



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

# **MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

### **PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL 2G A PARTIR DE PAJA DE TRIGO**

Autor: Jiménez Arenas, Beatriz  
Tutor: Lucas Yagüe, Susana  
Coca Sanz, Mónica

Valladolid, Septiembre, 2017





Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

# **MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

### **PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL 2G A PARTIR DE PAJA DE TRIGO**

Tutor: Jiménez Arenas, Beatriz  
Tutor: Lucas Yagüe, Susana  
Coca Sanz, Mónica

Valladolid, Septiembre, 2017



## ÍNDICE ANEXOS

ANEXO I: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	96
ANEXO II. DIAGRAMA DE FLUJO .....	97
ANEXO III. CÁLCULOS BALANDE ECONÓMICO .....	101

## ANEXO I: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la caracterización de la paja de trigo se siguen los métodos del National Renewable Energy Laboratory [94]. Este método se muestra de forma esquemática en la Figura I.1.

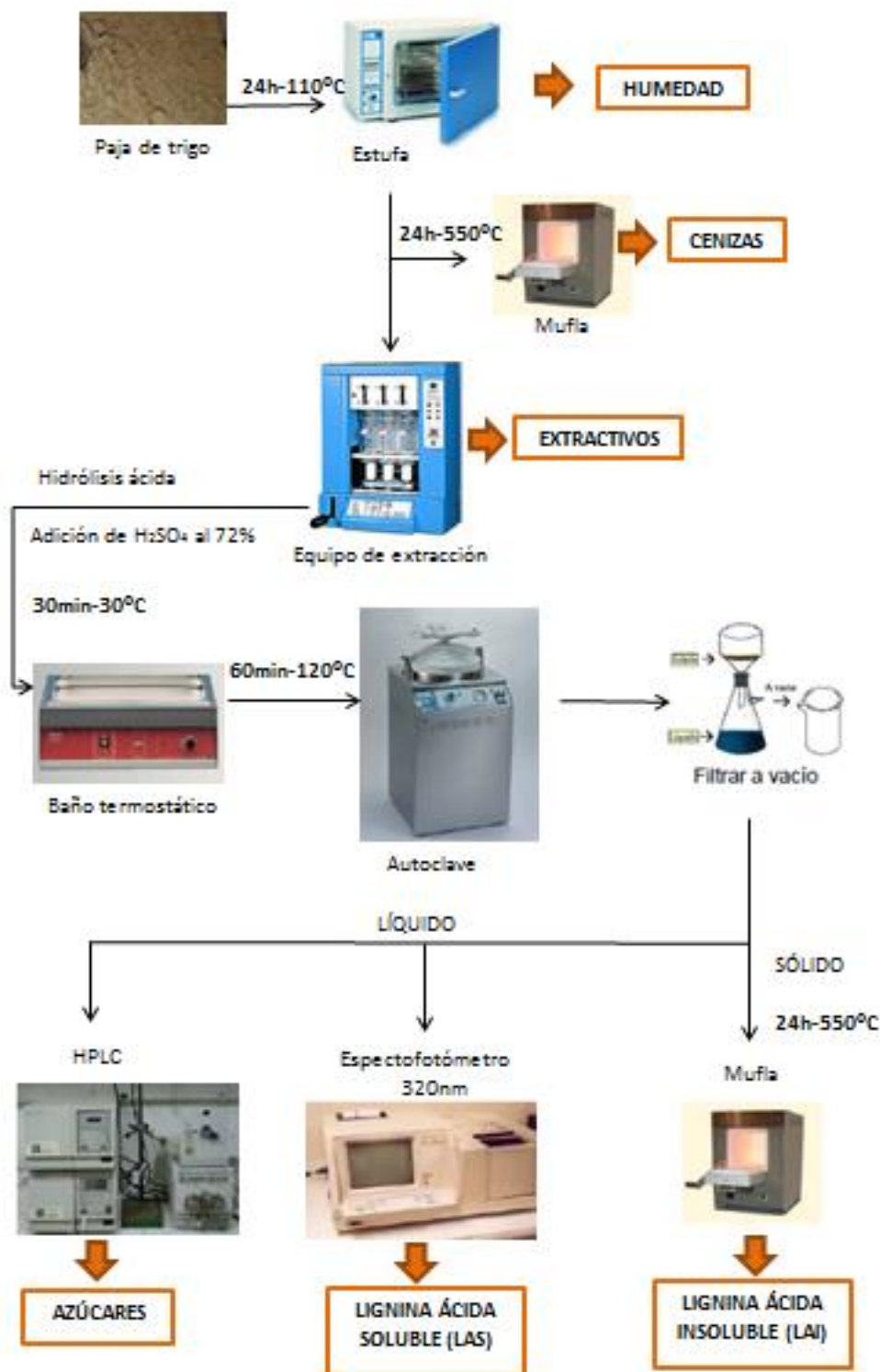


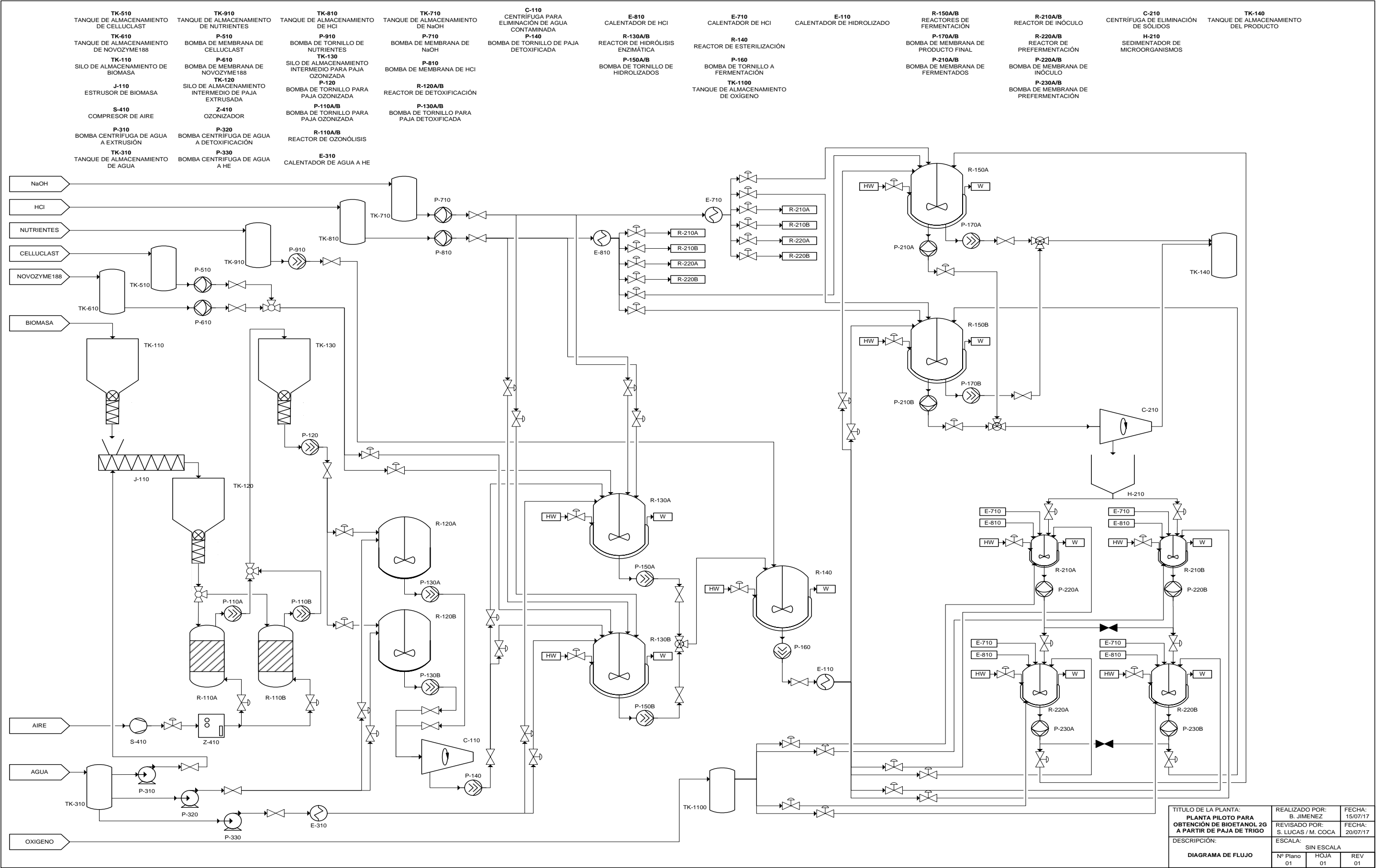
Figura I.1. Esquema del proceso de caracterización de paja de trigo.



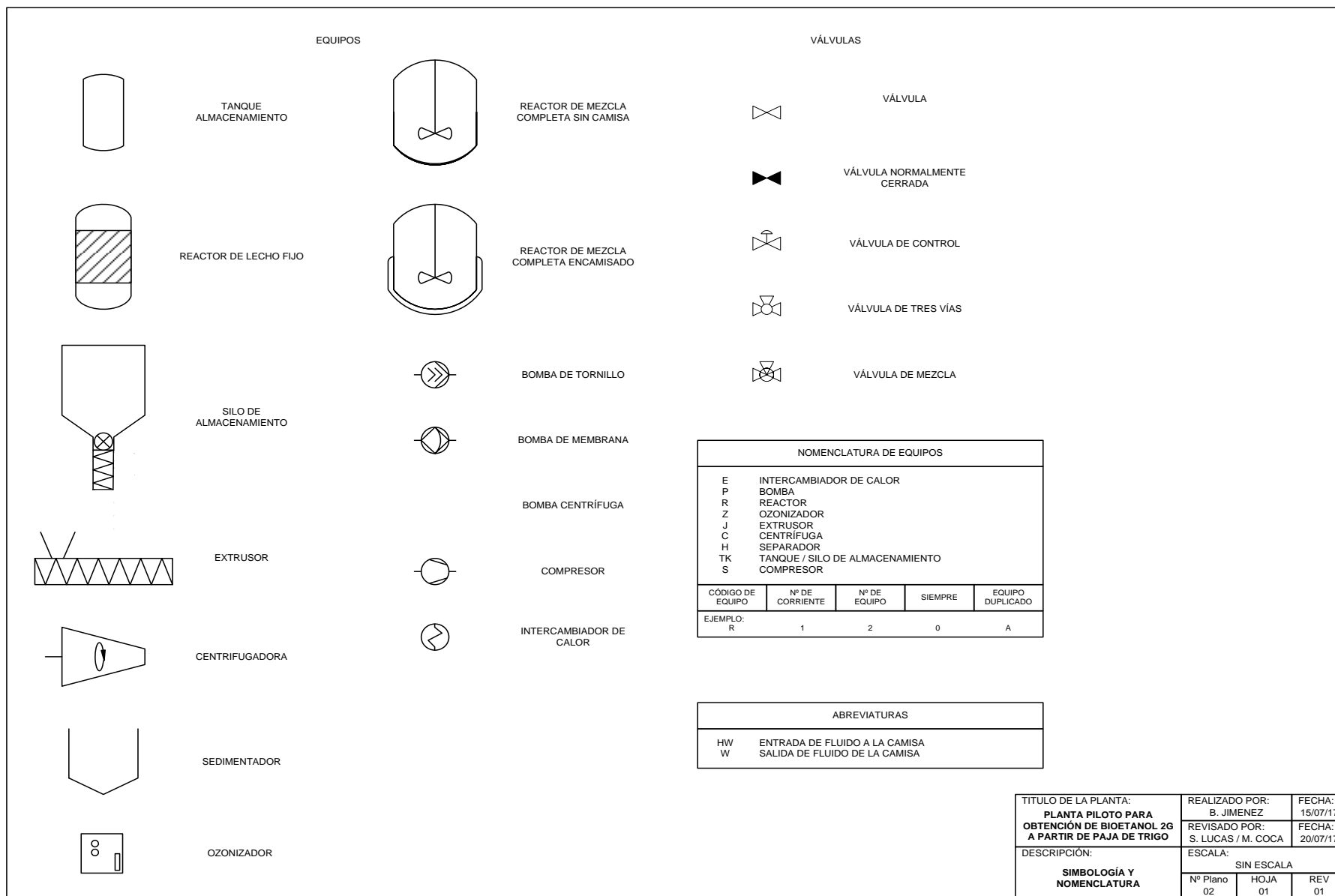




ANEXO II. DIAGRAMA DE FLUJO









## ANEXO III. CÁLCULOS BALANDE ECONÓMICO

Para calcular los costes por el método ISBL-OSBL se han utilizado las siguientes fórmulas:

$$\text{ISBL} = \text{CE} \quad \text{Ecuación III.1}$$

$$\text{OSBL} = 0,45 \cdot \text{ISBL} \quad \text{Ecuación III.2}$$

$$\text{CD} = \text{ISBL} + \text{OSBL} \quad \text{Ecuación III.3}$$

$$\text{CI} = 0,25 \cdot \text{CD} \quad \text{Ecuación III.4}$$

$$\text{CFI} = \text{CD} + \text{CI} \quad \text{Ecuación III.5}$$

$$\text{CO} = 0,2 \cdot \text{CFI} \quad \text{Ecuación III.6}$$

$$\text{CPM} = 0,1 \cdot \text{CFI} \quad \text{Ecuación III.7}$$

$$\text{CTI} = \text{CFI} + \text{CO} + \text{CPM} \quad \text{Ecuación III.8}$$

En la Tabla III.1 se muestra la cuenta de resultados en la que se presentan los fondos invertidos, los beneficios obtenidos y el flujo de caja acumulado para el primer escenario en el que el que se vende el etanol sin tener subvención.

CUENTA DE RESULTADOS	AÑO										
Descripción (MILE€)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1. Capital Inmovilizado	65.43	340.23	510.34								
A2. Capital Circulante			3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
<b>A. FI Fondos Invertidos</b>	-65.43	-340.23	-514.14	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80
B1. Ingresos por ventas			2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
B2. Costes			37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90
<b>B. Margen Bruto</b>			-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78
C1. Amortización			-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06
<b>C. BAI- Beneficio antes de Impuestos</b>			-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84
D1. Impuestos			-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17
<b>D. BDI- Beneficio después de Impuestos</b>			-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01
<b>E. FGO- Fondos generados por las operaciones (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.34	-0.66	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
<b>F. FGO-R- Movimiento de Fondos Cash Flow Acumulado (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.41	-1.06	-1.21	-1.36	-1.51	-1.66	-1.81	-1.96	-2.11	-2.26

Tabla III.1. Flujo de caja acumulado planta piloto

En la Tabla III.2 se muestra la cuenta de resultados en la que se presentan los fondos invertidos, los beneficios obtenidos y el flujo de caja acumulado para el segundo escenario en el que el que se vende el etanol y se obtiene una subvención del 35 % sobre el CTI.

CUENTA DE RESULTADOS	AÑO										
Descripción (MILE€)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1. Capital Inmovilizado	65.43	340.23	510.34								
A2. Capital Circulante			3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>A. FI Fondos Invertidos</b>	-65.43	-340.23	-212.19	301.95	301.95	301.95	301.95	301.95	301.95	301.95	301.95
B1. Ingresos por ventas			2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
B2. Costes			37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90
<b>B. Margen Bruto</b>			-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78	-35.78
C1. Amortización			-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06
<b>C. BAI- Beneficio antes de Impuestos</b>			-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84	-120.84
D1. Impuestos			-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17	-24.17
<b>D. BDI- Beneficio después de Impuestos</b>			-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01	-145.01
<b>E. FGO- Fondos generados por las operaciones (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.34	-0.36	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
<b>F. FGO-R- Movimiento de Fondos Cash Flow Acumulado (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.41	-0.76	-0.61	-0.45	-0.29	-0.14	0.02	0.18	0.34	0.49

Tabla III.2. Flujo de caja acumulado planta piloto con subvención

Se estudia la rentabilidad del proceso cambiando la etapa de hidrólisis ácida por hidrólisis ácida. Se considera que el coste total de la instalación no varía con respecto al proceso con hidrólisis enzimática, puesto que únicamente es un cambio de condiciones de operación y reactivos de una de las etapas.

En la hidrólisis ácida se sustituyen las enzimas por ácido sulfúrico añadido al proceso en una concentración del 2% en peso. En la Tabla III.3 se muestra un resumen de las materias primas y el coste que suponen anualmente, así como el etanol producido y los beneficios anuales obtenidos. Para calcular la producción de etanol a partir de la biomasa, se consideran los mismos rendimientos de obtención de azúcares y etanol que los obtenidos en el proceso con hidrólisis enzimática, es decir, 9,05 g etanol/100 g MS.

	FLUJO (kg/h)	COSTE (€/kg)	COSTE (€/año)
<b>MATERIAS PRIMAS</b>			
Biomasa	11.94	0.006	287
Ácido sulfúrico	1.96	0.168	1317
NaOH	0.01	0.250	10
Nutrientes	1.21	0.220	1065
Agua	1209.00	0.001	6770
Oxígeno	0.07	1.200	336
<b>PRODUCTOS</b>			
Etanol	0.89	0.630	2233

Tabla III.3. Coste materias primas y productos proceso con hidrólisis ácida

A partir de la inversión total de la planta y el coste anual de materias primas y productos se realiza el análisis de flujos de caja representada en la Tabla III.4, considerando que la planta opera 16 horas diarias durante un total de 250 días al año, fijando una amortización de los equipos y la propia planta piloto a 10 años y aplicando un impuesto del 20 %.

CUENTA DE RESULTADOS	AÑO										
Descripción (MILE€)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1. Capital Inmovilizado	65.43	340.23	510.34								
A2. Capital Circulante			3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
<b>A. FI Fondos Invertidos</b>	-65.43	-340.23	-514.14	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80
B1. Ingresos por ventas			2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23
B2. Costes			9.78	9.78	9.78	9.78	9.78	9.78	9.78	9.78	9.78
<b>B. Margen Bruto</b>			-7.55	-7.55	-7.55	-7.55	-7.55	-7.55	-7.55	-7.55	-7.55
C1. Amortización			-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06	-85.06
<b>C. BAI- Beneficio antes de Impuestos</b>			-92.61	-92.61	-92.61	-92.61	-92.61	-92.61	-92.61	-92.61	-92.61
D1. Impuestos			-18.52	-18.52	-18.52	-18.52	-18.52	-18.52	-18.52	-18.52	-18.52
<b>D. BDI- Beneficio después de Impuestos</b>			-111.13	-111.13	-111.13	-111.13	-111.13	-111.13	-111.13	-111.13	-111.13
<b>E. FGO- Fondos generados por las operaciones (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.34	-0.63	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11
<b>F. FGO-R- Movimiento de Fondos Cash Flow Acumulado (MILLONES €)</b>	-0.07	-0.41	-1.03	-1.15	-1.26	-1.38	-1.49	-1.61	-1.72	-1.84	-1.95



Tabla III.4. Flujo de caja acumulado planta piloto con hidrólisis ácida

Como se observa en la Figura III. el proceso no es viable económicamente, no se recupera la inversión inicial y además se pierde dinero conforme avanza el tiempo. El VAN resultante toma un valor negativo de -1,77 millones de euros y el TIR es inferior a cero.

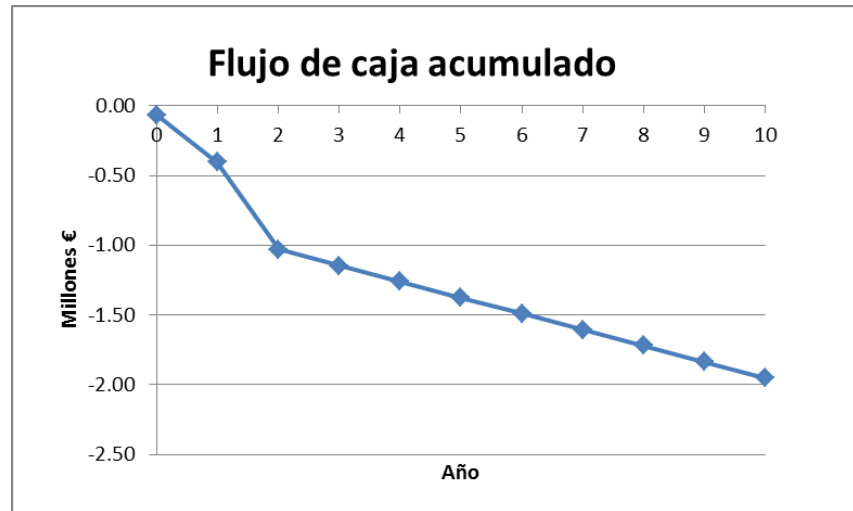


Figura III.1. Flujo de caja acumulado para el proceso con hidrólisis ácida.