

Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ingeniería

Carrera:

Especialización en Ingeniería Ambiental



**Evaluación para el aprovechamiento
energético de Residuos y Subproductos
en Curtiembre ARLEI S.A.**

T E S I S

Para obtener el título de:

Especialista en Ingeniería Ambiental

Presenta:

Ing. Elect. Sergio Arturo Menapace

Director de tesis:

Dr. Ing. Luis Horacio Vera

Resistencia, Chaco Argentina

2025



Facultad de Ingeniería

Especialización en Ingeniería Ambiental
Trabajo Final Integrador

Evaluación para el aprovechamiento
energético de Residuos y Subproductos
en Curtiembre ARLEI S.A.
(Las Toscas – Santa Fe, Año 2021)

Autor:

- Ing. Elect. Sergio Arturo Menapace
sergiomenapace5@gmail.com

Director:

- Dr. Ing. Luis Horacio Vera
luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

2025



Índice

1. Resumen	4
2. Introducción	6
2.1. Problema	7
2.2. Hipótesis.....	7
2.3. Objetivos	7
2.3.1 Objetivo General.....	7
2.3.2 Objetivos Específicos	8
3. Antecedentes	9
4. Presentación del Caso: Curtiembre ARLEI S.A.	11
4.1. Tratamiento actual de residuos con potencial energético.....	13
4.1.1 Tratamiento de lodos:	13
4.1.2 Tratamiento de sebo:.....	14
4.2. Energía: Fuentes de energía y su uso en la curtiembre	15
4.3. Valorización energética de subproductos	17
4.3.1 Aprovechamiento de biogás a partir de lodos residuales	17
4.3.2 Aprovechamiento de biodiésel a partir de sebo bovino	19
4.3.3 Impacto en el balance energético de la planta	20
5. Metodología	21
6. Resultados	24
6.1 Integración del BIOGÁS en la matriz energética de la planta.....	24
6.1.1 Alternativa 1: Uso del biogás para generación de vapor en caldera.....	25
6.1.2 Alternativa 2: Uso del biogás para generación de energía eléctrica.....	29
6.1.3 Alternativa 3: Uso del biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor	33
6.2 Integración del BIODIESEL en la matriz energética de la planta.....	37
7. Conclusión	40
8. Bibliografía	42
Anexo I: Tablas.....	44



Tabla 1: producción y consumo energético mensual	44
Tabla 2: Cash Flow Alternativa 1: Biogás para generación de vapor en caldera ..	45
Tabla 3: Cash Flow Alternativa 2: Biogás para generación de energía eléctrica ..	47
Tabla 4: Cash Flow Alternativa 3: Biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor	49
Tabla 5: Cash Flow: Biodiesel para reemplazo de diésel y leña.....	51
Anexo II: Proceso Productivo Curtiembre	53
Anexo III: Generación de Biogás	58
Anexo IV: Generación de Biodiesel.....	61



1. Resumen

La industria del cuero, conocida por sus procesos intensivos y generación de residuos, presenta una oportunidad significativa para la producción de energía renovable mediante la utilización de biogás y biodiesel derivados de sus residuos y subproductos. El presente trabajo se enfoca en el aprovechamiento del potencial energético de subproductos dentro de la cadena de producción, con un énfasis particular en Curtiembre Arlei S.A. a través del diagnóstico, análisis y aplicación de estrategias y técnicas para el aprovechamiento del recurso biomásico disponible. De esta manera priorizar la reducción de consumo de energía e iniciar la transición de las energías convencionales a las renovables en la planta.

Se realizó un análisis del ciclo de producción de la empresa, y los subproductos obtenidos en el proceso, con el fin de determinar el potencial de generación de biogás y biodiesel. Con el volumen de subproductos calculados se realizó un análisis energético para evaluar cómo podrían ser integrados para su transformación en energía e integrarse en la matriz de consumo de la planta. Este análisis determinó el potencial energético de los subproductos y se realizó una comparación con las de las energías convencionales utilizadas actualmente en la planta.

Conociendo el potencial de generación de biogás y biodiesel, se realizó un análisis energético para evaluar cómo estas fuentes de energía renovable podrían integrarse en la matriz de consumo de la planta. Este análisis comparó las propiedades energéticas de los biocombustibles con las de las energías convencionales utilizadas actualmente en la planta.

El estudio concluye que la implementación de procesos para la obtención de biogás y biodiesel en Curtiembre Arlei S.A. a través del aprovechamiento de subproductos (sin valor) dentro de la cadena productiva, representa una alternativa viable para el reemplazo de energías convencionales. Los beneficios identificados incluyen una reducción en los costos energéticos, una mejora en la gestión de residuos, y significativos beneficios ambientales relacionados con la reducción de emisiones y el aumento de la sostenibilidad.

Los resultados del análisis económico y energético reflejan la viabilidad de integrar biogás en la matriz energética de la planta, con inversiones de hasta 1,5 millones de dólares y períodos de recuperación que oscilan entre 3 y 4 años, dependiendo de la alternativa implementada. Este período de tiempo, es menor a lo encontrado con otras tecnologías renovables, las cuales carecen del agregado de revalorizar un residuo o subproducto. En el caso del biodiesel, si bien el análisis demuestra que el modelo no resulta económicamente rentable en las condiciones actuales, su desarrollo puede



impulsar pruebas piloto para validar su eficiencia en la sustitución de combustibles fósiles.

Este estudio no solo propone un cambio incremental, sino que plantea la transformación progresiva del modelo energético de la curtiembre. A través de pruebas piloto y estrategias de optimización, se sientan las bases para una transición hacia un esquema de producción más sustentable, demostrando que la valorización de los residuos puede convertirse en un motor clave para la reducción de costos y el desarrollo sostenible de la industria.

Palabras Clave: *Curtiembre, residuos, subproductos, energía renovable, biogás, biodiesel, transición energética industrial.*



2. Introducción

En la industria del cuero, la gestión de residuos representa un desafío ambiental significativo, pero también una oportunidad para la generación de energía renovable. Curtiembre ARLEI S.A., ubicada en Santa Fe, enfrenta este desafío con un enfoque innovador: la transformación de sus residuos y subproductos en fuentes de energía aprovechables. Este estudio se centra en la valorización económica y ambiental del aprovechamiento de lodos residuales y sebo para la producción de biogás y biodiesel, respectivamente, sustentándolo con un análisis técnico detallado.

El aprovechamiento energético de residuos industriales ha cobrado relevancia en el marco de la economía circular y la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. En Argentina, la legislación ambiental y los incentivos para la producción de energías limpias han impulsado a las empresas a adoptar prácticas más eficientes y responsables (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). La industria curtidora, caracterizada por una alta generación de residuos orgánicos, se encuentra ante la necesidad de optimizar su gestión y reducir su impacto ambiental (Muñoz et al., 2016).

Uno de los procesos más prometedores en este contexto es la digestión anaeróbica de lodos residuales, que permite la producción de biogás, un combustible renovable compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. La alta carga orgánica de los lodos generados en curtimientos los convierte en una fuente viable para la generación de energía. Adicionalmente, la producción de biodiesel a partir del sebo bovino generado en la planta constituye una alternativa sostenible para reemplazar el diésel convencional en sistemas de calefacción y transporte interno (Fiorentino et al., 2019). Ambos procesos permiten transformar residuos que de otro modo serían desechados en productos con utilidad energética y rentabilidad económica.

Desde una perspectiva técnica, este trabajo evaluará la eficiencia energética de los biocombustibles producidos, los costos de implementación y operación, así como los beneficios ambientales derivados de la reducción de residuos y emisiones. La investigación incluirá un análisis comparativo entre la matriz energética actual de la planta y el potencial de integración de estas fuentes renovables. Asimismo, se examinarán los posibles retornos económicos derivados del aprovechamiento de residuos, contribuyendo a la sostenibilidad económica de la empresa.

Si bien la implementación de estas tecnologías implica desafíos como la inversión inicial, la adaptación de procesos industriales y la gestión de subproductos secundarios (Rodríguez et al., 2020), los beneficios potenciales superan estos obstáculos. La valorización de residuos como insumo energético no solo permite reducir costos operativos y dependencia de combustibles fósiles, sino que también posiciona a la empresa como un referente en sostenibilidad dentro del sector (Cortez et al., 2018).



Este estudio busca proporcionar un marco técnico para optimizar el aprovechamiento energético de los residuos en Curtiembre ARLEI S.A., maximizando el uso de recursos, minimizando el impacto ambiental y promoviendo un modelo replicable en la industria. Los resultados obtenidos podrían servir como referencia para la implementación de estrategias similares en otras empresas, contribuyendo así a la consolidación de prácticas más sostenibles en el sector industrial.

2.1. Problema

Curtiembre Arlei S.A., un importante proveedor de cuero para la industria automotriz global, procesa alrededor de 7.000 cueros al día, generando una considerable cantidad de residuos y subproductos, lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de efluentes y subproductos del trinchado de cueros bovinos, como sebo, recortes de ubres y capaduras.

Aunque la empresa ha implementado procesos efectivos para tratar y mitigar los residuos a través del tratamiento de efluentes y rellenos sanitarios, así como el aprovechamiento de subproductos en la industria cosmética, una parte significativa de estos residuos, con alto contenido orgánico, permanece sin ser explotada en términos de su potencial energético. Esta situación representa una oportunidad desaprovechada para la empresa en el campo de la generación de energías renovables, lo que plantea la necesidad de explorar y evaluar alternativas sostenibles para el aprovechamiento energético de estos materiales, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y a la mejora de la eficiencia operativa de la curtiembre.

2.2. Hipótesis

La integración de biogás y biodiesel, producidos a partir de los residuos y subproductos generados en Curtiembre Arlei S.A., es técnica y económicamente viable, permitiendo la reducción de costos energéticos, la optimización del manejo de residuos y una mejora en la sostenibilidad ambiental de la empresa.

2.3. Objetivos

2.3.1 Objetivo General

- Analizar y evaluar la viabilidad energética, económica y ambiental del aprovechamiento de residuos y subproductos generados por Curtiembre Arlei S.A. para su integración en la matriz energética de la planta.



2.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación energética actual de Curtiembre Arlei S.A., incluyendo los consumos por tipo de energía y sus principales aplicaciones en planta.
- Presentar la viabilidad técnica del aprovechamiento de residuos y subproductos a partir de estudios desarrollados por el área de Investigación y Desarrollo de la empresa.
- Cuantificar el potencial energético del biogás y biodiesel generado a partir de los residuos orgánicos de la curtiembre.
- Realizar un análisis económico considerando inversiones iniciales, costos operativos y posibles ingresos adicionales derivados del aprovechamiento energético.
- Estimar los beneficios ambientales derivados del reemplazo de fuentes energéticas convencionales, en términos de reducción de emisiones de CO₂.
- Proponer escenarios de integración de energías renovables en la matriz energética de la planta, priorizando criterios de sostenibilidad y eficiencia.



3. Antecedentes

El proceso de curtido de pieles ha evolucionado significativamente en términos de eficiencia y gestión ambiental. Según Tejerina et al. (2013), la industria del curtido es altamente demandante de agua y energía, generando una considerable carga orgánica en sus efluentes. Tradicionalmente, la gestión de estos residuos se ha basado en su disposición en rellenos sanitarios y en el aprovechamiento parcial de subproductos para la industria cosmética y alimentaria. Sin embargo, el potencial energético de estos desechos sigue estando subutilizado, lo que abre la posibilidad de su valorización en la generación de energías renovables.

En el caso particular de Curtiembre Arlei S.A., una empresa de referencia en la industria automotriz, el procesamiento alcanza aproximadamente 7.000 cueros diarios, lo que implica una significativa generación de lodos residuales y subproductos como sebo, recortes de ubres y capaduras. Dado el volumen de producción, la gestión de estos residuos representa un desafío tanto ambiental como económico, por lo que el análisis de su valorización energética resulta clave para mejorar la sostenibilidad del proceso.

El aprovechamiento energético de los residuos de curtiembre ha sido objeto de diversas investigaciones. Estudios sobre la digestión anaerobia en industrias de procesamiento de alimentos han demostrado que los lodos y restos orgánicos pueden convertirse en una fuente de energía sostenible a través de la producción de biogás (González et al., 2018). Asimismo, se ha documentado que el sebo bovino y otros subproductos de la curtiembre pueden utilizarse en la producción de biodiesel, con aplicaciones tanto para la sustitución de combustibles fósiles como para la generación de vapor en calderas industriales (Martínez y López, 2016).

En cuanto a la producción de biogás, Gutiérrez y Mateus (2019) analizaron la factibilidad del tratamiento anaeróbico de residuos orgánicos para la generación de energía, resaltando la importancia de evaluar el balance energético y la eficiencia del proceso en función del sustrato utilizado. La aplicación de esta tecnología en curtiembres podría representar una alternativa viable para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la sostenibilidad del proceso productivo.

Por otro lado, la producción de biodiesel a partir de grasa animal ha sido ampliamente estudiada. Investigaciones previas (Oliva-Montes et al., 2015; Álvez et al., 2018) han demostrado que la grasa de origen bovino puede ser transformada en un biocombustible eficiente, con propiedades físico-químicas comparables a las del diésel convencional. Estos estudios destacan la importancia de implementar tecnologías de conversión adecuadas para optimizar el rendimiento y la calidad del biodiesel obtenido,



especialmente en industrias con grandes volúmenes de desechos grasos, como las curtiembres.

En este contexto, la necesidad de reducir el impacto ambiental de la curtiembre y mejorar su eficiencia operativa ha impulsado el interés en estrategias de valorización energética. La integración de biogás y biodiesel en la matriz energética de la planta podría constituir una alternativa viable para la reducción de costos y emisiones. Estudios como los de Pérez et al. (2019) han demostrado que la implementación de sistemas de aprovechamiento de residuos en curtiembres puede generar beneficios económicos y ambientales significativos, reduciendo la dependencia de fuentes energéticas convencionales y disminuyendo la huella de carbono del proceso productivo.

Estos antecedentes contextualizan la importancia de evaluar el aprovechamiento energético de los residuos generados en curtiembres, no solo como una estrategia de mitigación ambiental, sino también como una oportunidad para optimizar costos energéticos y mejorar la competitividad del sector industrial.



4. Presentación del Caso: Curtiembre ARLEI S.A.

Curtiembre ARLEI S.A. es una empresa dedicada a la manufactura de cueros bovinos, ubicada en Las Toscas, Santa Fe. Su producción se enfoca principalmente en abastecer a la industria automotriz, aunque también comercializa productos como cuero y suelas para calzado.



Fig. 1: Curtiembre ARLEI S.A. Planta Las Toscas. Vista Norte.

Fuente: ARLEI.com



Fig. 2: Curtiembre ARLEI S.A. Planta Las Toscas, Planta de Tratamiento de Efluentes. Vista Este.

Fuente: ARLEI.com

En el proceso productivo de la curtiembre, la materia prima principal proviene de mataderos y frigoríficos en forma de cueros frescos o salados, que luego atraviesan una serie de tratamientos fisicoquímicos hasta obtener el cuero curtido semiterminado, destinado principalmente a la industria automotriz. Durante estas etapas de procesamiento, se generan diversas corrientes de residuos y subproductos, muchas de las cuales poseen un alto contenido orgánico y un considerable potencial para la generación de energía.

La transformación del cuero implica distintas fases, como la remoción de tejidos residuales, el tratamiento químico para su estabilización y la depuración de los efluentes generados en el proceso. En cada una de estas instancias, se generan materiales que tradicionalmente han sido considerados residuos, pero que, con un enfoque de valorización, pueden convertirse en insumos para la producción de biocombustibles y biogás.

Se presenta a continuación un gráfico que explica de manera general el proceso productivo y los puntos de generación de residuos y subproductos.

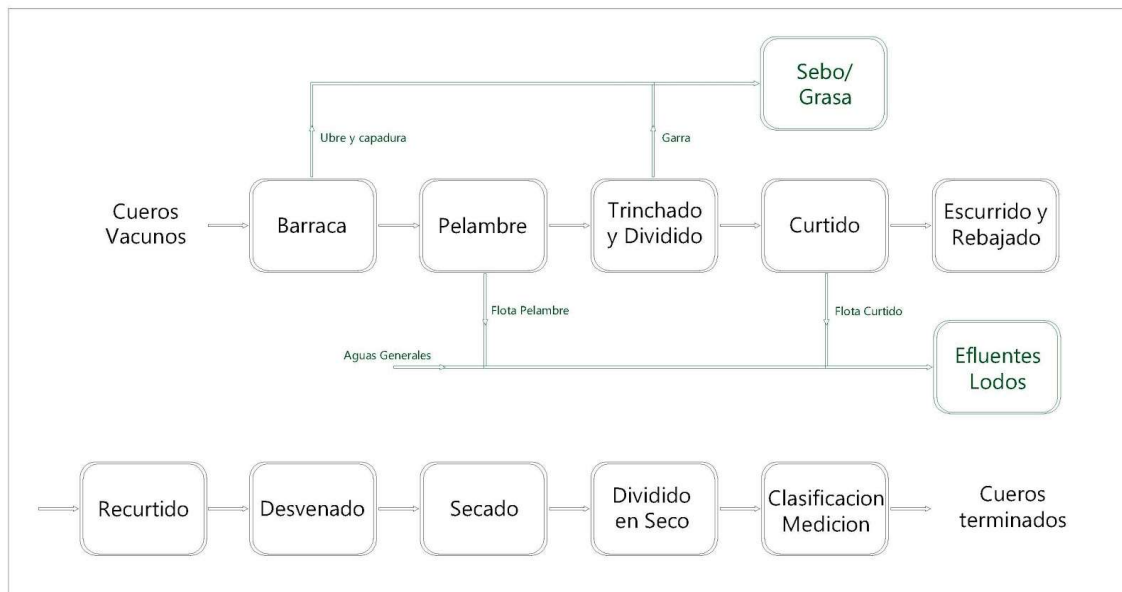


Fig. 3: Puntos de generación de residuos y subproductos. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios

Entre los subproductos más relevantes desde una perspectiva energética se encuentran:

Lodos residuales de la planta de tratamiento de efluentes, los cuales presentan una elevada carga orgánica y una fracción biodegradable apta para procesos de digestión anaeróbica. Este proceso permite la producción de biogás, un combustible



renovable compuesto mayoritariamente por metano, que puede ser utilizado para la generación de calor y electricidad en la misma planta industrial.

Sebo bovino, obtenido en las etapas de recorte y trinchado, con un alto contenido de ácidos grasos que lo hacen idóneo para la producción de biodiesel. Este biocombustible puede sustituir al gasoil en calderas y vehículos industriales, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y la huella de carbono de la curtiembre.

El aprovechamiento energético de estos subproductos no solo representa una estrategia de optimización de recursos, sino que también ofrece beneficios ambientales significativos al reducir la carga contaminante de los residuos y disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables. La implementación de tecnologías de valorización de residuos dentro de la curtiembre se alinea con los principios de la economía circular y permite transformar pasivos ambientales en activos estratégicos para la empresa.

4.1. Tratamiento actual de residuos con potencial energético.

4.1.1 Tratamiento de lodos:

Actualmente, se gestiona un volumen total de efluentes líquidos y sólidos de aproximadamente 7.000 m³ por día, provenientes de tres corrientes principales: la flota concentrada de pelambre, la flota de curtido y las aguas generales. La flota de pelambre, rica en sulfuros, representa el 1,5 % del volumen total, es decir, aproximadamente 105 m³ diarios. Cabe aclarar que este caudal corresponde únicamente a la fracción del proceso con alta concentración de sulfuros, y no al total de los efluentes generados en la etapa de pelambre. Por su parte, la flota de curtido, caracterizada por un elevado contenido de cromo, representa el 1 % de los efluentes, equivalente a unos 70 m³ diarios, también limitado a la fracción más concentrada del proceso. El resto del volumen, correspondiente al 97 % de los efluentes, proviene de las llamadas aguas generales, que incluyen residuos líquidos generados en procesos auxiliares, áreas comunes, limpieza y servicios.

Las corrientes de pelambre y curtido reciben un tratamiento primario específico. En el caso de la flota de pelambre, se aplica un proceso de oxidación química mediante oxígeno, utilizando sulfato de manganeso como catalizador, lo que permite transformar los sulfuros en sulfatos y facilitar su eliminación. La flota de curtido, en cambio, se neutraliza y luego es sometida a un proceso de sedimentación, que permite la recuperación parcial del cromo. Tras estas etapas, ambas corrientes son combinadas con las aguas generales en un sedimentador primario, donde se realiza la remoción de sólidos. Los lodos generados se conducen a un espesador, y posteriormente son



filtrados y dispuestos en un relleno sanitario habilitado. Como resultado de este proceso, se genera un volumen aproximado de 170 toneladas diarias de lodo espesado.

El efluente tratado continúa su recorrido por el sistema convencional de tratamiento, el cual incluye etapas de homogeneización, tratamiento biológico, sedimentación secundaria y descarga final, cumpliendo con los parámetros exigidos por la normativa ambiental.

4.1.2 Tratamiento de sebo:

Este tratamiento comienza con la materia prima proveniente del trinchado de cueros (garra) en el sector de ribera, y de los recortes de ubre y capadura picados en la barraca.

Esta materia prima es "cocinada" mediante un calentamiento indirecto durante un mínimo de 6 horas. La grasa resultante se filtra por rebalse, agregando agua a temperatura ambiente, y se envía al tanque de refinado, donde nuevamente se calienta mediante vapor indirecto hasta la ebullición por 1 hora. El proceso de refinado incluye la adición de ácido sulfúrico en dos etapas, lo que permite eliminar impurezas a través de la decantación y purga, obteniendo así un sebo de primera calidad que se almacena para su posterior comercialización.

El tratamiento del sebo se inicia con la recolección de materia prima proveniente del trinchado de cueros (conocida como "garra") en el sector de ribera, así como de los recortes de ubres y capaduras, que son picados en la barraca. Esta fracción sólida grasa, compuesta mayormente por tejido adiposo bovino residual, es procesada térmicamente mediante un sistema de calentamiento indirecto, al cual se somete durante un tiempo mínimo de seis horas.

Durante esta etapa de cocción se produce la fusión de la grasa, que posteriormente es filtrada por rebalse. A este producto se le agrega agua a temperatura ambiente antes de ser transferido a un tanque de refinado. En este tanque, la mezcla es nuevamente calentada mediante vapor indirecto hasta alcanzar la ebullición durante una hora. El proceso continúa con la adición controlada de ácido sulfúrico en dos etapas, lo que permite la eliminación de impurezas a través de decantación y purga. Como resultado final, se obtiene un sebo de alta calidad, el cual es almacenado para su posterior comercialización.

La curtiembre procesa un volumen mensual aproximado de 3.300 toneladas de cueros en la etapa de pelambre, de las cuales se recuperan 110 toneladas mensuales de sebo, lo que representa una tasa de recuperación del 3,3 % respecto al ingreso de materia prima.



4.2. Energía: Fuentes de energía y su uso en la curtiembre

En Curtiembre ARLEI S.A., la energía es fundamental para el funcionamiento eficiente de la planta, tanto en los procesos productivos como en las operaciones auxiliares. Los principales consumos energéticos se dividen en fuentes primarias, como la leña, la energía eléctrica y el diésel, y fuentes secundarias, como el vapor generado a partir de la combustión de leña.

La leña constituye la principal fuente de energía en la curtiembre y se destina íntegramente a la generación de vapor. Este vapor es esencial en etapas críticas del proceso, como el curtido, secado y tratamiento de las pieles, donde el control térmico es determinante para la calidad del producto final. La planta consume un promedio de 700 toneladas de leña por mes, alcanzando un total anual de 8.417 toneladas. La elección de la leña como combustible responde a la falta de acceso al gas natural en la región y a su costo relativamente bajo en comparación con otras fuentes energéticas.

La energía eléctrica es utilizada en la operación de maquinaria, sistemas de bombeo, automatización, iluminación y otros equipos auxiliares. La demanda mensual asciende a 1.530 MWh, con un consumo anual estimado de 18.433 MWh. La planta mantiene un enfoque constante en la optimización del uso de la electricidad para reducir costos y minimizar su impacto ambiental.

En términos regulatorios, Curtiembre ARLEI S.A. se clasifica como un Gran Usuario Mayor (GUMA) del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Su suministro eléctrico es gestionado a través de CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A.) y se complementa con contratos MATER (Mercado a Término de Energías Renovables) con generadores de energías renovables.

Por su parte, el diésel se emplea en los autoelevadores, fundamentales para la manipulación interna de cueros y materiales, así como en los grupos generadores de emergencia, que aseguran la continuidad operativa ante eventuales cortes de suministro eléctrico. Su consumo mensual es de aproximadamente 11.000 litros, lo que equivale a 131.800 litros anuales.

Se presenta a continuación, en Tabla 1, datos productivos y energéticos del año 2021¹:

¹ Ver ANEXO I, tabla 1.



		2021
Cuero Pelambre	<i>tn</i>	39.652
Diésel	<i>l</i>	131.804
	<i>MWh</i>	1.338
Leña	<i>tn</i>	8.417
	<i>MWh</i>	20.286
Energía Eléctrica	<i>MWh</i>	18.434
Energía Total	<i>MWh</i>	40.057

Tabla 1: Datos de producción y consumo energético del año 2021. Curtiembre ARLEI S.A.
Fuente: Creación propia en base a datos secundarios.

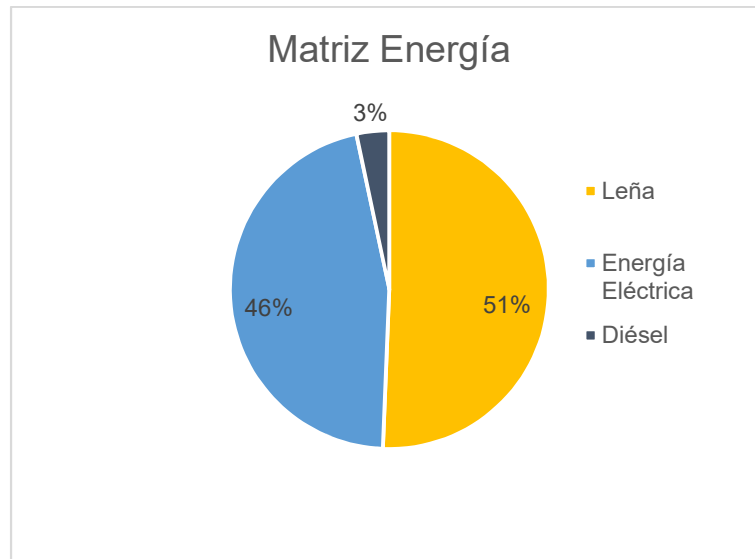


Fig. 4: Consumo de Energía por Fuente. Curtiembre ARLEI S.A.
Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



4.3. Valorización energética de subproductos

El proceso productivo de Curtiembre ARLEI S.A. genera diversas corrientes de residuos orgánicos con un alto potencial para su valorización energética. A partir de estudios realizados por el Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa, se identificaron dos subproductos clave: los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de efluentes y el sebo bovino generado en las etapas de trinchado y recorte de pieles. Ambos materiales poseen características físico-químicas que los hacen aptos para su conversión en fuentes de energía renovable, a través de procesos de digestión anaeróbica y transesterificación, respectivamente.

A continuación, se presenta la viabilidad técnica del aprovechamiento de estos residuos y subproductos, en base a los estudios técnicos antes mencionados. Se detallan los parámetros del proceso, el potencial energético estimado y la aplicabilidad de las tecnologías de transformación. Esta evaluación técnica constituye el punto de partida para los análisis energéticos, económicos y ambientales desarrollados en los siguientes apartados, permitiendo modelar escenarios de integración del biogás y biodiésel en la matriz energética de la planta bajo criterios de eficiencia, factibilidad y sostenibilidad.

4.3.1 Aprovechamiento de biogás a partir de lodos residuales

Los lodos generados en la planta de tratamiento de efluentes contienen una fracción orgánica significativa que puede ser utilizada para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica.



Detalle	Cantidad	Unidades	Observaciones
Datos (Estudio de factibilidad: Biodigestión de Lodos Primarios - PTE Planta Las Toscas)			
Generación Total de Residuos Orgánicos	170,00	Ton / Día	Lodo epesado generado por día
Contenido de Sólidos Totales	9,603	% ST	
Relación de (SV/ST)	61,76	% SV / ST	
Conversión de Biosólidos a Biogás	43,84	m3 Biogás/m3 Biosólido	
Porcentaje de Metano en el Biogás	73,71	% CH4	
Conversión de Materia Orgánica en Metano	544,86	Lt CH4 / Kg SV	
Reducción de Sólidos Volátiles (Svi/Svf)	31,98	% Reducción	
Generación Total de Metano	5491,74	m3 CH4 / Día	
Generación de Biogás	7450,47	m3 / Día	
Potencia Calorífica del Biogás (PCI)	6739	Kcal / m3	
Porcentaje de Auto-Consumo de Biogás	10,83	%	valor promedio anual
Volumen Adoptado (reactores Biol.)	6000	m3	
Cantidad de Residuo Húmedo (Digerido) Prensado	43655,54	Kg Hum/Día	
Otros datos			
Poder calorífico inf. leña (dura)	2300	Kcal./Kg.	
Cálculos Auxiliares			
Auto-Consumo de Biogás	806,89	m3 / Día	
Energía disponible por Biogás	44771113,24	Kcal/día	
Leña equivalente	19,47	Ton./día	
Cantidad de Lodo (Ing. Relleno)	30 % MS	54,42	Ton/Día Sin digerir
Reducción de lodo a disponer		322,93	Ton/mes

Tabla 2: Producción de Biogás. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Departamento de Investigación y Desarrollo ARLEI S.A.

A continuación, se presentan los principales parámetros del proceso y su relevancia:

- Flota de efluentes tratados: La curtiembre procesa aproximadamente 7000 m³/día de efluentes líquidos provenientes de las distintas etapas del proceso.
- Generación de residuos orgánicos: La planta produce 170 toneladas/día de residuos orgánicos, principalmente lodos provenientes del tratamiento primario y secundario.
- Contenido de sólidos totales (ST): Los lodos contienen aproximadamente 9,6% ST, lo que representa la proporción de materia presente en el agua residual antes de su separación y secado.
- Contenido de sólidos volátiles (SV): Dentro de los ST, el 61,76% corresponde a sólidos volátiles (%SV/ST), que representan la fracción biodegradable susceptible de ser transformada en biogás.
- Reducción de sólidos volátiles: Durante el proceso de digestión anaeróbica, se logra una reducción de 31,98% de los sólidos volátiles (% Svi/Svf), lo que disminuye la carga contaminante del lodo y mejora su estabilidad para su disposición final o aprovechamiento como fertilizante.



- Se estima una producción de 0,26 m³ de biogás por tonelada de lodo tratado.
- Composición del biogás: El biogás obtenido tiene un contenido de 73,71% de metano (CH₄), el poder calorífico inferior (PCI) es de 6739 kcal/m³, lo que le confiere un poder energético equivalente a 16.234 MWh/año.
- Usos del biogás: Puede utilizarse en calderas para la generación de vapor o en motores de cogeneración para producir electricidad y calor, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles en la planta.

Este enfoque no solo permite reducir el impacto ambiental de los residuos orgánicos, sino que también contribuye a una gestión más eficiente de la energía en la curtiembre.

4.3.2 Aprovechamiento de biodiésel a partir de sebo bovino

El sebo bovino es un subproducto de la etapa de trinchado y recorte de cueros, con un alto contenido de ácidos grasos, lo que lo hace apto para la producción de biodiésel mediante un proceso de transesterificación.

Producción mensual de grasa (sebo)		Ton/mes	110	5074 litros / día
ANÁLISIS POR RESULTADO AL CIERRE DEL PRIMER AÑO				
Producción (Valoración Anual)	Unid.	Cant	Observaciones	
Glicerol	l/año	89.427	Uso en caldera (Reemplazo de Leña)	
Biodiesel (ac. grasos saturados)	l/año	268.280	Uso en caldera (Reemplazo de Leña)	
Biodiesel (ac. grasos no satu.)	l/año	834.649	Uso en motores	

Tabla 3: Producción de Biodiesel. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Departamento de Investigación y Desarrollo ARLEI S.A.

A continuación, se detallan los principales parámetros de este proceso:

- Producción de grasa/sebo: La curtiembre genera aproximadamente 110 toneladas/mes de sebo bovino, extraído en las etapas de trinchado y recorte de pieles.
- Conversión de sebo en biodiesel y fracciones del biodiesel:
 - Biodiesel de ácidos grasos saturados: Se obtendría 268,2m³/año, representa 24,3% del biodiesel producido y es ideal para su uso en calderas y motores estacionarios debido a su estabilidad térmica.
 - Biodiesel de ácidos grasos no saturados: Se obtendría 834,6m³/año, constituye el 75,7% restante, con mejor fluidez a bajas temperaturas, lo que lo hace más adecuado para su uso en vehículos industriales.
 - Producción de glicerol: En el proceso de transesterificación, se obtiene 89.427 litros/año de glicerol, que puede ser utilizado en la caldera como combustible, en la industria química o refinado para su aplicación en bioplásticos o cosméticos.



- Poder energético del biodiesel: El poder calorífico inferior (PCI) del biodiesel se estima en 8.619 kcal/litro, mientras que el del glicerol alcanza las 4.310 kcal/litro.

4.3.3 Impacto en el balance energético de la planta

El aprovechamiento de biogás y biodiesel representa una oportunidad significativa para reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales, optimizar costos y mejorar el desempeño ambiental de la curtiembre.

Para visualizar el impacto de esta integración en el balance energético de la planta, a continuación, se presenta un diagrama de Sankey, que compara el flujo actual de energía con el potencial aporte del biogás y biodiesel.

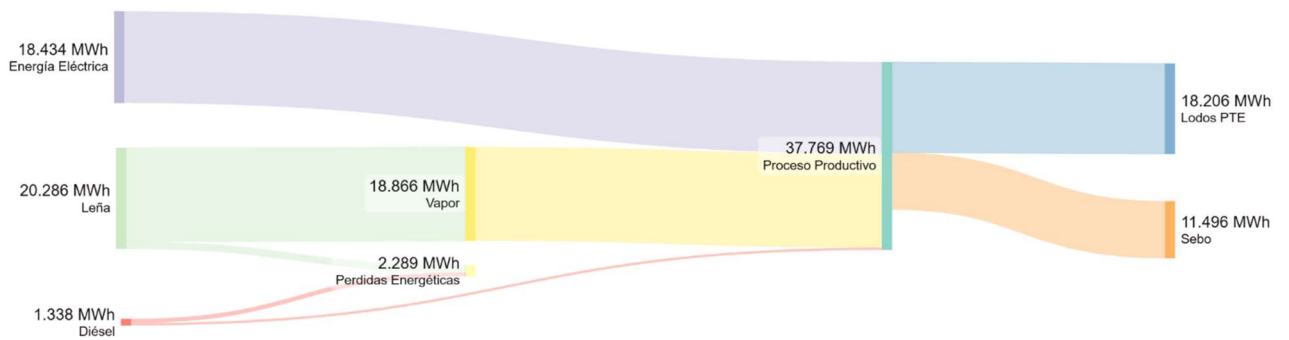


Fig. 5: Balance Energético y Potencialidad energética de Subproductos Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



5. Metodología

El presente estudio sigue un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativo y cualitativo para evaluar la viabilidad energética, económica y ambiental del aprovechamiento energético de los residuos y subproductos generados en Curtiembre ARLEI S.A. Se adopta un diseño descriptivo y explicativo, ya que busca caracterizar los residuos disponibles y analizar su impacto en la matriz energética de la empresa.

El objeto de estudio es la valorización energética de los residuos y subproductos industriales de Curtiembre ARLEI S.A. Se analizan los procesos actuales de generación y disposición de residuos y se evalúan alternativas para su transformación en energías renovables con el fin de sustituir fuentes energéticas convencionales.

La unidad de análisis es Curtiembre ARLEI S.A., específicamente su matriz energética, los residuos y subproductos generados en el proceso de producción y las oportunidades de valorización a través de la generación de energía renovable.

Las variables analizadas en este estudio se agrupan en tres categorías principales:

- Energéticas: volumen y tipo de residuos, contenido energético, posibilidades de transformación en biogás y biodiésel, integración en la matriz energética.
- Económicas: Costos de inversión y operación, ingresos por sustitución de combustibles, Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Recuperación (Payback).
- Ambientales: Reducción de emisiones de CO₂ por reemplazo de fuentes energéticas convencionales.

Los datos utilizados en el estudio provienen de múltiples fuentes:

Fuentes primarias:

- Información provista por el Departamento de Investigación y Desarrollo de Curtiembre ARLEI S.A.
- Mediciones internas sobre producción de residuos y consumo energético.

Fuentes secundarias:

- Reportes del Balance Energético Nacional de Argentina (Secretaría de Energía).
- Documentación técnica sobre digestión anaerobia y producción de biodiésel.
- Factores de emisión del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina.
- Información técnica de equipos.

Para el desarrollo de la investigación se emplearon las siguientes técnicas y métodos:



Viabilidad Energética

- Caracterización de los residuos: Se analizaron los lodos de efluentes y el sebo bovino generado, considerando volúmenes y características fisicoquímicas, con datos provistos por el Departamento de I+D de ARLEI S.A.
- Balance energético: Se estimó el potencial energético de biogás y biodiésel a partir del poder calorífico de cada subproducto. En función de su uso final (caldera, cogeneración, reemplazo de diésel), se utilizaron diagramas de Sankey para representar visualmente los flujos energéticos antes y después de la integración.
- Simulación de escenarios: Se modelaron tres escenarios para biogás (uso en caldera, generación eléctrica, cogeneración) y uno para biodiésel (uso como combustible y en caldera). No se realizaron pruebas experimentales, pero se recurrió a literatura técnica y catálogos industriales

Viabilidad Económica

Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se utilizaron los siguientes indicadores:

- **Valor Actual Neto (VAN):**

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

R_t = Flujo de caja o beneficios generados por la inversión en cada periodo

T = número total de periodos (20 años)

t = año de análisis,

i = tasa de descuento (8,5%),

- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Se determina encontrando la tasa que hace que el VAN sea igual a cero:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+TIR)^t}$$

- **Período de Recuperación de la Inversión (Payback):** Se calcula determinando el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los flujos de caja acumulados.



Viabilidad Ambiental

Se evaluó la reducción de emisiones de CO₂ derivada del reemplazo de combustibles convencionales por biogás y biodiésel, utilizando los siguientes factores de emisión:

Leña: 1,08 tnCO₂/tn

Energía eléctrica: 0,459 tnCO₂/MWh

La reducción de emisiones se calculó con la ecuación:

$$CO_2 = \sum (Energía * FE)$$

Donde:

Energía = energía reemplazada por biogás o biodiésel,

FE = factor de emisión correspondiente.

El estudio permite evaluar la viabilidad del aprovechamiento energético de residuos en Curtiembre ARLEI S.A., proporcionando un marco replicable para otras industrias del sector. Sin embargo, presenta las siguientes limitaciones:

- No se realizaron pruebas experimentales directas en planta; los cálculos se basan en modelos teóricos y datos documentados.
- La evaluación económica está sujeta a fluctuaciones en el precio de los combustibles y costos de inversión.
- Se considera un horizonte de análisis de 20 años, lo que implica ciertas incertidumbres a largo plazo.

La combinación de enfoques económico, técnico y ambiental permite un análisis integral del impacto del aprovechamiento energético de los residuos y subproductos. La metodología empleada facilita la toma de decisiones basada en datos concretos y en la optimización de recursos dentro de un esquema de economía circular y sostenibilidad industrial.



6. Resultados

6.1 Integración del BIOGÁS en la matriz energética de la planta

El Aprovechamiento Energético de Lodos en Curtiembre ARLEI S.A., mediante digestión anaeróbica de lodos primarios, representa una oportunidad significativa para optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental mediante la producción de biogás. Se presenta a continuación, las figuras 6 y 7, imágenes del proyecto Biodigestor.

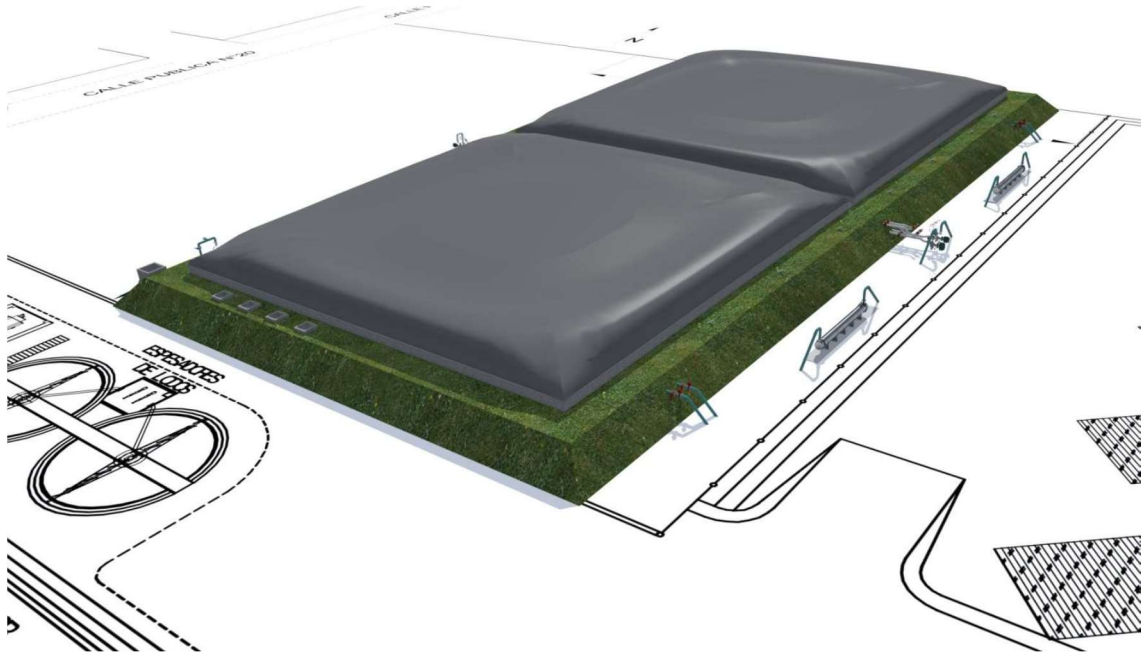


Fig. 6: Proyecto Biodigestor. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Departamento de Ingeniería y Medio Ambiente ARLEI S.A.



Fig. 7: Proyecto Biodigestor. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Departamento de Ingeniería y Medio Ambiente ARLEI S.A.



6.1.1 Alternativa 1: Uso del biogás para generación de vapor en caldera

1. Análisis energético

En la actualidad, la curtiembre utiliza 8.417 toneladas anuales de leña como principal fuente de energía térmica para la generación de vapor. Sin embargo, el aprovechamiento del biogás producido a partir de los residuos orgánicos de la planta presenta una oportunidad significativa para reducir la dependencia de la leña y mejorar la sostenibilidad del proceso.

La producción anual estimada de biogás en la curtiembre es de 2.324,5 dam³/año, con un contenido energético equivalente a 18.206 MWh/año. Considerando que el Poder Calorífico Inferior (PCI) de la leña es de 2.300 kcal/kg², se ha determinado que el biogás disponible podría sustituir aproximadamente 21,83 toneladas diarias de leña, lo que equivale a 567 toneladas mensuales y 6.810 toneladas anuales. Este reemplazo permitiría cubrir el 80,9% de la demanda actual de leña de la planta, disminuyendo significativamente la dependencia de este recurso.

La figura 7 ilustra el balance energético de la planta tras la incorporación del biogás como sustituto parcial de la leña en la generación de vapor.

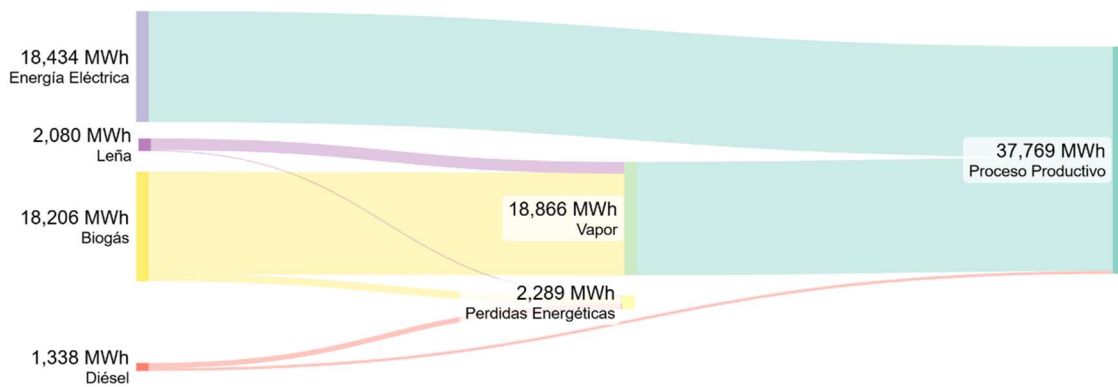


Fig. 7: Balance Energético con incorporación de Biogás para generación de vapor.

Fuente: Creación propia en base a datos secundario

Para la implementación de esta alternativa, sería necesario realizar una inversión en:

- Biodigestores y equipos asociados, encargados del tratamiento de los residuos orgánicos y la producción de biogás.

² Fuente: Secretaria de Energía.



- Sistemas de purificación y acondicionamiento del biogás, para asegurar su calidad y eficiencia en la combustión.
- Modificación o adaptación de la caldera, de manera que pueda operar con biogás y leña.

2. Análisis ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la leña utilizada en la curtiembre tiene un factor de emisión de 112 tCO₂/TJ, lo que equivale a 1,08 toneladas de CO₂ por tonelada de leña consumida. Por lo tanto, la sustitución de 6.810 toneladas anuales de leña por biogás resultaría en una reducción de 7.345,6 toneladas de CO₂ equivalente al año. Esta disminución en la huella de carbono representa un avance clave en la mitigación del impacto ambiental de la planta.

3. Análisis económico

En términos económicos, el análisis del flujo de fondos deberá considerar tanto la inversión inicial como los ahorros generados por la reducción del consumo de leña y la disminución de costos asociados a la disposición de residuos orgánicos. Adicionalmente, la reducción de emisiones de CO₂ podría representar un beneficio adicional en mercados de carbono o certificaciones ambientales.

Para evaluar la viabilidad económica de esta alternativa, se ha realizado un análisis de flujo de fondos proyectado a 20 años, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los ahorros generados por la reducción en el consumo de leña.

Variables principales del análisis

I. Inversión inicial

- Sistema de biodigestión y equipos asociados: Se estima una inversión de 724.719 U\$S³, correspondiente a la instalación de biodigestores y los sistemas necesarios para la producción y acondicionamiento del biogás.
- Adecuación de la caldera para biogás: Se prevé una inversión aproximada de 100.000 U\$S para modificar el sistema de combustión de la caldera y garantizar su operatividad con biogás.
- Inversión total: 824.719 U\$S.

³ Cotización realizada por la empresa, 2021.



II. Costos de operación y mantenimiento (O&M)

- Se estima un 3% de la inversión total por año, lo que equivale a 24.741 U\$S/año.

III. Ahorros por sustitución de leña

- Actualmente, la planta consume 8.417 toneladas de leña/año, de las cuales el biogás permitiría sustituir 6.810 toneladas/año.
- El precio de la leña se considera en 40 U\$S/tonelada⁴.
- Esto representa un ahorro anual de 272.437 U\$S en compra de leña.

IV. Tasa de descuento

- Para descontar los flujos futuros y calcular la rentabilidad del proyecto, se considera una tasa de descuento del 8,5% anual⁵.

Con estos datos, se ha elaborado un flujo de fondos proyectado a 20 años, considerando la inversión inicial en el Año 0, los ahorros generados a partir del Año 1, y los costos de O&M anuales⁶.

V. Resultados del Análisis Económico

Los resultados obtenidos indican que la alternativa es económicamente viable:

- **Valor Actual Neto (VAN): 1.519.305 U\$S**
- **Tasa Interna de Retorno (TIR): 29,9%**
- **Período de Recuperación de la Inversión (Payback): 4 años**

⁴ Precio abastecimiento de leña, Fuente: Curtiembre ARLEI S.A.

⁵ Referida a inversiones del mercado energía, 2021.

⁶ Ver ANEXO I, tabla 2.

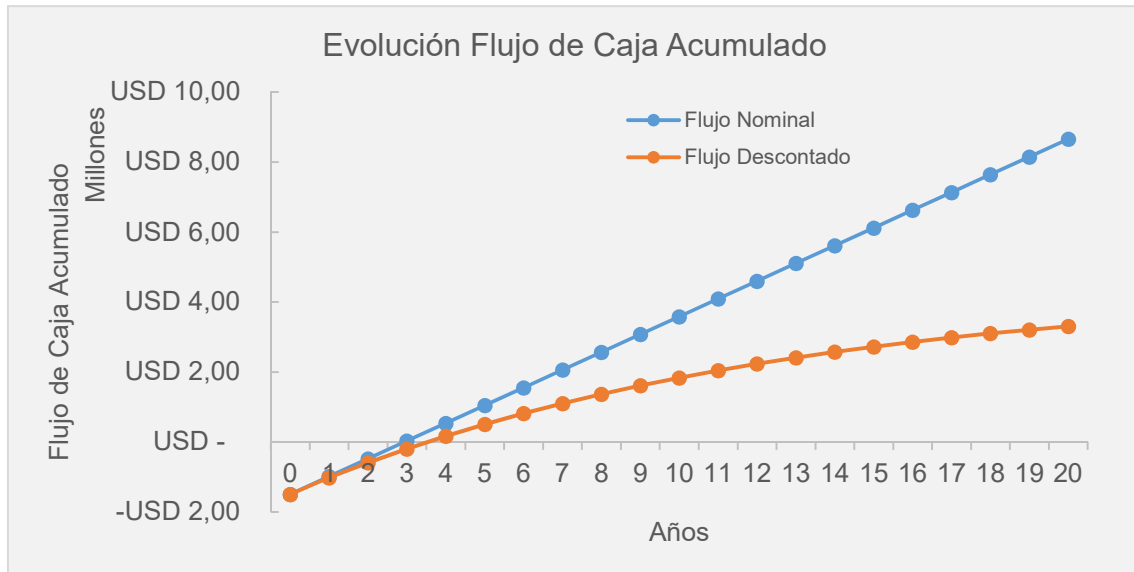


Grafico 1: Evolución Flujo de Caja Acumulado: Uso total del biogás para generación de vapor en caldera.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



6.1.2 Alternativa 2: Uso del biogás para generación de energía eléctrica

1. Análisis energético

Otra posibilidad para la valorización del biogás generado en la planta es su conversión en energía eléctrica mediante motogeneradores de combustión interna. En este escenario, el biogás producido diariamente (58.353 kWh equivalentes) podría ser aprovechado para alimentar un sistema de generación eléctrica, optimizando así el consumo energético de la planta.

Para este propósito, se propone la instalación de un motogenerador de combustión interna modelo J316F, fabricado por la firma Jenbacher, reconocido por su eficiencia y confiabilidad en aplicaciones de generación distribuida. Este equipo cuenta con una potencia nominal de 851 kW y una eficiencia eléctrica del 41,9%, lo que permitiría generar aproximadamente 20.424 kWh diarios, alcanzando una producción total estimada de 7.454,8 MWh anuales.

Biogas		1,500 l/min / 50 Hz				
	Type	PeI (kW) ³	η_{el} (%) ³	Pth (kW) ⁴	η_{th} (%) ⁴	η_{tot} (%)
NOx < 500 mg/Nm ³ ⁵	J312F	548	42.7%	530	41.3%	83.9%
	J312F	635	41.9%	649	42.8%	84.6%
	J316F	851	41.9%	883	43.5%	85.4%
	J320F	1,067	42.0%	1,104	43.5%	85.5%

Fig. 8: Eficiencia J316F.

Fuente: Innio Jenbacher

La incorporación de esta tecnología permitiría cubrir aproximadamente el 40,4% de la demanda eléctrica de la planta, reduciendo significativamente la dependencia de la red y disminuyendo costos asociados al consumo energético.

A continuación, en la figura 8, se presenta el balance energético de la planta con la integración del biogás como fuente para la generación de energía eléctrica, permitiendo una reducción en el consumo de energía de la red y una mayor autosuficiencia energética.

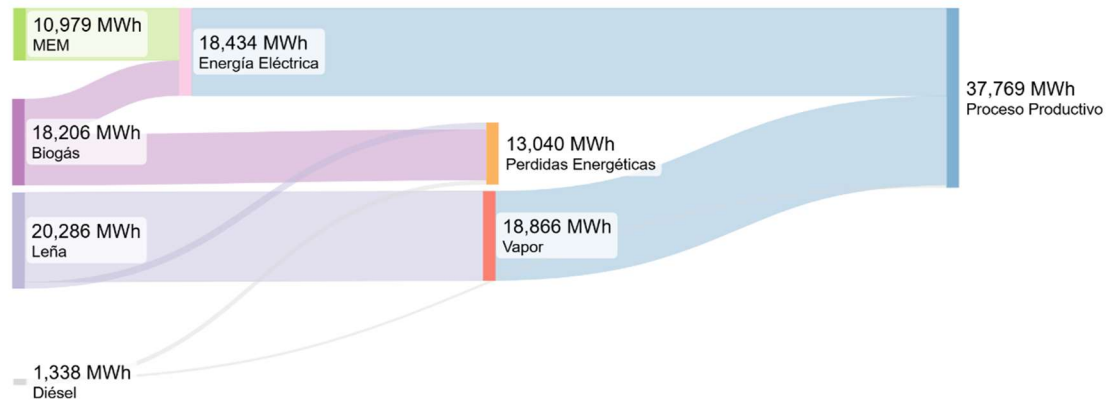


Fig. 9: Balance Energético con incorporación de Biogás para generación de energía eléctrica.

Fuente: Creación propia en base a datos secundario

Para la implementación de esta alternativa, sería necesario realizar una inversión en:

- Biodigestores y equipos asociados, encargados del tratamiento de los residuos orgánicos y la producción de biogás.
- Sistemas de purificación y acondicionamiento del biogás, para asegurar su calidad y eficiencia en la combustión dentro del motogenerador.
- Adquisición e instalación del motogenerador, junto con los sistemas eléctricos auxiliares necesarios para su operación y conexión a la red interna de la planta.

2. Análisis ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la sustitución parcial de energía de red por electricidad generada a partir de biogás representaría una reducción considerable de emisiones de gases de efecto invernadero. Considerando un factor de emisión de 0,459 tCO₂/MWh⁷, la implementación de esta alternativa permitiría mitigar aproximadamente 3.421,1 toneladas de CO₂ equivalentes al año, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad de la empresa.

3. Análisis económico

En términos económicos, el análisis del flujo de fondos deberá considerar tanto la inversión inicial como los ahorros generados por la reducción del consumo de energía eléctrica de la red. Esto no solo permitirá disminuir costos operativos, sino que también reducirá la exposición a variaciones en el precio de la electricidad. Adicionalmente, la

⁷ Factor de emisión Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), Fuente: CAMMESA, 2021.



disminución en la disposición de residuos orgánicos y la reducción de emisiones de CO₂ podrían representar beneficios adicionales, ya sea a través de incentivos ambientales o mercados de carbono.

Para evaluar la viabilidad económica de la utilización del biogás para la generación de energía eléctrica en motogeneradores, se realizó un análisis de flujo de fondos proyectado a 20 años. Este análisis considera los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los beneficios derivados de la sustitución de la energía eléctrica adquirida del MEM.

Variables principales del análisis:

I. Inversión inicial:

- Biodigestores y equipos asociados: 724.719 U\$, necesarios para el tratamiento de los residuos orgánicos y la producción de biogás.
- Motogenerador de combustión interna: 600.000 U\$, correspondiente a un equipo con potencia nominal de 851 kW y una eficiencia del 41,9%, capaz de transformar el biogás en energía eléctrica.
- Inversión total: 1.324.719 U\$

II. Costos de operación y mantenimiento (O&M):

- Se estimaron en un 3% anual del monto total de la inversión, lo que contempla el mantenimiento del biodigestor, la limpieza y reposición de partes del motogenerador, así como otros costos asociados al funcionamiento del sistema, equivale a 39.741 U\$/año.

III. Beneficios económicos:

- Actualmente, la planta consume 18.434 MWh/año de energía eléctrica.
- La generación de energía con biogás permitiría sustituir 7.454,8 MWh/año.
- El precio de la electricidad se considera en 60 U\$/MWh⁸.
- Esto representa un ahorro anual de 447.285 U\$ en compra de energía eléctrica.

IV. Tasa de descuento

- Para descontar los flujos futuros y calcular la rentabilidad del proyecto, se considera una tasa de descuento del 8,5% anual.

⁸ Precio adquisición energía eléctrica renovable MATER, Fuente: Curtiembre ARLEI S.A.



Con estos datos, se ha elaborado un flujo de fondos proyectado a 20 años, considerando la inversión inicial en el Año 0, los ahorros generados a partir del Año 1, y los costos de O&M anuales⁹.

V. Resultados del Análisis Económico

Los resultados obtenidos indican que la alternativa es económicamente viable:

- **Valor Actual Neto (VAN): 2.532.006 USD**
- **Tasa Interna de Retorno (TIR): 30,6%**
- **Período de Recuperación de la Inversión (Payback): 4 años**

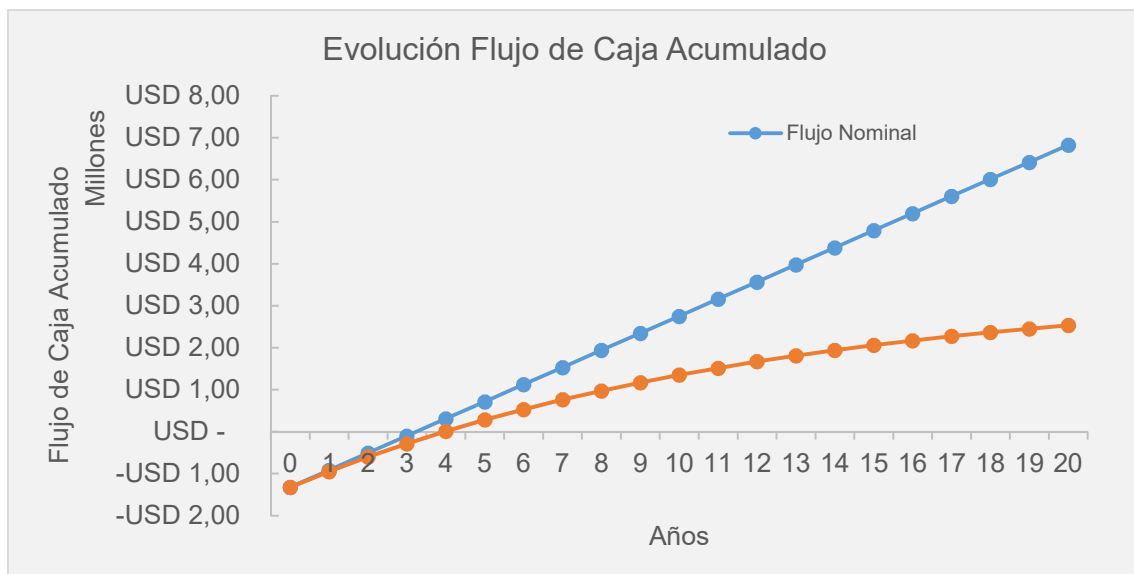


Gráfico 2: Evolución Flujo de Caja Acumulado Alternativa 2: Uso del Biogás para generación de energía eléctrica Curtiembre

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios

⁹ Ver ANEXO I, tabla 3



6.1.3 Alternativa 3: Uso del biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor

1. Análisis energético

La cogeneración es la alternativa más eficiente desde el punto de vista energético, ya que permite aprovechar simultáneamente el biogás para la generación de electricidad y el calor residual del proceso para la producción de vapor. Este enfoque optimiza el uso del biogás, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y mejorando la sostenibilidad del sistema energético de la planta.

En este análisis, se considera la integración de un motogenerador de combustión interna Jenbacher J316F, el mismo que ya fue analizado en la alternativa anterior y que cuenta con una potencia de 851 kW y una eficiencia del 43,1% para la generación de energía eléctrica. Adicionalmente, se incorporará un sistema de recuperación de calor, que permitirá aprovechar la energía térmica contenida en los gases de escape y en el circuito de refrigeración del motor.

El calor residual del motogenerador, además, tiene un rendimiento térmico del 43,5%, sin embargo, dado que la eficiencia del sistema de recuperación de calor se ve afectada por pérdidas en la conversión, se considera un factor de aprovechamiento del 80%, lo que resulta en una eficiencia efectiva de 34,8% para la generación de vapor. Esta energía térmica será utilizada en la caldera, reduciendo así el consumo de leña.

Bajo estas condiciones, la cogeneración permitirá:

- Generar 7.454,8 MWh anuales, cubriendo el 40,4% de la demanda eléctrica de la planta.
- Sustituir aproximadamente 8 toneladas diarias de leña, equivalentes a 2.628 toneladas anuales, lo que representa una reducción del 28,2% del consumo actual de leña.
- Rendimiento de cogeneración de 75,7%.

A continuación, en la Figura 10, se presenta el balance energético de la planta con la integración del biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor, permitiendo una reducción en el consumo de energía eléctrica de la red y del uso de leña en la caldera, lo que contribuye a una mayor autosuficiencia energética y optimización del aprovechamiento del biogás.

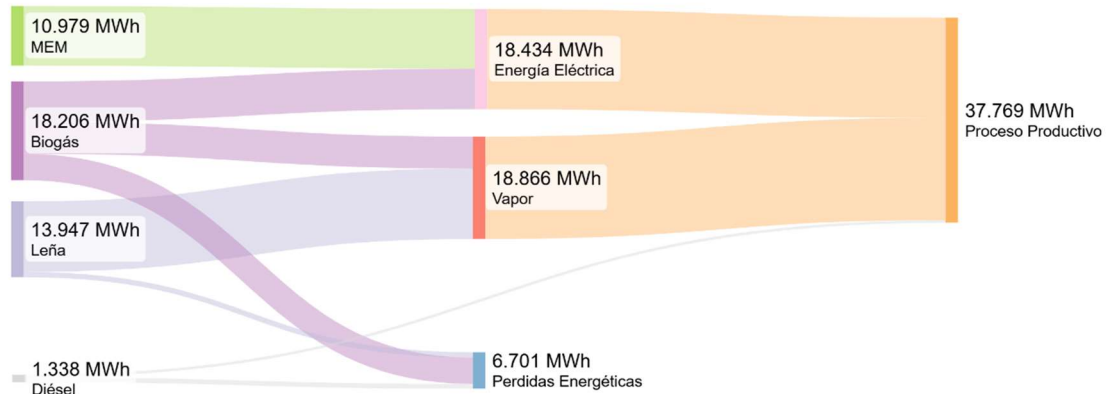


Fig. 10: Balance Energético con incorporación de Biogás para para cogeneración de energía eléctrica y vapor.

Fuente: Creación propia en base a datos secundario

Para la implementación de esta alternativa, se requiere una inversión en:

- Biodigestores y equipos asociados, encargados del tratamiento de residuos orgánicos y la producción de biogás.
- Sistema de purificación y acondicionamiento del biogás, para optimizar su uso en el motogenerador.
- Motogenerador de combustión interna Jenbacher J316F, destinado a la conversión del biogás en energía eléctrica.
- Sistema de recuperación de calor que permitirá aprovechar la energía térmica residual del motogenerador para la generación de vapor.
- Modificación y adecuación de la caldera, para su integración con el sistema de recuperación de calor.

2. Análisis ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la cogeneración representaría una reducción considerable de emisiones de gases de efecto invernadero. Considerando los factores de emisión de leña y energía eléctrica, la implementación de esta alternativa permitiría mitigar aproximadamente 6.256,4 toneladas de CO₂ equivalentes al año, como resultado de la menor demanda de energía eléctrica de la red y la disminución del uso de leña.

3. Análisis económico



Para evaluar la viabilidad económica de esta alternativa, se ha desarrollado un análisis financiero considerando la inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento, los beneficios económicos obtenidos y la tasa de descuento aplicada.

I. Inversión Inicial

La implementación de la cogeneración requiere una inversión total de 1.494.719 U\$, desglosada de la siguiente manera:

- Biodigestores y equipos asociados: 724.719 U\$
- Motogenerador de combustión interna (Jenbacher J316F): 600.000 U\$
- Intercambiador de calor y sistemas de recuperación térmica: 70.000 U\$
- Adecuación de la caldera: 100.000 U\$

II. Costos de Operación y Mantenimiento (O&M)

Se ha considerado un costo de O&M equivalente al 3% de la inversión total, lo que representa un gasto anual de: 44.841 U\$/año

III. Beneficios Económicos

La implementación de esta alternativa generaría ahorros significativos en la compra de energía y combustible:

Ahorro en compra de leña:

- Actualmente, la planta consume 8.417 toneladas de leña/año.
- La cogeneración permitiría sustituir 2.629 toneladas/año (31,2%).
- Con un precio de 40 U\$/tonelada, esto representa un ahorro anual de 105.160 U\$.

Ahorro en compra de energía eléctrica:

- La cogeneración permitiría generar 7.454,8 MWh/año, cubriendo el 40,4% de la demanda eléctrica de la planta.
- Con un precio de 60 U\$/MWh, esto representa un ahorro anual de 447.288 U\$.

IV. Tasa de Descuento

Para el análisis financiero se ha aplicado una tasa de descuento del 8,5% anual, que permite determinar la viabilidad económica de la inversión considerando el valor temporal del dinero.



El análisis financiero permitirá determinar indicadores clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (payback), con el objetivo de evaluar la conveniencia económica de esta alternativa y su impacto en la matriz energética de la planta.

Se ha elaborado un flujo de fondos proyectado a 20 años, considerando la inversión inicial en el Año 0, los ahorros generados a partir del Año 1, y los costos de O&M anuales¹⁰.

V. Resultados del Análisis Económico

Los resultados obtenidos indican que la alternativa de cogeneración de energía eléctrica y vapor es altamente viable desde el punto de vista económico:

- **Valor Actual Neto (VAN): 3.308.876 U\$S**
- **Tasa Interna de Retorno (TIR): 33,9%**
- **Período de Recuperación de la Inversión (Payback): 3 años**

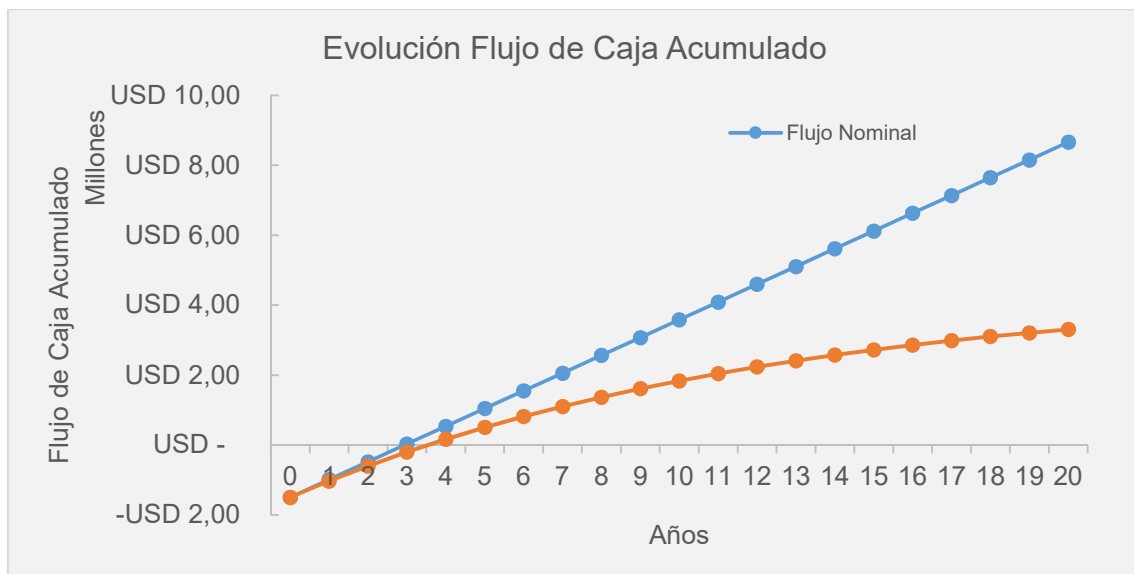


Gráfico 3: Evolución Flujo de Caja Acumulado Alternativa 3: Uso del Biogás para generación de energía eléctrica Curtiembre

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios

¹⁰ Ver ANEXO I, tabla 4.



6.2 Integración del BIODIESEL en la matriz energética de la planta

1. Análisis energético

El aprovechamiento del sebo para la producción de biodiesel representa una alternativa para la diversificación energética de la curtiembre. En este estudio, se analiza la viabilidad de utilizar el biodiesel obtenido de ácidos grasos no saturados para su venta o reemplazo del diésel fósil en los equipos de la planta, mientras que el biodiesel de ácidos grasos saturados y el glicerol obtenido en el proceso, se destinarían a la generación de vapor en caldera, sustituyendo parcialmente el consumo de leña.

Anualmente, la curtiembre genera aproximadamente 1.320.000 kg de sebo, que puede ser transformado en biodiesel, diversificando su uso energético. A partir de este volumen de materia prima, se obtendría:

- **Biodiesel de ácidos grasos no saturados:** 834,6 m³/año, con un poder calorífico inferior de 8.619 kcal/litro, similar al del diésel fósil. Su mejor comportamiento a bajas temperaturas lo hace adecuado para su uso en vehículos industriales, permitiendo su venta o empleo como combustible en la planta.
- **Biodiesel de ácidos grasos saturados:** 268,2 m³/año, con el mismo poder calorífico de 8.619 kcal/litro, pero con una viscosidad más alta, lo que lo hace más adecuado para su uso en calderas. Cada litro de este combustible podría reemplazar 3,75 kg de leña en la generación de vapor.
- **Producción de glicerol:** 89.427 litros/año, que podría ser utilizado como combustible en la caldera. Su poder calorífico inferior es de 4.310 kcal/litro, y cada litro permitiría sustituir aproximadamente 1,87 kg de leña.

Desde el punto de vista energético, se realizará un balance detallado considerando el reemplazo del diésel y la leña en la matriz de la planta. Sin embargo, a diferencia del biogás, el sebo tiene un valor de mercado significativo, oscilando entre 0,6 y 1 U\$/kg, con un precio de venta medio de 0,805 U\$/kg, con la industria cosmética como principal demandante. Esta variabilidad en el precio puede afectar la rentabilidad del proceso, por lo que se considera esencial realizar un análisis económico previo.

En este sentido, se presentará un flujo de fondos que contemple tanto las inversiones necesarias como los costos operativos y los potenciales ingresos, con el fin de evaluar la viabilidad económica de esta alternativa dentro de la matriz energética de la planta.



2. Análisis económico

El análisis financiero del uso de biodiesel en la matriz energética de la planta se basa en la evaluación de los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los beneficios económicos derivados del reemplazo de combustibles fósiles y biomasa. Para este estudio, se considera un horizonte de 20 años y una tasa de descuento del 8,5% anual.

I. Inversión Inicial

- Planta de biodiesel: 182.443 U\$S

II. Costos de Operación y Mantenimiento (O&M)

- El costo anual de operación y mantenimiento incluye insumos químicos, mano de obra y consumo de energía eléctrica: Costos O&M: 479.875 U\$S/año

III. Beneficios Económicos

Los beneficios económicos provienen del reemplazo de combustibles fósiles y biomasa, así como del costo de oportunidad asociado a la no venta del sebo en el mercado.

- No venta de sebo: La producción de biodiesel requiere el uso de 1.320.000 kg de sebo/año, el cual tiene un valor de mercado de 0,805 U\$S/kg, lo que representa un costo de oportunidad de 1.063.048 U\$S/año.
- Reemplazo de diésel: El biodiesel de ácidos grasos no saturados sustituye 834.649 litros/año de diésel, con un precio de 0,89 U\$S/litro, lo que equivale a un ahorro de 744.600 U\$S/año.
- Reemplazo de leña con biodiesel de ácidos grasos saturados: Se sustituye 1.005,4 toneladas/año de leña, con un precio de 40 U\$S/tonelada, representando un ahorro de 40.215 U\$S/año.
- Reemplazo de leña con glicerol: Se sustituye 167,6 toneladas/año de leña, representando un ahorro adicional de 6.702 U\$S/año.

IV. Tasa de Descuento

Para el análisis financiero se ha aplicado una tasa de descuento del 8,5% anual, que permite determinar la viabilidad económica de la inversión considerando el valor temporal del dinero.



Se ha elaborado un flujo de fondos proyectado a 20 años, considerando la inversión inicial en el Año 0, los ahorros generados a partir del Año 1, y los costos de O&M anuales¹¹.

V. Resultados del Análisis Económico

Los resultados obtenidos indican que la implementación de la planta de biodiesel no es económicamente viable bajo las condiciones actuales:

- **Valor Actual Neto (VAN): -7.293.262 U\$S**
- **Tasa Interna de Retorno (TIR): No aplicable (negativa)**
- **Período de Recuperación de la Inversión (Payback): No recuperable**

El elevado costo de producción del biodiesel, impulsado por el alto valor de mercado del sebo como materia prima, junto con los costos operativos asociados, generan un flujo de caja negativo a lo largo del horizonte de evaluación de 20 años.

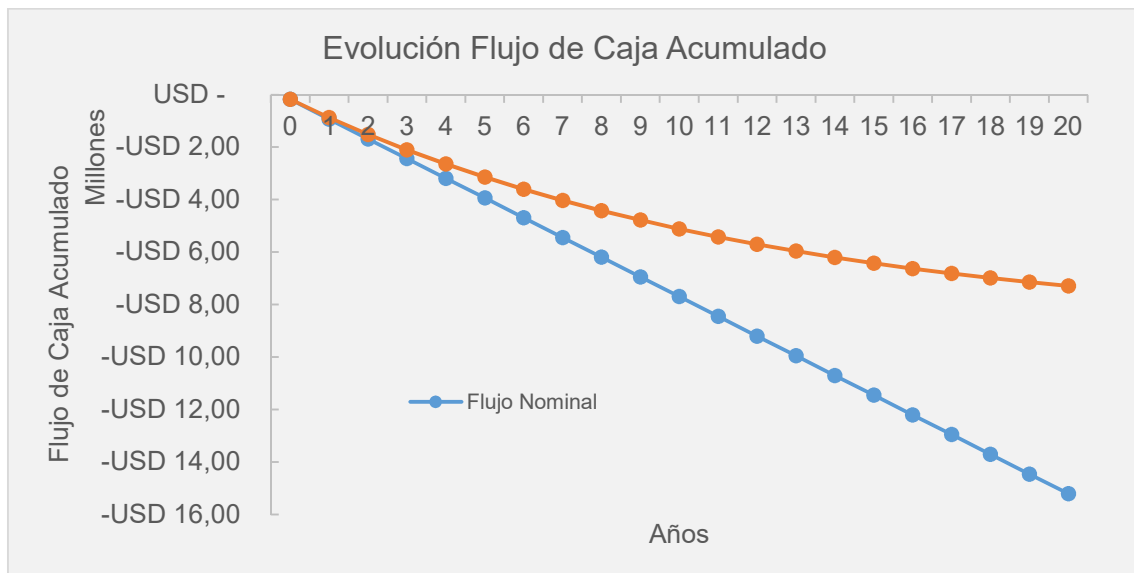


Gráfico 4: Evolución Flujo de Caja Acumulado: Uso del Biodiesel para reemplazo de combustible diésel y leña.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios

¹¹ Ver ANEXO I, tabla 5.



7. Conclusión

El presente estudio evaluó distintas alternativas para la valorización energética de los residuos y subproductos generados en Curtiembre ARLEI S.A., con el objetivo de mejorar la rentabilidad, incrementar la eficiencia energética de la planta y reducir su impacto ambiental. Se analizaron dos estrategias principales: el aprovechamiento del biogás generado a partir del tratamiento de lodos y residuos orgánicos, y la producción de biodiésel a partir del sebo bovino.

En relación con el biogás, se estudiaron tres alternativas para su integración en la matriz energética de la planta:

- Uso del biogás en caldera: permite la mayor reducción en el consumo de leña, con un VAN de 1.519.305 U\$, una TIR del 29,9% y un período de recuperación de la inversión de 4 años. Asimismo, permitiría una reducción de emisiones de 7.345,6 tCO₂eq anuales.
- Uso del biogás en motogeneradores: permite cubrir el 40,4% de la demanda eléctrica de la planta, con un VAN de 2.532.006 U\$, una TIR del 30,6% y un payback también en 4 años. Además, se lograría una reducción estimada de 3.421,1 tCO₂eq anuales.
- Cogeneración de electricidad y vapor: esta alternativa, que combina la generación eléctrica con el aprovechamiento del calor residual, alcanza la mayor eficiencia energética (79,6%), con un VAN de 3.308.876 U\$, una TIR del 33,9% y un período de recuperación de solo 3 años. La reducción de emisiones alcanzaría las 6.256,4 tCO₂eq anuales.

Por otro lado, el análisis económico de la producción de biodiésel reflejó un VAN negativo de -7.293.262 U\$, lo que indica que los altos costos de producción y el valor de mercado del sebo como materia prima superan ampliamente los beneficios económicos de su transformación en biocombustible. En este contexto, el mejor destino del sebo continúa siendo su comercialización directa.

Los resultados permiten concluir que el uso del biogás representa la alternativa más viable, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, mientras que la producción de biodiésel no resulta rentable bajo las condiciones actuales de la curtiembre.

El aprovechamiento del biogás no solo permitiría una reducción significativa en los costos energéticos y en la dependencia de fuentes externas, sino que también contribuiría a la disminución de emisiones de CO₂ y a la mejora en la gestión de residuos. En particular, la reutilización de los lodos reduciría el impacto ambiental al



disminuir olores, emisiones fugitivas y procesos de fermentación anaeróbica en el relleno sanitario.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el uso de biomasa como fuente renovable incrementaría la participación de energías limpias en la matriz energética de la planta. Este tipo de aprovechamiento contribuiría además al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos: Agua Limpia y Saneamiento (ODS 6), Energía Asequible y No Contaminante (ODS 7), Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9), y Producción y Consumo Responsable (ODS 12), fortaleciendo el compromiso ambiental de la empresa.

En este sentido, se recomienda que la curtiembre avance en la implementación del sistema de biogás, priorizando la alternativa de cogeneración, y continúe con la comercialización del sebo en el mercado, maximizando así la valorización de sus residuos y subproductos de manera eficiente, rentable y sostenible.



8. Bibliografía

Curtiembre ARLEI S.A. (2019). Producción de Biogás. Departamento de Investigación y Desarrollo.

Curtiembre ARLEI S.A. (2018). Producción de Biodiesel. Departamento de Investigación y Desarrollo.

Curtiembre ARLEI S.A. (2024). www.arlei.com

Tejerina, W. A., Liberal, V. I., Iribarnegaray, M. A., & Seghezzo, L. (2013). Gestión de residuos en curtiembres de la provincia de Salta. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET).

Álvez, M., González, M., Cerecetto, H., & Rodríguez, J. (2008). Estudio de una metodología para la obtención de biodiesel a partir de grasa vacuna. Laboratorio de Orgánica, Facultad de Ciencias / Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Lachuma Rodríguez, B. C. (2024). Evaluación de las diluciones de efluentes de curtiembre en la producción de biogás. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Reyes Aguilera, E. A. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. Revista Científica de FAREM-Estelí: Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano.

Oliva-Montes, J., Flores-Rodríguez, J., López-Medina, R., Santos-Camacho, J., Contreras-Ruíz, J., & Vaca-Mier, M. (2015). Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea. Revista Iberoamericana de Ciencias.

Liberal, V. I., Domingo, G. I. B., Lagarde, T., Iribarnegaray, M., & Seghezzo, L. (2017). Una alternativa de optimización del sistema de tratamiento de efluentes de una curtiembre en Salta, Argentina. Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Rodríguez-Morales, J. A., Ventura-Ramos, E., López-Velarde, M., & Pérez-Moreno, V. (2017). Obtención de biogás a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la digestión anaerobia mesofílica. Revista de Energía Química y Física.

Jaramillo Gutiérrez, M. J., & Tamayo Mateus, D. F. (2019). Evaluación de la producción de biogás a partir de lodos residuales recolectados de una PTAR, en un reactor de la Pontificia Universidad Javeriana. Fundación Universidad de América.

Zaragozi, M., Ezcurra, D., & Gaioli, F. (Coord.). (2015). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina. Coraliae S.R.L., Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

INNIO. (2022). Jenbacher Type 4: Leading the way. INNIO.



CAMMESA. (2021). Documento de Transacciones Económicas (DTE). Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A.

Secretaría de Energía. (2021). Balance Energético Nacional de la República Argentina, año 2021. Gobierno de la República Argentina.



Anexo I: Tablas

Tabla 1: producción y consumo energético mensual

		ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21	2021
Cuero Pelambre	<i>tn</i>	2.790	2.638	3.073	3.334	3.261	3.045	3.739	3.475	3.655	3.706	3.512	3.425	39.652
Diésel	<i>l</i>	10.181	11.037	9.190	10.287	12.042	10.437	10.824	10.495	12.972	11.180	11.958	11.201	131.804
	<i>MWh</i>	103	112	93	104	122	106	110	107	132	113	121	114	1.338
Leña	<i>tn</i>	524	510	680	653	714	748	816	816	782	714	726	735	8.417
	<i>MWh</i>	1.262	1.229	1.639	1.573	1.721	1.803	1.967	1.967	1.885	1.721	1.750	1.771	20.286
Energía Eléctrica	<i>MWh</i>	1.513	1.476	1.496	1.568	1.516	1.439	1.531	1.488	1.489	1.579	1.661	1.680	18.434
Energía Total	<i>MWh</i>	2.878	2.817	3.228	3.246	3.358	3.347	3.607	3.561	3.505	3.414	3.532	3.565	40.057

Tabla 1: Datos de producción y consumo energético mensual del año 2021. Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios.



Tabla 2: Cash Flow Alternativa 1: Biogás para generación de vapor en caldera

Flujo de Caja		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
1 Egresos								
1.1	Inversión Biodigestor	-USD 724.719						
1.2	Adecuación Caldera	-USD 100.000						
1.3	Costos Operativos		-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742
Total Egresos		-USD 824.719	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742
2 Ingresos								
2.1	Reemplazo de Leña		USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437
Total Ingreso			USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437
Cash Flow		-USD 824.719	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695
Utilidad Acumulada (Ingresos-Egresos)		-USD 824.719	-USD 577.024	-USD 329.329	-USD 81.634	USD 166.062	USD 413.757	USD 661.452

Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742
-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742	-USD 24.742
USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437
USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437	USD 272.437
USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695	USD 247.695
USD 909.148	USD 1.156.843	USD 1.404.538	USD 1.652.233	USD 1.899.929	USD 2.147.624	USD 2.395.319	USD 2.643.015	USD 2.890.710



<u>Año 16</u>		<u>Año 17</u>		<u>Año 18</u>		<u>Año 19</u>		<u>Año 20</u>	
-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742
-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742	-USD	24.742
USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437
USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437	USD	272.437
USD	247.695	USD	247.695	USD	247.695	USD	247.695	USD	247.695
USD	3.138.405	USD	3.386.100	USD	3.633.796	USD	3.881.491	USD	4.129.186

Tabla 2: Cash Flow Alternativa 1: Uso total del biogás para generación de vapor en caldera Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



Tabla 3: Cash Flow Alternativa 2: Biogás para generación de energía eléctrica

<i>Flujo de Caja</i>		<i>Año 0</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>	<i>Año 6</i>
1	Egresos							
1.1	Inversión Biodigestor	-USD 724.719,36						
1.2	Motogenerador	-USD 600.000,00						
1.3	Costos Operativos		-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58
Total Egresos		-USD 1.324.719,36	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58
2	Ingresos							
2.1	Reemplazo de EE		USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
Total Ingreso			USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
Cash Flow		-USD 1.324.719,36	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02
Utilidad Acumulada (Ingresos-Egresos)		-USD 1.324.719,36	-USD 917.175,34	-USD 509.631,32	-USD 102.087,30	USD 305.456,72	USD 713.000,74	USD 1.120.544,76

<i>Año 7</i>	<i>Año 8</i>	<i>Año 9</i>	<i>Año 10</i>	<i>Año 11</i>	<i>Año 12</i>	<i>Año 13</i>	<i>Año 14</i>
-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58
-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58	-USD 39.741,58
USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02	USD 407.544,02
USD 1.528.088,78	USD 1.935.632,79	USD 2.343.176,81	USD 2.750.720,83	USD 3.158.264,85	USD 3.565.808,87	USD 3.973.352,89	USD 4.380.896,91



<i>Año 15</i>		<i>Año 16</i>		<i>Año 17</i>		<i>Año 18</i>		<i>Año 19</i>		<i>Año 20</i>	
-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58
-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58	-USD	39.741,58
USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60
USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60	USD	447.285,60
USD	407.544,02	USD	407.544,02	USD	407.544,02	USD	407.544,02	USD	407.544,02	USD	407.544,02
USD	4.788.440,93	USD	5.195.984,95	USD	5.603.528,97	USD	6.011.072,99	USD	6.418.617,01	USD	6.826.161,03

Tabla 3: Cash Flow Alternativa 2: Uso del Biogás para generación de energía eléctrica Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



Tabla 4: Cash Flow Alternativa 3: Biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor

Flujo de Caja		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
1	Egresos							
1.1	Inversión Biodigestor	-USD 724.719,36						
1.2	Motogenerador	-USD 600.000,00						
1.3	Intercambiador Calor	-USD 70.000,00						
1.4	Adecuación Caldera	-USD 100.000,00						
1.5	Costos Operativos		-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58
Total Egresos		-USD 1.494.719,36	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58
2	Ingresos							
2.1	Reemplazo de EE		USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
2.2	Reemplazo de Leña		USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65
Total Ingreso			USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25
Cash Flow		-USD 1.494.719,36	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67
Utilidad Acumulada (Ingresos-Egresos)		-USD 1.494.719,36	-USD 987.118,69	-USD 479.518,03	USD 28.082,64	USD 535.683,31	USD 1.043.283,97	USD 1.550.884,64

Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58
-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58	-USD 44.841,58
USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60	USD 447.285,60
USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65	USD 105.156,65
USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25	USD 552.442,25
USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67	USD 507.600,67
USD 2.058.485,31	USD 2.566.085,97	USD 3.073.686,64	USD 3.581.287,31	USD 4.088.887,97	USD 4.596.488,64	USD 5.104.089,31	USD 5.611.689,97



<i>Año 15</i>		<i>Año 16</i>		<i>Año 17</i>		<i>Año 18</i>		<i>Año 19</i>		<i>Año 20</i>	
<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>
<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>	<i>-USD</i>	<i>44.841,58</i>
<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>	<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>	<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>	<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>	<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>	<i>USD</i>	<i>447.285,60</i>
<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>	<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>	<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>	<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>	<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>	<i>USD</i>	<i>105.156,65</i>
<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>	<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>	<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>	<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>	<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>	<i>USD</i>	<i>552.442,25</i>
<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>	<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>	<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>	<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>	<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>	<i>USD</i>	<i>507.600,67</i>
<i>USD</i>	<i>6.119.290,64</i>	<i>USD</i>	<i>6.626.891,31</i>	<i>USD</i>	<i>7.134.491,97</i>	<i>USD</i>	<i>7.642.092,64</i>	<i>USD</i>	<i>8.149.693,30</i>	<i>USD</i>	<i>8.657.293,97</i>

Tabla 4: Cash Flow Alternativa 3: Uso del Biogás para cogeneración de energía eléctrica y vapor, Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



Tabla 5: Cash Flow: Biodiesel para reemplazo de diésel y leña

Flujo de Caja		<u>Año 0</u>	<u>Año 1</u>	<u>Año 2</u>	<u>Año 3</u>	<u>Año 4</u>	<u>Año 5</u>	<u>Año 6</u>
1	Egresos							
1.1	Planta Biodiesel	-USD 182.443						
1.2	No Venta de Sebo		-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049
1.3	O&M (Químicos, MO y EE)		-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876
Total Egresos		-USD 182.443	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924
2	Ingresos							
2.1	Reemplazo de Diésel en Motores		USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600
2.2	Reemplazo de Leña		USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917
Total Ingreso			USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517
Cash Flow		-USD 182.443	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407
Utilidad Acumulada (Ingresos-Egresos)		-USD 182.443	-USD 933.851	-USD 1.685.258	-USD 2.436.665	-USD 3.188.072	-USD 3.939.479	-USD 4.690.886

<u>Año 7</u>	<u>Año 8</u>	<u>Año 9</u>	<u>Año 10</u>	<u>Año 11</u>	<u>Año 12</u>	<u>Año 13</u>	<u>Año 14</u>
-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049
-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876
-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924
USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600
USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917
USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517
-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407
-USD 5.442.293	-USD 6.193.701	-USD 6.945.108	-USD 7.696.515	-USD 8.447.922	-USD 9.199.329	-USD 9.950.736	-USD 10.702.143



<u>Año 15</u>	<u>Año 16</u>	<u>Año 17</u>	<u>Año 18</u>	<u>Año 19</u>	<u>Año 20</u>
-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049	-USD 1.063.049
-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876	-USD 479.876
-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924	-USD 1.542.924
USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600	USD 744.600
USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917	USD 46.917
USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517	USD 791.517
-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407	-USD 751.407
-USD 11.453.551	-USD 12.204.958	-USD 12.956.365	-USD 13.707.772	-USD 14.459.179	-USD 15.210.586

Tabla 5: Cash Flow: Uso del Biodiesel para reemplazo de combustible diésel y leña, Curtiembre ARLEI S.A.

Fuente: Creación propia en base a datos secundarios



Anexo II: Proceso Productivo Curtiembre

La producción de cuero probablemente sea uno de los procesos industriales que más varía de planta a planta, aun cuando se procese el mismo tipo de piel para un mismo producto en condiciones similares. Se dice, y es cierto, que el último que define la calidad del cuero es el curtidor. El curtido de pieles consiste en transformar la piel de un animal en cuero. Las operaciones de una curtiembre se dividen en cuatro procesos: ribera, curtido, re-curtido y terminación. Desde el punto de vista ambiental (producción más limpia), las dos primeras son importantes por el volumen y la carga contaminante de los efluentes, y las dos últimas, por la cantidad de residuos sólidos y emisiones de solventes generados en las distintas operaciones para obtener el cuero acabado. (Salas, 2006).

Ribera: El proceso de ribera comprende las operaciones de recepción de piel, salado o curado, remojo y/o lavado, pelambre, descarnado y dividido. Su objetivo es preparar la piel para el curtido limpiándola y acondicionándola, además de asegurar la humedad requerida para los subsiguientes procesos. Se calcula que alrededor del 50% del consumo de agua de la curtiembre es empleado en este proceso.

El objetivo de la operación de pelambre es, por una parte, depilar la piel eliminando el material hecho de queratina (pelo, raíces de pelo y epidermis); y, por otra, encalar la piel a fin de hincharla en forma homogénea y prepararla para el curtido, removiendo al mismo tiempo algunas albúminas, muco-polisacáridos y grasas. De esta forma el pelambre proporciona una mayor apertura a la estructura dérmica, así como más puntos de unión para los curtientes en general.

Convencionalmente, el pelambre se lleva a cabo con sulfuro de sodio (Na_2S) y un álcali que, en la mayoría de los casos, es cal apagada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El sulfuro es uno de los principales contaminantes en los efluentes líquidos, además destruye el pelo incrementando sustancialmente la carga orgánica, de ahí la importancia de reducir su consumo y consiguiente descarga.

Debido a que los procesos de producción se realizan en medio acuoso, los principales contaminantes se encuentran en el agua residual. Éstos son: materia orgánica (expresada como DBO o DQO) e inorgánica (expresada como DQO), sólidos suspendidos, sulfuro y cromo. Las descargas hídricas provienen, entre otras, de las operaciones de pelambre conteniendo sulfuros.

Las cargas contaminantes del proceso de pelambre provienen principalmente de:

Constituyentes de la piel, como proteínas, grasas y otros componentes orgánicos distintos al colágeno que aportan a la carga de DBO.



Pelo que está compuesto de queratina y es destruido por la acción del sulfuro y de la cal, por lo que sus residuos tienen carácter básico y aportan a la carga de DBO y de sólidos suspendidos.

Grasas que se encuentran con el tejido adiposo adherido en el lado de la carne de la piel. Durante el pelambre se saponifican parcialmente.

Sulfuro, anión altamente tóxico que debido a su carácter reductor en medio acuoso provoca una drástica disminución del oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta a la vida acuática. Cuando a las soluciones acuosas que lo contienen se les baja el pH se desprende sulfuro de hidrógeno que, al ser inhalado en determinadas concentraciones, puede llegar a ser mortal.

El sulfuro y sulfuro ácido (H_2S) están presentes en la solución de pelambre, en menor o mayor cantidad, dependiendo del pH de la solución y de la concentración inicial del sulfuro de sodio. Las condiciones de basicidad o acidez harán que la reacción genere una mayor o menor concentración de estas especies. Mientras más alto sea el pH, existirá mayor concentración de sulfuro y menor de sulfuro ácido y viceversa.

La presencia de sulfuro en la operación de pelambre explica que esta operación, por sí sola, sea responsable de la mayor parte de la toxicidad total del efluente, en la forma de sulfuro, dado que el pH en el agua de pelambre es de 13.

Curtido: El proceso de curtido es una etapa crítica en la transformación de la piel cruda en cuero, y su objetivo principal es estabilizar el colágeno presente en la piel para hacerlo resistente a la putrefacción y al deterioro. Este proceso comprende varias operaciones secuenciales, que incluyen el desencalado, piquelado y el curtido propiamente dicho, cada una con un papel esencial en la preparación y modificación de la piel para convertirse en cuero.

Desencalado: Después de la etapa de pelambre en la ribera, las pieles aún contienen cantidades significativas de cal y otros residuos alcalinos utilizados en procesos anteriores. El desencalado tiene como objetivo eliminar estos residuos, especialmente la cal, para preparar la piel para el piquelado y el curtido. Para ello, se sumergen las pieles en soluciones ácidas, como el ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico diluido (H_2SO_4), a menudo combinados con agentes amortiguadores como el sulfato de amonio. Este proceso reduce el pH de la piel de un ambiente altamente alcalino a uno más neutro, lo que facilita la posterior penetración uniforme de los curtientes.

Piquelado: es un paso clave que prepara la piel para el curtido al ajustar su pH a un nivel óptimo, generalmente entre 2.5 y 3. Este proceso implica la inmersión de las pieles en una solución de ácido, generalmente ácido sulfúrico o ácido fórmico, junto con sal



(cloruro de sodio) para evitar la hinchazón excesiva de las fibras colagénicas. El objetivo del piquelado es abrir la estructura del colágeno de la piel para que los agentes curtientes puedan penetrar de manera uniforme durante la siguiente etapa.

Curtido: El proceso de curtido puede realizarse mediante varios métodos, siendo los más comunes el curtido al cromo, el curtido vegetal y el curtido con aldehídos. Cada uno de estos métodos emplea diferentes químicos y produce diferentes tipos de cuero.

1. Curtido al Cromo: Este es el método más utilizado a nivel industrial debido a su rapidez y la calidad del cuero producido. En este proceso, se utiliza cromo trivalente (Cr^{3+}) en forma de sulfato básico de cromo. Durante el curtido, el cromo penetra las fibras de colágeno y forma enlaces con ellas, estabilizándolas y haciéndolas resistentes a la putrefacción y a los cambios dimensionales. El cuero curtido al cromo, conocido como "wet blue" debido a su color característico, es flexible, resistente y adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, el proceso genera efluentes con alto contenido de cromo, un contaminante que debe ser cuidadosamente tratado debido a sus posibles impactos ambientales.
2. Curtido Vegetal: Este proceso utiliza taninos naturales extraídos de maderas, cortezas y hojas de ciertas plantas. Los taninos reaccionan con el colágeno de la piel, formando enlaces estables que preservan la estructura de la piel y le otorgan características específicas como rigidez y durabilidad. El cuero curtido vegetal es más rígido y menos elástico que el cuero curtido al cromo, y es apreciado en la producción de artículos como correas, cinturones y productos artesanales. Aunque es un proceso más lento, es considerado más ecológico debido a la menor carga contaminante de los efluentes, que contienen principalmente residuos orgánicos.

Contaminantes y Subproductos del Curtido

El proceso de curtido genera varios contaminantes y subproductos que deben ser gestionados adecuadamente para minimizar su impacto ambiental:

Efluentes líquidos: Contienen altas concentraciones de cromo (en el caso del curtido al cromo), sulfatos, cloruros y materia orgánica, que requieren un tratamiento especializado antes de su descarga.

Residuos sólidos: Incluyen lodos ricos en cromo y otros residuos químicos que deben ser tratados y dispuestos de manera segura.

Subproductos reutilizables: En algunos procesos, como el curtido vegetal, los taninos residuales pueden ser recuperados y reutilizados, y los subproductos de cromo pueden ser reciclados en otros procesos industriales.



Recurtido: ajusta las propiedades del cuero después del curtido inicial. En esta etapa, se aplican curtientes adicionales y aditivos para modificar la textura, flexibilidad y otras características del cuero. Los productos químicos utilizados pueden incluir taninos adicionales, aceites y grasas. El recurtido permite personalizar el cuero según los requisitos del producto final.

Terminación: El tinturado es la fase en la que se aplica color al cuero utilizando pigmentos y colorantes. Dependiendo del método de tintura, se pueden emplear tintes solubles en agua o solventes. El acabado final del cuero se realiza con barnices, selladores y otros aditivos para proteger y mejorar la apariencia del cuero. Estos aditivos también pueden afectar la flexibilidad, durabilidad y resistencia del cuero a la abrasión.

El proceso de producción se describe en los diagramas de flujo mostrados en la siguiente figura y reflejan el trabajo que se realiza en curtiembres típicas que procesan pieles de vacuno.

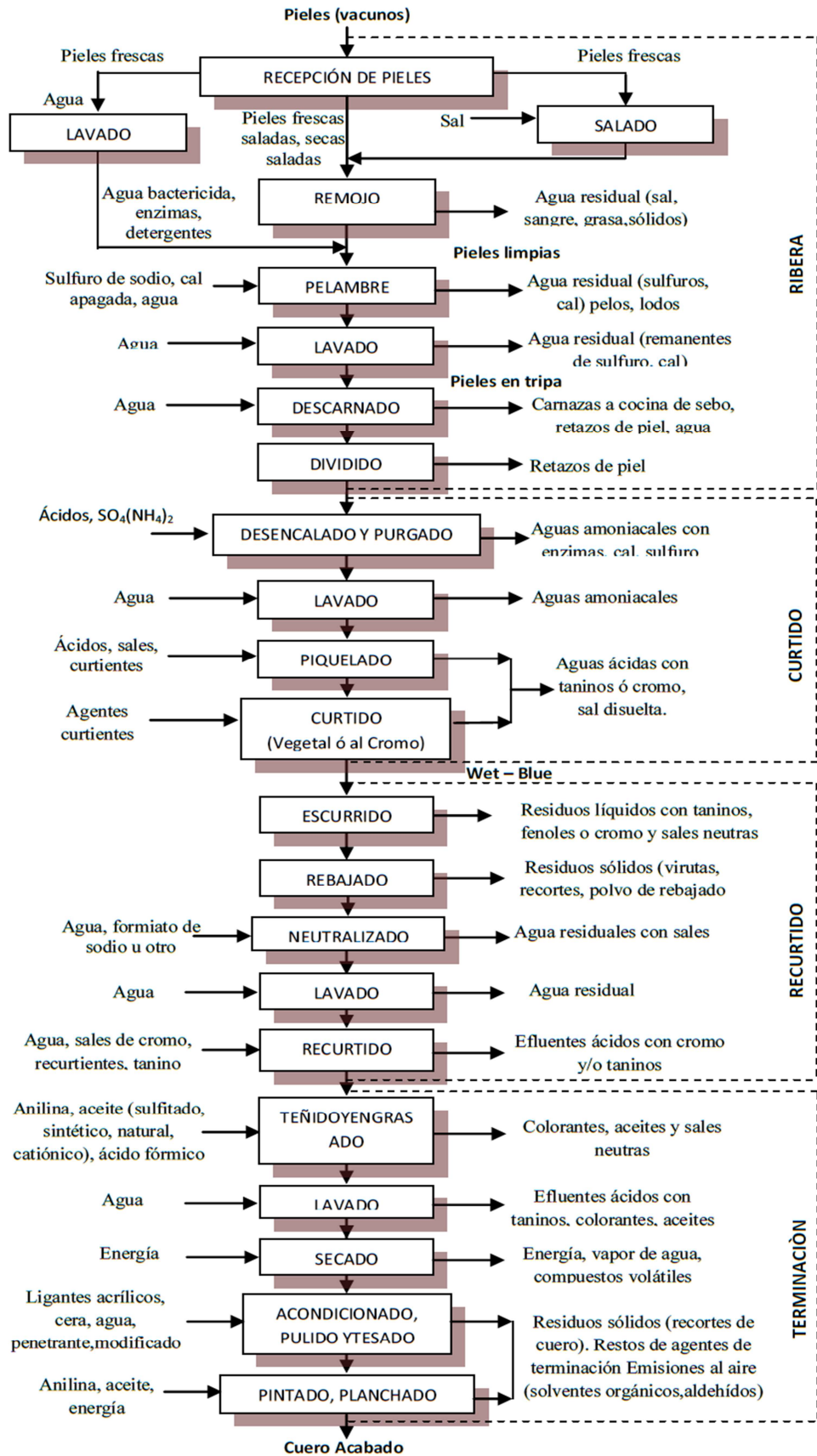


Fig.10: Esquema del Proceso de Curtido. Fuente: CNPMLTA (2004). Adaptado a las condiciones de la curtiembre evaluada.



Anexo III: Proceso producción de Biogás

Para la producción de biogás, se destacan metodologías como las digestiones anaerobia y aerobia, que son procesos que permiten utilizar residuos orgánicos para un aprovechamiento energético, y han venido tomando fuerza con el pasar del tiempo, debido a que representa una alternativa factible en el uso de los recursos no renovables para proveer energía.

Para llevar a cabo la digestión anaerobia se utilizan generalmente dos tipos de sistemas: los continuos y los discontinuos. En ambientes industriales se opta por los sistemas continuos. En ellos el sustrato se introduce continuamente en el reactor, retirando de este la misma cantidad que se introdujo.

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo que sucede en condiciones de ausencia de oxígeno, en el cual, parte de la materia orgánica (lodos residuales) es transformada por la acción bacteriana llevándola a una conversión de gases (biogás), compuesta por dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). Este proceso biológico se realiza en biodigestores, conocidos comúnmente como biorreactores, los cuales son contenedores cerrados donde la materia orgánica permanece aislada en un periodo de tiempo, facilitando el trabajo microbiano para lograr que el sustrato y el inóculo interactúan generando una descomposición, esto debido al estímulo que tienen los microorganismos al no tener gran cantidad de oxígeno y no al favorecimiento de la reproducción microbiana, por ello, el crecimiento microbiano es lento en estos procesos anaerobios.

Este proceso bioquímico hace que sea posible convertir distintos tipos de residuos tales como residuos animales, urbanos, vegetales, u otros tipos de productos y subproductos orgánicos, que pueden ser útiles para la fermentación, donde el 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano, que hace que se obtenga un proceso exitoso. Dentro de este grupo de microorganismos, que disponen de un amplio rango de respuesta a la molécula de oxígeno, intervienen las bacterias anaerobias facultativas quienes pueden desarrollar un metabolismo tanto respiratorio aprovechando el oxígeno, como fermentativo en ausencia de oxígeno, y las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados en cada etapa que interviene en el proceso.

El proceso de digestión anaeróbica se divide en cuatro etapas fundamentales:

1- Hidrólisis. Primera etapa de generación de biogás, en la cual los compuestos complejos del material inicial (carbohidratos, grasas y proteínas) se dividen en compuestos orgánicos mucho más simples (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos).



En esta etapa las bacterias hidrolíticas liberan enzimas que descomponen el material por medios bioquímicos.

2- Acidogénesis. Etapa donde los productos intermedios formados en el proceso hidrolítico se dividen por medio de bacterias fermentadoras para formar compuestos orgánicos más reducidos (ác. acético, ác. butírico, etanol, ác. láctico, ác. propiónico y ác. valproico) junto con dióxido de carbono e hidrógeno. La naturaleza de los productos que se forman en esta etapa es relacionada por la concentración del hidrógeno intermedio. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias radica principalmente en la producción del alimento para los grupos de bacterias que actúan en las etapas posteriores (metanogénicas), además eliminan las trazas de oxígeno que puedan haber disuelto en el sistema, debido a que se compone de bacterias facultativas denominadas bacterias formadoras de ácidos.

3- Acetogénesis. Por medio de bacterias acetogénicas los productos formados deben ser oxidados y se convierten en precursores de biogás (acetato, hidrógeno y anhídrido carbono). En esta etapa es muy importante controlar el contenido de hidrógeno, ya que, si es excesivamente alto, impide la conversión de los productos intermedios de la acidogénesis. En la etapa acetogénica la mayoría de las bacterias anaeróbicas ya han consumido todo el alimento presente de la biomasa y los productos generados son los que las bacterias metanogénicas utilizan como sustrato

4- Metanogénesis. Etapa final de generación de biogás, donde se convierten el ácido acético, el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano por medio de bacterias metanogénicas específicamente anaeróbicas. Los microorganismos metanogénicos pueden ser los más importantes en el proceso de digestión anaerobia, ya que estos son los responsables de la formación del gas metano y de la eliminación del medio de productos de los grupos anteriores.

Sistemas Continuos: Este tipo de reactores se utilizan principalmente para tratamiento de aguas residuales, ya que tienen un alto grado de tecnología, control e instrumentación, además cuentan con un sistema de agitación y tienen la capacidad de regular su temperatura. La palabra “continua” refiere a que los procesos no paran nunca, solo para mantenimientos grandes o por algún tipo de fallas, el proceso de la digestión en este tipo de reactor es controlada, pero su desventaja es la complejidad de manejar sustratos casi líquidos para que no se presente precipitación o incrustaciones que puedan dañar el reactor. Este tipo de sistemas cuentan con una alta eficiencia, TRH cortos y mejor calidad en los productos sin importar el tipo de biomasa que se encuentre en él.

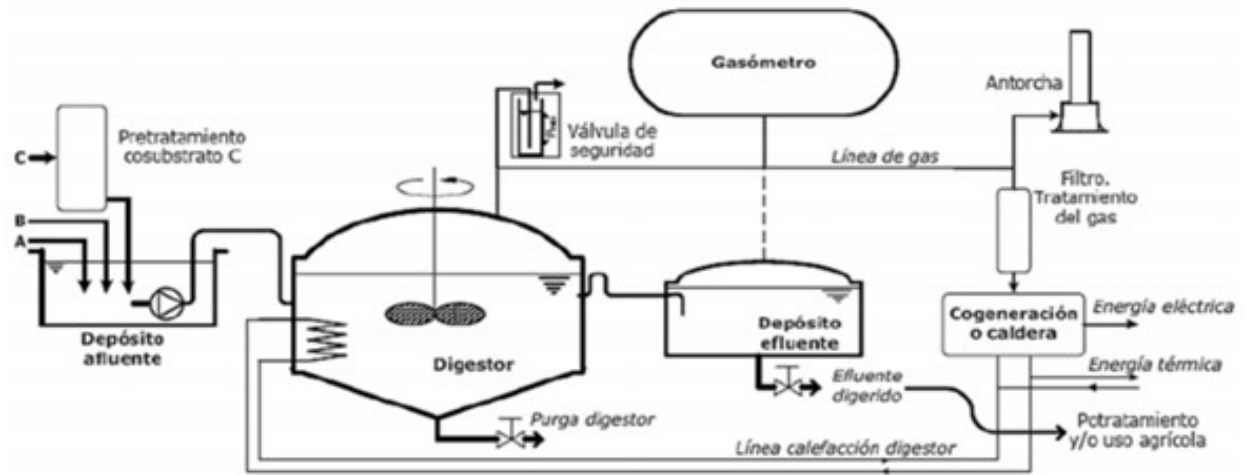


Fig.11: Esquema de un biodigestor continuo

Anexo IV: Proceso producción de Biodiesel

Para la producción del biodiesel se requiere un aceite vegetal o grasa animal como materia prima, un alcohol y un catalizador. Los principales métodos para obtenerlo son la esterificación y la transesterificación. La primera consiste en sintetizar un éster, es decir, se lleva a cabo una reacción entre los ácidos carboxílicos y los alcoholes utilizando ácidos fuertes como catalizadores; en cambio, la transesterificación consiste en intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol, es un método más fácil y más amigable con el ambiente (Ravindra y Raman, 2015)

El método más simple y el convencional para la producción de biodiesel es el método “Batch” o por lotes (fig. 12). Se trata de un proceso “discontinuo”, mediante reactores con agitación y/o recirculación de los fluidos, donde las condiciones de operación más habituales son a temperaturas del orden de los 55 °C. En este proceso el aceite vegetal o grasa animal es reaccionado con un alcohol metanol y conjuntamente con un catalizador (que actúa como acelerador del proceso) que comúnmente es el Hidróxido de Sodio (NaOH), aunque también se utiliza el Hidróxido de Potasio (KOH), en rangos del 0,3% al 1,5%. Es necesario para el proceso, una firme agitación de los fluidos, para una correcta mezcla en el reactor.

Hacia el fin de la reacción, se procede a la separación de las distintas fases por diferencia de densidades, mediante la decantación del producto en reposo. Lo ideal es que se dispongan de 2 (dos) etapas de reacción seguidas, con eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 96% / 97%.

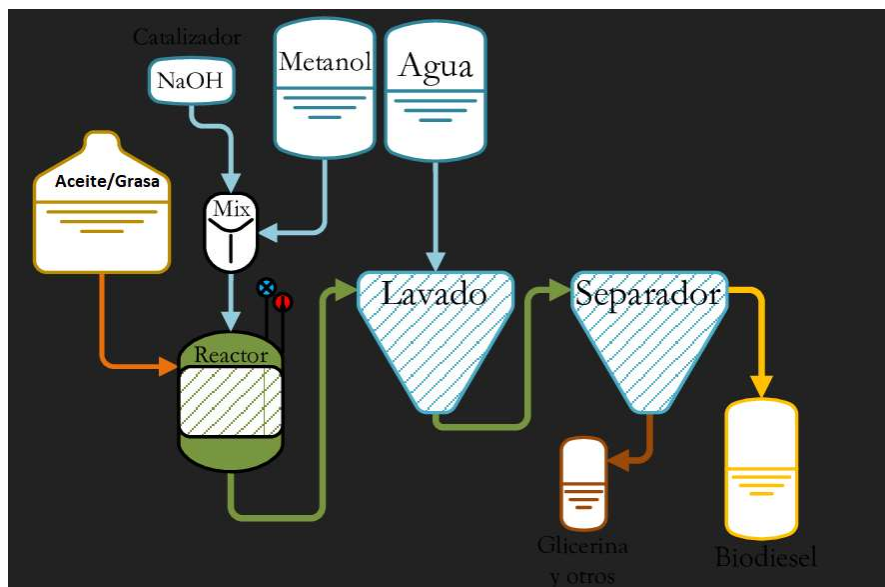


fig.12: Proceso Batch para la producción de biodiesel