde                | 01-ene      | 01-feb      | 01-mar     | 01-abr     | 01-may     | 13-may     | 01-jun     | 12-jun     | 01-jul     | 01-ago     | 01-sep     | 01-oct     |            |
|                                            | Hasta                | 31-ene      | 28-feb      | 31-mar     | 30-abr     | 12-may     | 31-may     | 11-jun     | 30-jun     | 31-jul     | 31-ago     | 30-sep     | 31-oct     |            |
|                                            | Días                 | 31          | 28          | 31         | 30         | 12         | 19         | 11         | 19         | 31         | 31         | 30         | 31         |            |
| <b>Potencia contratada</b>                 | Contratada P1 (kW)   | 135         | 135         | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        |            |
|                                            | Contratada P2 (kW)   | 135         | 135         | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        |            |
|                                            | Contratada P3 (kW)   | 135         | 135         | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        |            |
|                                            | Contratada P4 (kW)   | 135         | 135         | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        |            |
|                                            | Contratada P5 (kW)   | 135         | 135         | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        | 135        |            |
|                                            | Contratada P6 (kW)   | 451         | 451         | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        |            |
|                                            | Facturada P1 (kW)    | 132         | 136         | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 116        | 114,75     | 114,75     | 114,75     |
|                                            | Facturada P2 (kW)    | 120         | 124         | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     |
|                                            | Facturada P3 (kW)    | 114,75      | 114,75      | 128        | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     |
|                                            | Facturada P4 (kW)    | 114,75      | 114,75      | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     |
|                                            | Facturada P5 (kW)    | 114,75      | 114,75      | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     | 114,75     |
|                                            | Facturada P6 (kW)    | 383,35      | 383,35      | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     |
|                                            | Precio P1 (€/kW día) | 0,091061704 | 0,091061704 | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  |
|                                            | Precio P2 (€/kW día) | 0,04557026  | 0,04557026  | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 |
|                                            | Precio P3 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                                            | Precio P4 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                                            | Precio P5 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                                            | Precio P6 (€/kW día) | 0,015216367 | 0,015216367 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 |
|                                            | Coste P1 (€)         | 372,6244932 | 346,7629692 | 323,929247 | 313,479916 | 125,391967 | 198,53728  | 114,942636 | 198,53728  | 327,457888 | 323,929247 | 313,479916 | 323,929247 | 162,104808 |
|                                            | Coste P2 (€)         | 169,5213682 | 158,2199437 | 162,104808 | 156,875621 | 62,7502484 | 99,35456   | 57,521061  | 99,35456   | 162,104808 | 162,104808 | 156,875621 | 162,104808 | 162,104808 |
|                                            | Coste P3 (€)         | 118,63381   | 107,1531187 | 132,332267 | 114,806913 | 45,9227651 | 72,7110448 | 42,095868  | 72,7110448 | 118,63381  | 118,63381  | 114,806913 | 118,63381  | 118,63381  |
|                                            | Coste P4 (€)         | 118,63381   | 107,1531187 | 118,63381  | 114,806913 | 45,9227651 | 72,7110448 | 42,095868  | 72,7110448 | 118,63381  | 118,63381  | 114,806913 | 118,63381  | 118,63381  |
|                                            | Coste P5 (€)         | 118,63381   | 107,1531187 | 118,63381  | 114,806913 | 45,9227651 | 72,7110448 | 42,095868  | 72,7110448 | 118,63381  | 118,63381  | 114,806913 | 118,63381  | 118,63381  |
|                                            | Coste P6 (€)         | 180,8290244 | 163,3294414 | 180,829024 | 174,99583  | 69,998332  | 110,830692 | 64,1651377 | 110,830692 | 180,829024 | 180,829024 | 174,99583  | 180,829024 | 180,829024 |
|                                            | Maxímetro P1 (kW)    | 132         | 136         |            |            |            |            |            |            | 104        | 116        |            |            |            |
|                                            | Maxímetro P2 (kW)    | 120         | 124         |            |            |            |            |            |            | 96         | 108        |            |            |            |
|                                            | Maxímetro P3 (kW)    |             |             | 128        |            |            |            |            | 88         | 84         |            |            | 88         |            |
|                                            | Maxímetro P4 (kW)    |             |             | 112        |            |            |            |            | 100        | 100        |            |            | 104        |            |
|                                            | Maxímetro P5 (kW)    |             |             |            | 108        | 104        | 108        |            |            |            |            |            |            | 112        |
|                                            | Maxímetro P6 (kW)    | 104         | 112         | 120        | 112        | 96         | 100        | 88         | 100        | 104        | 108        | 100        | 104        |            |
| Desvío de potencia (€)                     |                      |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| TOTAL (€)                                  | 1078,876316          | 989,7717103 | 1036,46297  | 989,772106 | 395,908842 | 626,855667 | 362,916439 | 626,855667 | 1026,29315 | 1022,76451 | 989,772106 | 1022,76451 |            |            |

ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 6. Consumo de Energía

|                        |                     |             |             |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------|---------------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Consumo energía</b> | Consumo P1 (kWh)    | 9714        | 10302       |            |           |            |            |            | 6035       | 12369      |            |            |            |
|                        | Consumo P2 (kWh)    | 16248       | 16475       |            |           |            |            |            | 6048       | 12780      |            |            |            |
|                        | Consumo P3 (kWh)    |             |             | 11983      |           |            |            | 2889       | 636        |            |            |            | 6767       |
|                        | Consumo P4 (kWh)    |             |             | 15769      |           |            |            | 6370       | 1396       |            |            |            | 15907      |
|                        | Consumo P5 (kWh)    |             |             |            | 21160     | 7141       | 13366      |            |            |            |            |            | 23081      |
|                        | Consumo P6 (kWh)    | 15621       | 13911       | 17415      | 13507     | 5222       | 9088       | 5234       | 8735       | 15578      | 34445      | 14643      | 14835      |
|                        | Consumo total (kWh) | 41583       | 40688       | 45167      | 34667     | 12363      | 22454      | 14493      | 22850      | 40727      | 34445      | 37317      | 37916      |
|                        | Precio P1 (€/kWh)   | 0,113901    | 0,113901    | 0,113901   | 0,113901  | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,10794    | 0,10794    |
|                        | Precio P2 (€/kWh)   | 0,092697    | 0,092697    | 0,092697   | 0,092697  | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,089995   | 0,089995   |
|                        | Precio P3 (€/kWh)   | 0,087726    | 0,087726    | 0,087726   | 0,087726  | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,085923   | 0,085923   |
|                        | Precio P4 (€/kWh)   | 0,07354     | 0,07354     | 0,07354    | 0,07354   | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,072203   | 0,072203   |
|                        | Precio P5 (€/kWh)   | 0,07045     | 0,07045     | 0,07045    | 0,07045   | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,06911    | 0,06911    |
|                        | Precio P6 (€/kWh)   | 0,05871     | 0,05871     | 0,05871    | 0,05871   | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    |
|                        | Coste P1 (€)        | 1106,434314 | 1173,408102 | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 687,392535 | 1408,84147 | 0          | 0          | 0          |
|                        | Coste P2 (€)        | 1506,140856 | 1527,183075 | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 560,631456 | 1184,66766 | 0          | 0          | 0          |
|                        | Coste P3 (€)        | 0           | 0           | 1051,22066 | 0         | 0          | 0          | 253,440414 | 55,793736  | 0          | 0          | 581,440941 | 0          |
|                        | Coste P4 (€)        | 0           | 0           | 1159,65226 | 0         | 0          | 0          | 468,4498   | 102,66184  | 0          | 0          | 1148,53312 | 0          |
|                        | Coste P5 (€)        | 0           | 0           | 0          | 1490,722  | 503,08345  | 941,6347   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 1595,12791 |
|                        | Coste P6 (€)        | 917,10891   | 816,71481   | 1022,43465 | 792,99597 | 306,58362  | 533,55648  | 307,28814  | 512,83185  | 914,58438  | 2022,26595 | 859,69053  | 870,96285  |
|                        | Descuento (%)       |             |             |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |
| TOTAL (€)              | 3529,68408          | 3517,305987 | 3233,30757  | 2283,71797 | 809,66707 | 1475,19118 | 1029,17835 | 1919,31142 | 3508,09351 | 2022,26595 | 2589,66459 | 2466,09076 |            |

ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 7. Consumo de Energía Reactiva y Facturación

|                 |                         |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Reactiva</b> | Consumo P1 (kVArh)      | 3852        | 2982        | 3353       |            |            |            | 2068       | 3982       |            |            |            |            |
|                 | Consumo P2 (kVArh)      | 2259        | 5149        | 5248       |            |            |            | 1753       | 4406       |            |            |            |            |
|                 | Consumo P3 (kVArh)      |             |             |            | 3464       |            |            | 1627       | 525        |            |            | 3731       |            |
|                 | Consumo P4 (kVArh)      |             |             |            | 4873       |            |            | 1993       | 408        |            |            | 4447       |            |
|                 | Consumo P5 (kVArh)      |             |             |            | 0          | 2163       | 3886       |            |            |            |            | 6025       |            |
|                 | Consumo P6 (kVArh)      | 10090       | 6180        | 6906       | 4260       | 4688       | 2965       | 5812       | 1305       | 9270       | 14858      | 7114       | 8130       |
|                 | Exceso P1 (kVArh)       | 646,38      | 0           | 3353       | 0          | 0          | 0          | 0          | 76,45      | 0          | 0          | 0          | 0          |
|                 | Exceso P2 (kVArh)       | 0           | 0           | 5248       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 188,6      | 0          | 0          | 0          |
|                 | Exceso P3 (kVArh)       | 0           | 0           | 0          | 3464       | 0          | 0          | 673,63     | 315,12     | 0          | 0          | 1497,89    | 0          |
|                 | Exceso P4 (kVArh)       | 0           | 0           | 0          | 4873       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
|                 | Exceso P5 (kVArh)       | 0           | 0           | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
|                 | Exceso P6 (kVArh)       | 4935,07     | 1589,37     | 1159,05    | 0          | 2964,74    | 0          | 4084,78    | 0          | 4129,26    | 3491,15    | 2281,81    | 3234,45    |
|                 | Precio P1 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0          | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Precio P2 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Precio P3 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0          | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Precio P4 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Precio P5 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Precio P6 (€/kVArh)     | 0,041554    | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   |
|                 | Coste P1 (€)            | 26,85967452 | 0           | 139,330562 | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
|                 | Coste P2 (€)            | 0           | 0           | 218,075392 | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 7,8370844  | 0          | 0          | 0          |
| Coste P3 (€)    | 0                       | 0           | 0           | 143,943056 | 0          | 0          | 27,992021  | 0          | 0          | 0          | 62,2433211 | 0          |            |
| Coste P4 (€)    | 0                       | 0           | 0           | 202,492642 | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |            |
| Coste P5 (€)    | 0                       | 0           | 0           | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |            |
| Coste P6 (€)    | 205,0718988             | 66,04468098 | 48,1631637  | 0          | 123,196806 | 0          | 169,738948 | 0          | 171,58727  | 145,071247 | 94,8183327 | 134,404335 |            |
| TOTAL (€)       | 231,9315733             | 66,04468098 | 405,569118  | 346,435698 | 123,196806 | 0          | 197,730969 | 0          | 179,424354 | 145,071247 | 157,061654 | 134,404335 |            |
| <b>Factura</b>  | Coste total (€)         | 4840,491969 | 4573,122378 | 4675,33965 | 3619,92577 | 1328,77272 | 2102,04685 | 1589,82576 | 2546,16708 | 4713,81101 | 3190,10171 | 3736,49835 | 3623,2596  |
|                 | IEE (5,11269632%) (€)   | 5087,971624 | 4806,932238 | 4914,37557 | 3805,00159 | 1396,70883 | 2209,51812 | 1671,10873 | 2676,34487 | 4954,81386 | 3353,20192 | 3927,53417 | 3808,50587 |
|                 | Alquiler de equipos (€) |             |             | 64         | 64         | 64         |            | 64         | 103,17     | 40,32      | 64         | 64         | 64         |
|                 | IVA (21%) (€)           | 1068,474041 | 1009,45577  | 1045,45887 | 812,490333 | 306,748855 | 463,998805 | 364,372832 | 583,698124 | 1048,97811 | 717,612403 | 838,222175 | 813,226232 |
|                 | TOTAL FACTURA (€)       | 6156,445665 | 5816,388008 | 6023,83444 | 4681,49192 | 1767,45769 | 2673,51692 | 2099,48156 | 3363,213   | 6044,11197 | 4134,81432 | 4829,75634 | 4685,7321  |

## ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 8. Comparación Máxímetros vs Potencia contratada. Elaboración propia.

|                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Contratada P1 (kW) | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Contratada P2 (kW) | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Contratada P3 (kW) | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Contratada P4 (kW) | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Contratada P5 (kW) | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Contratada P6 (kW) | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 | 451 |
| Máxímetro P1 (kW)  | 132 | 136 |     |     |     |     |     | 104 | 116 |     |     |     |     |
| Máxímetro P2 (kW)  | 120 | 124 |     |     |     |     |     | 96  | 108 |     |     |     |     |
| Máxímetro P3 (kW)  |     |     | 128 |     |     |     | 88  | 84  |     |     | 88  |     | 112 |
| Máxímetro P4 (kW)  |     |     | 112 |     |     |     | 100 | 100 |     |     | 104 |     | 120 |
| Máxímetro P5 (kW)  |     |     |     | 108 | 104 | 108 |     |     |     |     |     |     | 112 |
| Máxímetro P6 (kW)  | 104 | 112 | 120 | 112 | 96  | 100 | 88  | 100 | 104 | 108 | 100 | 104 | 108 |

Tabla 9. Sectorización de consumos. Elaboración propia.

| Sistemas              | Suma de Consumo anual corregido (kWh/año) | %              |
|-----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| Bombeo                | 4.704                                     | 1,02%          |
| Pretratamiento        | 75.415                                    | 16,32%         |
| Tratamiento Biológico | 300.386                                   | 65,00%         |
| Fangos                | 81.609                                    | 17,66%         |
| <b>Total general</b>  | <b>462.113</b>                            | <b>100,00%</b> |

## ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 10. Tabla de consumo, V de agua tratado y DQO eliminada. Elaboración propia

|              | CONSUMO<br>(kWh) | Volumen<br>Agua Tratada | DQO<br>eliminada (g) |
|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| ENERO        | 41.583           | 21.565                  | 89.711               |
| FEBRERO      | 40.688           | 17.078                  | 71.046               |
| MARZO        | 45.167           | 20.680                  | 86.027               |
| ABRIL        | 34.667           | 19.453                  | 80.926               |
| MAYO         | 34.817           | 19.139                  | 79.619               |
| JUNIO        | 37.343           | 17.925                  | 74.570               |
| JULIO        | 40.727           | 20.025                  | 83.303               |
| AGOSTO       | 34.445           | 20.641                  | 85.867               |
| SEPTIEMBRE   | 37.317           | 19.081                  | 79.376               |
| OCTUBRE      | 37.916           | 20.525                  | 85.386               |
| NOVIEMBRE    | 38.646           | 18.261                  | 75.965               |
| DICIEMBRE    | 38.797           | 18.600                  | 77.376               |
| <b>TOTAL</b> | 462.113          | 232.974                 | 969.171              |

|                                                                         |         |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| Consumo global por m <sup>3</sup> de agua tratada (kWh/m <sup>3</sup> ) | 1,98    |
| Consumo global por DQO eliminada (KWh/KgDQO)                            | 476,81  |
| Factor Carga Instalación                                                | 39,61%  |
| Factor Sobredimensionado de Equipos                                     | 112,36% |

ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 11. Especificaciones. Elaboración Propia

|                       |  |            |           |
|-----------------------|--|------------|-----------|
| Pares de polos        |  | 4 @ 1500   | rpm       |
| Tensión               |  | 400        | V         |
| Plena Carga           |  | 3470       | horas/año |
| Precio                |  | 0,14088731 | €/kWh     |
| Potencia Nominal      |  | 15         | kW        |
| Eficiencia EFF2 (IE1) |  | 0,86       |           |
| Eficiencia IE3        |  | 0,921      |           |

|                       |  |            |           |
|-----------------------|--|------------|-----------|
| Pares de polos        |  | 4 @ 1500   | rpm       |
| Tensión               |  | 400        | V         |
| Plena Carga           |  | 3470       | horas/año |
| Precio                |  | 0,14088731 | €/kWh     |
| Potencia Nominal      |  | 37         | kW        |
| Eficiencia EFF2 (IE1) |  | 0,912      |           |
| Eficiencia IE3        |  | 0,939      |           |

Tabla 12. Factores de Potencia en función de clase energética.

| kW   | HP  | IE-1 - Standard efficiency |       |        |       |        |       | IE2 - High efficiency |       |        |       |        |       | IE3 - Premium efficiency |       |        |       |        |       |
|------|-----|----------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-----------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|      |     | 2 pole                     |       | 4 pole |       | 6 pole |       | 2 pole                |       | 4 pole |       | 6 pole |       | 2 pole                   |       | 4 pole |       | 6 pole |       |
|      |     | 50 Hz                      | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz | 50 Hz                 | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz | 50 Hz                    | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz | 50 Hz  | 60 Hz |
| 0.75 | 1   | 72.1                       | 77.0  | 72.1   | 78.0  | 70.0   | 73.0  | 77.4                  | 75.5  | 79.6   | 82.5  | 75.9   | 80.0  | 80.7                     | 77.0  | 82.5   | 85.5  | 78.9   | 82.5  |
| 1.1  | 1.5 | 75.0                       | 78.5  | 75.0   | 79.0  | 72.9   | 75.0  | 79.6                  | 82.5  | 81.4   | 84.0  | 78.1   | 85.5  | 82.7                     | 84.0  | 84.1   | 86.5  | 81.0   | 87.5  |
| 1.5  | 2   | 77.2                       | 81.0  | 77.2   | 81.5  | 75.2   | 77.0  | 81.3                  | 84.0  | 82.8   | 84.0  | 79.8   | 86.5  | 84.2                     | 85.5  | 85.3   | 86.5  | 82.5   | 88.5  |
| 2.2  | 3   | 79.7                       | 81.5  | 79.7   | 83.0  | 77.7   | 78.5  | 83.2                  | 85.5  | 84.3   | 87.5  | 81.8   | 87.5  | 85.9                     | 86.5  | 86.7   | 89.5  | 84.3   | 89.5  |
| 3    | 3   | 81.5                       | -     | 81.5   | -     | 79.7   | -     | 84.6                  | -     | 85.5   | -     | 83.3   | -     | 87.1                     | -     | 87.7   | -     | 85.6   | -     |
| 3.7  | 5   | -                          | 84.5  | -      | 85.0  | -      | 83.5  | -                     | 87.5  | -      | 87.5  | -      | 87.5  | -                        | 88.5  | -      | 89.5  | -      | 89.5  |
| 4    | 4   | 83.1                       | -     | 83.1   | -     | 81.4   | -     | 85.8                  | -     | 86.6   | -     | 84.6   | -     | 88.1                     | -     | 88.6   | -     | 86.8   | -     |
| 5.5  | 7.5 | 84.7                       | 86.0  | 84.7   | 87.0  | 83.1   | 85.0  | 87.0                  | 88.5  | 87.7   | 89.5  | 86.0   | 89.5  | 89.2                     | 89.5  | 89.6   | 91.7  | 88.0   | 91.0  |
| 7.5  | 10  | 86.0                       | 87.5  | 86.0   | 87.5  | 84.7   | 86.0  | 88.1                  | 89.5  | 88.7   | 89.5  | 87.2   | 89.5  | 90.1                     | 90.2  | 90.4   | 91.7  | 89.1   | 91.0  |
| 11   | 15  | 87.6                       | 87.5  | 87.6   | 88.5  | 86.4   | 89.0  | 89.4                  | 90.2  | 89.8   | 91.0  | 88.7   | 90.2  | 91.2                     | 91.0  | 91.4   | 92.4  | 90.3   | 91.7  |
| 15   | 20  | 88.7                       | 88.5  | 88.7   | 89.5  | 87.7   | 89.5  | 90.3                  | 90.2  | 90.6   | 91.0  | 89.7   | 90.2  | 91.0                     | 91.0  | 92.1   | 93.0  | 91.2   | 91.7  |
| 18.5 | 25  | 89.3                       | 89.5  | 89.3   | 90.5  | 88.6   | 90.2  | 90.9                  | 91.0  | 91.2   | 92.4  | 90.4   | 91.7  | 92.4                     | 91.7  | 92.6   | 93.6  | 91.7   | 93.0  |
| 22   | 30  | 89.9                       | 89.5  | 89.9   | 91.0  | 89.2   | 91.0  | 91.3                  | 91.0  | 91.6   | 92.4  | 90.9   | 91.7  | 92.7                     | 91.7  | 93.0   | 93.6  | 92.2   | 93.0  |
| 30   | 40  | 90.7                       | 90.2  | 90.7   | 91.7  | 90.2   | 91.7  | 92.0                  | 91.7  | 92.3   | 93.0  | 91.7   | 93.0  | 93.3                     | 92.4  | 93.6   | 94.1  | 92.9   | 94.1  |
| 37   | 50  | 91.2                       | 91.5  | 91.2   | 92.4  | 90.8   | 91.7  | 92.5                  | 92.4  | 92.7   | 93.0  | 92.2   | 93.0  | 93.7                     | 93.0  | 93.9   | 94.5  | 93.3   | 94.1  |
| 45   | 60  | 91.7                       | 91.7  | 91.7   | 93.0  | 91.4   | 91.7  | 92.0                  | 93.0  | 93.1   | 93.6  | 92.7   | 93.6  | 94.0                     | 93.6  | 94.2   | 95.0  | 93.7   | 94.5  |
| 55   | 75  | 92.1                       | 92.4  | 92.1   | 93.0  | 91.9   | 92.1  | 93.2                  | 93.0  | 93.5   | 94.1  | 93.1   | 93.6  | 94.3                     | 93.6  | 94.8   | 95.4  | 94.1   | 94.5  |
| 75   | 100 | 92.7                       | 93.0  | 92.7   | 93.2  | 92.6   | 93.0  | 93.8                  | 93.6  | 94.0   | 94.5  | 93.7   | 94.1  | 94.7                     | 94.1  | 95.0   | 95.4  | 94.6   | 95.0  |
| 90   | 125 | 93.0                       | 93.0  | 93.0   | 93.2  | 92.9   | 93.0  | 94.1                  | 94.5  | 94.2   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                     | 95.0  | 95.2   | 95.4  | 94.9   | 95.0  |
| 110  | 150 | 93.3                       | 93.0  | 93.3   | 93.5  | 93.3   | 94.1  | 94.3                  | 94.5  | 94.5   | 95.0  | 94.3   | 95.0  | 95.2                     | 95.0  | 95.4   | 95.8  | 95.1   | 95.8  |
| 132  | -   | 93.5                       | -     | 93.5   | -     | 93.5   | -     | 94.6                  | -     | 94.7   | -     | 94.6   | -     | 95.4                     | -     | 95.6   | -     | 95.4   | -     |
| 150  | 200 | -                          | 94.1  | -      | 94.5  | -      | 94.1  | -                     | 95.0  | -      | 95.0  | -      | 95.0  | -                        | 95.4  | -      | 96.2  | -      | 96.8  |
| 160  | -   | 93.6                       | -     | 93.8   | -     | 93.8   | -     | 94.8                  | -     | 94.9   | -     | 94.8   | -     | 95.6                     | -     | 95.8   | -     | 95.8   | -     |
| 185  | 250 | -                          | 94.1  | -      | 94.5  | -      | 94.1  | -                     | 95.4  | -      | 95.4  | -      | 95.0  | -                        | 95.8  | -      | 96.2  | -      | 95.8  |
| 200  | -   | 94.0                       | -     | 94.0   | -     | 94.0   | -     | 95.0                  | -     | 95.1   | -     | 95.0   | -     | 95.8                     | -     | 96.0   | -     | 95.8   | -     |
| 220  | 300 | 94.0                       | 94.1  | 94.0   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                  | 95.4  | 95.1   | 95.4  | 95.0   | 95.0  | 95.8                     | 95.8  | 96.0   | 96.2  | 95.8   | 95.8  |
| 250  | 350 | 94.0                       | 94.1  | 94.0   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                  | 95.4  | 95.1   | 95.4  | 95.0   | 95.0  | 95.8                     | 95.8  | 96.0   | 96.2  | 95.8   | 95.8  |
| 300  | 400 | 94.0                       | 94.1  | 94.0   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                  | 95.4  | 95.1   | 95.4  | 95.0   | 95.0  | 95.8                     | 95.8  | 96.0   | 96.2  | 95.8   | 95.8  |
| 330  | 450 | 94.0                       | 94.1  | 94.0   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                  | 95.4  | 95.1   | 95.4  | 95.0   | 95.0  | 95.8                     | 95.8  | 96.0   | 96.2  | 95.8   | 95.8  |
| 375  | 500 | 94.0                       | 94.1  | 94.0   | 94.5  | 94.0   | 94.1  | 95.0                  | 95.4  | 95.1   | 95.4  | 95.0   | 95.0  | 95.8                     | 95.8  | 96.0   | 96.2  | 95.8   | 95.8  |

## ANEJO I: Tablas y Figuras

Tabla 13. Motor 15 kW

|                                | MOTOR IE1 | MOTOR IE3 |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| POTENCIA ÚTIL (kW)             | 12,90     | 13,82     |
| EFICIENCIA                     | 0,86      | 0,92      |
| POTENCIA ABSORBIDA (kW)        | 15        | 15        |
| PÉRDIDAS A PLENA CARGA         | 2,1       | 1,19      |
| AHORRO DE POTENCIA             | -         | 0,9150    |
| HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL AÑO | 3470      | 3470      |
| SOBRE COSTE MOTOR IE3 (€)      |           | 2007      |
| AHORRO ENERGÍA ANUAL (kWh/AÑO) |           | 3175,05   |
| COSTE ENERGÉTICO (€)           |           | 430,03    |
| AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)       |           | 542,92    |
| PERIODO DE RECUPERACIÓN        |           | 3,70      |

Tabla 14. Motor 37 kW

|                                | MOTOR IE1 | MOTOR IE3 |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| POTENCIA ÚTIL (kW)             | 33,74     | 34,74     |
| EFICIENCIA                     | 0,912     | 0,939     |
| POTENCIA ABSORBIDA (kW)        | 37        | 37        |
| PÉRDIDAS A PLENA CARGA         | 3,256     | 2,26      |
| AHORRO DE POTENCIA             | -         | 0,9990    |
| HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL AÑO | 3470      | 3470      |
| SOBRE COSTE MOTOR IE3 (€)      |           | 3655      |
| AHORRO ENERGÍA ANUAL (kWh/AÑO) |           | 3466,53   |
| COSTE ENERGÉTICO (€)           |           | 469,51    |
| AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)       |           | 548,25    |
| PERIODO DE RECUPERACIÓN        |           | 6,67      |

Tabla 15. Resumen MAE Sustitución de Motores

|              | nº Motores | Inversión (€)   | Ahorro (€/AÑO)  | PSRI (años)      | Ahorro (kWh)     | Ahorro (%)  | CO2 evitado(tn)  |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------|------------------|
| 15kw         | 1          | 2007            | 542,9236922     |                  | 3175,05          |             |                  |
| 37kw         | 2          | 7310            | 1096,505551     |                  | 6933,06          |             |                  |
| <b>Total</b> | <b>3</b>   | <b>9.317,00</b> | <b>1.639,43</b> | <b>5,6830754</b> | <b>10.108,11</b> | <b>2,19</b> | <b>3,8410818</b> |

Tabla 16. Sustitución de Luminarias

| JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA |          |                |                          |                               |                             |                  |                   |                               |                                    |
|-------------------------|----------|----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Equipo actual           | Cantidad | Sustitución    | Consumo actual (kWh/año) | Consumo tras cambio (kWh/año) | Ahorro energético (kWh/año) | Coste actual (€) | Coste tras cambio | Coste reposiciones actual (€) | Coste reposiciones tras cambio (€) |
| Fluorescente 2x58W      | 8        | Tubo LED 2x22W | 3.886,62                 | 1.221,51                      | 2.665,11                    | 547,57           | 172,09            | 53,48                         | 19,98                              |

| Inversión (€) | Ahorro anual (€) | PSRI (años) | PSRI (meses) |
|---------------|------------------|-------------|--------------|
| 2.501,20      | 394,46           | 6,34        | 76,09        |

Alejandro Romero Esteban

Tabla 17. Justificación

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> /kWh) | 0,38     |
| Potencia instalada actual (kW)              | 1,12     |
| Potencia instalada propuesta (kW)           | 0,35     |
| Diferencia de pot instalada (kW)            | 0,77     |
| Toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas       | 1,01     |
| Ahorro energético (kWh/año)                 | 2.665,11 |
| Ahorro anual (€)                            | 394,46   |
| Inversión (€)                               | 2.501,20 |
| PSRI (años)                                 | 6,34     |

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Tabla 18. Factura Desarrollada. Elaboración Propia

|                        |                      |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Potencia contratada    | Contratada P1 (kW)   | 110         | 110         | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        |
|                        | Contratada P2 (kW)   | 110         | 110         | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        |
|                        | Contratada P3 (kW)   | 110         | 110         | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        |
|                        | Contratada P4 (kW)   | 110         | 110         | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        |
|                        | Contratada P5 (kW)   | 110         | 110         | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        | 110        |
|                        | Contratada P6 (kW)   | 451         | 451         | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        | 451        |
|                        | Facturada P1 (kW)    | 115,5       | 115,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 104        | 115,5      | 93,5       | 93,5       | 93,5       |
|                        | Facturada P2 (kW)    | 115,5       | 115,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 96         | 108        | 93,5       | 93,5       | 93,5       |
|                        | Facturada P3 (kW)    | 93,5        | 93,5        | 115,5      | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       |
|                        | Facturada P4 (kW)    | 93,5        | 93,5        | 112        | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 100        | 100        | 93,5       | 93,5       | 104        | 93,5       |
|                        | Facturada P5 (kW)    | 93,5        | 93,5        | 93,5       | 108        | 104        | 108        | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 93,5       | 112        |
|                        | Facturada P6 (kW)    | 383,35      | 383,35      | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     | 383,35     |
|                        | Precio P1 (€/kW día) | 0,091061704 | 0,091061704 | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  | 0,0910617  |
|                        | Precio P2 (€/kW día) | 0,04557026  | 0,04557026  | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 | 0,04557026 |
|                        | Precio P3 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                        | Precio P4 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                        | Precio P5 (€/kW día) | 0,033349866 | 0,033349866 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 | 0,03334987 |
|                        | Precio P6 (€/kW día) | 0,015216367 | 0,015216367 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 | 0,01521637 |
|                        | Coste P1 (€)         | 326,0464316 | 294,4935511 | 263,942349 | 255,42808  | 102,171232 | 161,771117 | 93,6569627 | 179,937927 | 326,046432 | 263,942349 | 255,42808  | 263,942349 |
|                        | Coste P2 (€)         | 163,1643169 | 147,3742217 | 132,085399 | 127,82458  | 51,129832  | 80,9555674 | 46,8690127 | 83,1201547 | 152,569231 | 132,085399 | 127,82458  | 132,085399 |
|                        | Coste P3 (€)         | 96,66458589 | 87,30994854 | 119,409194 | 93,5463734 | 37,4185494 | 59,2460365 | 34,3003369 | 59,2460365 | 96,6645859 | 96,6645859 | 93,5463734 | 96,6645859 |
|                        | Coste P4 (€)         | 96,66458589 | 87,30994854 | 115,790734 | 93,5463734 | 37,4185494 | 59,2460365 | 36,6848523 | 63,3647449 | 96,6645859 | 96,6645859 | 104,051581 | 96,6645859 |
|                        | Coste P5 (€)         | 96,66458589 | 87,30994854 | 96,6645859 | 108,053565 | 41,6206325 | 68,4339245 | 34,3003369 | 59,2460365 | 96,6645859 | 96,6645859 | 93,5463734 | 115,790734 |
|                        | Coste P6 (€)         | 180,8290244 | 163,3294414 | 180,829024 | 174,99583  | 69,998332  | 110,830692 | 64,1651377 | 110,830692 | 180,829024 | 180,829024 | 174,99583  | 180,829024 |
|                        | Maxímetro P1 (kW)    | 132         | 136         |            |            |            |            |            | 104        | 116        |            |            |            |
|                        | Maxímetro P2 (kW)    | 120         | 124         |            |            |            |            |            | 96         | 108        |            |            |            |
|                        | Maxímetro P3 (kW)    |             |             | 128        |            |            |            | 88         | 84         |            |            | 88         |            |
|                        | Maxímetro P4 (kW)    |             |             | 112        |            |            |            | 100        | 100        |            |            | 104        |            |
|                        | Maxímetro P5 (kW)    |             |             |            | 108        | 104        | 108        |            |            |            |            |            | 112        |
|                        | Maxímetro P6 (kW)    | 104         | 112         | 120        | 112        | 96         | 100        | 88         | 100        | 104        | 108        | 100        | 104        |
| Desvío de potencia (€) |                      |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| TOTAL (€)              | 960,0335306          | 867,1270599 | 908,721287  | 853,394802 | 339,757127 | 540,483375 | 309,976639 | 555,745592 | 949,438445 | 866,850531 | 849,392818 | 885,976679 |            |

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA E.D.A.R EN LOS RÁBANOS (SORIA)

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

|                 |                     |             |             |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|---------------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Consumo energía | Consumo P1 (kWh)    | 9714        | 10302       |            |           |            |            |            | 6035       | 12369      |            |            |            |
|                 | Consumo P2 (kWh)    | 16248       | 16475       |            |           |            |            |            | 6048       | 12780      |            |            |            |
|                 | Consumo P3 (kWh)    |             |             | 11983      |           |            |            | 2889       | 636        |            |            | 6767       |            |
|                 | Consumo P4 (kWh)    |             |             | 15769      |           |            |            | 6370       | 1396       |            |            | 15907      |            |
|                 | Consumo P5 (kWh)    |             |             |            | 21160     | 7141       | 13366      |            |            |            |            |            | 23081      |
|                 | Consumo P6 (kWh)    | 15621       | 13911       | 17415      | 13507     | 5222       | 9088       | 5234       | 8735       | 15578      | 34445      | 14643      | 14835      |
|                 | Consumo total (kWh) | 41583       | 40688       | 45167      | 34667     | 12363      | 22454      | 14493      | 22850      | 40727      | 34445      | 37317      | 37916      |
|                 | Precio P1 (€/kWh)   | 0,113901    | 0,113901    | 0,113901   | 0,113901  | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,113901   | 0,10794    | 0,10794    |
|                 | Precio P2 (€/kWh)   | 0,092697    | 0,092697    | 0,092697   | 0,092697  | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,092697   | 0,089995   | 0,089995   |
|                 | Precio P3 (€/kWh)   | 0,087726    | 0,087726    | 0,087726   | 0,087726  | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,087726   | 0,085923   | 0,085923   |
|                 | Precio P4 (€/kWh)   | 0,07354     | 0,07354     | 0,07354    | 0,07354   | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,07354    | 0,072203   | 0,072203   |
|                 | Precio P5 (€/kWh)   | 0,07045     | 0,07045     | 0,07045    | 0,07045   | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,07045    | 0,06911    | 0,06911    |
|                 | Precio P6 (€/kWh)   | 0,05871     | 0,05871     | 0,05871    | 0,05871   | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    | 0,05871    |
|                 | Coste P1 (€)        | 1106,434314 | 1173,408102 | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 687,392535 | 1408,84147 | 0          | 0          | 0          |
|                 | Coste P2 (€)        | 1506,140856 | 1527,183075 | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 560,631456 | 1184,66766 | 0          | 0          | 0          |
|                 | Coste P3 (€)        | 0           | 0           | 1051,22066 | 0         | 0          | 0          | 253,440414 | 55,793736  | 0          | 0          | 581,440941 | 0          |
|                 | Coste P4 (€)        | 0           | 0           | 1159,65226 | 0         | 0          | 0          | 468,4498   | 102,66184  | 0          | 0          | 1148,53312 | 0          |
|                 | Coste P5 (€)        | 0           | 0           | 0          | 1490,722  | 503,08345  | 941,6347   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 1595,12791 |
|                 | Coste P6 (€)        | 917,10891   | 816,71481   | 1022,43465 | 792,99597 | 306,58362  | 533,55648  | 307,28814  | 512,83185  | 914,58438  | 2022,26595 | 859,69053  | 870,96285  |
|                 | Descuento (%)       |             |             |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |
| TOTAL (€)       | 3529,68408          | 3517,305987 | 3233,30757  | 2283,71797 | 809,66707 | 1475,19118 | 1029,17835 | 1919,31142 | 3508,09351 | 2022,26595 | 2589,66459 | 2466,09076 |            |

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA E.D.A.R EN LOS RÁBANOS (SORIA)

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

|                 |                     |             |            |            |            |          |            |          |            |            |            |            |          |
|-----------------|---------------------|-------------|------------|------------|------------|----------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| <b>Reactiva</b> | Consumo P1 (kVArh)  | 3852        | 2982       | 3353       |            |          |            |          | 2068       | 3982       |            |            |          |
|                 | Consumo P2 (kVArh)  | 2259        | 5149       | 5248       |            |          |            |          | 1753       | 4406       |            |            |          |
|                 | Consumo P3 (kVArh)  |             |            |            | 3464       |          |            | 1627     | 525        |            |            | 3731       |          |
|                 | Consumo P4 (kVArh)  |             |            |            | 4873       |          |            | 1993     | 408        |            |            | 4447       |          |
|                 | Consumo P5 (kVArh)  |             |            |            | 0          | 2163     | 3886       |          |            |            |            |            | 6025     |
|                 | Consumo P6 (kVArh)  | 10090       | 6180       | 6906       | 4260       | 4688     | 2965       | 5812     | 1305       | 9270       | 14858      | 7114       | 8130     |
|                 | Exceso P1 (kVArh)   | 646,38      | 0          | 3353       | 0          | 0        | 0          | 0        | 76,45      | 0          | 0          | 0          | 0        |
|                 | Exceso P2 (kVArh)   | 0           | 0          | 5248       | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 188,6      | 0          | 0          | 0        |
|                 | Exceso P3 (kVArh)   | 0           | 0          | 0          | 3464       | 0        | 0          | 673,63   | 315,12     | 0          | 0          | 1497,89    | 0        |
|                 | Exceso P4 (kVArh)   | 0           | 0          | 0          | 4873       | 0        | 0          | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
|                 | Exceso P5 (kVArh)   | 0           | 0          | 0          | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
|                 | Exceso P6 (kVArh)   | 4935,07     | 1589,37    | 1159,05    | 0          | 2964,74  | 0          | 4084,78  | 0          | 4129,26    | 3491,15    | 2281,81    | 3234,45  |
|                 | Precio P1 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0          | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Precio P2 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Precio P3 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0          | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Precio P4 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Precio P5 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Precio P6 (€/kVArh) | 0,041554    | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554 | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554   | 0,041554 |
|                 | Coste P1 (€)        | 26,85967452 | 0          | 139,330562 | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0        |
|                 | Coste P2 (€)        | 0           | 0          | 218,075392 | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 7,8370844  | 0          | 0          | 0        |
| Coste P3 (€)    | 0                   | 0           | 0          | 143,943056 | 0          | 0        | 27,992021  | 0        | 0          | 0          | 62,2433211 | 0          |          |
| Coste P4 (€)    | 0                   | 0           | 0          | 202,492642 | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          |          |
| Coste P5 (€)    | 0                   | 0           | 0          | 0          | 0          | 0        | 0          | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          |          |
| Coste P6 (€)    | 205,0718988         | 66,04468098 | 48,1631637 | 0          | 123,196806 | 0        | 169,738948 | 0        | 171,58727  | 145,071247 | 94,8183327 | 134,404335 |          |
| TOTAL (€)       | 231,9315733         | 66,04468098 | 405,569118 | 346,435698 | 123,196806 | 0        | 197,730969 | 0        | 179,424354 | 145,071247 | 157,061654 | 134,404335 |          |

|                |                          |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                 |                   |                   |
|----------------|--------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| <b>Factura</b> | Coste total (€)          | 4721,649184        | 4450,477728        | 4547,59797        | 3483,54847        | 1272,621          | 2015,67455        | 1536,88596        | 2475,05701        | 4636,95631        | 3034,18773      | 3596,11906        | 3486,47177        |
|                | IEE (5,11269632%) (€)    | 4963,052768        | 4678,017139        | 4780,10285        | 3661,65172        | 1337,68625        | 2118,72987        | 1615,46227        | 2601,59916        | 4874,0298         | 3189,31653      | 3779,97771        | 3664,72449        |
|                | Alquiler de equipos (€)  |                    |                    | 64                | 64                | 64                |                   |                   | 64                | 103,17            | 40,32           | 64                | 64                |
|                | IVA (21%) (€)            | 1042,241081        | 982,3835992        | 1017,2616         | 782,386862        | 294,354113        | 444,933273        | 352,687078        | 568,001523        | 1032,01346        | 683,196472      | 807,235319        | 783,032143        |
|                | <b>TOTAL FACTURA (€)</b> | <b>6005,293849</b> | <b>5660,400738</b> | <b>5861,36445</b> | <b>4508,03859</b> | <b>1696,04036</b> | <b>2563,66315</b> | <b>2032,14935</b> | <b>3272,77068</b> | <b>5946,36326</b> | <b>3936,513</b> | <b>4651,21303</b> | <b>4511,75663</b> |

Tabla 19. Consumo de Potencia Reactiva de 24h. Elaboración Propia.

| Fecha      | Hora | P (kW)         | Q (kVAr)       | S (kVA)          | cos(phi)          |
|------------|------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
|            |      | <b>462.113</b> | <b>173.929</b> | <b>497479,15</b> | <b>0,93615009</b> |
| 01/02/2015 | 0    | 24             | 7,93           | 25,49            | 0,950397129       |
| 01/02/2015 | 1    | 23             | 7,93           | 24,66            | 0,946881589       |
| 01/02/2015 | 2    | 24             | 8,81           | 25,37            | 0,937748761       |
| 01/02/2015 | 3    | 24             | 7,93           | 25,07            | 0,948683298       |
| 01/02/2015 | 4    | 24             | 8,81           | 25,37            | 0,937748761       |
| 01/02/2015 | 5    | 24             | 7,49           | 25,36            | 0,955402641       |
| 01/02/2015 | 6    | 25             | 8,81           | 26,19            | 0,941741912       |
| 01/02/2015 | 7    | 23             | 7,93           | 24,24            | 0,944986073       |
| 01/02/2015 | 8    | 22             | 8,37           | 23,97            | 0,937082115       |
| 01/02/2015 | 9    | 19             | 6,61           | 19,65            | 0,941741912       |
| 01/02/2015 | 10   | 18             | 6,17           | 19,08            | 0,946349856       |
| 01/02/2015 | 11   | 16             | 6,17           | 17,43            | 0,935286257       |
| 01/02/2015 | 12   | 16             | 6,17           | 17,43            | 0,935286257       |
| 01/02/2015 | 13   | 17             | 6,17           | 17,84            | 0,938343117       |
| 01/02/2015 | 14   | 17             | 5,29           | 17,55            | 0,953582665       |
| 01/02/2015 | 15   | 18             | 6,17           | 18,67            | 0,943858356       |
| 01/02/2015 | 16   | 18             | 6,17           | 18,67            | 0,943858356       |
| 01/02/2015 | 17   | 19             | 6,17           | 19,50            | 0,948683298       |
| 01/02/2015 | 18   | 23             | 7,93           | 24,24            | 0,944986073       |
| 01/02/2015 | 19   | 22             | 7,49           | 23,68            | 0,948683298       |
| 01/02/2015 | 20   | 25             | 7,93           | 25,91            | 0,952028561       |
| 01/02/2015 | 21   | 24             | 8,37           | 25,22            | 0,943312391       |
| 01/02/2015 | 22   | 23             | 7,93           | 24,66            | 0,946881589       |
| 01/02/2015 | 23   | 24             | 9,25           | 25,93            | 0,934218386       |

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Tabla 20. Corrección de Factor de Potencia.

| Factor de potencia original | Factor de potencia corregido |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 0,8                          | 0,81  | 0,82  | 0,83  | 0,84  | 0,85  | 0,86  | 0,87  | 0,88  | 0,89  | 0,9   | 0,91  | 0,92  | 0,93  | 0,94  | 0,95  | 0,96  | 0,97  | 0,98  | 0,99  | 1     |
| 0,5                         | 0,982                        | 1,008 | 1,034 | 1,060 | 1,086 | 1,112 | 1,139 | 1,165 | 1,192 | 1,220 | 1,248 | 1,278 | 1,306 | 1,337 | 1,369 | 1,403 | 1,440 | 1,481 | 1,529 | 1,590 | 1,732 |
| 0,51                        | 0,937                        | 0,963 | 0,989 | 1,015 | 1,041 | 1,067 | 1,093 | 1,120 | 1,147 | 1,174 | 1,202 | 1,231 | 1,261 | 1,291 | 1,324 | 1,358 | 1,395 | 1,436 | 1,484 | 1,544 | 1,687 |
| 0,52                        | 0,893                        | 0,919 | 0,945 | 0,971 | 0,997 | 1,023 | 1,049 | 1,076 | 1,103 | 1,130 | 1,158 | 1,187 | 1,217 | 1,247 | 1,280 | 1,314 | 1,351 | 1,392 | 1,440 | 1,500 | 1,643 |
| 0,53                        | 0,850                        | 0,876 | 0,902 | 0,928 | 0,954 | 0,980 | 1,007 | 1,033 | 1,060 | 1,088 | 1,116 | 1,144 | 1,174 | 1,205 | 1,237 | 1,271 | 1,308 | 1,349 | 1,397 | 1,458 | 1,600 |
| 0,54                        | 0,809                        | 0,835 | 0,861 | 0,887 | 0,913 | 0,939 | 0,965 | 0,992 | 1,019 | 1,046 | 1,074 | 1,103 | 1,133 | 1,163 | 1,196 | 1,230 | 1,267 | 1,308 | 1,356 | 1,416 | 1,559 |
| 0,55                        | 0,768                        | 0,794 | 0,820 | 0,846 | 0,873 | 0,899 | 0,925 | 0,952 | 0,979 | 1,006 | 1,034 | 1,063 | 1,092 | 1,123 | 1,156 | 1,190 | 1,227 | 1,268 | 1,315 | 1,376 | 1,518 |
| 0,56                        | 0,729                        | 0,755 | 0,781 | 0,807 | 0,834 | 0,860 | 0,886 | 0,913 | 0,940 | 0,967 | 0,995 | 1,024 | 1,053 | 1,084 | 1,116 | 1,151 | 1,188 | 1,229 | 1,276 | 1,337 | 1,479 |
| 0,57                        | 0,691                        | 0,717 | 0,743 | 0,769 | 0,796 | 0,822 | 0,848 | 0,875 | 0,902 | 0,929 | 0,957 | 0,986 | 1,015 | 1,046 | 1,079 | 1,113 | 1,150 | 1,191 | 1,238 | 1,299 | 1,441 |
| 0,58                        | 0,655                        | 0,681 | 0,707 | 0,733 | 0,759 | 0,785 | 0,811 | 0,838 | 0,865 | 0,892 | 0,920 | 0,949 | 0,979 | 1,009 | 1,042 | 1,078 | 1,113 | 1,154 | 1,201 | 1,262 | 1,405 |
| 0,59                        | 0,618                        | 0,644 | 0,670 | 0,696 | 0,723 | 0,749 | 0,775 | 0,802 | 0,829 | 0,856 | 0,884 | 0,913 | 0,942 | 0,973 | 1,006 | 1,040 | 1,077 | 1,118 | 1,165 | 1,226 | 1,368 |
| 0,6                         | 0,583                        | 0,609 | 0,635 | 0,661 | 0,687 | 0,714 | 0,740 | 0,767 | 0,794 | 0,821 | 0,849 | 0,878 | 0,907 | 0,938 | 0,970 | 1,005 | 1,042 | 1,083 | 1,130 | 1,191 | 1,333 |
| 0,61                        | 0,549                        | 0,575 | 0,601 | 0,627 | 0,653 | 0,679 | 0,706 | 0,732 | 0,759 | 0,787 | 0,815 | 0,843 | 0,873 | 0,904 | 0,936 | 0,970 | 1,007 | 1,048 | 1,096 | 1,157 | 1,299 |
| 0,62                        | 0,515                        | 0,541 | 0,567 | 0,593 | 0,620 | 0,646 | 0,672 | 0,699 | 0,726 | 0,753 | 0,781 | 0,810 | 0,839 | 0,870 | 0,903 | 0,937 | 0,974 | 1,015 | 1,062 | 1,123 | 1,265 |
| 0,63                        | 0,483                        | 0,509 | 0,535 | 0,561 | 0,587 | 0,613 | 0,639 | 0,666 | 0,693 | 0,720 | 0,748 | 0,777 | 0,807 | 0,837 | 0,870 | 0,904 | 0,941 | 0,982 | 1,030 | 1,090 | 1,233 |
| 0,64                        | 0,451                        | 0,477 | 0,503 | 0,529 | 0,555 | 0,581 | 0,607 | 0,634 | 0,661 | 0,688 | 0,716 | 0,745 | 0,775 | 0,805 | 0,838 | 0,872 | 0,909 | 0,950 | 0,998 | 1,058 | 1,201 |
| 0,65                        | 0,419                        | 0,445 | 0,471 | 0,497 | 0,523 | 0,549 | 0,576 | 0,602 | 0,629 | 0,657 | 0,685 | 0,714 | 0,743 | 0,774 | 0,806 | 0,840 | 0,877 | 0,919 | 0,966 | 1,027 | 1,169 |
| 0,66                        | 0,388                        | 0,414 | 0,440 | 0,466 | 0,492 | 0,519 | 0,545 | 0,572 | 0,599 | 0,626 | 0,654 | 0,683 | 0,712 | 0,743 | 0,775 | 0,810 | 0,847 | 0,888 | 0,935 | 0,996 | 1,138 |
| 0,67                        | 0,358                        | 0,384 | 0,410 | 0,436 | 0,462 | 0,488 | 0,515 | 0,541 | 0,568 | 0,596 | 0,624 | 0,652 | 0,682 | 0,713 | 0,745 | 0,779 | 0,816 | 0,857 | 0,905 | 0,966 | 1,108 |
| 0,68                        | 0,328                        | 0,354 | 0,380 | 0,406 | 0,432 | 0,459 | 0,485 | 0,512 | 0,539 | 0,566 | 0,594 | 0,623 | 0,652 | 0,683 | 0,715 | 0,750 | 0,787 | 0,828 | 0,875 | 0,936 | 1,078 |
| 0,69                        | 0,299                        | 0,325 | 0,351 | 0,377 | 0,403 | 0,429 | 0,456 | 0,482 | 0,509 | 0,537 | 0,565 | 0,593 | 0,623 | 0,654 | 0,686 | 0,720 | 0,757 | 0,798 | 0,846 | 0,907 | 1,049 |
| 0,7                         | 0,270                        | 0,296 | 0,322 | 0,348 | 0,374 | 0,400 | 0,427 | 0,453 | 0,480 | 0,508 | 0,536 | 0,565 | 0,594 | 0,625 | 0,657 | 0,692 | 0,729 | 0,770 | 0,817 | 0,878 | 1,020 |
| 0,71                        | 0,242                        | 0,268 | 0,294 | 0,320 | 0,346 | 0,372 | 0,398 | 0,425 | 0,452 | 0,480 | 0,508 | 0,536 | 0,566 | 0,597 | 0,629 | 0,663 | 0,700 | 0,741 | 0,789 | 0,849 | 0,992 |
| 0,72                        | 0,214                        | 0,240 | 0,266 | 0,292 | 0,318 | 0,344 | 0,370 | 0,397 | 0,424 | 0,452 | 0,480 | 0,508 | 0,538 | 0,569 | 0,601 | 0,635 | 0,672 | 0,713 | 0,761 | 0,821 | 0,964 |
| 0,73                        | 0,186                        | 0,212 | 0,238 | 0,264 | 0,290 | 0,316 | 0,343 | 0,370 | 0,396 | 0,424 | 0,452 | 0,481 | 0,510 | 0,541 | 0,573 | 0,608 | 0,645 | 0,686 | 0,733 | 0,794 | 0,936 |
| 0,74                        | 0,159                        | 0,185 | 0,211 | 0,237 | 0,263 | 0,289 | 0,316 | 0,342 | 0,369 | 0,397 | 0,425 | 0,453 | 0,483 | 0,514 | 0,546 | 0,580 | 0,617 | 0,658 | 0,706 | 0,766 | 0,909 |
| 0,75                        | 0,132                        | 0,158 | 0,184 | 0,210 | 0,236 | 0,262 | 0,289 | 0,315 | 0,342 | 0,370 | 0,398 | 0,426 | 0,456 | 0,487 | 0,519 | 0,553 | 0,590 | 0,631 | 0,679 | 0,739 | 0,882 |
| 0,76                        | 0,105                        | 0,131 | 0,157 | 0,183 | 0,209 | 0,235 | 0,262 | 0,288 | 0,315 | 0,343 | 0,371 | 0,400 | 0,429 | 0,460 | 0,492 | 0,526 | 0,563 | 0,605 | 0,652 | 0,713 | 0,855 |
| 0,77                        | 0,079                        | 0,105 | 0,131 | 0,157 | 0,183 | 0,209 | 0,235 | 0,262 | 0,289 | 0,316 | 0,344 | 0,373 | 0,403 | 0,433 | 0,466 | 0,500 | 0,537 | 0,578 | 0,626 | 0,686 | 0,829 |
| 0,78                        | 0,052                        | 0,078 | 0,104 | 0,130 | 0,156 | 0,183 | 0,209 | 0,236 | 0,263 | 0,290 | 0,318 | 0,347 | 0,376 | 0,407 | 0,439 | 0,474 | 0,511 | 0,552 | 0,599 | 0,660 | 0,802 |
| 0,79                        | 0,028                        | 0,052 | 0,078 | 0,104 | 0,130 | 0,156 | 0,183 | 0,209 | 0,236 | 0,264 | 0,292 | 0,320 | 0,350 | 0,381 | 0,413 | 0,447 | 0,484 | 0,525 | 0,573 | 0,634 | 0,776 |
| 0,8                         | 0,000                        | 0,026 | 0,052 | 0,078 | 0,104 | 0,130 | 0,157 | 0,183 | 0,210 | 0,238 | 0,266 | 0,294 | 0,324 | 0,355 | 0,387 | 0,421 | 0,458 | 0,499 | 0,547 | 0,608 | 0,750 |
| 0,81                        |                              | 0,000 | 0,026 | 0,052 | 0,078 | 0,104 | 0,131 | 0,157 | 0,184 | 0,212 | 0,240 | 0,268 | 0,298 | 0,329 | 0,361 | 0,395 | 0,432 | 0,473 | 0,521 | 0,581 | 0,724 |
| 0,82                        |                              |       | 0,000 | 0,026 | 0,052 | 0,078 | 0,105 | 0,131 | 0,158 | 0,186 | 0,214 | 0,242 | 0,272 | 0,303 | 0,335 | 0,369 | 0,406 | 0,447 | 0,495 | 0,556 | 0,698 |
| 0,83                        |                              |       |       | 0,000 | 0,026 | 0,052 | 0,079 | 0,105 | 0,132 | 0,160 | 0,188 | 0,216 | 0,246 | 0,277 | 0,309 | 0,343 | 0,380 | 0,421 | 0,469 | 0,530 | 0,672 |
| 0,84                        |                              |       |       |       | 0,000 | 0,026 | 0,053 | 0,079 | 0,106 | 0,134 | 0,162 | 0,190 | 0,220 | 0,251 | 0,283 | 0,317 | 0,354 | 0,395 | 0,443 | 0,503 | 0,646 |
| 0,85                        |                              |       |       |       |       | 0,000 | 0,026 | 0,053 | 0,080 | 0,107 | 0,135 | 0,164 | 0,194 | 0,225 | 0,257 | 0,291 | 0,328 | 0,369 | 0,417 | 0,477 | 0,620 |
| 0,86                        |                              |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,027 | 0,054 | 0,081 | 0,109 | 0,138 | 0,167 | 0,198 | 0,230 | 0,265 | 0,302 | 0,343 | 0,390 | 0,451 | 0,593 |
| 0,87                        |                              |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,027 | 0,054 | 0,082 | 0,111 | 0,141 | 0,172 | 0,204 | 0,238 | 0,275 | 0,316 | 0,364 | 0,424 | 0,567 |
| 0,88                        |                              |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,027 | 0,055 | 0,084 | 0,114 | 0,145 | 0,177 | 0,211 | 0,248 | 0,289 | 0,337 | 0,397 | 0,540 |
| 0,89                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,028 | 0,057 | 0,086 | 0,117 | 0,149 | 0,184 | 0,221 | 0,262 | 0,309 | 0,370 | 0,512 |
| 0,9                         |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,029 | 0,058 | 0,089 | 0,121 | 0,156 | 0,193 | 0,234 | 0,281 | 0,342 | 0,484 |
| 0,91                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,030 | 0,060 | 0,093 | 0,127 | 0,164 | 0,205 | 0,253 | 0,313 | 0,456 |
| 0,92                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,031 | 0,063 | 0,097 | 0,134 | 0,175 | 0,223 | 0,284 | 0,426 |
| 0,93                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,032 | 0,067 | 0,104 | 0,145 | 0,192 | 0,253 | 0,395 |
| 0,94                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,034 | 0,071 | 0,112 | 0,160 | 0,220 | 0,363 |
| 0,95                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,037 | 0,078 | 0,126 | 0,186 | 0,329 |
| 0,96                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,041 | 0,089 | 0,148 | 0,292 |
| 0,97                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,048 | 0,108 | 0,251 |
| 0,98                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,061 | 0,203 |
| 0,99                        |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,142 |
| 1                           |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,000 |

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

Grado en Ingeniería Agraria y Energética

# FIGURAS

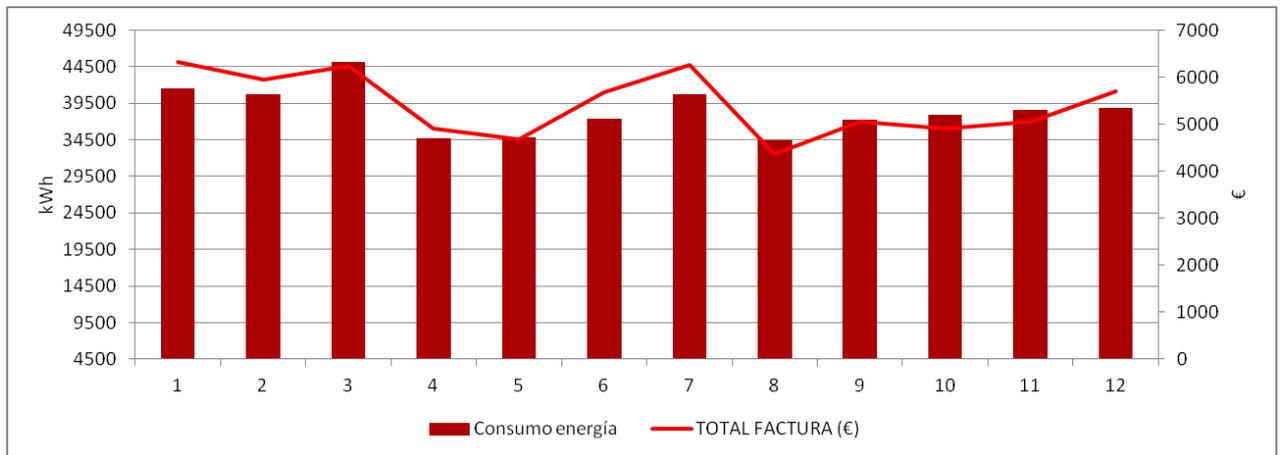


Figura 1. Gráfico de evolución del consumo y factura anual. Elaboración Propia

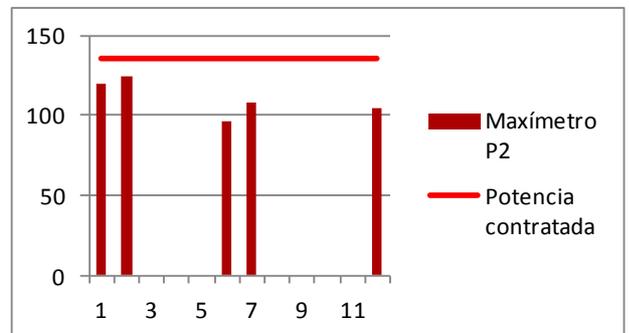
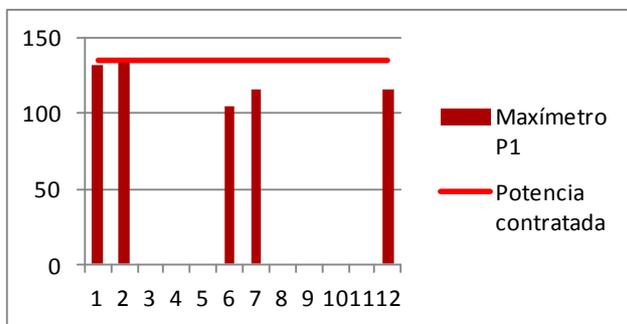


Figura 2. Comparación de Máximo en P1 y P2. Elaboración propia.

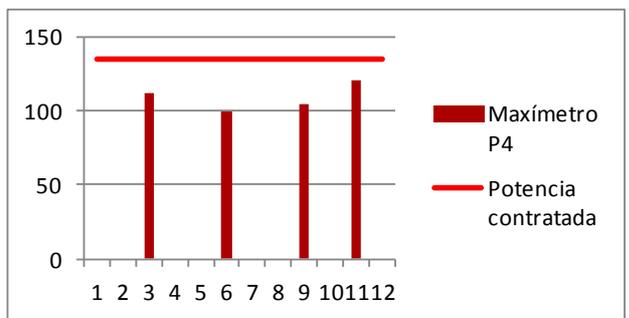
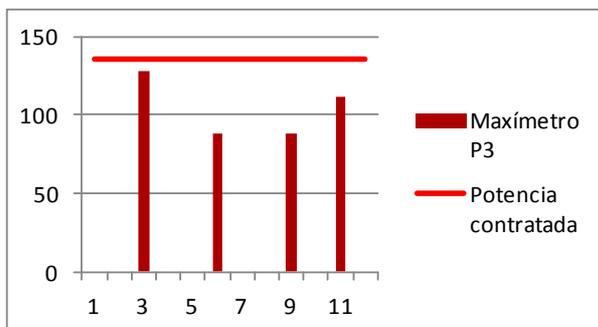


Figura 3. Comparación de Máximo en P3 y P4. Elaboración propia.

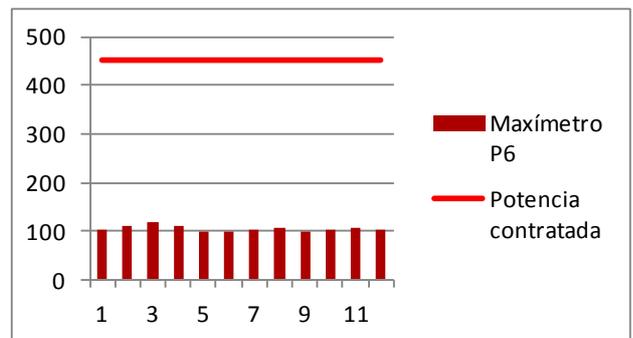
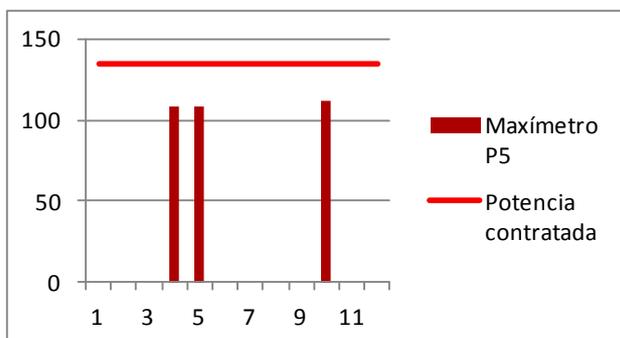


Figura 4. Comparación de Máximo en P5 y P6. Elaboración propia.

Alejandro Romero Esteban

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

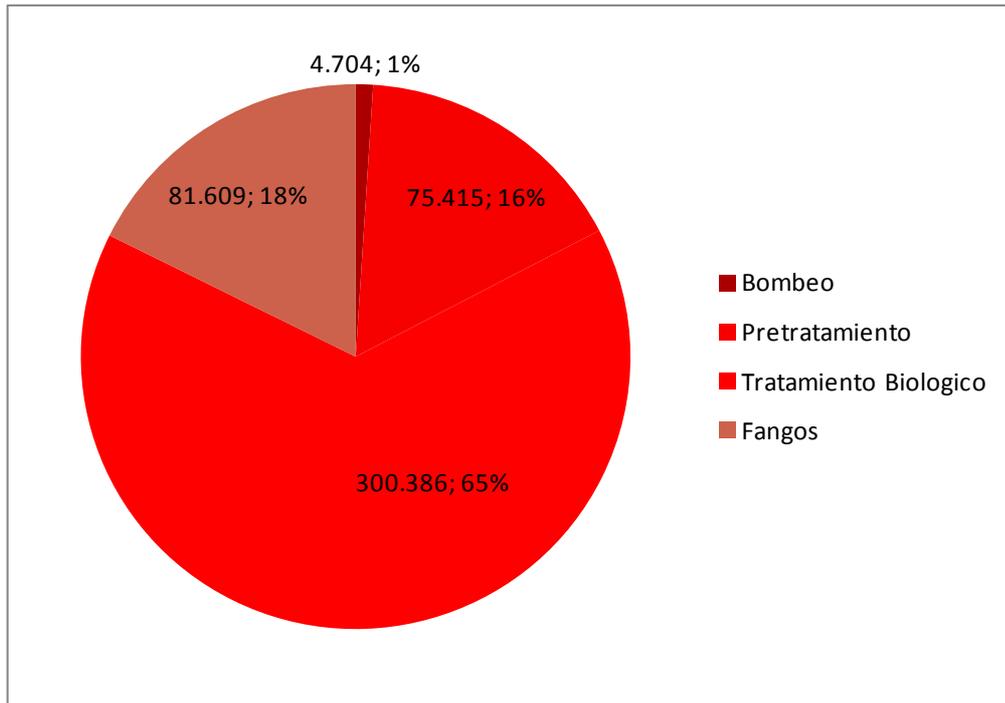


Figura 5. Sectorización de Consumos. Elaboración propia

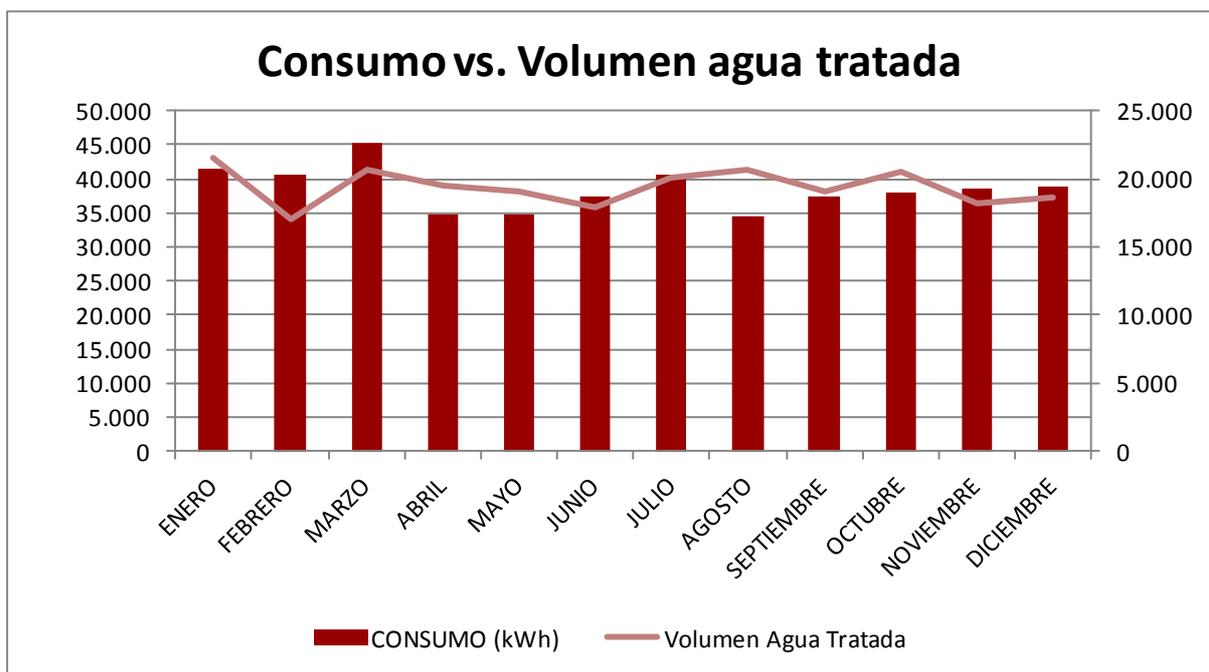


Figura 6. Consumo vs Volumen de agua tratada

ANEJO IV: EVALUACIÓN ENERGÉTICA

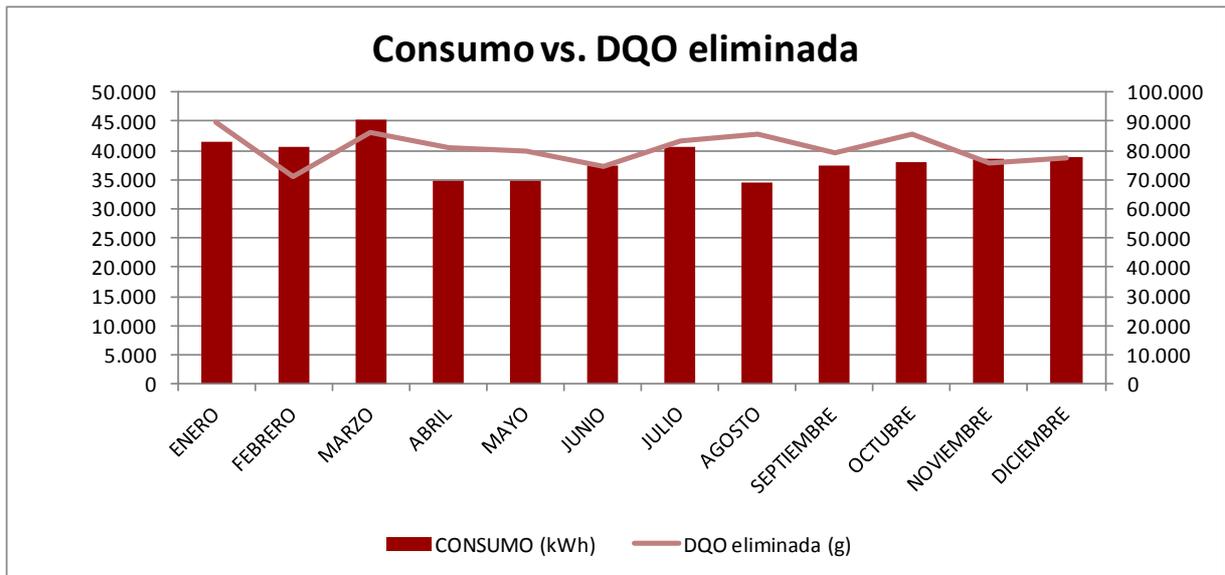


Figura 7. Consumo vs DQO Eliminada

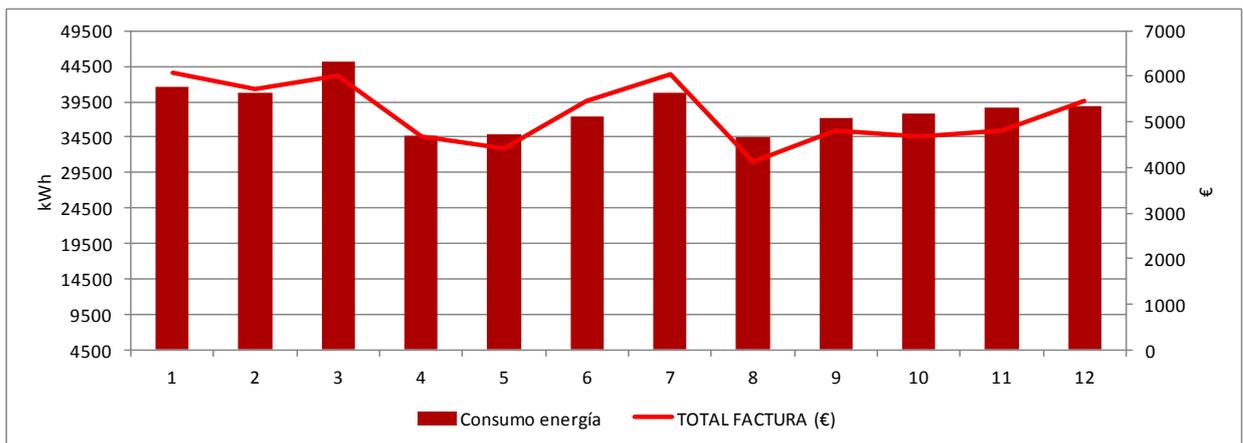


Figura 8. Consumo vs Factura anual

Planos

---

**Planos**

---

Planos

---

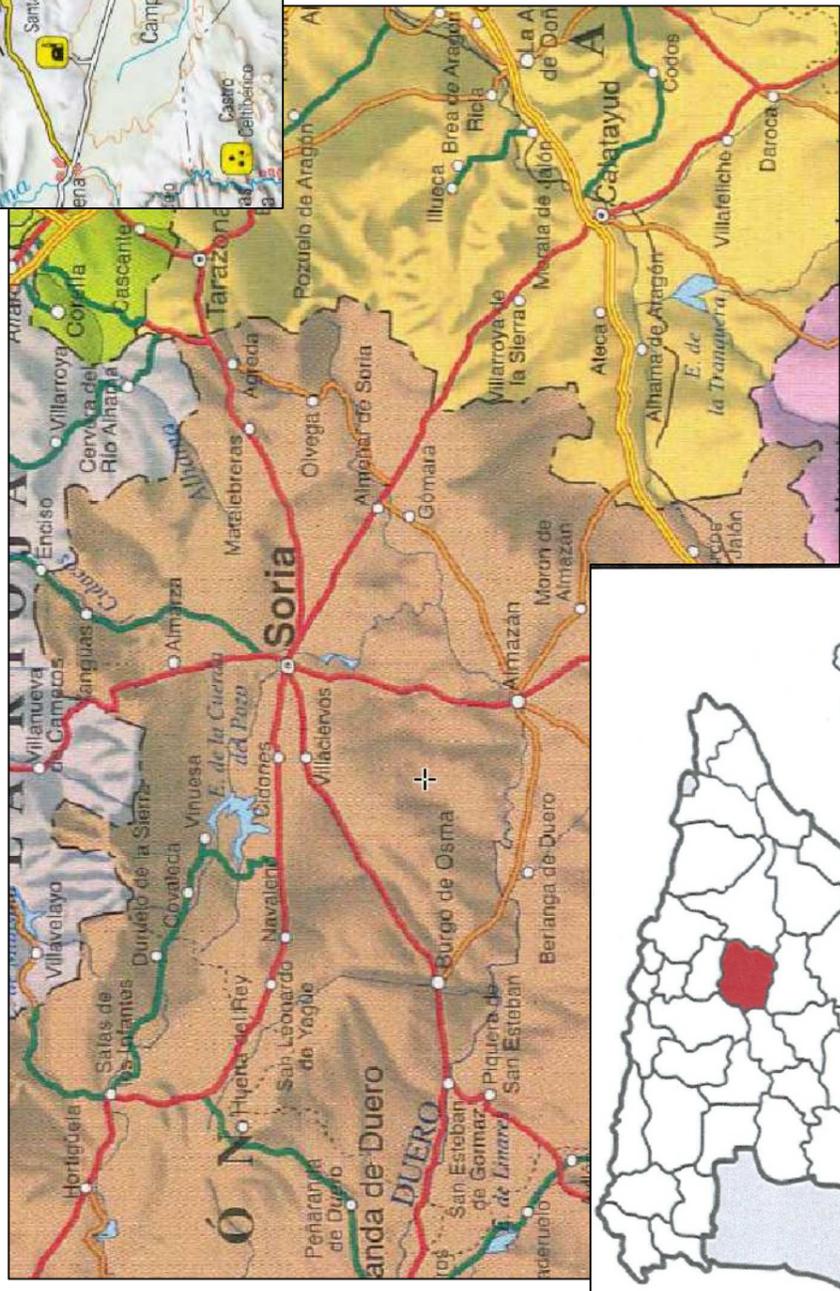
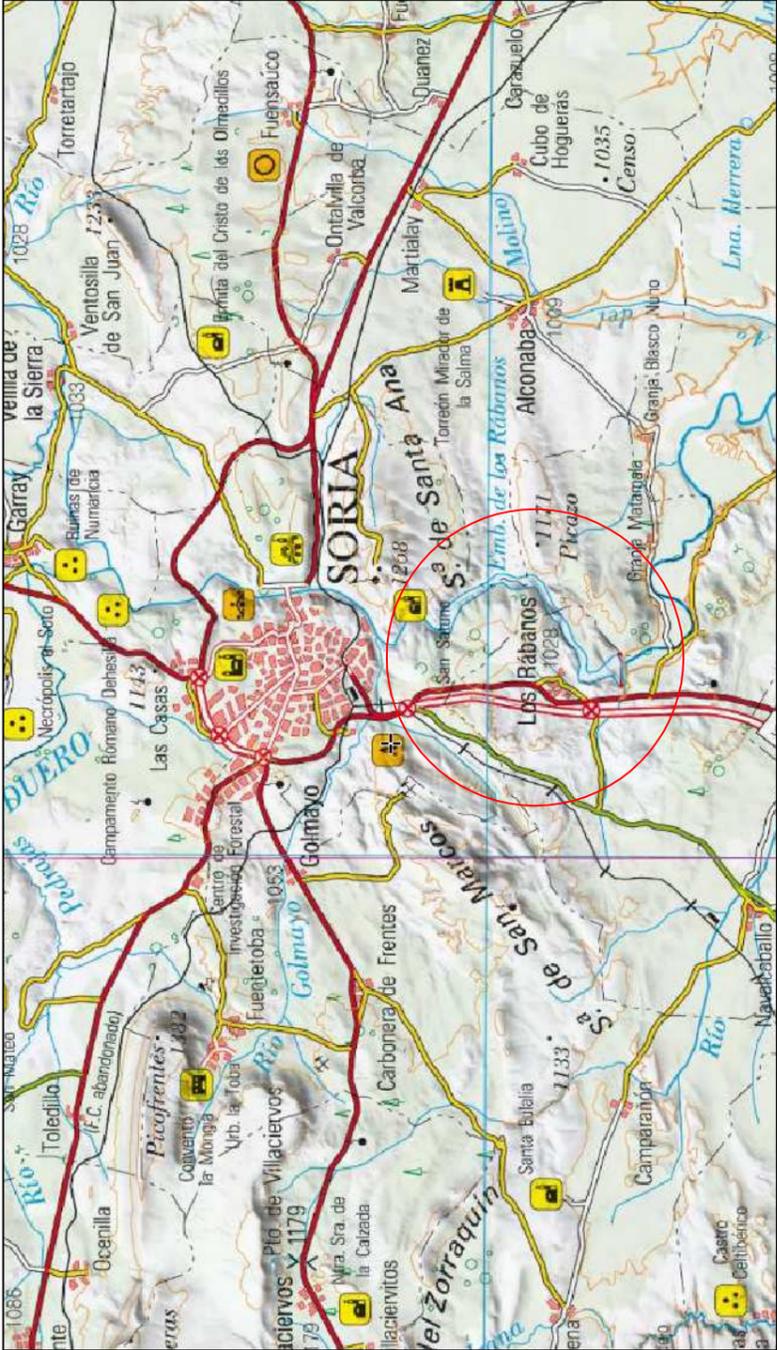
Los siguientes planos han sido realizados basándose en antiguos planos del departamento de mantenimiento de IC Villar, añadiéndose las posteriores modificaciones realizadas en la instalación mediante la toma de medidas en la misma. De la misma forma, han sido eliminados los equipos obsoletos, o en desuso que si aparecían en los planos originales. Se añaden al documento también, los planos de situación y emplazamiento, los cuales incluyen sugerencias de cual podría ser el emplazamiento del biodigestor.

---

Alejandro Romero Esteban

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE SORIA)- E. DE INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA FORESTAL,  
AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA

MASTER EN INGENIERÍA DE LA BIOENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD ENERGETICA



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID - E.U.I. AGRARIAS (SORIA)  
 MASTER EN INGENIERIA DE LA BIODIVERSIDAD Y  
 SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA  
 PROMOTOR: IC VILLAR



TÍTULO: EVALUACION Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) EN IC VILLAR LOS RABANDOS (SORIA)

LOCALIZACIÓN: POLÍGONO 1  
 PARCELA 5186  
 LOS RABANDOS (SORIA)

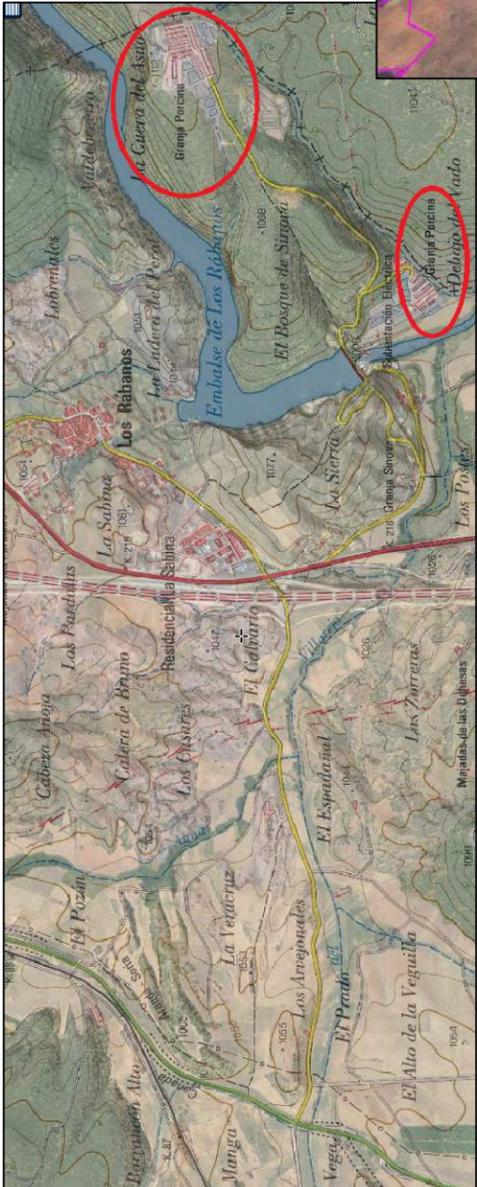
ESCALA:

VARIAS

DENOMINACIÓN: SITUACIÓN

PLANO:

Nº 1



Emplazamiento de los Granjas de la Compañía

Posible emplazamiento del Digestor y silos de almacenamiento



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID - E.U.I. AGRARIAS (SORIA)  
 MASTER EN INGENIERIA DE LA BIOMASA Y SOSTENIBILIDAD ENERGETICA  
 PROMOTOR: IC VILLAR



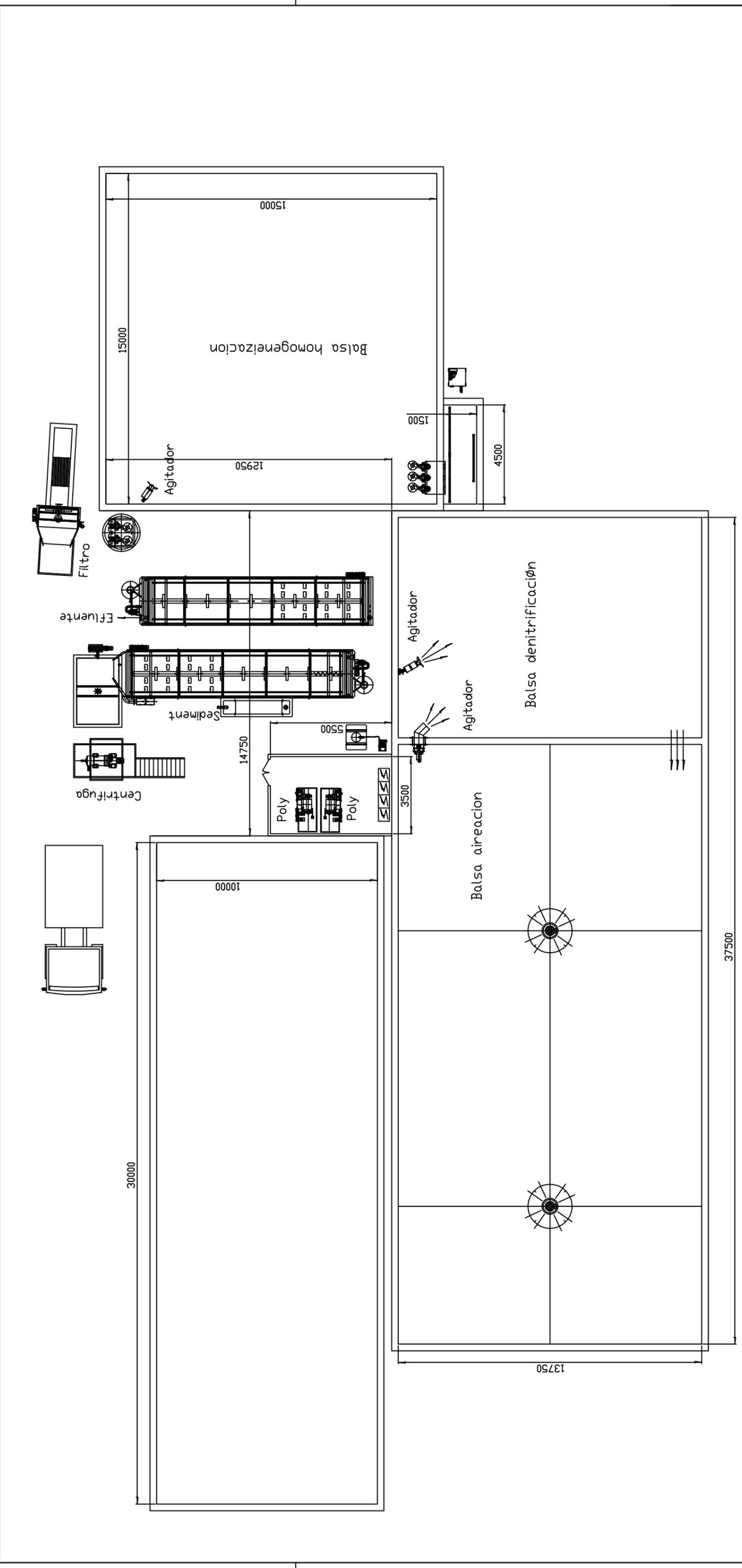
TÍTULO: EVALUACION Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UNA ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) EN IC VILLAR LOS RABANDOS (SORIA)

LOCALIZACIÓN: POLÍGONO 1  
 PARCELA 5186  
 LOS RABANDOS (SORIA)

ESCALA: VARIAS

DENOMINACIÓN: EMPLAZAMIENTO

PLANO: Nº 2



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID - E.U.I. AGRARIAS (SORIA)  
 MASTER EN INGENIERIA DE LA BIENERGIA Y  
 SOSTENIBILIDAD ENERGETICA  
 PROMOTOR: IC VILLAR



|                                                                                                                                                 |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| TÍTULO: EVALUACION Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UNA ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) EN IC VILLAR LOS RABANDOS (SORIA) |                            |
| LOCALIZACIÓN: POLÍGONO 1<br>PARCELA 5186<br>LOS RABANDOS (SORIA)                                                                                | ESCALA:<br>1:125           |
| FECHA:<br>FIRMA:                                                                                                                                | DENOMINACIÓN:<br>SITUACIÓN |
| PLANO:<br>Nº 3                                                                                                                                  |                            |



**MEMORIA**  
**Anejo III: ESTUDIO ECONÓMICO**

---

# ÍNDICE ANEJO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

## Contenido

|                                          |   |
|------------------------------------------|---|
| MEMORIA .....                            | 1 |
| INTRODUCCIÓN .....                       | 3 |
| EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO ..... | 4 |
| a. Valor del Proyecto .....              | 4 |
| b. Vida Útil del Proyecto .....          | 4 |
| c. Flujos de Caja .....                  | 4 |
| d. Financiación .....                    | 5 |
| 3. EVALUACIÓN .....                      | 6 |
| 3.1. VAN .....                           | 6 |
| 3.2 TIR .....                            | 6 |
| 3.3 Plazo de recuperación .....          | 6 |

# INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene por objeto estudiar la rentabilidad de la inversión en el proyecto. Para ello se plantean los tres parámetros que definen una inversión:

1.- Pago de la Inversión (K), es el número de unidades monetarias que el inversor debe desembolsar para conseguir que el proyecto empiece a funcionar como tal.

2.- Vida útil del proyecto (n), es el número de años estimados durante los cuales la inversión está funcionando y generando rendimientos positivos, de acuerdo con las previsiones realizadas. Normalmente se toma como base la vida del elemento de mayor duración, siempre que represente una parte importante de la inversión.

3.- Flujo de caja ( $R_i$ ), resultado de la diferencia entre cobros y pagos, ya sean ordinarios o extraordinarios, en cada uno de los años de la vida del proyecto. Como estos flujos no son conocidos con anterioridad se requiere la realización de predicciones.

Estos parámetros se emplean para el cálculo de los siguientes métodos de evaluación:

- Valor Actual Neto (VAN): indica la rentabilidad neta generada por el proyecto. Se puede describir como la diferencia entre la cuantía invertida (K) y la cuantía generada por el proyecto ( $R_j$ ), valorando todos los flujos en el momento actual. Si el proyecto presenta un VAN mayor que cero para el interés elegido, se dice que el proyecto resulta viable desde el punto de vista financiero.
- Plazo de recuperación (PSRI): es el número de años que transcurren desde el inicio del proyecto hasta que la suma de los cobros iguala a la suma de los pagos. La inversión es más interesante cuanto menor sea su plazo de recuperación.
- Tasa interna de recuperación (TIR): La tasa interna de recuperación de un proyecto representa la tasa a la que el VAN se hace cero. Si la TIR es superior a las tasas impuestas por el mercado para productos financieros de similar horizonte temporal, se considera un proyecto realizable.

# EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

## a. Valor del Proyecto

Tras realizar todos los cálculos de los parámetros que vamos a desarrollar a continuación, se calcula el valor del proyecto como la inversión máxima a realizar para cumplir el plazo de retorno simple de la inversión fijado por el promotor. De este modo, la viabilidad del proyecto viene determinada mayoritariamente por este parámetro. Si se encuentra una empresa que presupueste la instalación por un valor menor a esta inversión máxima, el proyecto será viable y se llevará a cabo.

La inversión total del proyecto asciende a “CUATROCIENTOS CUARENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y OCHO EUROS CON SEIS CÉNTIMOS” (443.448,06€).

## b. Vida Útil del Proyecto

La vida útil del proyecto es un parámetro de difícil consideración en este proyecto en particular, ya que cada inversión supone el empleo de equipos dispares. Por lo cual, para el cálculo de posteriores indicadores, asumiremos un criterio pesimista, y tomaremos como vida útil del proyecto la del equipo que presente una menor longevidad, las luminarias LED que cuentan con 50.000 horas de vida útil. Estas 50.000 horas se corresponden con 5,7 años si se empleasen las 8760 horas del año. Empleando el factor de carga de la instalación 39,61% obtenemos una vida útil de 14,4 años aproximadamente.

## c. Flujos de Caja

Este parámetro también tiene una cierta peculiaridad en este proyecto ya que la diferencia entre cobros y pagos o ingresos y gastos viene dada por el ahorro anual que generan las mejoras realizadas, y los ingresos obtenidos por la venta de energía, dado que se emplea parte del biogás generado para cubrir las necesidades energéticas de la EDAR, y el restante para venta de energía a la fábrica de embutidos y jamones.

El precio de la energía empleado para calcular los ingresos por la venta de la misma es el precio actual de la energía marcado diariamente en el OMIE, con un 20% de descuento, valor fijado como precio mínimo de venta, y al que se realizaría la venta de la energía en su totalidad a la fábrica de embutidos y jamones.

Para calcular los costes de la materia prima a la hora de alimentar el biodigestor, se ha tomado un precio de 3 pesetas/kg de paja en finca, más 2 pesetas/kg en portes, lo que nos da un precio de 3 €/m<sup>3</sup> de la paja. Siendo conservadores emplearemos un precio de 5 €/m<sup>3</sup> de paja.

---

Alejandro Romero Esteban

Hay que tener en cuenta que este mercado es muy volátil y en años de mala cosecha el precio se dispara, pudiendo duplicar e incluso triplicar el mismo, por lo que el coste de oportunidad sería mayor. Hablamos de coste de oportunidad ya que se está realizando la valoración de un bien propio de la compañía.

De este modo se ha tenido en cuenta el precio que podría llegar a tener el m<sup>3</sup> de purines, ya que, aunque en la actualidad suponen un residuo con un coste de eliminación, con la implantación de biodigestores podría llegar a convertirse en un recurso más, presentando un nuevo mercado, y por tanto, se establecería un precio de compra del mismo. El valor asignado al m<sup>3</sup> de purín será de 1,5 €.

De este modo el ahorro anual generado por la inversión es de “CINCUENTA Y NUEVE MIL CIENTO VEINTISEIS EUROS CON CUARENTA Y UN CÉNTIMOS” (59.126,41 €).

#### **d. Financiación**

Dependiendo de la cuantía final de la inversión el promotor estudiará si estima necesario la búsqueda de financiación, tanto en entidades privadas como públicas. El departamento de Ingeniería de IC Villar es sobradamente competente y cuenta con experiencia en la búsqueda de apoyo o financiación de fondos públicos, por lo que se deja en sus manos este apartado

## 3. EVALUACIÓN

### 3.1. VAN

Para el cálculo del VAN de este proyecto, dada su duración y observando los tipos de mercado actuales, se considera adecuado exigir una rentabilidad del 6%, corregida por una tasa de inflación de 1.5%. Se empleará como inversión inicial la cuantía calculada como inversión inicial máxima para cumplir el plazo de recuperación simple impuesto por el promotor

Así pues, se procede al cálculo del VAN mediante la fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Flujo\ Anual}{(1 + Tasa)^t}$$

Obteniéndose como resultado un VAN= 140.180,46 € >0 , lo que implica que el proyecto es realizable.

### 3.2 TIR

Para el cálculo de la TIR se emplea una iteración mediante hoja Excel. En primer lugar se genera una tabla con los flujos de caja de todos los años, y el programa posee integrado la función que calcula la TIR, obteniéndose un valor de 10,91 % a un plazo de 14 años.

### 3.3 Plazo de recuperación

El plazo de recuperación máximo es fijado por el promotor en 7,5, por lo que a partir de este valor se calculará la inversión máxima realizable para cumplir esta imposición.

## **Bibliografía**

---

## Bibliografía

1. Liangliang W., Kena Q., Jing D., Mao X., Chaoyong Y., Junqiu J. y Qingliang Z. (2019) Optimization of the co-digestion of sewage sludge, maize straw and cow manure: microbial responses an effect of fractional organic characteristics.
2. Tomita H., Fumigoshi O., Tamaru Y., (2019) Biomethane production from sugar beet pulp under cocultivation with Clostridium Cellulovorans and methanogens.
3. Palatsi J., Rodriguez-Abalde A., Fernandez B. y Flotats X. (2010) Digestión anaerobia de subproductos de la industria cárnica.
4. Muñoz I., Portillo F., Rosiek S., Batlles F.J., Martinez-del-Río J., Acasuso I...Di laconi C., (2019) Prospective environmental and economic assessment of solar-assisted thermal energy recovery from wastewater through a sequencing batch biofilter granular reactor .
5. Hernández-Chover V., Bellver-Domingo A., Hernández-Sancho F. (2018) Efficiency of wastewater treatment facilities: The influence of scale economies.
6. Wanga S., Jenab U, Dasa K.C. (2018) Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States.
7. Latifi P., Karrabi M., Danesh S., (2019) Anaerobic co-digestion of poultry slaughterhouse wastes with sewage sludge in batch-mode bioreactors (effect of inoculum-substrate ratio and total solids).
8. Dionisi D., Bolaji I., Nabbanda D. , Silva I MO., (2018) Calculation of the potential production of methane and chemicals using anaerobic digestion.
9. Shena Q., Suna H., Yaoa X., Wua Y.,Wanga X., Chenb Y., Tanga J. (2019) A comparative study of pig manure with different waste straws in an ectopic fermentation system with thermophilic bacteria during the aerobic process: Performance and microbial community dynamics.
10. Ninga J., Zhoua M., Pana X., Lic C., Lva N., Wanga T.....Zhua G., (2019) Simultaneous biogas and biogas slurry production from co-digestion of pig manure and corn straw: Performance optimization and microbial community shift.
11. Yirong C, Zhang W., Heaven S., Banks C.J. (2017) Influence of ammonia in the anaerobic digestion of food waste.
12. Du X, Tao Y., Li H., Liu Y., Feng K. (2019) Synergistic methane production from the anaerobic co-digestion of Spirulina platensis with food waste and sewage sludge at high solid concentrations.
13. Ali, A. H., Al-Mussawy, H. A., Ghazal, M.T. and Hamadi, N.J. (2019) Experimental and Theoretical Study for Hydrogen Biogas Production from Municipal Solid Waste.