

LA ENERGÍA
DE LA
BIOMASA

Dr. F. Jarabo

FORMACIÓN DE LA BIOMASA

Fotosíntesis: Sistema de captación/acumulación de la Naturaleza
energía solar ➡ energía química (almacenada como materia orgánica) **ENERGÍA DE LA BIOMASA**
(CO₂ + H₂O) ➡ (azúcares, proteínas, grasas) **alimento de toda la cadena viviente**

Rendimientos: Máximo teórico: 8%
Máximo real: 3% (respiración)
Medio (1%)
Bajo rendimiento pero gran superficie:
10 veces la energía consumida por la Humanidad

Limitaciones en la utilización:

Difícil recolección (40% acuática)
Costes de recolección y transporte (terrestre dispersa)
Estado de la tecnología

Biomasa: “conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien producidos en la cadena biológica”

FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS

PRIMARIA (VEGETAL):

..... Residual
..... Fósil (carbón)

▼ Rendimiento de transformación: 15%

SECUNDARIA (ANIMAL):

..... Residual
..... Fósil (petróleo)

Obtención de energía:

- ✗ Transformación en productos industriales sustitutivos (más baratos en energía fósil)
- ✗ Utilización como combustible

UTILIZACIÓN COMO COMBUSTIBLE:

Fuente de biomasa: **RESIDUOS** (aprovechamiento inmediato)

Fuente de biomasa: **CULTIVOS ENERGÉTICOS** (posibilidades a largo plazo)

**Primaria
(vegetal)**

Rendimiento de transformación
~ 15%

**Secundaria
(animal)**

Residual

Vegetal:

**Paja
Serrín
Virutas
etc.**

Animal:

**Estiércol
Res. Urbanos
Res. Mataderos
etc.**

Fósil

Vegetal:

Carbón

Animal:

Petróleo

LOS RESIDUOS

Definición: *“materiales generados en las actividades de producción, transformación y consumo, que no han alcanzado ningún valor económico en el contexto en que han sido generados”*

Características:

- ✗ Problema actual de acumulación
- ✗ Gran cantidad de materia orgánica (BIOMASA RESIDUAL)
- ✗ “Materia prima” inagotable: 2 Tm/hab·año (= 9.000 kW·h/ha·año)
- ✗ Tratamiento costoso: rentabilizar produciendo energía

Ventajas del tratamiento:

- ✗ Productos existentes
- ✗ Concentración (ahorro en costes de transporte)
- ✗ Mejora del medio ambiente
- ✗ Generación de productos valiosos
- ✗ Posible actividad de interés económico y social

CLASIFICACIÓN:

Según materiales:

- ✗ Orgánicos
- ✗ Plásticos
- ✗ Metálicos

Según origen:

- ✗ Agrarios
- ✗ Industriales
- ✗ Urbanos

RESIDUOS AGRARIOS:

- ✧ Residuos agrícolas:
 - ✗ pajas de cereales
 - ✗ residuos de poda de frutales y viñedo
 - ✗ tallos de cultivos textiles y de oleaginosas
- ✧ Residuos forestales:
 - ✗ residuos de corte y elaboración de madera
 - ✗ residuos de tratamientos selvícolas
- ✧ Residuos ganaderos:
 - ✗ deyecciones de animales

RESIDUOS INDUSTRIALES:

- ✗ conservas vegetales
- ✗ producción de aceites y vinos
- ✗ frutos secos

RESIDUOS URBANOS:

- ✧ Residuos sólidos urbanos:
 - ✗ Dos fases: recogida/transporte y aprovechamiento/eliminación
 - ✗ Recogida ya organizada y eliminación imprescindible
 - ✗ Permite el reciclado de otros productos
 - ✗ Crecimiento del 5% anual
- ✧ Aguas residuales urbanas:
 - ✗ Gran parte es agua
 - ✗ Fracción sólida (fangos) casi completamente orgánica
 - ✗ Depuración de agua actualmente imprescindible
 - ✗ Fangos de alta carga contaminante

LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS ("Agroenergética")

- ✓ Cultivos tradicionales
 - ✧ Cereales
 - ✧ Caña de azúcar
 - ✧ Remolacha
 - ✧ Mandioca
 - ✧ Plantaciones forestales
- ✓ Cultivos poco frecuentes
 - ✧ Cardos
 - ✧ Pataca
 - ✧ Chumberas
 - ✧ Ágaves
 - ✧ Helechos
- ✓ Cultivos acuáticos
 - ✧ Algas marinas
 - ✧ Jacinto de agua
- ✓ Cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos
 - ✧ Palmeras
 - ✧ Euforbias
 - ✧ Ricino
 - ✧ Jojoba
 - ✧ Copaiba
 - ✧ Membrillo negro

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA

Características de la biomasa:

- ✗ Baja densidad física
- ✗ Baja densidad energética
- ✗ Alto contenido en humedad

Ventajas de los combustibles generados

(gran variedad de productos):

- ✗ Escaso contenido en azufre
- ✗ No forman escorias en su combustión
- ✗ Bajo contenido en cenizas
- ✗ Mejora del medio ambiente

TIPOS DE PROCESOS:

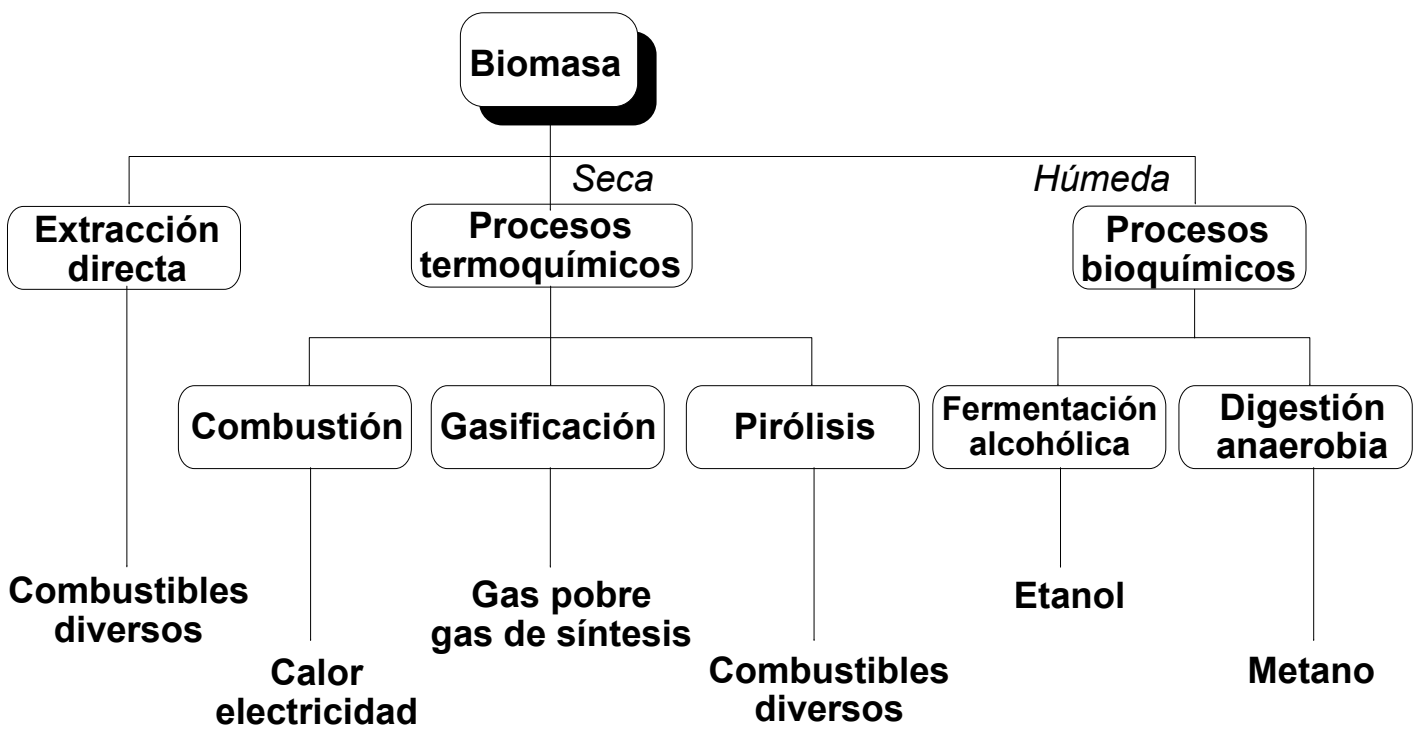
✧ Extracción directa (plantas productoras de combustibles)

✧ Procesos TERMOQUÍMICOS (biomasa seca):

- ✗ Combustión (exceso O_2)
- ✗ Gasificación (defecto O_2)
- ✗ Pirólisis (ausencia O_2)

✧ Procesos BIOQUÍMICOS (biomasa húmeda):

- ✗ Fermentación alcohólica (microorganismos sembrados)
- ✗ Digestión anaerobia (microorganismos presentes)



EXTRACCIÓN DIRECTA

Materias primas:

✗ Plantas productoras de combustibles líquidos

Productos obtenidos:

✗ Diversos, según la materia prima y el proceso seguido

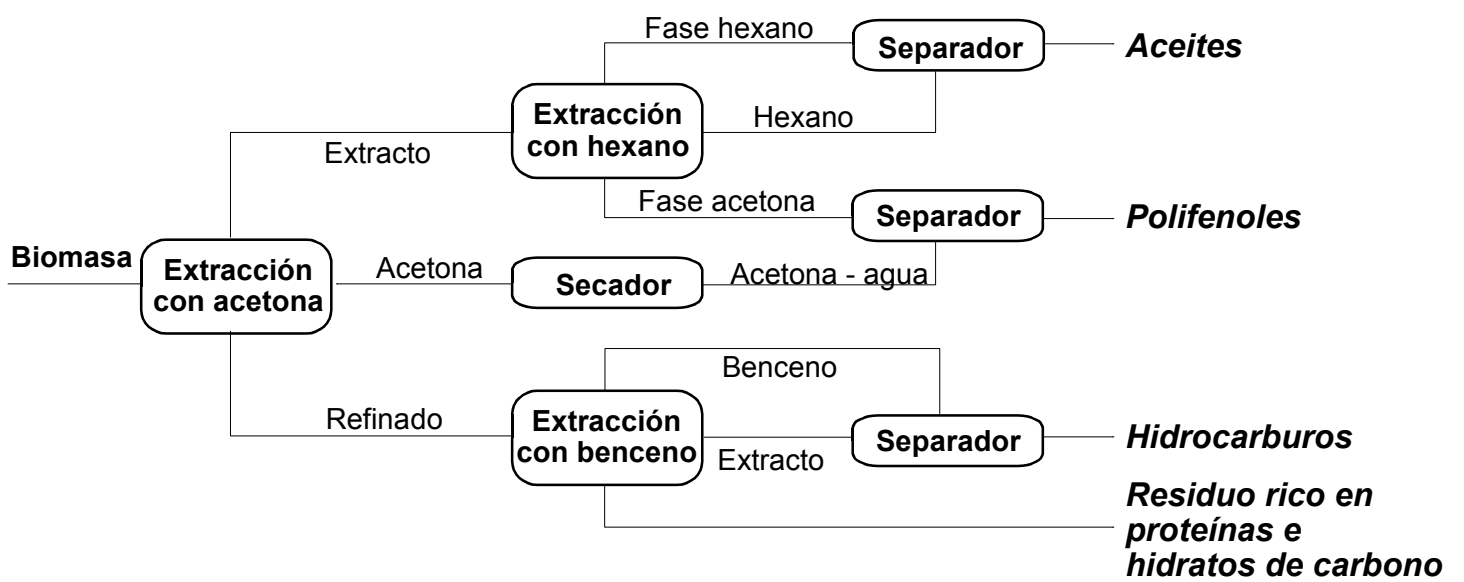
Economía:

✗ Depende de los disolventes, que hay que reciclar

Esquema de operación:

✗ No completamente definido; depende de la materia prima

Diagrama de operación



COMBUSTIÓN

Oxidación completa (exceso de O₂) para dar:

- ✗ Dióxido de carbono
- ✗ Vapor de agua
- ✗ Cenizas
- ✗ **CALOR** (componente útil)

Variables del proceso:

- ✧ Proporción de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico
- ✧ Temperatura: 600 - 1.300 °C
- ✧ Características del combustible (materia prima):
 - ✓ Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
 - ✓ Químicas: bajo contenido en azufre
 - ✓ Térmicas: dependen de las físicas y las químicas

Unidades del sistema:

- ✧ Horno
- ✧ Equipo de recuperación de calor (caldera)
- ✧ Sistema de uso de la energía (conducción de vapor, turbogenerador)

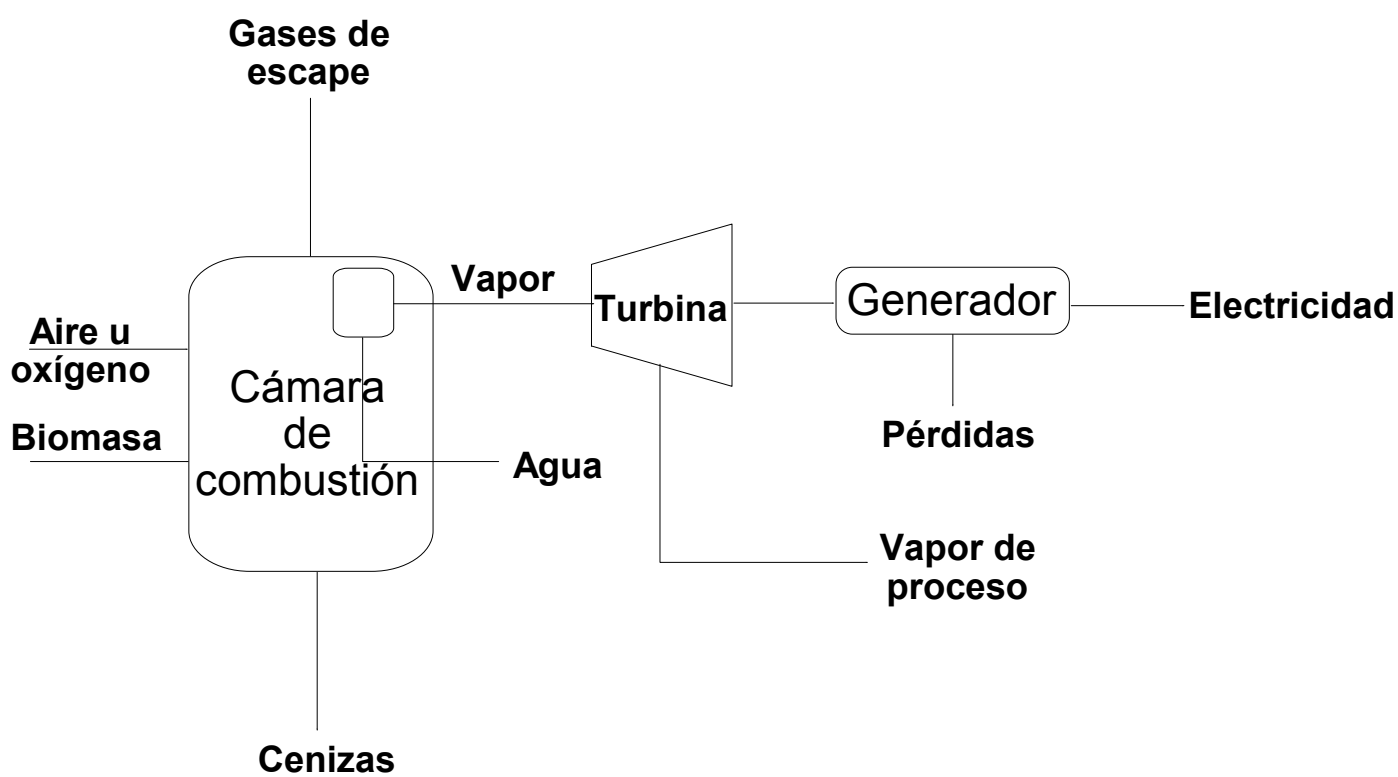
Diagrama de operación

Rendimientos (para humedad inferior al 20%):

- ✗ Térmico: 85%
- ✗ Total: 30%

Aplicaciones:

- ✗ Industrias agrarias y forestales (azucareras, papeleras, madereras)
- ✗ R.S.U.
- ✗ Calefacción doméstica (modernas estufas con 75% de rendimiento)



GASIFICACIÓN

Oxidación incompleta (defecto de O₂) para dar:

- ✗ Monóxido de carbono
- ✗ Dióxido de carbono
- ✗ Hidrógeno
- ✗ Metano

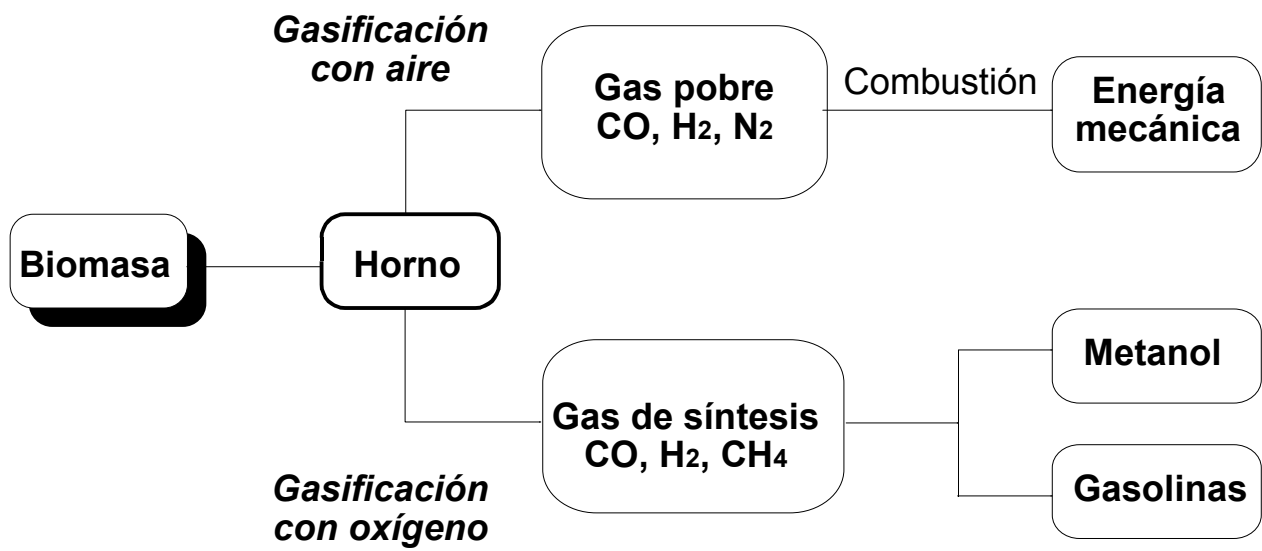
Variables del proceso:

- ✧ Proporción de oxígeno: 10 - 50% del teórico
- ✧ Temperatura: 700 - 800 °C (máximo 1.500 °C)

Diagrama de operación

Productos obtenidos:

- ✗ Gasificación con aire: **Gas de gasógeno**
 - ✓ Bajo poder calorífico (contiene nitrógeno)
 - ✓ Utilizable sólo para quemar
 - ✓ Aplicaciones históricas (gasógenos)
- ✗ Gasificación con oxígeno: **Gas de síntesis**
 - ✓ Alto poder calorífico (menor que gas natural o butano)
 - ✓ Utilizable como materia prima:
 - Obtención de metanol (combustible)
 - Obtención de gasolinas (combustible)



PIRÓLISIS

Descomposición térmica (ausencia de O₂) para dar:

- ✗ Gases: Hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos
- ✗ Líquidos: Hidrocarburos oxigenados complejos
- ✗ Sólidos: Carbones, alquitranes y cenizas

Variables del proceso:

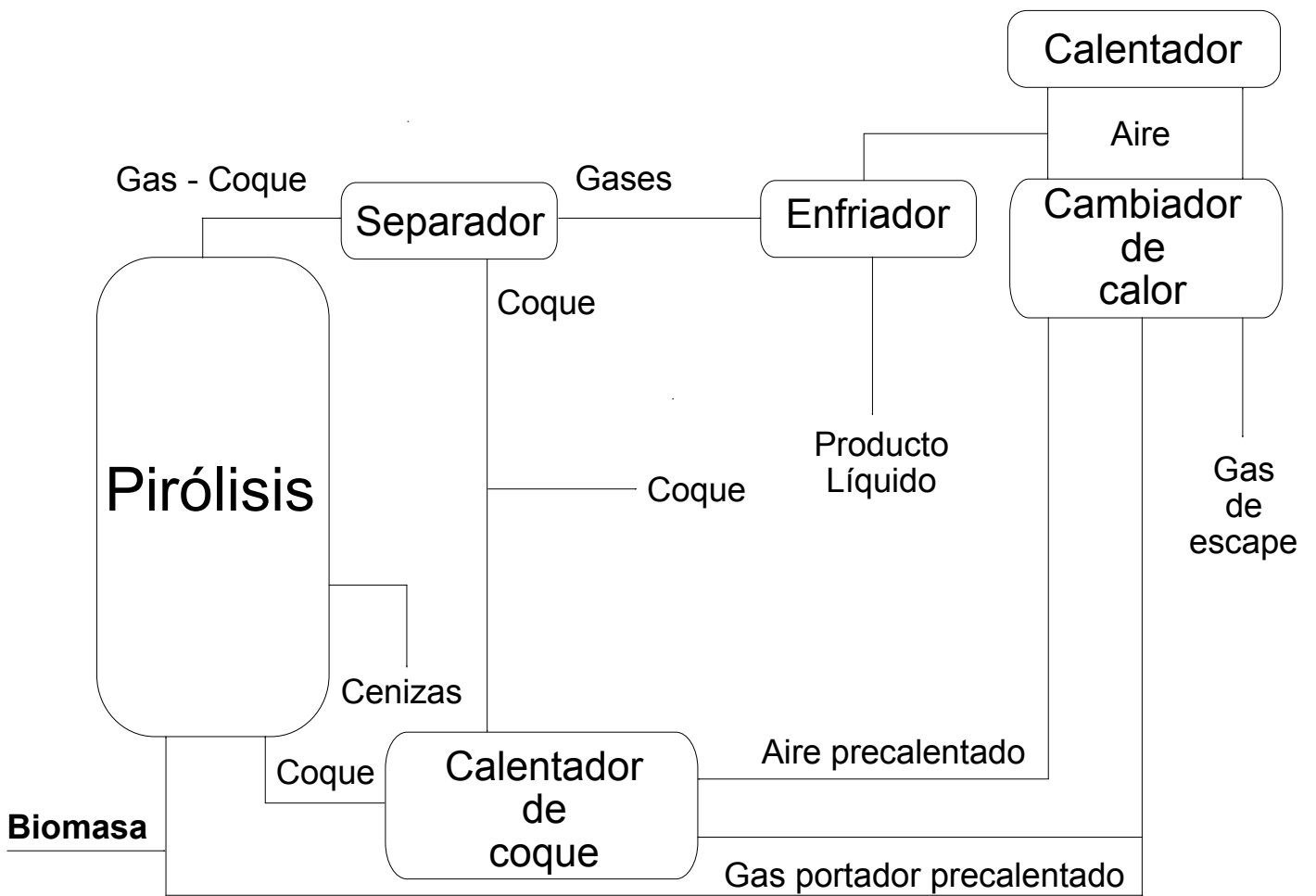
- ✧ Materias primas: residuos agrícolas, forestales y urbanos (baja humedad)
- ✧ Temperatura: 275 - 450 °C

Diagrama de operación

Mejora del proceso: **Licuefacción** (mayor rendimiento en productos líquidos)

- ✗ Gas reductor: monóxido de carbono, metano o gas de síntesis
- ✗ Catalizadores
- ✗ Presión: 100 - 300 atm
- ✗ Rendimiento energético: 55%

Diagrama de operación



FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA (I)

Energía almacenada en los vegetales como HIDRATOS DE CARBONO:

- ✗ Azúcares
- ✗ Almidón
- ✗ Celulosa

Hidratos de carbono fermentables a ETANOL según el proceso:

- ✗ Pretratamiento de la biomasa
- ✗ Hidrólisis (HC complejos)
- ✗ Fermentación alcohólica
- ✗ Separación y purificación del etanol

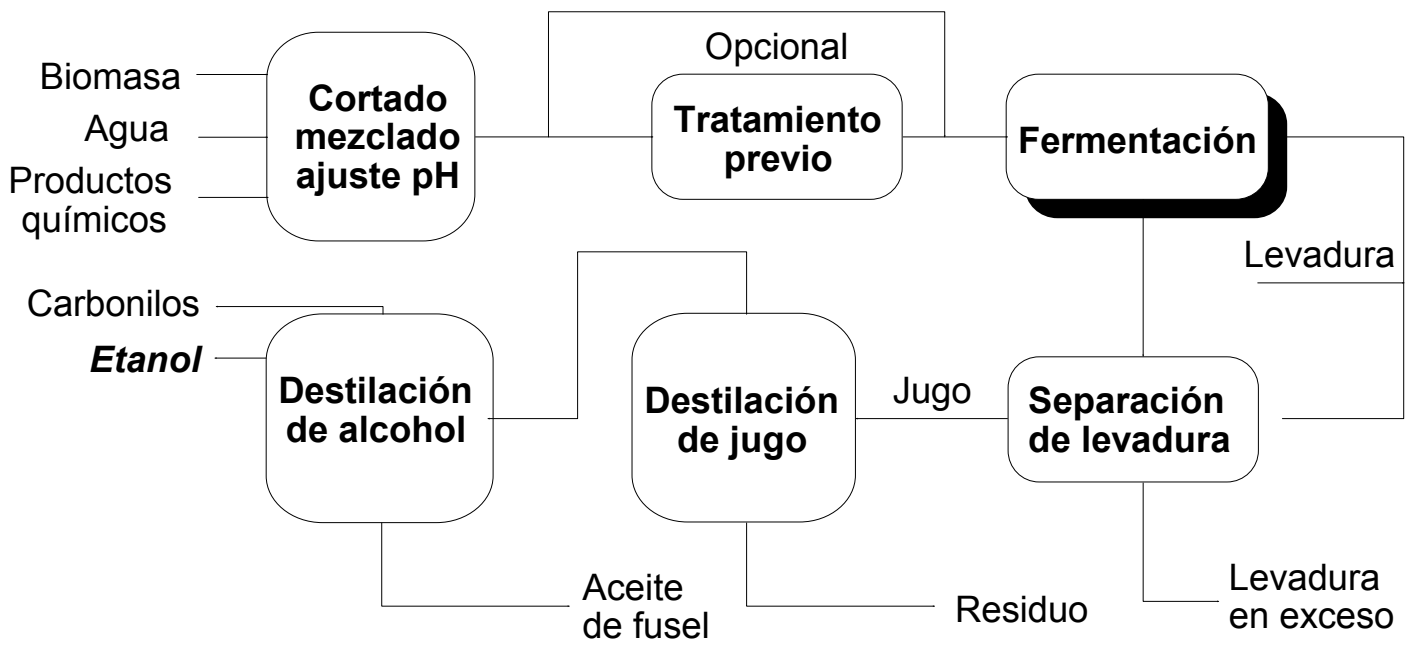
Diagrama de operación

Pretratamiento de la biomasa:

- ✗ Trituración, molienda o pulverización

Hidrólisis:

- ✗ Transformación de las moléculas complejas en azúcares sencillos:
 - ✧ Hidrólisis enzimática: enzimas
 - ✧ Hidrólisis química: reactivos químicos (ácidos)



FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA (II)

Fermentación alcohólica:

- ✘ Conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas:
 - ✧ Temperatura: 27 - 32 °C
 - ✧ Acidez: pH entre 4 y 5
 - ✧ Concentración de azúcares: inferior al 22%
 - ✧ Concentración final de etanol: inferior al 14%
 - ✧ Rendimiento teórico: 51%
 - ✧ Rendimiento real: 45%

Separación y purificación del etanol:

- ✘ Destilación de la masa fermentada para obtener:
 - ✧ Etanol comercial (96%)
 - ✧ Etanol absoluto (99,5%): destilación con un disolvente (benceno)

Diagrama de operación

FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA (III)

El etanol como combustible

Comparación del etanol con la gasolina:

- ✓ Poder calorífico menor: menor potencia y mayor consumo
- ✓ Calidad antidetonante mayor (mayor índice de octano): mayor aceleración y velocidad punta
- ✓ Calor de vaporización mayor: dificultades en el arranque pero mayor rendimiento
- ✓ Punto de ebullición constante: problemas de arranque

Rediseño de motores para utilizar etanol:

- ✧ Aumento de la relación de compresión
- ✧ Recalibrado del carburador
- ✧ Calentamiento del aire de entrada al carburador
- ✧ Modificación del sistema de encendido
- ✧ Uso de bujías especiales
- ✧ Resultados:
 - 15% más potencia
 - 30% más eficacia térmica
 - 20% más consumo

Problemas de implantación:

- ✗ Gasolina y etanol **comercial** NO son miscibles
- ✗ Gasolina y etanol **absoluto** SI son miscibles
- ✗ Utilización de gasolina+etanol absoluto (10%) (“*gasohol*”)
- ✗ Utilización de etanol comercial en nuevos motores

DIGESTIÓN ANAEROBIA (I)

Fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que produce:

- ✗ Biogás (metano, dióxido de carbono)
- ✗ Efluente (minerales, materia orgánica no degradable)

Materia primas:

- ✗ Residuos de alto contenido en humedad:
 - ✓ Agrícolas
 - ✓ Ganaderos
 - ✓ Lodos de depuradora (aguas residuales urbanas)

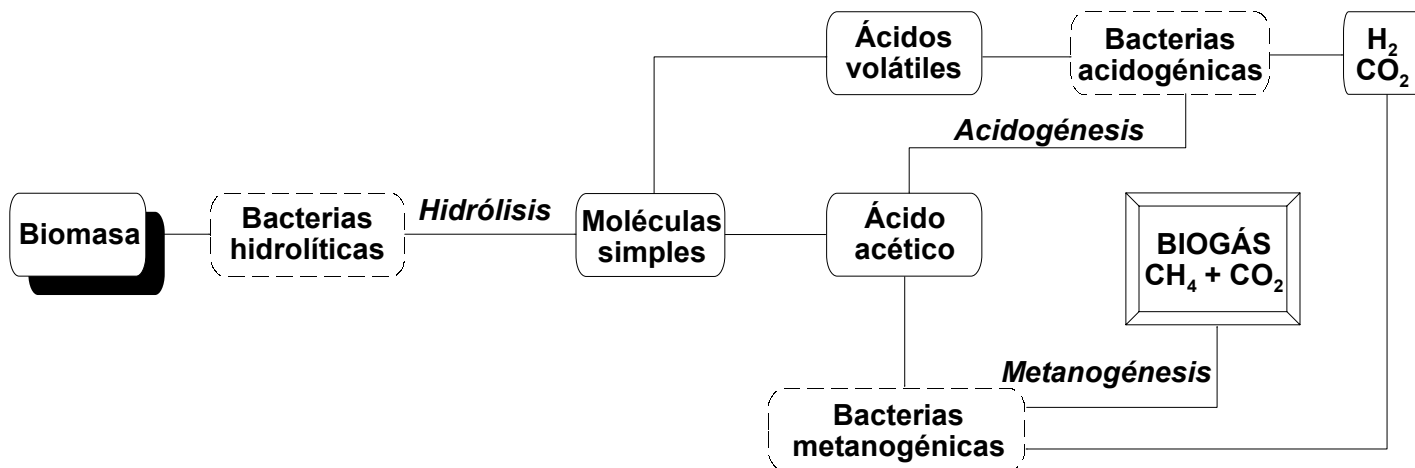
Ventajas:

- ✗ Residuos localizados
- ✗ Residuos de gran contenido en agua
- ✗ Aporte de nutrientes para el crecimiento bacteriano
- ✗ El efluente del proceso es un buen abono orgánico

Proceso complejo esquematizable en tres etapas:

- ✗ Hidrólisis: degradación por bacterias a moléculas más simples
- ✗ Acidogénesis: producción de ácidos simples (que sirven de alimento a otras bacterias) por bacterias acidogénicas
- ✗ Metanogénesis: degradación de los ácidos simples a CH₄ y CO₂ por bacterias metanogénicas

Diagrama de operación

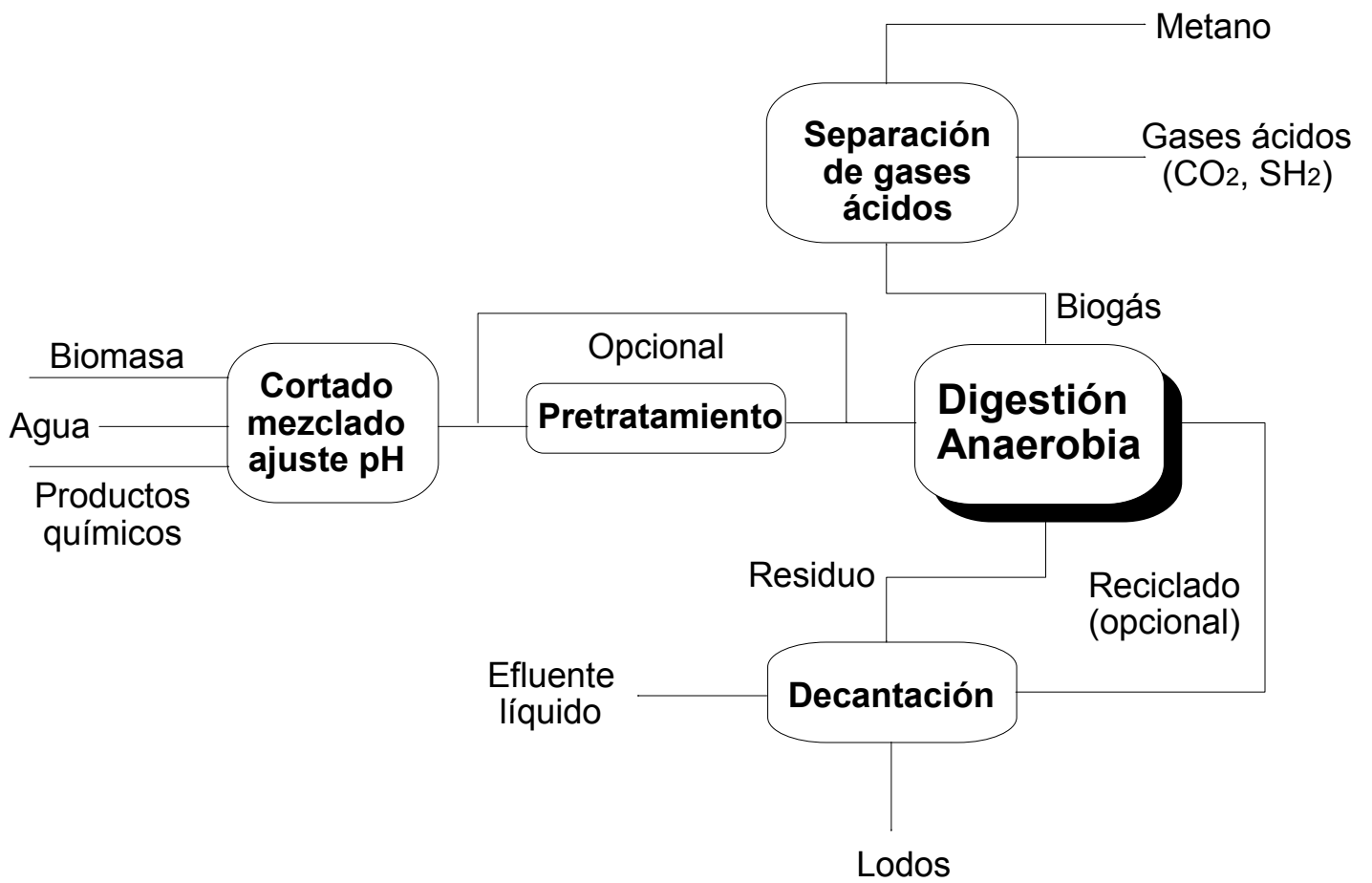


DIGESTIÓN ANAEROBIA (II)

VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO:

- ✓ Temperatura: óptimo de funcionamiento alrededor de 35 °C
- ✓ Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás; el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6 y además:
 - ✧ pH < 6,2: inhibición de bacterias metanogénicas
 - ✧ pH < 4,5: inhibición de todas las bacterias
 - ✧ pH > 8,5: inhibición de todas las bacterias
- ✓ Contenido en sólidos: inferior al 10% (movilidad de bacterias)
- ✓ Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias
 - ✧ carbono, nitrógeno, fósforo, azufre
 - ✧ algunas sales minerales
- ✓ Tóxicos: inhiben el crecimiento de las bacterias
 - ✧ oxígeno
 - ✧ amoníaco
 - ✧ sales minerales
 - ✧ detergentes y pesticidas

Diagrama de operación



DIGESTIÓN ANAEROBIA (III)

Digestores, factores de diseño:

✗ Materia a digerir:

- ✓ Cantidad
- ✓ Contenido en sólidos
- ✓ Digestibilidad

✗ Sistema de digestión:

- ✓ Frecuencia de la alimentación
- ✓ Sistemas auxiliares
- ✓ Medida y control

Digestores, características:

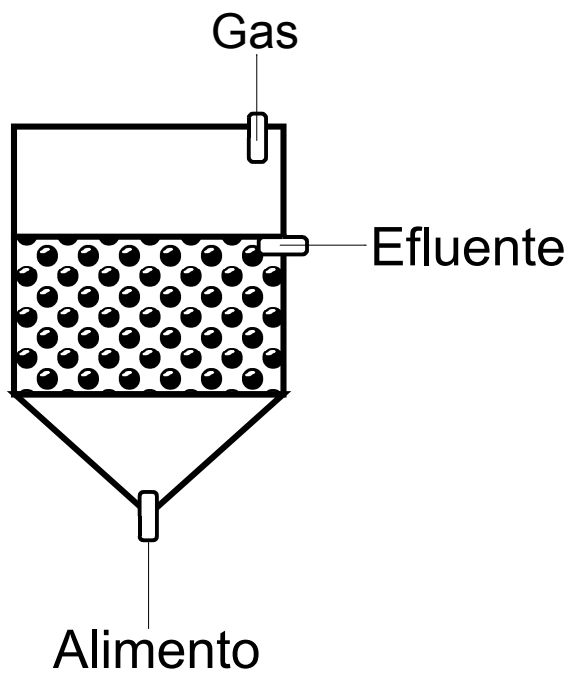
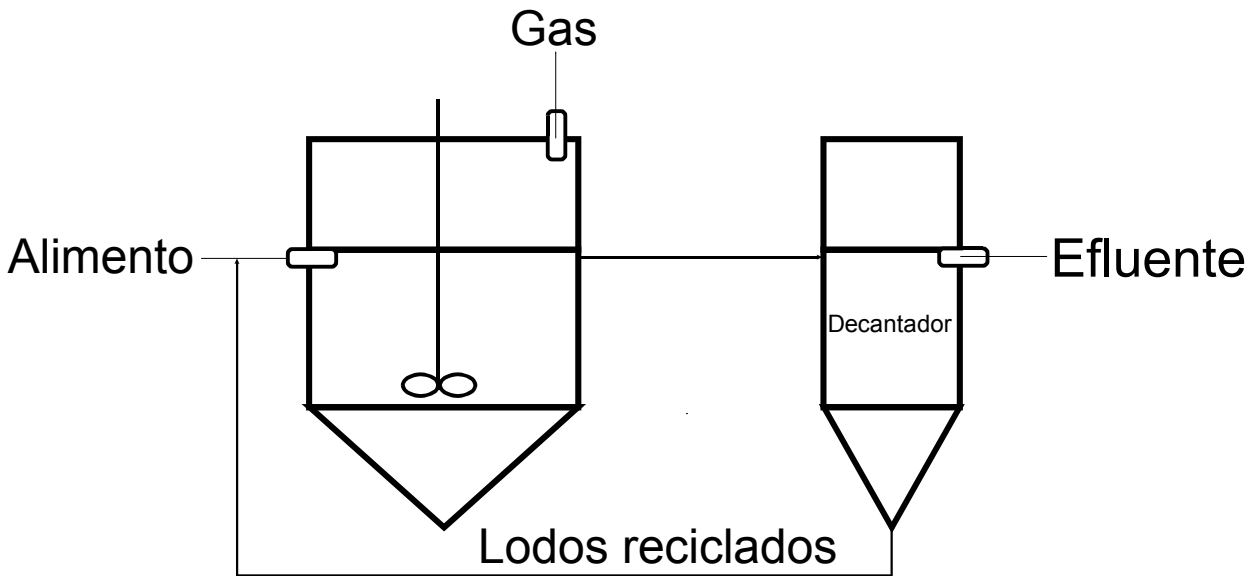
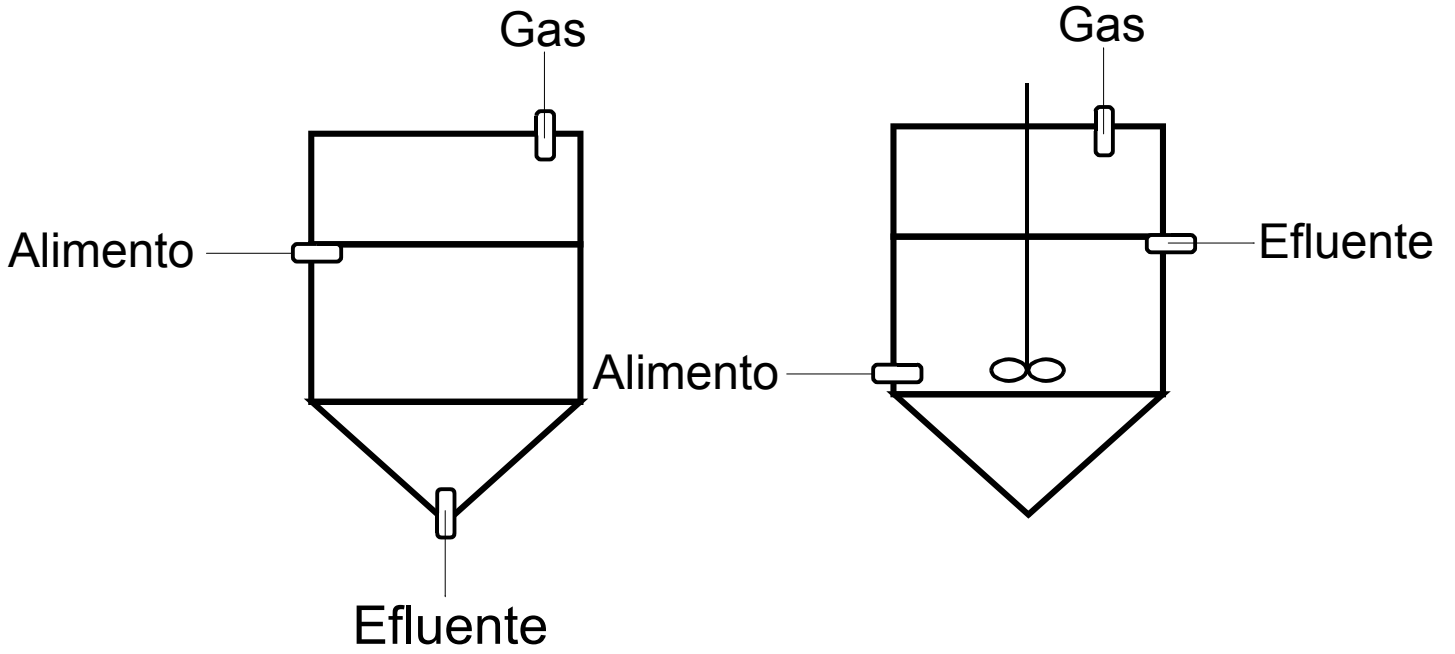
✓ Tamaño: determinado por tres variables interdependientes:

- ✧ Concentración de sólidos degradables
- ✧ Velocidad de alimentación de sólidos
- ✧ Tiempo de permanencia de los sólidos en el digestor

✓ Tipo: existen diversos tipos de digestores:

- ✧ Discontinuo
- ✧ Mezcla completa
- ✧ De contacto
- ✧ Filtro anaerobio

Diagrama de operación



DIGESTIÓN ANAEROBIA (IV)

Biogás:

✗ Composición:

- ✓ Metano: 50 - 70%
- ✓ Dióxido de carbono: 30 - 50%
- ✓ Otros: SH_2 , N_2 , O_2 , H_2 (según sustrato y proceso)

✗ Rendimiento variable (biogás con 70% de metano):

- ✓ Cantidad: 360 - 430 l gas/kg SV
- ✓ Poder calorífico: 1 m³ biogás = 0,25 m³ butano
 - ✧ Composición de la biomasa
 - ✧ Temperatura
 - ✧ Velocidad de alimentación
 - ✧ Tiempo de retención
 - ✧ Tipo de digestor

✗ Aplicaciones:

- ✧ Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- ✧ Combustión en calderas de vapor para calefacción
- ✧ Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

DIGESTIÓN ANAEROBIA (V)

Efluente:

✗ Lodo negruzco

✗ Sin olores

✗ Sedimenta fácilmente

✗ Neutro

✗ Contenido:

✓ Productos inorgánicos insolubles y solubles (sales)

✓ Productos orgánicos no biodegradables (proteínas, grasas, celulosa, lignina)

✓ Bacterias

✗ Aplicaciones:

✧ Abono agrícola

✧ Alimentación animal (en estudio)

Madurez tecnológica y comercial de la Energía de la Biomasa				
Proceso	I + D	Demostración	Diseminación	Aplicación comercial
Cultivos energéticos	X	X		
Transformación residuos forestales		X	X	
Transformación residuos indust.				X
Combustión industrial				X
Combustión doméstica			X	X
Combustión (electricidad)			X	X
Incineración R.S.U. (electricidad)			X	X
Gasificación		X	X	
Pirólisis (carbón vegetal)		X	X	
Pirólisis (combustibles líquidos)	X	X		
Biocombustibles (alcohol)	X	X	X	
Biogás (efluentes líquidos)		X	X	
Biogás (vertederos)			X	X