

PROYECTO DE DISEÑO DE TRATAMIENTO ANAEROBIO PARA AGUA RESIDUAL DE ACEITUNERA

MJB - TAR

Documentos

- Memoria Descriptiva
- Memoria de Cálculo
- Planos
- Medición y Presupuesto
- Pliego de Condiciones

MEMORIA DESCRIPTIVA

- Objeto del proyecto
- Ubicación
- Destino de la construcción
 - ◆ La industria Aceitunera
 - ◆ Problema del tratamiento. Vertidos
- Solución Adoptada
 - ◆ Tratamiento propuesto
 - ◆ Prototipo de laboratorio
 - ◆ Aplicación Industrial
- Importe del proyecto

Proceso de aderezo de la aceituna de mesa

- Recolección y transporte
- Escogido
- Tratamiento con lejía (Cocido)
- Lavados
- Colocación en salmuera
- Fermentación
- Escogido y clasificado
- Deshueso y relleno
- Envasado

Vertido

La producción actual de aceituna de mesa en nuestro país asciende a 333.500 Tm.

Litros de aguas residuales por Kg. de frutos

	Lejías	Aguas de lavado	Salmuera	Total
Proceso tradicional de aceitunas verdes	0.5	1.25	0.75	2.5
Proceso anterior con reuso de lejías y ahorro	0.1	0.9	0.75	1.75
Proceso de aceitunas negras por oxidación	1.5	2.0	0.75	4.25

Caracterización del vertido

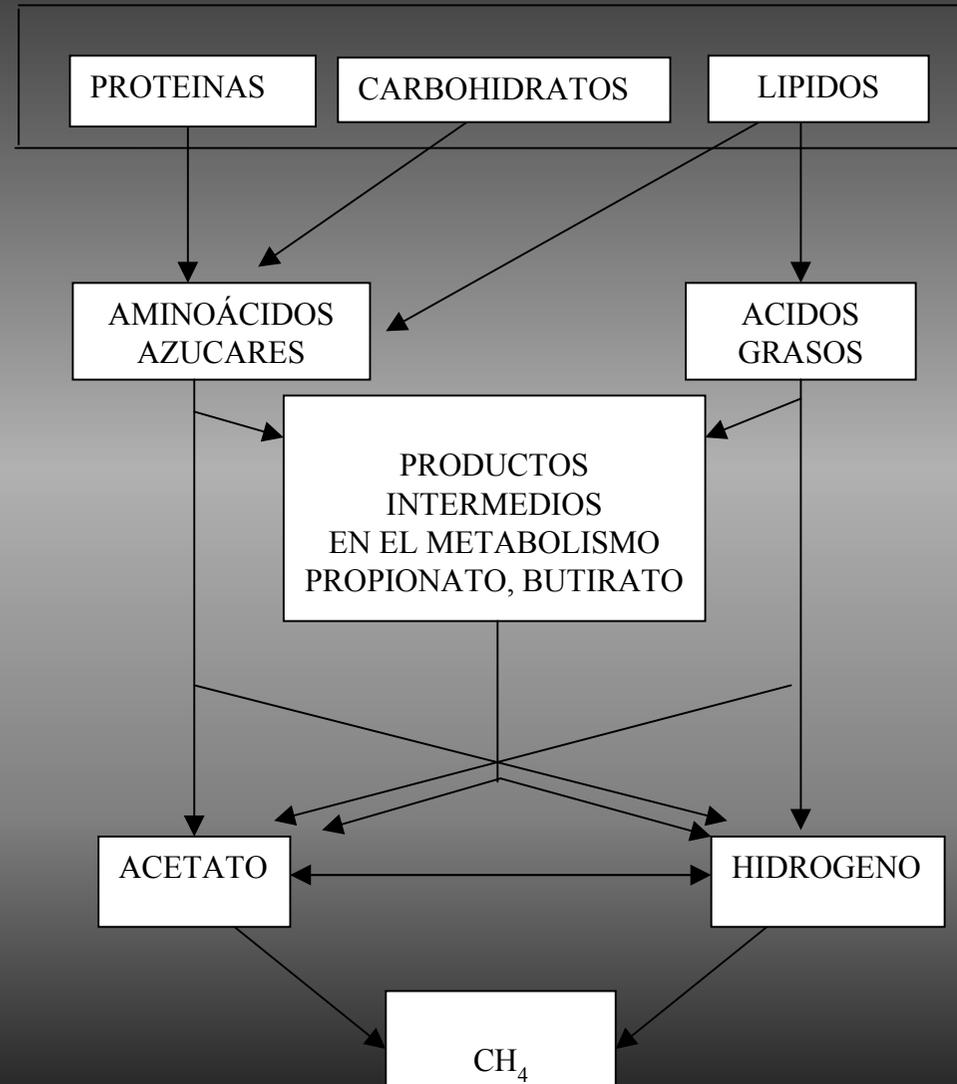
Gr / L	Lejía	Lavados	Salmuera
PH	12.2	10	3.9
NaOH libre	11.0	1.5	
NaCl			97.0
Acidez libre			6.0
Polifenoles	4.1	4.0	6.3
DQO	23.0	24.6	10.7
DBO5	15.0	12.3	9.5
Sólidos volátiles	30.2	35.1	17.8
Sólidos totales	48.2	46.5	118.5

Digestión anaerobia

MECANISMO DE DEGRADACIÓN POR EL QUE MOLÉCULAS ORGÁNICAS COMPLEJAS SON DESCOMPUESTAS POR MICROORGANISMOS, OBTENIENDOSE UN PRODUCTO FINAL INERTE CON LIBERACION DE GASES. CUANDO SE DA EN CONDICIONES DE RIGUOSA AUSENCIA DE OXIGENO ES DIGESTION ANAEROBIA.

- Descripción a varios niveles
- Control del proceso
- Tipos de digestores
- Funcionamiento y mantenimiento

Bioquímica



Mecanismo y Microbiología

■ Hidrólisis

TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS ORGÁNICOS COMPLEJOS EN MOLÉCULAS SIMPLES

BACTERIAS CLOTIDRIUM, BACTEROIDES, RUMINOCOCCUS, ESTERICHIA COLI

■ Acetogénesis

TRANSFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES DE LA HIDRÓLISIS EN ÁCIDO ACETICO, FORMICO, CO_2 Y H_2

BACTERIAS SYNTROPHOBATER, SYNTROPOMONAS, DESULFOVIBRIO

■ Metanogénesis

TRANSFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES DE LA ACETOGÉNESIS EN CH_4 Y CO_2

BACTERIAS METANOBACTERIAS, METANOCOCOS, METANOMICROBIOS

(Estrictamente anaerobias)

Control de proceso

Parámetros de diseño

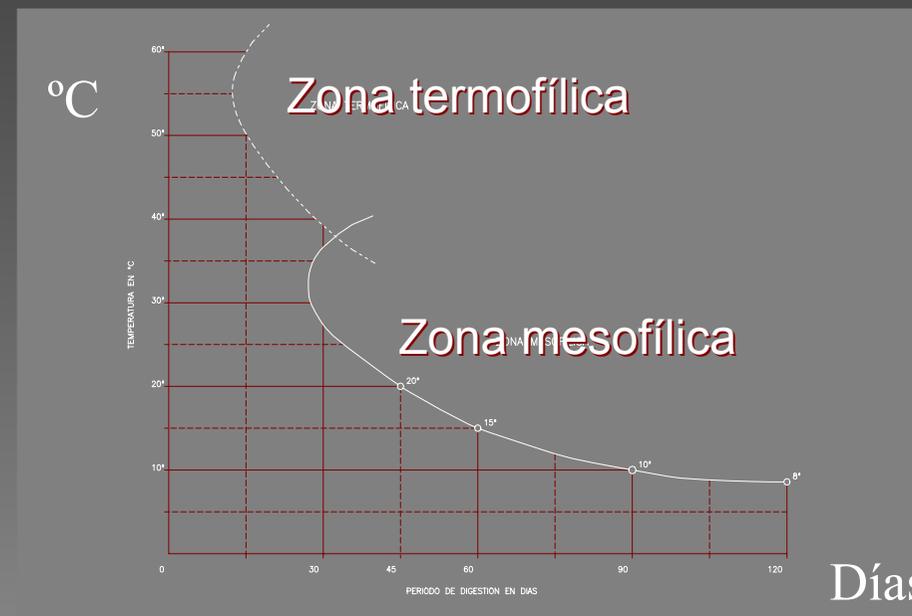
- Fase de arranque
- Temperatura
- Grado de agitación
- Nutrientes
- Tóxicos
- Tiempo de retención
- Concentración de sólidos
- Dimensionado

Parámetros de control

- ph
- Acidos grasos volátiles
- Alcalinidad
- AGV / Alcalinidad
- Potencial redox
- Producción de Biogás

Efecto de la temperatura

- Psicofílicas: $T^a < 15^{\circ} \text{C}$
- Mesofílicas: $15^{\circ}\text{C} < T^a < 45^{\circ}\text{C}$
- Termofílicas: $45^{\circ}\text{C} < T^a < 65^{\circ}\text{C}$



AGITACION

- Objetivo
 - ◆ Evitar la costra en la superficie del cultivo haciendo que la producción disminuya.
 - ◆ Homogeneizar el medio para conseguir una temperatura y concentración uniforme.
 - ◆ Facilitar los procesos de transferencia de materia, poniendo en contacto los sustratos con los flóculos para que no salgan del digestor sin transformarse

- Métodos de agitación
 - ◆ Mecánica
 - ◆ Por inyección del gas de digestión

La agitación se realizará de tal forma que no se rompan las colonias de microorganismos.

AGV - Alcalinidad - pH

- AGV PRODUCTO DE LA FERMENTACIÓN
 - ◆ 50-500 mg/l como acético, valor extremo 2000 mg/l
 - ◆ Fórmico, acético, propiónico, butírico y valérico
 - ◆ Aumentan por sobrealimentación o inhibición de metanobacterias

- ALCALINIDAD
 - ◆ 1000 mg/l CO_3Ca , normalmente 2000-5000 mg/l
 - ◆ Bicarbonato amónico, por combinación del NH_4 y CO_2

- AGV/ALCALINIDAD
 - ◆ Clave del funcionamiento óptimo de la digestión $\text{AGV}/\text{A} < 0.5$
 - ◆ Mide la capacidad tampón que debe ser alta
 - ◆ Si la relación aumenta lo hace el CO_2 del gas y el pH baja

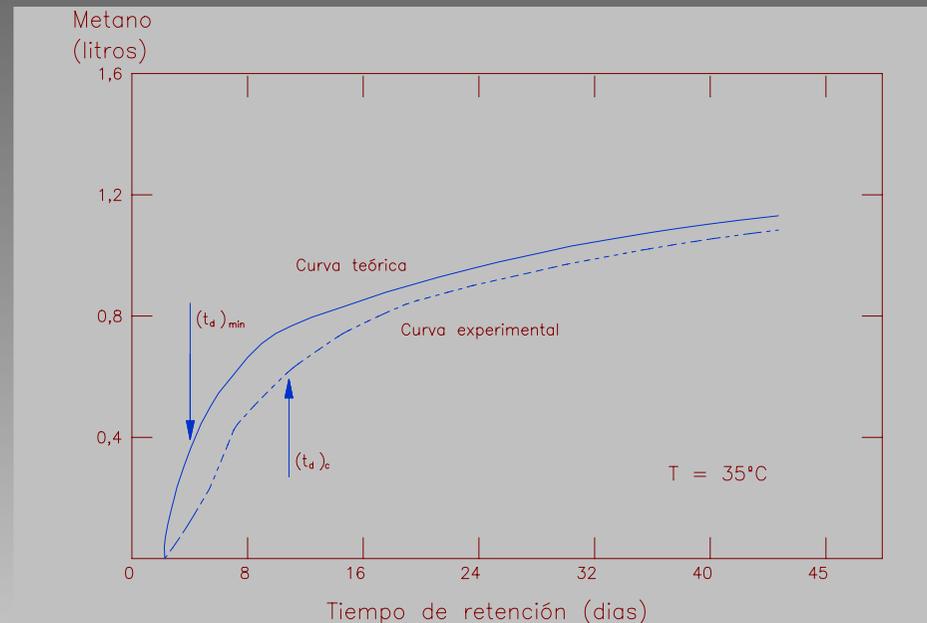
- pH
 - ◆ Rango óptimo pH 6.6-7.6

Tiempo de retención

Es función de la temperatura de digestión

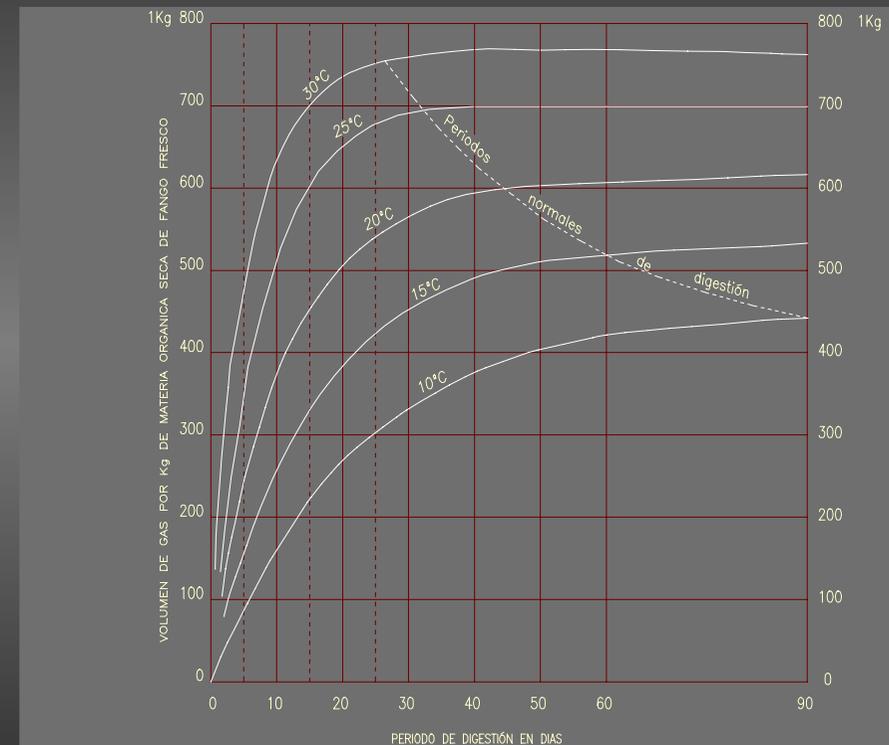
- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO (TRH) = V/Q
- TIEMPO DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS (TRS) = $V/S_{\text{extraídos}}$

$TRS < TRS_{\text{CRÍTICO}}$ SE INHIBE LA DIGESTIÓN



Producción de biogás

COMPONENTE	% EN VOLUMEN
Metano (CH ₄)	50-70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30-50
Nitrógeno (N ₂)	<3,0
Oxígeno (O ₂)	<0,1
Hidrógeno (H ₂)	1-10
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	trazas



Tipos de Reactores

- **CON BIOMASA NO SOPORTADA**
 - ◆ Digestor discontinuo convencional
 - ◆ Reactor de mezcla continua
 - ◆ Reactor de contacto
 - ◆ Reactor de lecho suspendido (uasb)
 - ◆ Reactor secuencial batch (sbr)
- **CON BIOMASA SOPORTADA**
 - ◆ Filtro anaerobio (af)
 - ◆ Reactor de lecho móvil
 - ◆ Reactor de lecho fluidizado
 - ◆ Reactor de lecho expandido
 - ◆ Reactor de contacto con material soporte
- **HIBRIDOS**
 - ◆ Uasb + filtro
 - ◆ Uasb granular expandido

MEMORIA DESCRIPTIVA

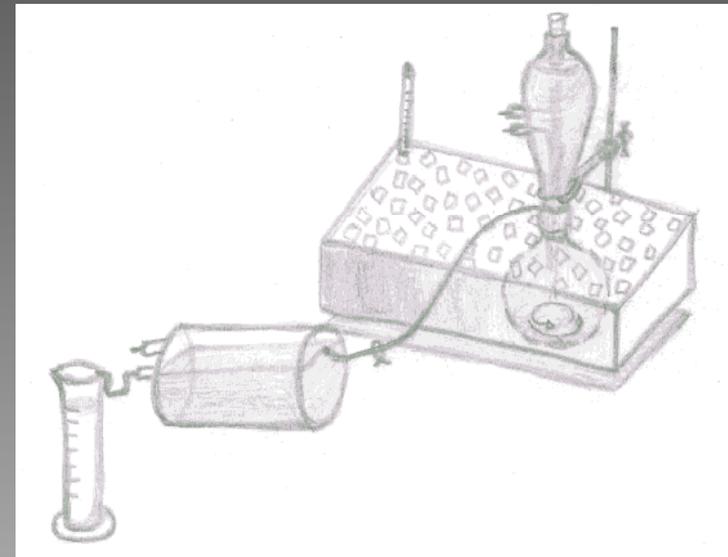
- Objeto del proyecto
- Ubicación
- Destino de la construcción
 - ◆ La industria Aceitunera
 - ◆ Problema del tratamiento. Vertidos
- Solución Adoptada
 - ◆ Tratamiento propuesto
 - ◆ **Prototipo de laboratorio**
 - ◆ Aplicación Industrial
- Importe del proyecto

PROTOTIPO DE LABORATORIO

- Descripción y arranque del digestor
- Experiencia y resultados
- Conclusiones

DESCRIPCION Y ARRANQUE DEL DIGESTOR

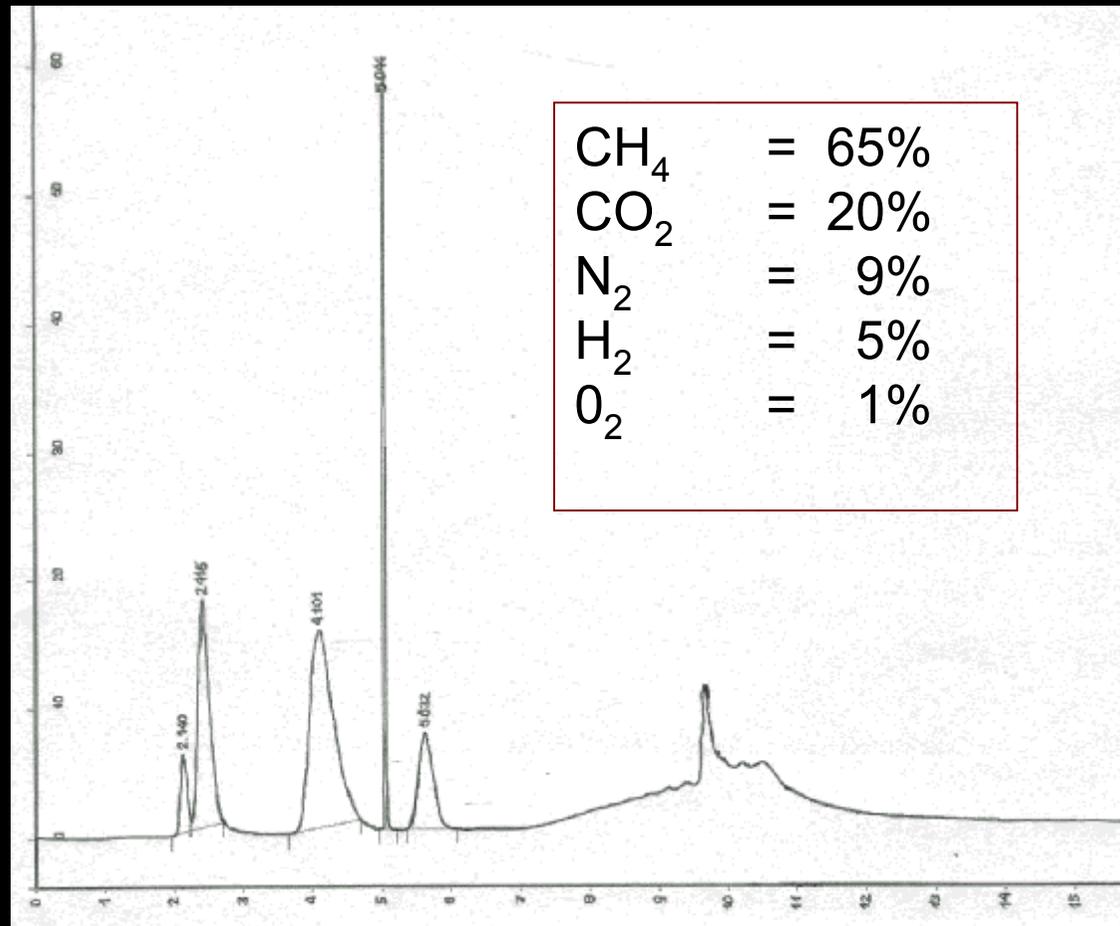
- Digestor
- Embudo de alimentación
- Baño termostático
- Sistema de agitación
- Depósito de biogás
- Probeta de medida gás
- Accesorios varios



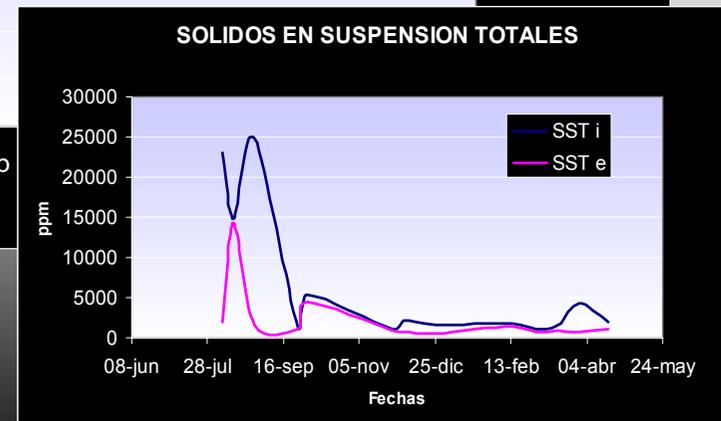
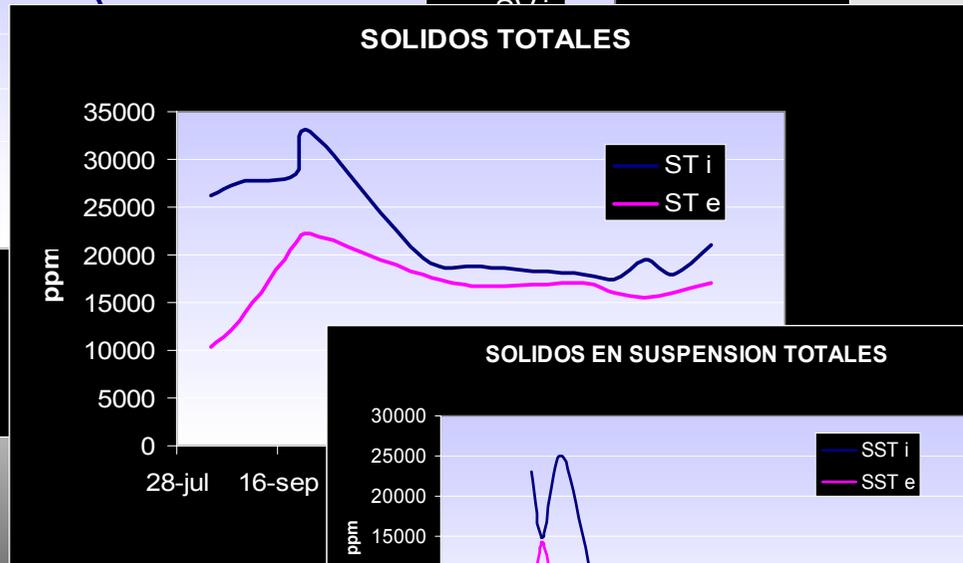
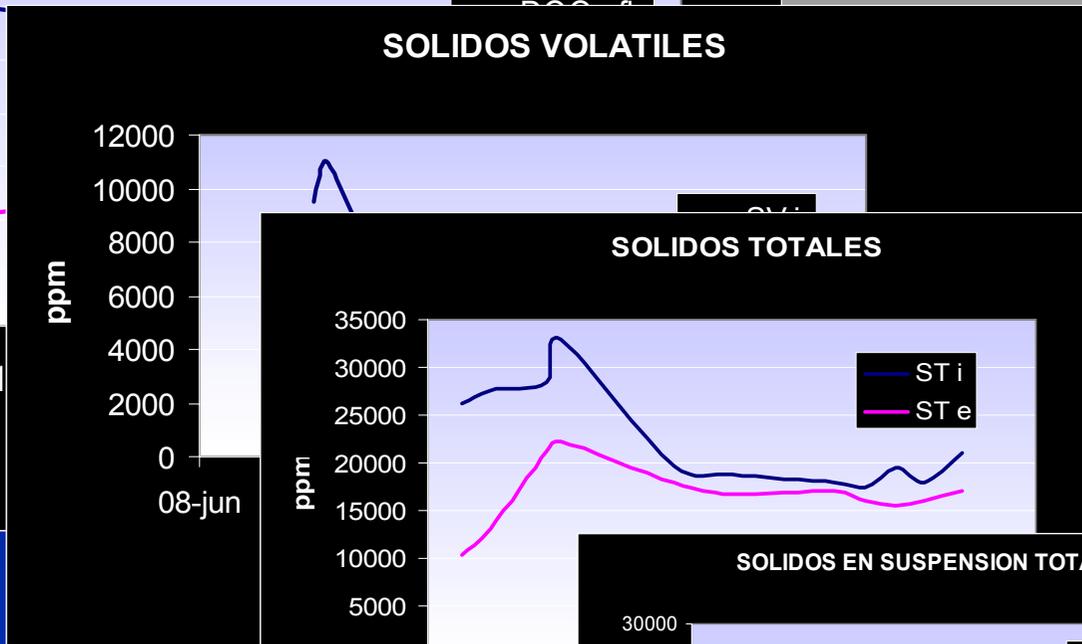
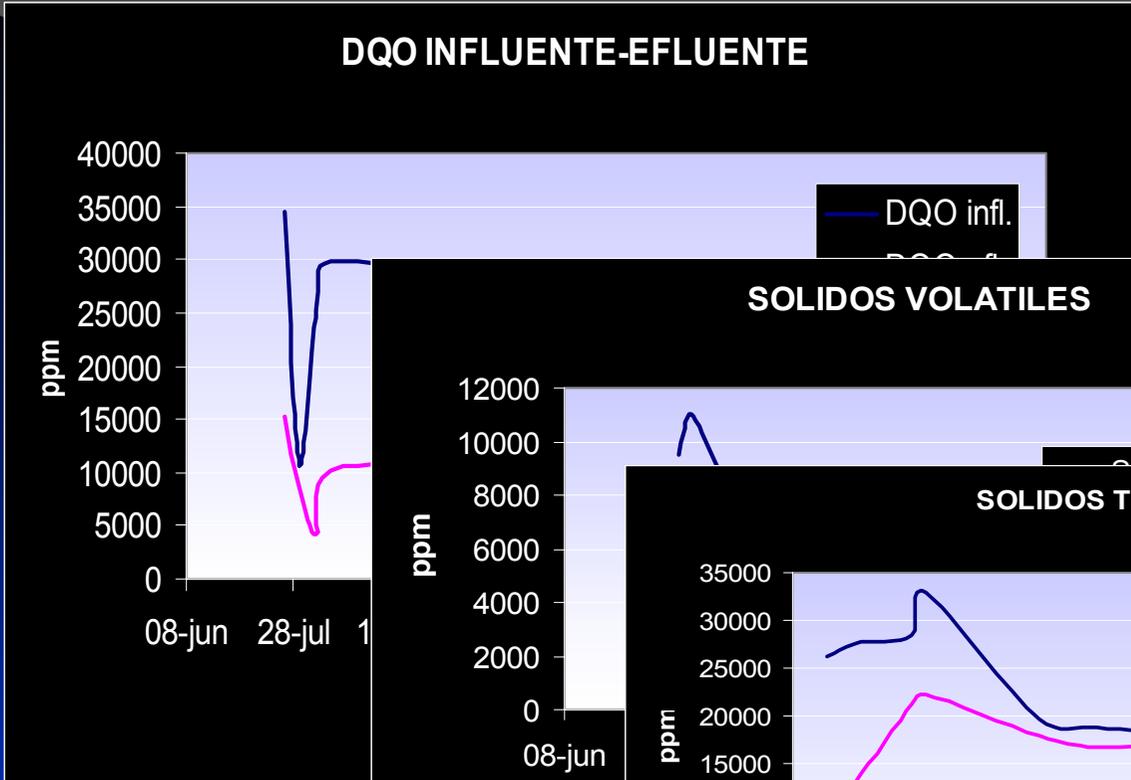
Experiencia y resultados

- Diariamente
 - ◆ Ph
 - ◆ Temperatura
- 2 veces en semana
 - ◆ DQO
 - ◆ Acidez
 - ◆ Alcalinidad
 - ◆ Sólidos Totales
 - ◆ Sólidos Volátiles
 - ◆ Sólidos en Suspensión Totales
 - ◆ Sólidos en Suspensión Volátiles
- Semanalmente
 - ◆ Composición del biogás

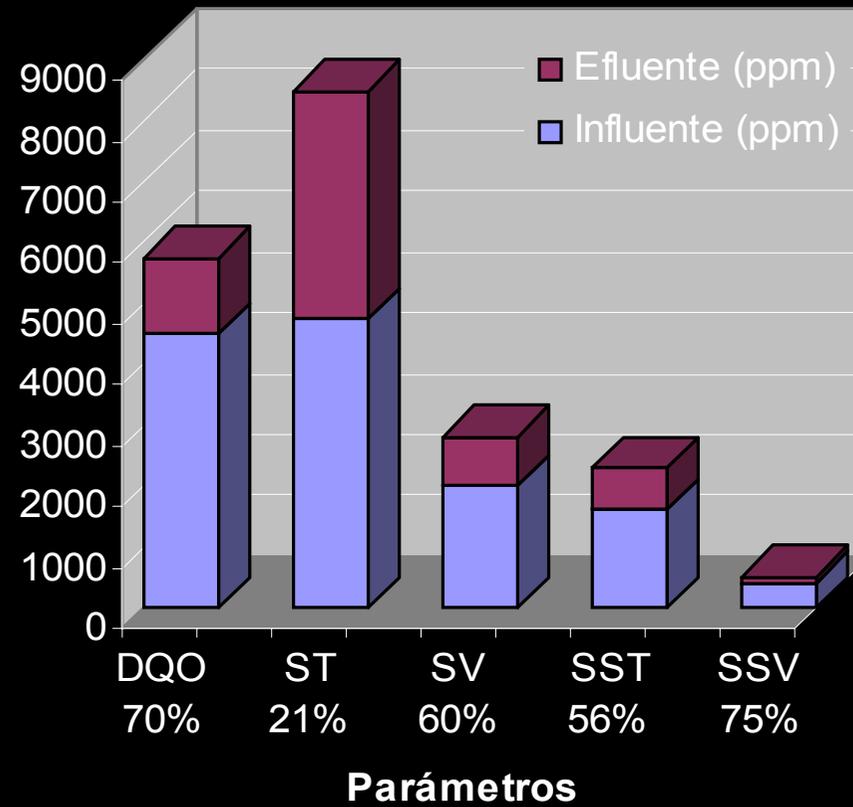
Análisis de la composición del biogás



Gráficas de resultados



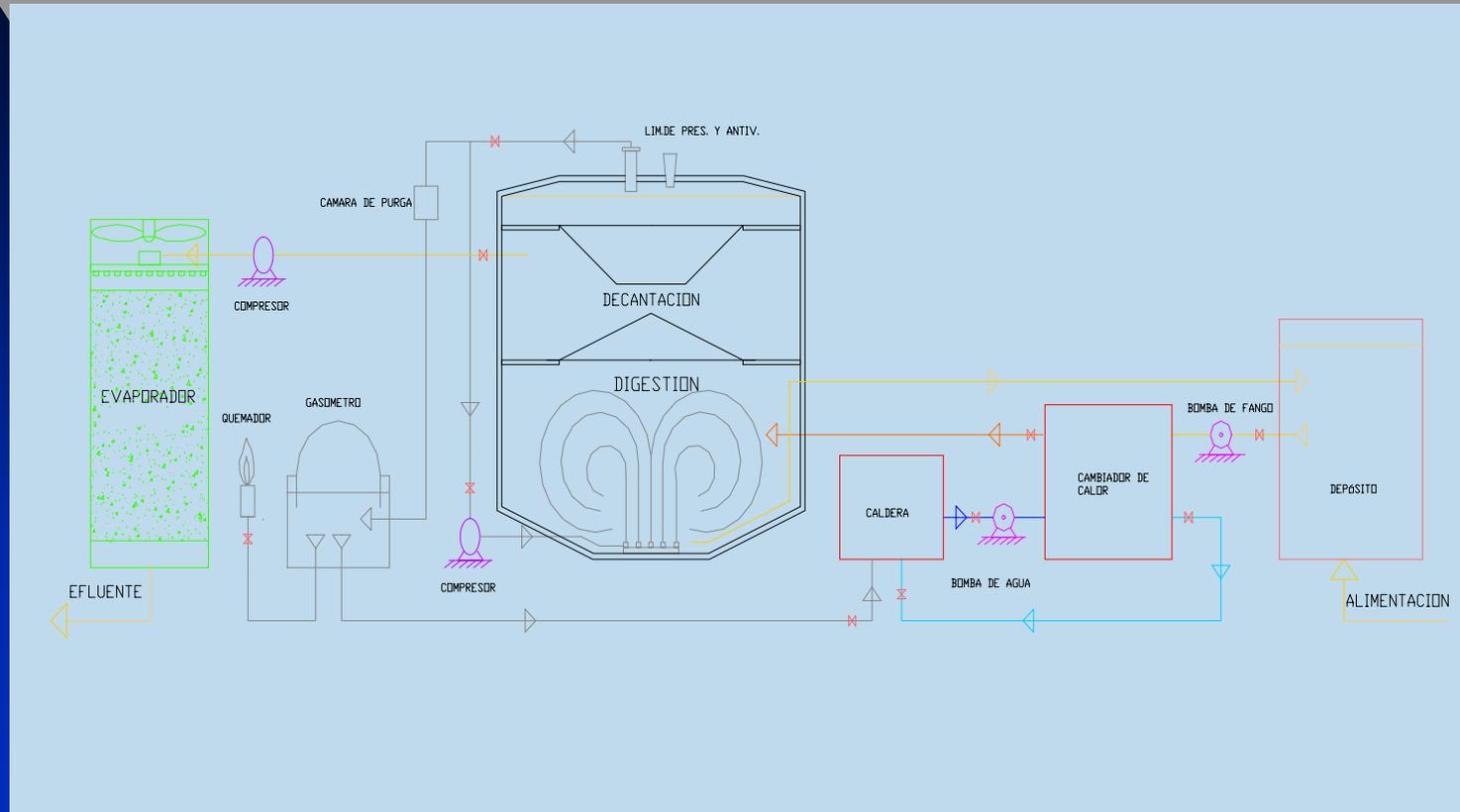
Rendimientos



Aplicación industrial

- Diagrama de proceso
- Digestor-Decantador
- Sistema de calefacción
- Circuito de gas. Agitación
- Tuberías y accesorios
- Instrumentación
- Autómata

Diagrama de Proceso



Memoria de Cálculo

- Digestor- Decantador
- Sistema de calefacción
- Sistema de agitación
- Tuberías
- Bombas

Digestor - Decantador

- Volumen de digestión
- Dimensionado de la zona de digestión
- Dimensionado de la zona de decantación
- Perfiles laminados para decantadores

Volumen de digestión

3 L de Agua Residual por 1Kg de Aceituna preparada

Tiempo de retención hidráulico TRH 10 días a 37° C

$$\text{VERTIDO (m}^3\text{)} = A \cdot 0.003$$

$$Q \text{ (m}^3\text{ / día)} = \text{VERTIDO} / 365$$

$$V = Q \cdot \text{TRH}$$

$$V = A \cdot 8.23 \cdot 10^{-5}$$

V m³ Volumen de digestor requerido para el tratamiento

A Kg Aceituna tratadas anualmente

Conjunto de aceituneras ubicadas en el término municipal de Morón de la Frontera 9.700 Tm. de aceitunas anuales.

$$V = 800 \text{ m}^3$$

$$Q = 80 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Dimensionado del digestor

- Forma habitual de estos tanques, cilíndricos con extremos superior e inferior cónico o troncocónico
- Relacion diametro/altura adecuada para la correcta agitacion del líquido mediante recirculación del biogas comprimido
 - Inclinación de las paredes de los decantadores suficiente para evitar acumulación de solidos en las mismas
 - Inclinacion del suelo del digestor con el mismo propósito que el del punto anterior
 - Tamaño de los decantadores optimizando el volumen de los mismos frente a las pérdidas de carga en sus contornos

Digestor

R Radio del tanque

$$H = 3/4 R$$

$$h = 1/4 R$$

$$r = 3/8 R$$

$$r2 = 5/8 R$$

Operando $R = (0.35 V)^{1/3}$

$$V = 800 \text{ m}^3$$

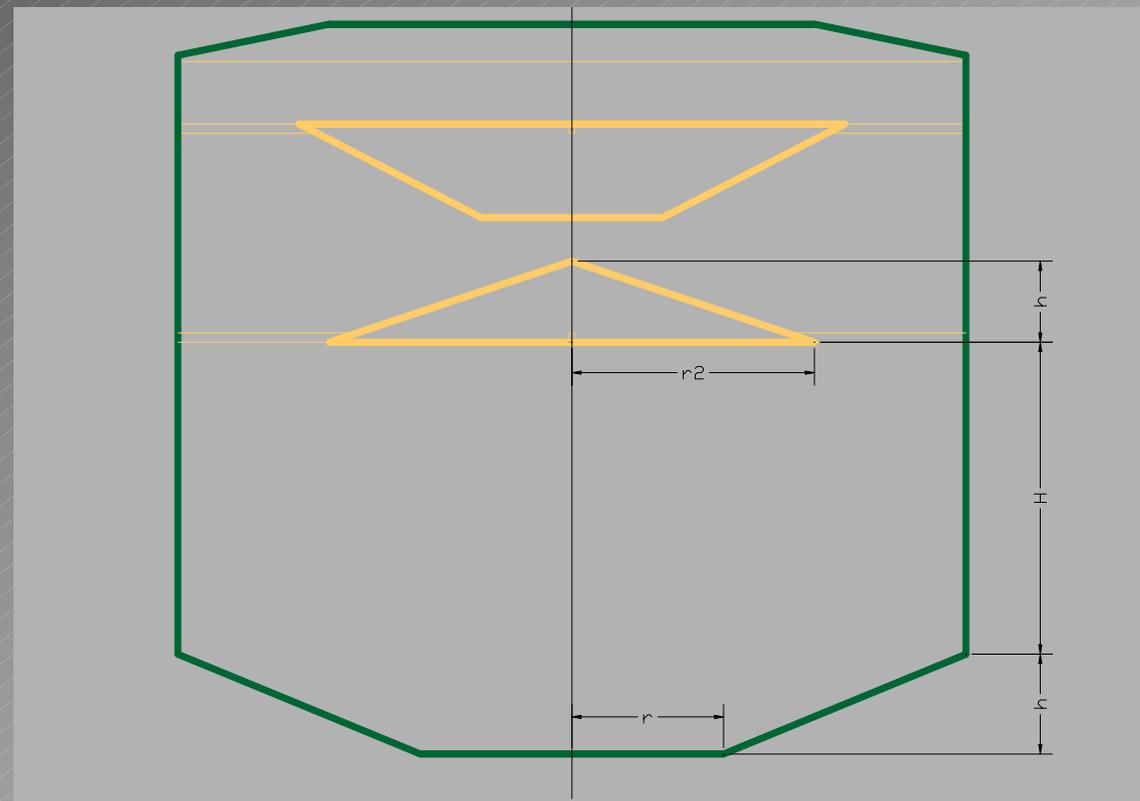
$$R = 6.5 \text{ m}$$

$$H = 5 \text{ m}$$

$$h = 1.6 \text{ m}$$

$$r = 2.45 \text{ m}$$

$$r2 = 4 \text{ m}$$



Decantador

$$h1 = 1/8 R$$

$$h2 = 1/4 R$$

$$h3 = 1/6 R$$

$$r2 = 2/3 R$$

$$r3 = 1/4 R$$

$$V_{\text{decantación}} = 575 \text{ m}^3$$

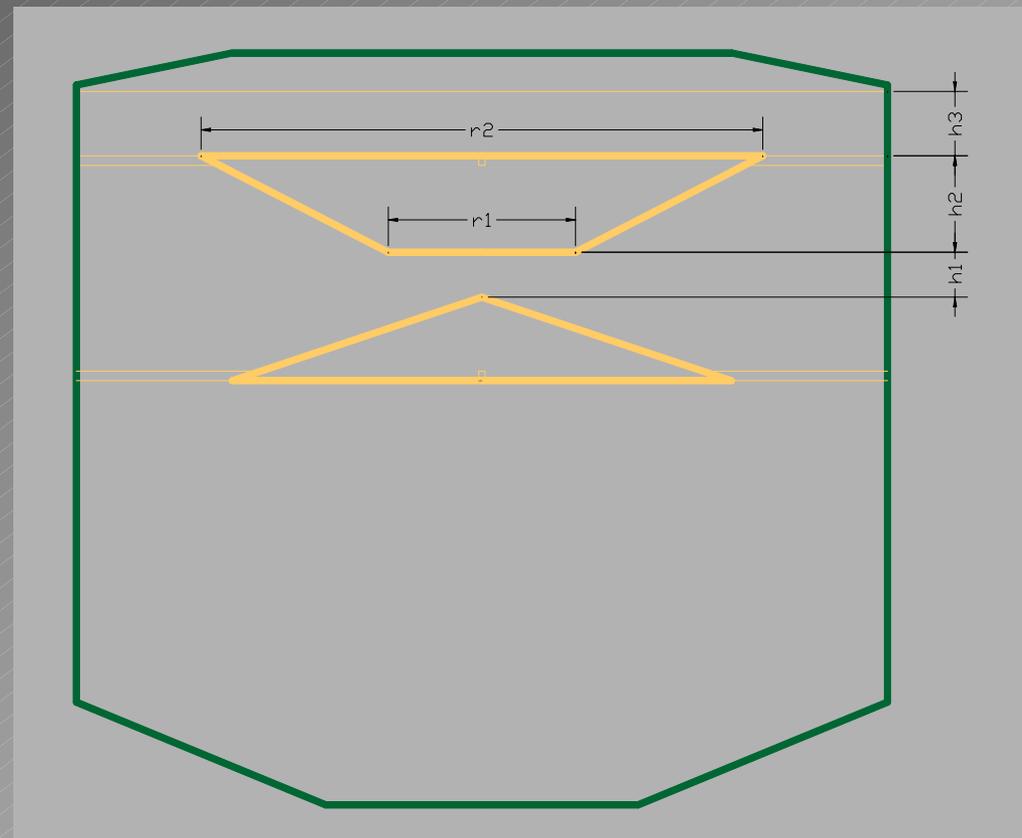
$$h1 = 0.7 \text{ m}$$

$$h2 = 1.5 \text{ m}$$

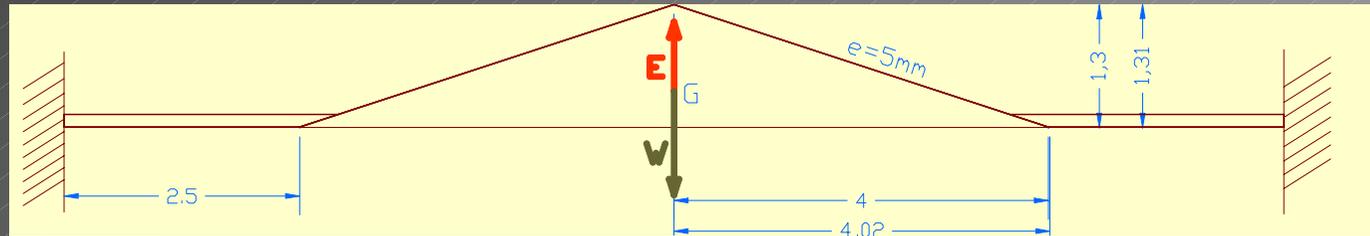
$$h3 = 1 \text{ m}$$

$$r2 = 4.5 \text{ m}$$

$$r3 = 1.5 \text{ m}$$



Perfiles laminados



$$R = W - E = g (m_a - m_f)$$

R carga resultante ejercida sobre el decantador y aplicada en el centro de gravedad del mismo.

W peso del decantador

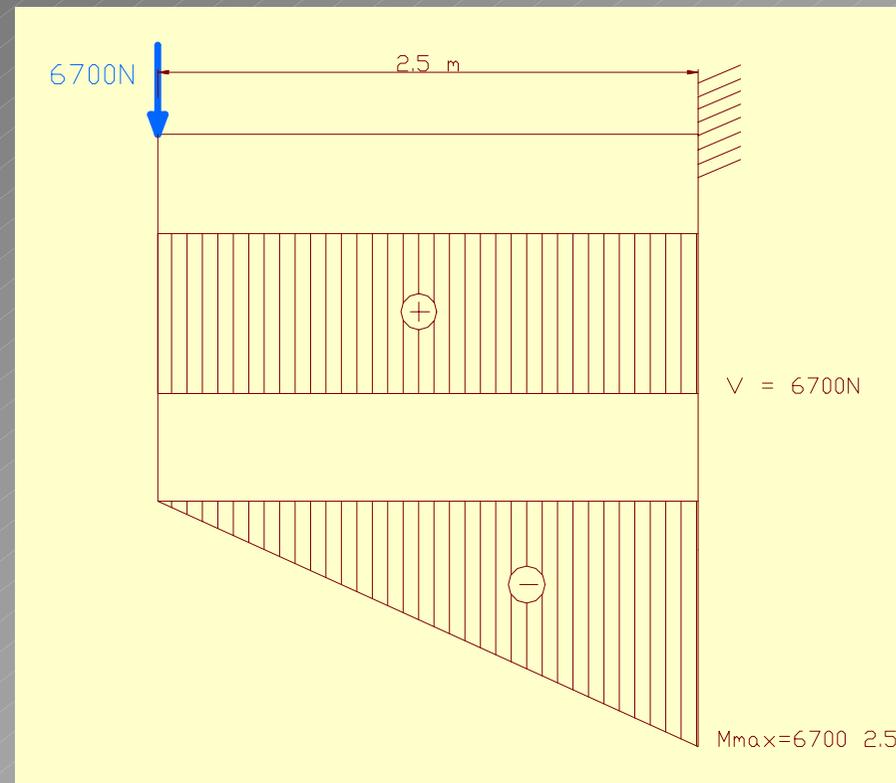
E empuje del líquido ejercido sobre el decantador sumergido

m_a masa del decantador

m_f masa del cuerpo de volumen igual al del decantador y densidad de fluido

g acción de la gravedad :9.81m/s²

$$W = M_{max} / \sigma_{adm} \rightarrow IPN$$



Sistema de Calefacción

- CALOR NECESARIO
 - ◆ Temperatura de digestión 37°C
 - ◆ Pérdidas por radiación
$$Q = U \cdot A \cdot AT$$
 - ◆ Alimentación entrante
 - ◆ Recirculación desde los decantadores
$$Q = m \cdot AT \cdot Cp$$
 - ◆ Calor total necesario
92.570 kcal/h

- DISEÑO DEL CAMBIADOR DE CALOR

Diseño del cambiador de calor

Ecuación de Fourier:

$$Q = U A AT_{MF}$$

Donde

Q = Calor transferido en el intercambio

U = Coeficiente global de transmisión de calor

A = Superficie de intercambio

AT_{MF} = Fuerza impulsora de la transferencia de calor o diferencia de temperaturas corregida con el factor F

Diseño del cambiador de calor

Datos

Q , Calor transferido: 92570 Kcal/ h

U_d : 700 Kcal/ h m⁰C

- **Fluido frío** : Agua residual de aceitunera
- Temperatura de entrada: 10 °C
- Temperatura de salida: 37 °C
- Cp: 0.7 Kcal/ °C Kg
- Densidad: 1030 Kg/ m³ (ρ)
- Viscosidad: 2.5 Kg/h m⁰C (μ)
- Conductividad térmica: 0.54 Kcal/ h m⁰C
- **Fluido caliente** : Agua
- Temperatura de entrada: 60 °C
- Temperatura de salida: 40 °C
- Cp: 1 Kcal/ °C Kg
- Densidad: 1000 Kg/ m³
- Viscosidad: 2.3 Kg/h m⁰C
- Conductividad térmica: 0.536 Kcal/ h m⁰C

Diseño del cambiador de calor

Balance de energía

$$Q = m_f C_{p_f} AT_f = m_c C_{p_c} AT_c$$

$$m_f = Q / C_{p_f} AT_f = 92571 / 0.7 (37-10) = 4897 \text{ kg/h}$$

$$m_c = Q / C_{p_c} AT_c = 92571 / 1 (60-40) = 4628 \text{ Kg/h}$$

Cálculo de AT_{MF}

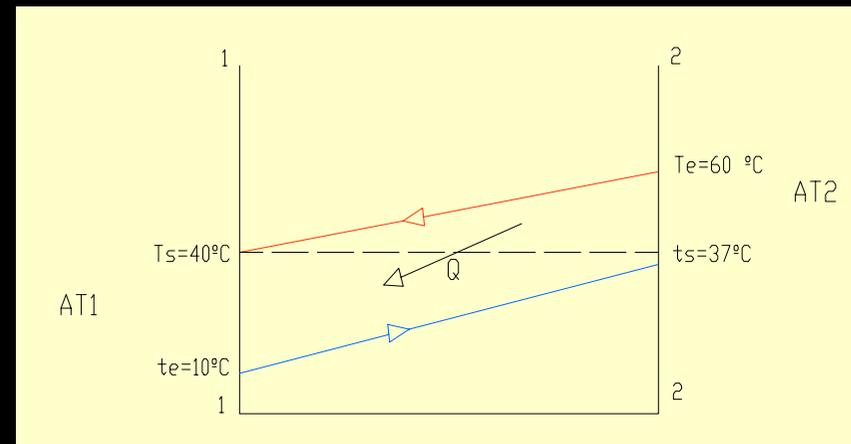
$$AT1 = T_s - t_e = 40 - 10 = 30$$

$$AT2 = T_e - t_s = 60 - 37 = 23$$

$$AT_{MF} = AT_M F_T$$

$$R = (T_e - T_s) / (t_s - t_e) = 0.7$$

$$S = (t_s - t_e) / (T_e - t_e) = 0.54$$



Area aproximada de trasmisión de calor

$$A_{\text{aprox}} = 6.09 \text{ m}^2$$

Dimensionado

Diámetro exterior de tubo: $d_{\text{ext}} = 1 \frac{1}{4}'' = 0.03175\text{m}$

Longitud = $L = 8' = 2.438\text{m}$

Espesor = $e = 0.165'' = 4.19 \cdot 10^{-3}\text{m}$

Diámetro interior = $d_{\text{int}} = 0.920'' = 0.0233\text{m}$

Nº de tubos = $N = A_{\text{aprox}} / A_L = 25$ tubos

Triángular Pitch: $1 \frac{9}{16}'' = 0.039 \text{ m}$

$D_c =$ Diámetro de carcasa = $12'' = 0.304 \text{ m}$

Nº final de tubos = 26

$P =$ Nº de Pasos = 4

Cálculo del h_i

Cálculo de h_e

Coefficiente de trasmisión de calor real

Estudio de pérdidas de carga

Sistema de agitación

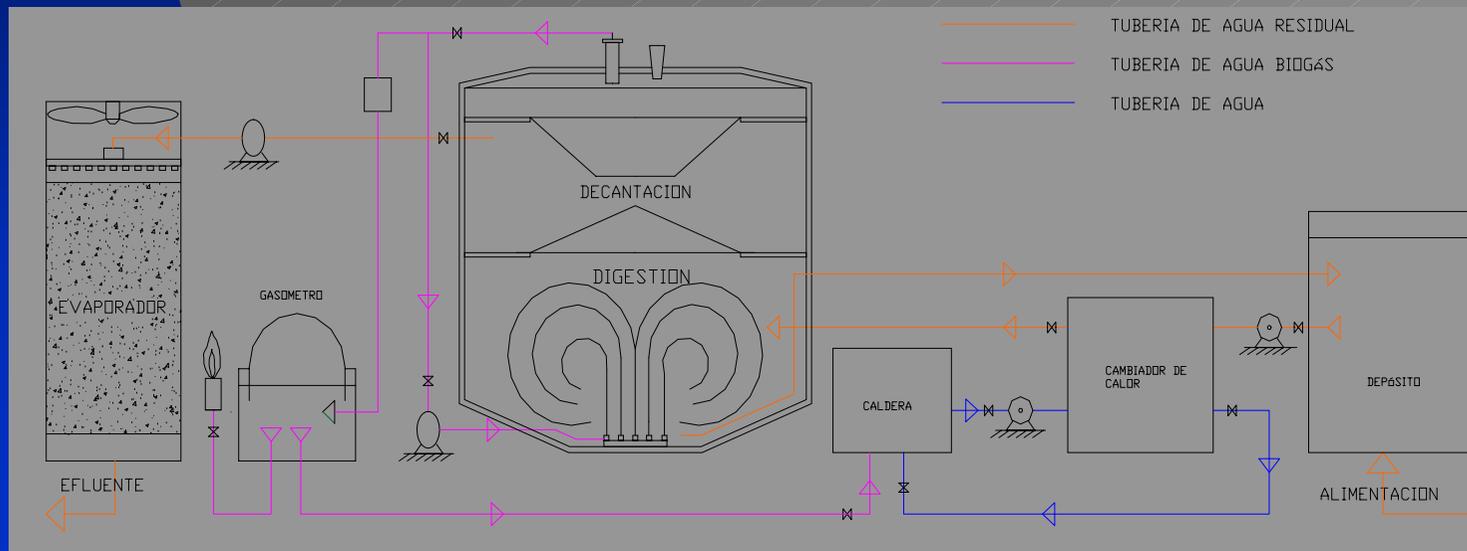
- Producción de biogás
 - ◆ Método de Eckenfelder
 - 1-1.25 m³ de biogás / Kg. SV destruidos
 - SV entrada = 2 Kg /m³
 - SV salida = 0.8 Kg /m³
 - SV_{destruidos} = 1.2 Kg / m³
 - Q = 80 m³ /día
 - Producción de biogás = 115.2 m³ / día

- Distribuidor

Tuberías

- TUBERIAS PARA AGUA RESIDUAL
- TUBERIAS PARA BIOGÁS
- TUBERÍAS PARA AGUA DE LA CALDERA

NORMAS ASA Y DIN



BOMBAS

- MÉTODO DE CÁLCULO
- BOMBA DE ALIMENTACIÓN
- BOMBA DE RECIRCULACION PARA AGUA CALIENTE

METODO DE CALCULO

■ **NPSH)**_{disponible}

$$\text{NPSH)}_{\text{disponible}} = z_1 + ((P_1 + P_v) / \rho) \cdot 10 - h_f$$

z_1 Altura del fluido desde la bomba al primer punto de referencia (m)

P_1 Presión en el primer punto de referencia (aspiración), en Kg/cm²

P_v Presión de vapor (Kg/cm²)

ρ Densidad del fluido (g/cm³)

h_f Perdidas de carga (m)

METODO DE CALCULO

- Altura de presión o carga desarrollada por la bomba

$$H = H_g + P_c + ((P_2 - P_1) / \rho) \cdot 10$$

H_g Altura geométrica de elevación del líquido (m)

P_c Pérdida de carga en aspiración e impulsión (m)

$P_c = P_{c \text{ (aspiración)}} + P_{c \text{ (impulsión)}}$

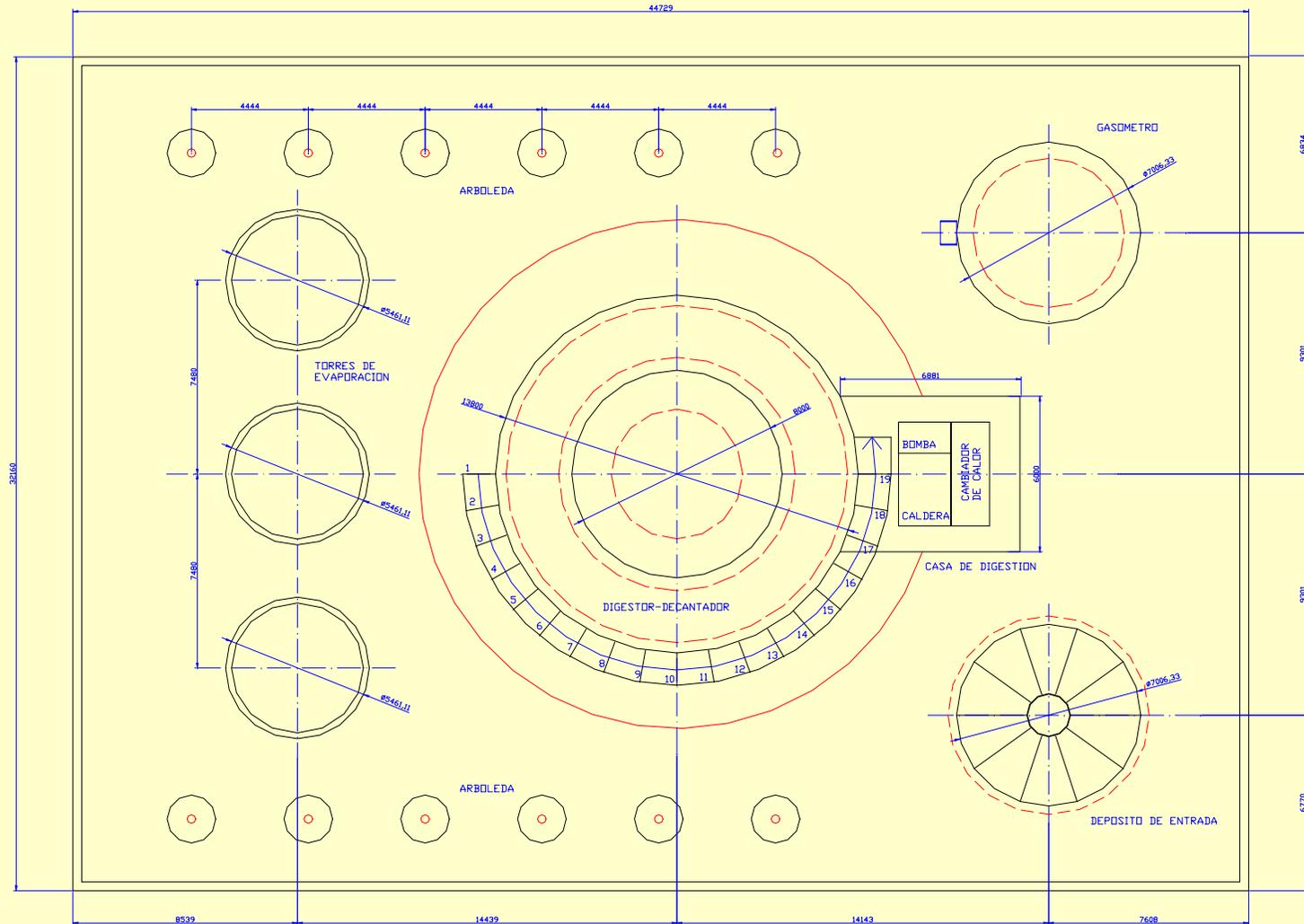
P_2 Presión en el segundo punto de referencia (impulsión), en Kg/cm²

- Con H y el caudal de bombeo se toman tablas
- Comprobar que el NPSH disponible sea mayor que el requerido

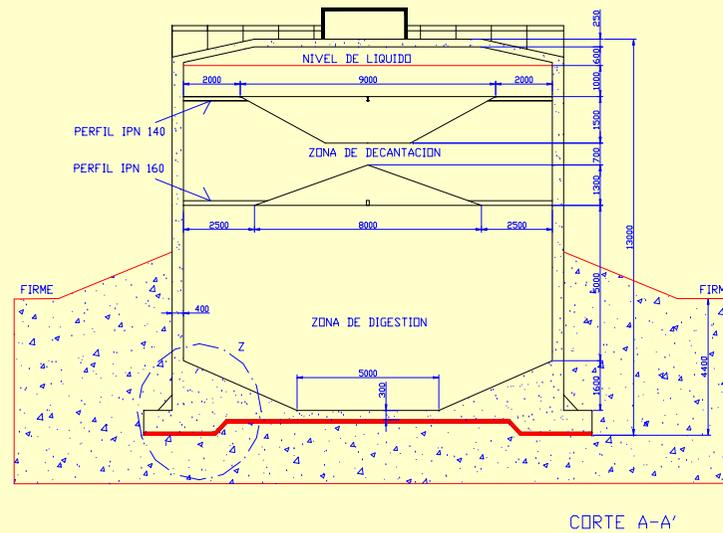
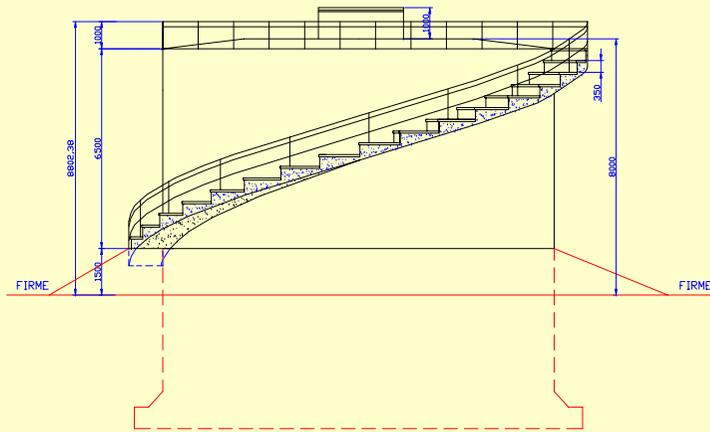
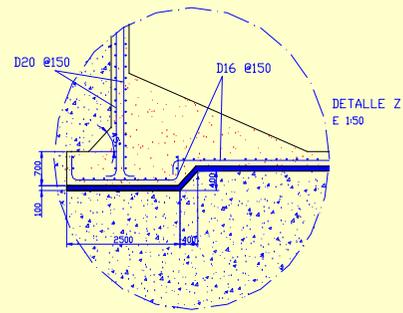
Planos

- Plano 1. Situación
- Plano 2. Planta general
- Plano 3. Diagrama de flujo
- Plano 4. Digestor corte y vistas
- Plano 5. Decantadores y perfiles
- Plano 6. Digestor 3D
- Plano 7. Cambiador de calor
- Plano 8. Sistema de agitación

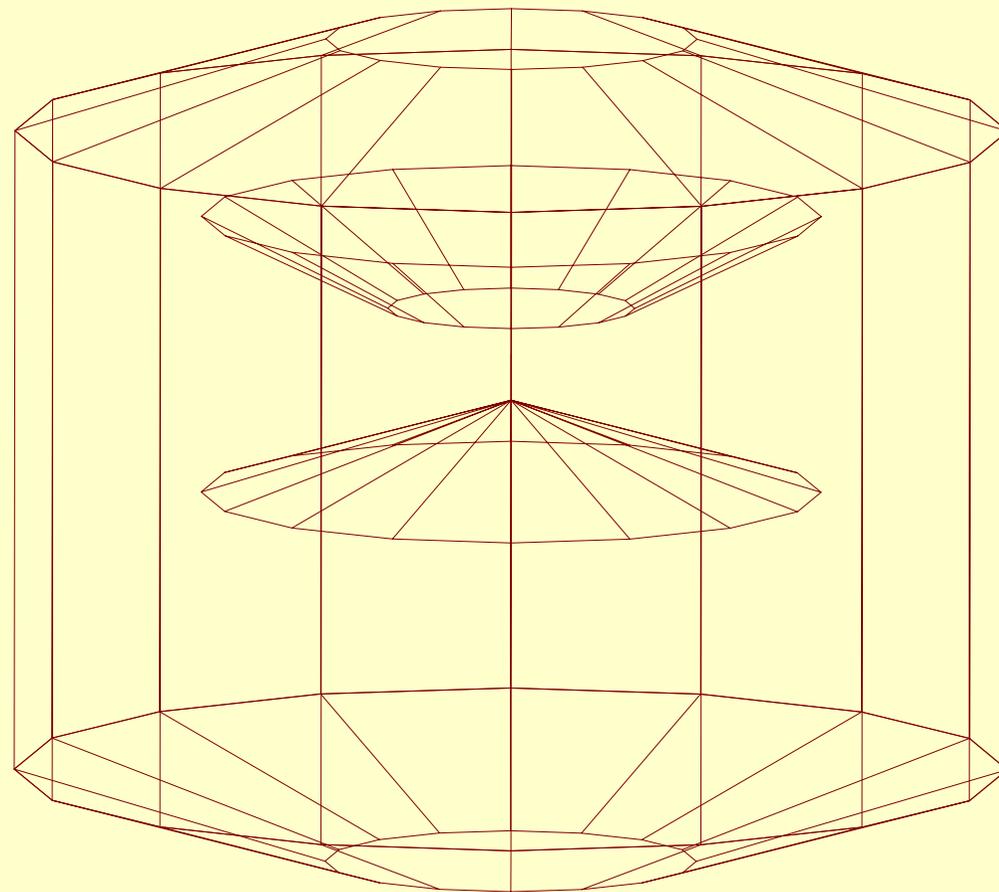
Plano 2. Planta general



Plano 3. Digestor



Plano 6. Digestor 3D



Medición y presupuesto

■	CAPÍTULO 01. MOVIMIENTO DE TIERRAS	1.108.300
■	CAPÍTULO 02. CIMENTACIÓN	1.746.201
■	CAPÍTULO 03. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	2.196.410
■	CAPÍTULO 04. ESTRUCTURAS METÁLICAS	1.838.400
■	CAPÍTULO 05. INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN	1.396.430
■	CAPÍTULO 06. INSTALACIONES PARA BIOGÁS Y AGITACIÓN	5.311.400
■	CAPITULO 07. TUBERÍAS Y SUS ACCESORIOS	130.610
■	CAPITULO 08. VÁLVULAS	911.870
■	CAPITULO 09. BOMBAS Y COMPRESORES	218.600
■	CAPITULO 10. INSTRUMENTACIÓN	469.550
■	CAPITULO 11. URBANIZACIÓN Y JARDINERÍA	1.017.560
■	CAPITULO 12. VARIOS	10.721.900
	PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL	27.067.231
	IMPORTE TOTAL	40.296.176 PTS
		242.184,90 €

PLIEGO DE CONDICIONES

- CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS
- CAPÍTULO 2. CONDICIONES TÉCNICAS REFERENTES A LOS MATERIALES
- CAPÍTULO 3. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE FACULTATIVO
- CAPÍTULO 4. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE ECONÓMICO
- CAPÍTULO 5. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE LEGAL
- CAPÍTULO 6. CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE
- CAPÍTULO 7. CONDICIONES PARTICULARES