



---

**PLANTA PILOTO PARA EL  
TRATAMIENTO DEL AGUA DE  
INDUSTRIAS ACEITUNERAS.**

**Pfc. Gema Garrido Linares. 2005**

# **OBJETO DEL PROYECTO**



**APORTAR UNA ALTERNATIVA DE  
DEPURACIÓN**



**REUTILIZACIÓN DE LEJÍAS DE  
COCIDO DE LA ACEITUNA**

# **PROCESADO DE LA ACEITUNA DE MESA**

- LA ACEITUNA DE MESA**
- PREPARACIONES**
- PRESENTACIONES**
- PROCESADO**
- VERTIDOS**
- TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

# **LA ACEITUNA DE MESA**

**“ Fruto de variedades determinadas de olivo cultivado, sano, cogido en el estado de madurez adecuado y de calidad tal que, sometido a las preparaciones adecuadas, dé un producto de consumo y de buena conservación como mercancía comercial ”**

## EVOLUCIÓN DEL MERCADO EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS

<b>AÑO</b>	<b>Producción total de aceitunas (miles de toneladas)</b>	<b>Aceituna para Aderezo (miles de toneladas)</b>	<b>Aceituna para Almazara (miles de toneladas)</b>
<b>1993</b>	<b>2.809,9</b>	<b>207,9</b>	<b>2.602,0</b>
<b>1994</b>	<b>2.798,7</b>	<b>192,2</b>	<b>2.606,5</b>
<b>1995</b>	<b>1.694,2</b>	<b>189,9</b>	<b>1.504,3</b>
<b>1996</b>	<b>4.517,2</b>	<b>201,1</b>	<b>4.316,1</b>
<b>1997</b>	<b>5.879,6</b>	<b>308,4</b>	<b>5.571,2</b>
<b>1998</b>	<b>3.831,7</b>	<b>278,3</b>	<b>3.553,4</b>
<b>1999</b>	<b>3.394,7</b>	<b>298,9</b>	<b>3.095,8</b>
<b>2000</b>	<b>3.700,0</b>	<b>300,2</b>	<b>3.399,8</b>
<b>2001</b>	<b>3.500,7</b>	<b>333,5</b>	<b>3.167,2</b>
<b>2002</b>	<b>3.670,5</b>	<b>312,3</b>	<b>3.358,2</b>
<b>2003</b>	<b>3.253,2</b>	<b>288,5</b>	<b>2.964,7</b>

LA PRODUCCIÓN ACTUAL SE NUESTRO PAÍS

ASCIENDE A:

288.500 Tm

# **TIPOS DE ACEITUNAS DE MESA**

---

- **Verdes**: aceitunas de frutos recogidos durante el ciclo de maduración, antes del envero y cuando han alcanzado un tamaño normal.
- **De color cambiante**: obtenidas con frutos de color rosado recogidos antes de su completa madurez.
- **Negras**: obtenidas de frutos recogidos en plena madurez o poco antes de ella.
- **Ennegrecidas por oxidación**: obtenidas de frutos que no estando totalmente maduros han sido oscurecidos mediante oxidación.

# **VARIETADES DE MESA**

---

## **➤ GRUPO A:**

- **Manzanilla de Sevilla**
- **Gordal Sevillana**
- **Azofairón y Morona**

## **➤ GRUPO B:**

- **Hojiblanca**
- **Cacereña**
- **Verdial**
- **Otras: Aloreña, Picuda, Cordobí, etc..**



# **TIPOS DE PREPARACIONES**

- ❖ **Aceitunas verdes aderezadas en salmuera.**
- ❖ **Aceitunas verdes sin aderezar.**
- ❖ **Aceitunas de color cambiante aderezadas o al natural.**
- ❖ **Aceitunas negras en salmuera.**
- ❖ **Aceitunas negras al natural.**
- ❖ **Aceitunas negras arrugadas, en sal, al natural, punzadas, etc..**
- ❖ **Aceitunas partidas.**
- ❖ **Aceitunas seccionadas (rayadas).**
- ❖ **Etc..**

# **PRESENTACIONES**

---

- ❖ **Aceitunas Enteras.**
- ❖ **Aceitunas Deshuesadas.**
- ❖ **Aceitunas Rellenas.**
- ❖ **Aceitunas en mitades, en cuartos, en gajos, etc..**
- ❖ **Pasta de Aceitunas.**
- ❖ **Aceitunas para Ensalada.**
- ❖ **Alcaparrado.**

# **PROCESO DE ADEREZO**

---

**1. RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE**

**2. ESCOGIDO**

**3. TRATAMIENTO CON LEJÍA (COCIDO)**

**4. LAVADO**

**5. COLOCACIÓN EN SALMUERA**

**6. FERMENTACIÓN Y CONSERVACIÓN**

**7. ENVASADO**

# VERTIDOS

LITROS DE AGUAS RESIDUALES POR KG. DE FRUTOS				
PROCESO	LEJÍAS	AGUAS DE LAVADO	SALMUERAS	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

CARACTERÍSTICAS (g/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
DBO <sub>5</sub>	15.0	12.3	9.5
Sólidos volátiles	30.2	35.1	17.8
Sólidos totales	48.2	46.5	118.5

# **TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

- **Dilución**
- **Decantación**
- **Corrección de pH**
- **Adsorción con Carbón Activo**
- **Ultrafiltración**
- **Evaporación**
- **Etc.**

# TRATAMIENTO PROPUESTO

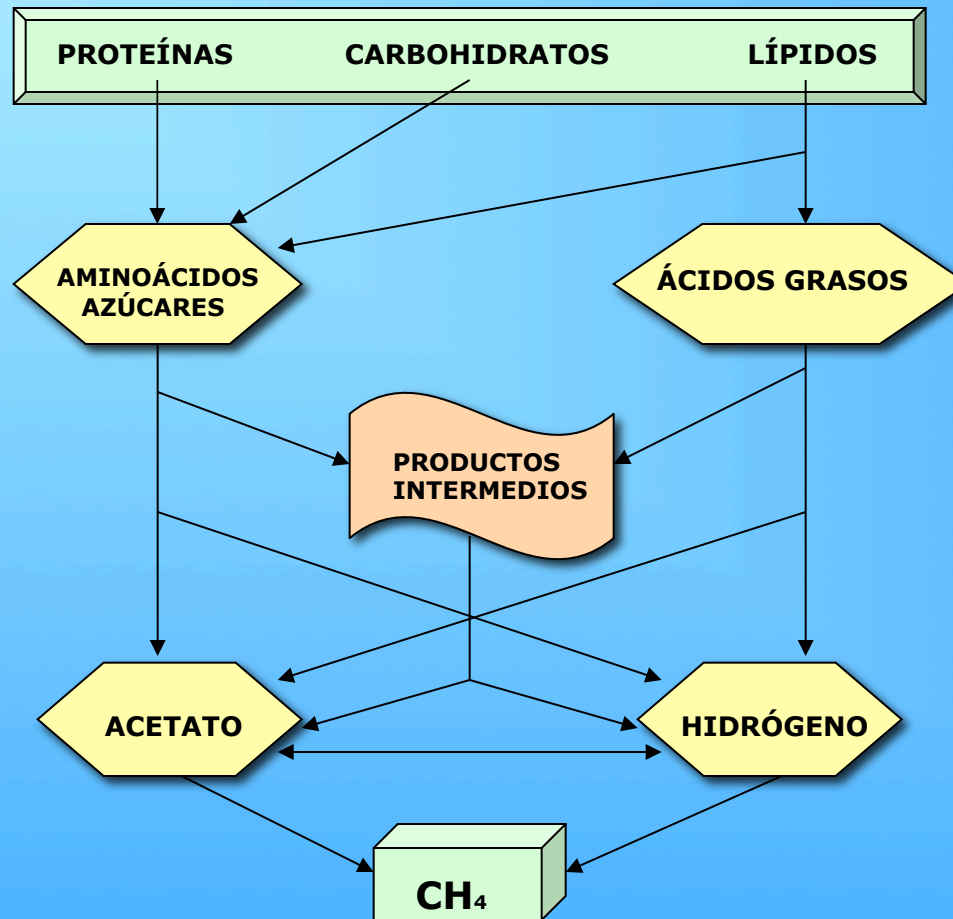
**DIGESTIÓN  
ANAEROBIA** + **DECANTACIÓN** + **ELECTROLISIS**

# **DIGESTIÓN ANAEROBIA**

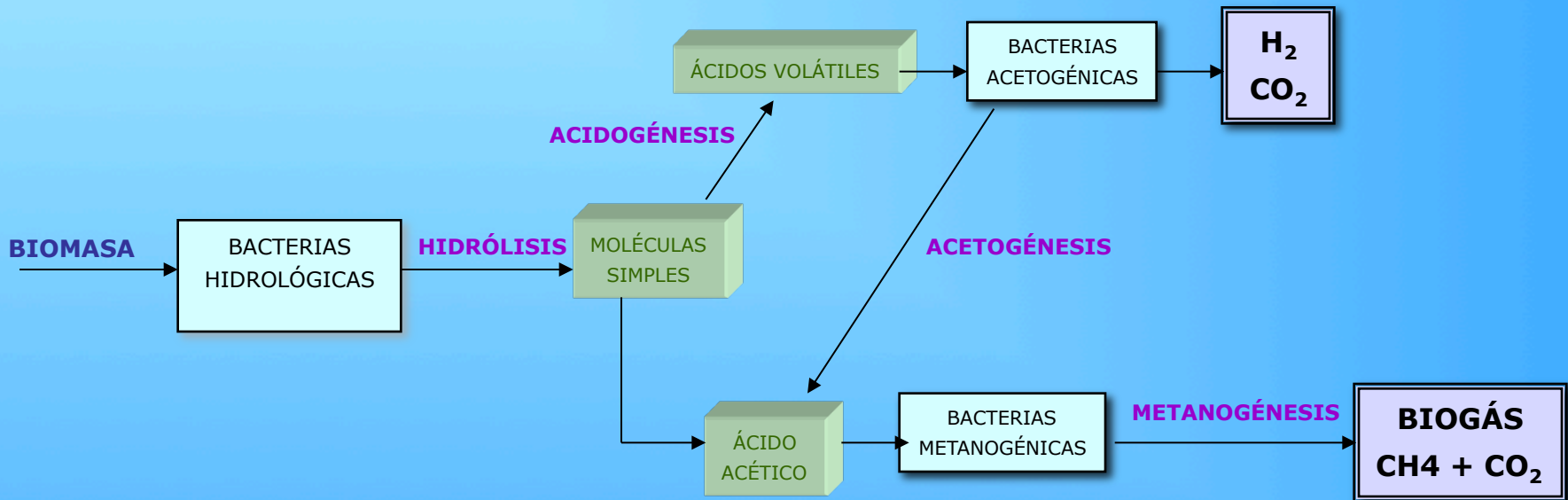
**“MECANISMO DE DEGRADACIÓN, REALIZADO EN CONDICIONES DE RIGUROSA AUSENCIA DE OXÍGENO, POR EL QUE MOLÉCULAS ORGÁNICAS COMPLEJAS SON DESCOMPUESTAS POR MICROORGANISMOS, OBTENIENDOSE UN PRODUCTO FINAL INERTE CON LIBERACION DE GASES”.**



# BIOQUÍMICA DEL PROCESO



# MECANISMO Y MICROBIOLOGÍA

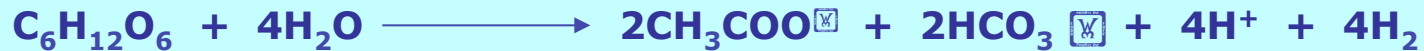


# HIDRÓLISIS

“TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS ORGÁNICOS COMPLEJOS EN MOLÉCULAS SIMPLES”

BACTERIAS: CLOSTRIDIUM, BACTEROIDES, RUMINOCOCCUS, ESTERICHIA COLI.

## REACCIONES:



# ACETOGENESIS

“TRANSFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES DE LA HIDRÓLISIS EN ÁCIDO ACÉTICO, FORMICO, CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>”.

BACTERIAS: SYNTROPHOBATER, SYNTROPOMONAS, DESULFOVIBRIO

## REACCIONES:



3H<sub>2</sub>

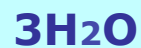


# METANOGENESIS

"TRANSFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES DE LA ACETOGENESIS EN CH<sub>4</sub> Y CO<sub>2</sub>".

BACTERIAS: METANOBACTERIAS, METANOCOCOS, METANOMICROBIOS

## REACCIONES:



+

# PARÁMETROS DE OPERACIÓN

## 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

# 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**

# **SOLUCIÓN ADOPTADA**

---

**DIGESTOR ANAEROBIO DE MEZCLA COMPLETA  
CON ALIMENTACIÓN CONTINUA**




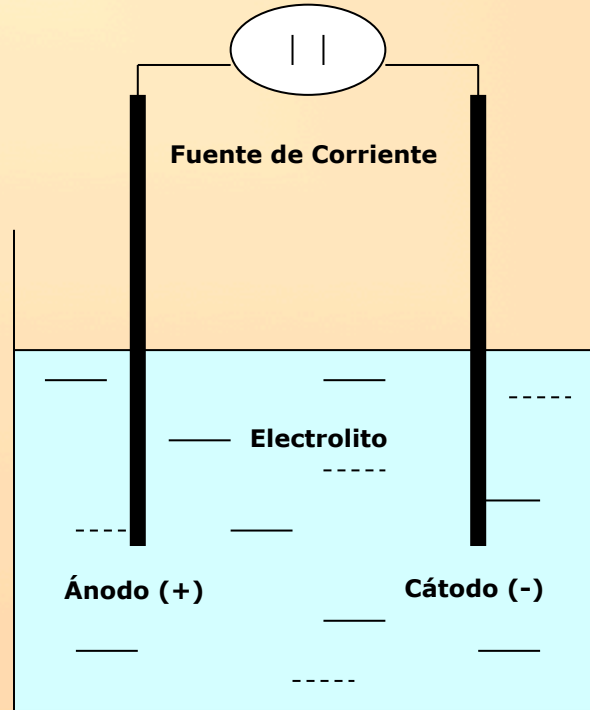
# **ELECTROLISIS**

---

**“Ruptura eléctrica. Método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad, produciéndose una descomposición en iones seguida de diversos efectos o reacciones secundarias según los casos concretos”.**

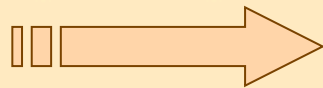
# FUNDAMENTO

ENERGÍA ELÉCTRICA  ENERGÍA QUÍMICA



**CÉLULA DE ELECTROLISIS**

# **CONTROL DE LAS REACCIONES**



**MATERIAL DE LOS ELECTRODOS**



**TIPO DE ELECTROLITO**

# CONTROL DE LAS REACCIONES

“El potencial estándar demuestra la capacidad, con respecto a los iones de hidrógeno, para ceder electrones”.

POTENCIALES ESTÁNDAR DE OXIDACIÓN/REDUCCIÓN ( $t^a = 25\text{ }^\circ\text{C}$ )			
Li/Li <sup>+</sup>	-3.04 mV	Co/Co <sup>2+</sup>	-0.28 mV
K/K <sup>+</sup>	-2.92 mV	Ni/Ni <sup>2+</sup>	-0.23 mV
Ca/Ca <sup>2+</sup>	-2.87 mV	Sn/Sn <sup>2+</sup>	-0.14 mV
Na/Na <sup>+</sup>	-2.71 mV	Pb/Pb <sup>2+</sup>	-0.13 mV
Mg/Mg <sup>2+</sup>	-2.37 mV	<b>H<sub>2</sub>/2H<sup>+</sup></b>	<b>± 0.00 mV</b>
Mn/Mn <sup>2+</sup>	-1.18 mV	<b>Cu/Cu<sup>+</sup></b>	<b>+0.34 mV</b>
2H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> + OH <sup>-</sup>	-0.83 mV	<b>2Hg/Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup></b>	<b>+0.79 mV</b>
Zn/Zn <sup>2+</sup>	-0.76 mV	<b>Ag/Ag<sup>+</sup></b>	<b>+0.80 mV</b>
Cr/Cr <sup>3+</sup>	-0.74 mV	<b>Hg/Hg<sup>2+</sup></b>	<b>+0.85 mV</b>
Fe/Fe <sup>2+</sup>	-0.56 mV	<b>Pt/Pt<sup>2+</sup></b>	<b>+1.20 mV</b>
Fe/Fe <sup>3+</sup>	-0.44 mV	<b>Cl<sub>2</sub>/2Cl<sup>-</sup></b>	<b>+1.36 mV</b>
Cd/Cd <sup>2+</sup>	-0.40 mV	<b>Au/Au<sup>+</sup></b>	<b>+1.50 mV</b>
Ti/Ti <sup>2+</sup>	-0.34 mV	<b>F<sub>2</sub>/2F<sup>-</sup></b>	<b>+2.87 mV</b>

# PROCESO ELECTROLÍTICO DEL CLORURO SÓDICO

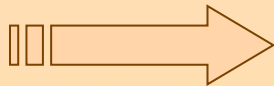
## PRODUCTOS RESULTANTES:



**CLORO ( $\text{Cl}_2$ )**



**SOSA CÁUSTICA ( $\text{NaOH}$ )**



**HIDRÓGENO ( $\text{H}_2$ )**

# **MÉTODOS ELECTROLÍTICOS**

- **INSTALACIONES CON CÉLULA DE MERCURIO:**

Se fundamentan en la propiedad del sodio de formar con el mercurio (cátodo) una amalgama líquida, que se descompone con el agua en NaOH (disolución al 50%), H<sub>2</sub>, Hg Y Cl<sub>2</sub>.

- **INSTALACIONES CON CÉLULA DE DIAFRAGMA:**

En este tipo de célula, los compartimentos anódico y catódico están separados por una lámina porosa denominada diafragma. El cloro se desprende en el ánodo, mientras que el hidrógeno y la solución alcalina de NaOH (10 al 12 %) se generan en el cátodo.

- **INSTALACIONES CON CÉLULA DE MEMBRANA:**

La membrana está fabricada a base de polímeros perfluorosulfónicos y es permeable sólo a los cationes (Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>), impidiendo el paso a los aniones (Cl<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>).

# **MÉTODOS ELECTROLÍTICOS**

## **CONTAMINANTES:**

- **Emisiones de cloro gaseoso.**
- **Vertidos de oxidantes libres al agua.**
- **Ácidos usados en los procesos.**
- **Pérdidas de mercurio.**
- **Mermas de amianto.**

# **ALTERNATIVA A ESTOS PROCESOS**



# **REACCIONES EN LA CELDA**

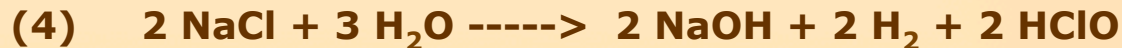
El cloro se genera en el ánodo, mientras el cátodo produce hidrógeno:



El cloro reacciona inmediatamente y forma ácido hipocloroso:



Considerando que comenzamos con sal (NaCl), llegamos a:



En la misma celda, todo el ácido hipocloroso se disocia y forma el ión hipoclorito (Cloro Libre Disponible):



Si las concentraciones de HOCl y OCl<sup>-</sup> son las mismas (equilibrio), la reacción total en la celda es:



# ASPECTOS TÉCNICOS

La electrolisis salina supone el paso de una corriente continua por unos electrodos de titanio activados contenidos en una cámara sin separación.

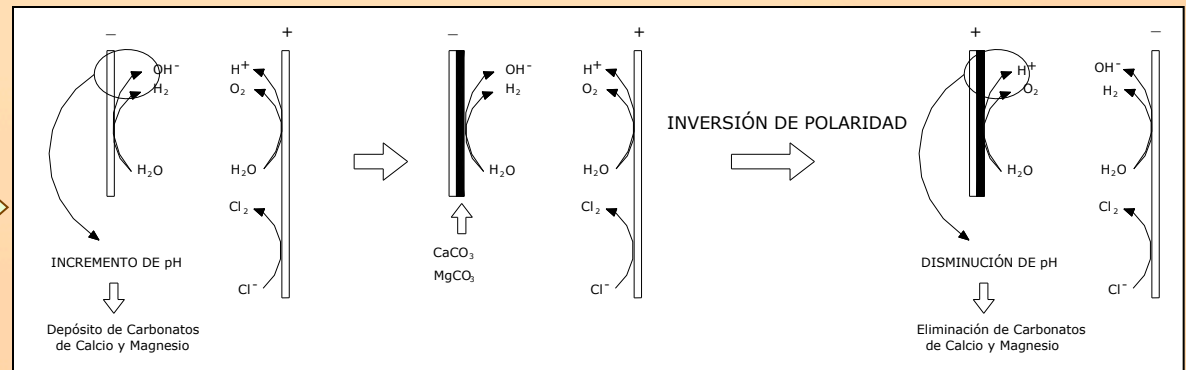
## ELEMENTOS QUE DEFINEN EL PROCESO:

➤ FUENTE DE ALIMENTACIÓN (SUMINISTRA LA CORRIENTE CONTINUA)

TIPO 1: CON CONTROL DE INTENSIDAD → TRABAJA A INTENSIDAD CONSTANTE

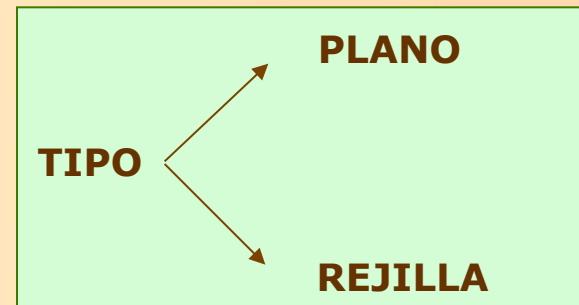
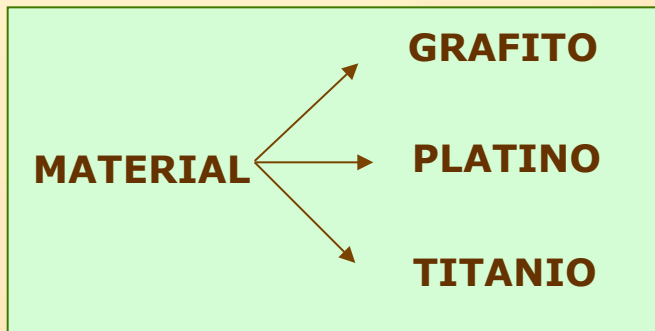
TIPO 2: CON CONTROL DE VOLTAJE → TRABAJA A INTENSIDAD VARIABLE EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SAL Y LA TEMPERATURA

PERMITE LA AUTOLIMPIEZA MEDIANTE LA INVERSIÓN DE LA POLARIDAD

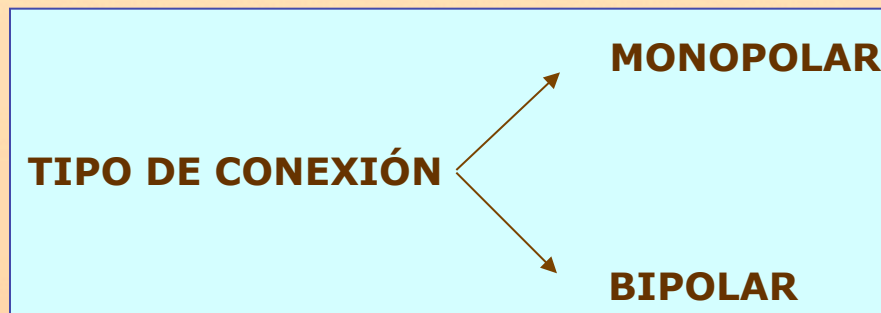


# **ASPECTOS TÉCNICOS**

- **ELECTRODOS (PRODUCEN LAS REACCIONES DE OXIDACIÓN/DESINFECCIÓN)**



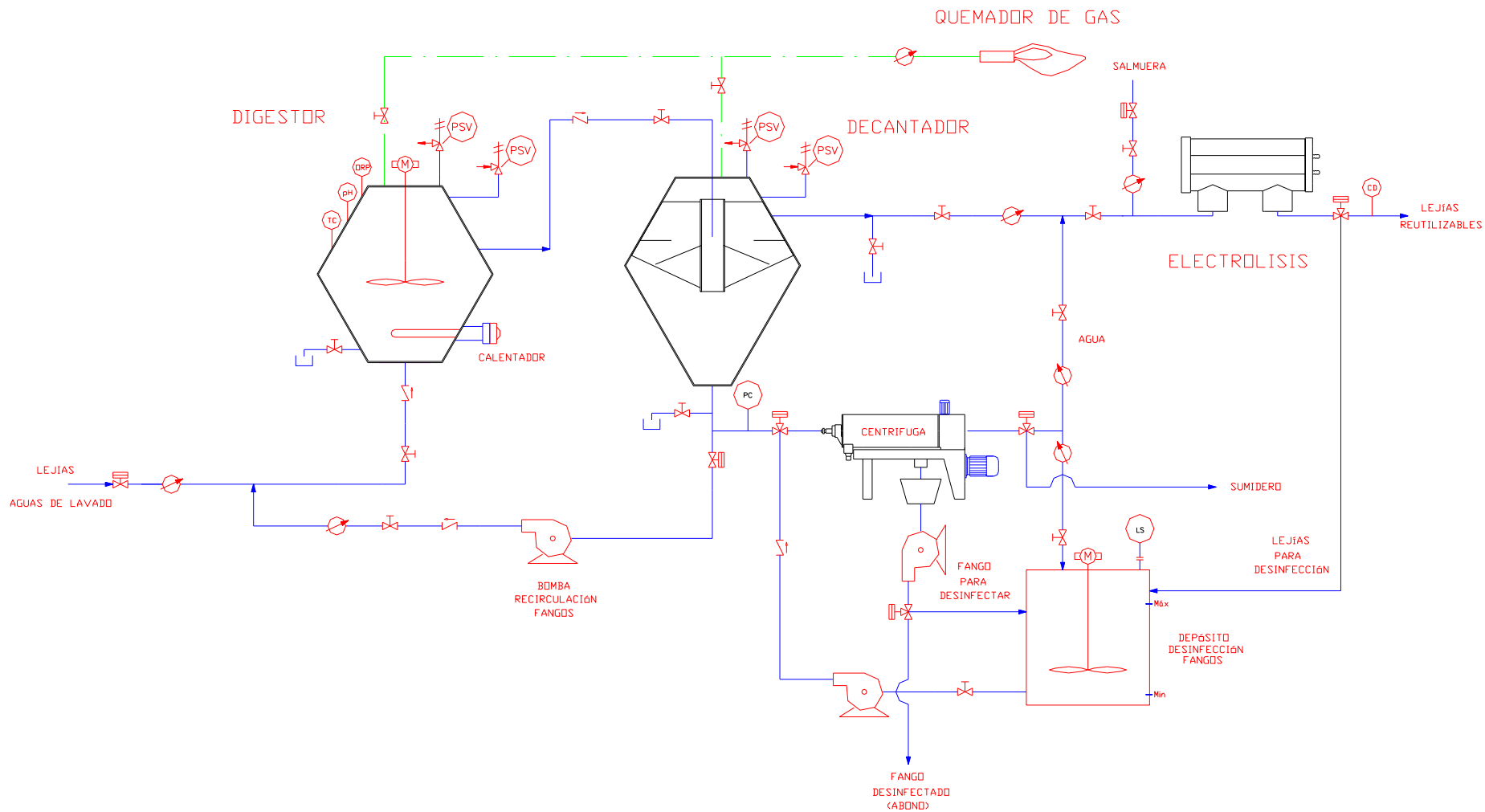
- **CARCASA (CONTIENE LOS ELECTRODOS Y LOS SENSORES)**



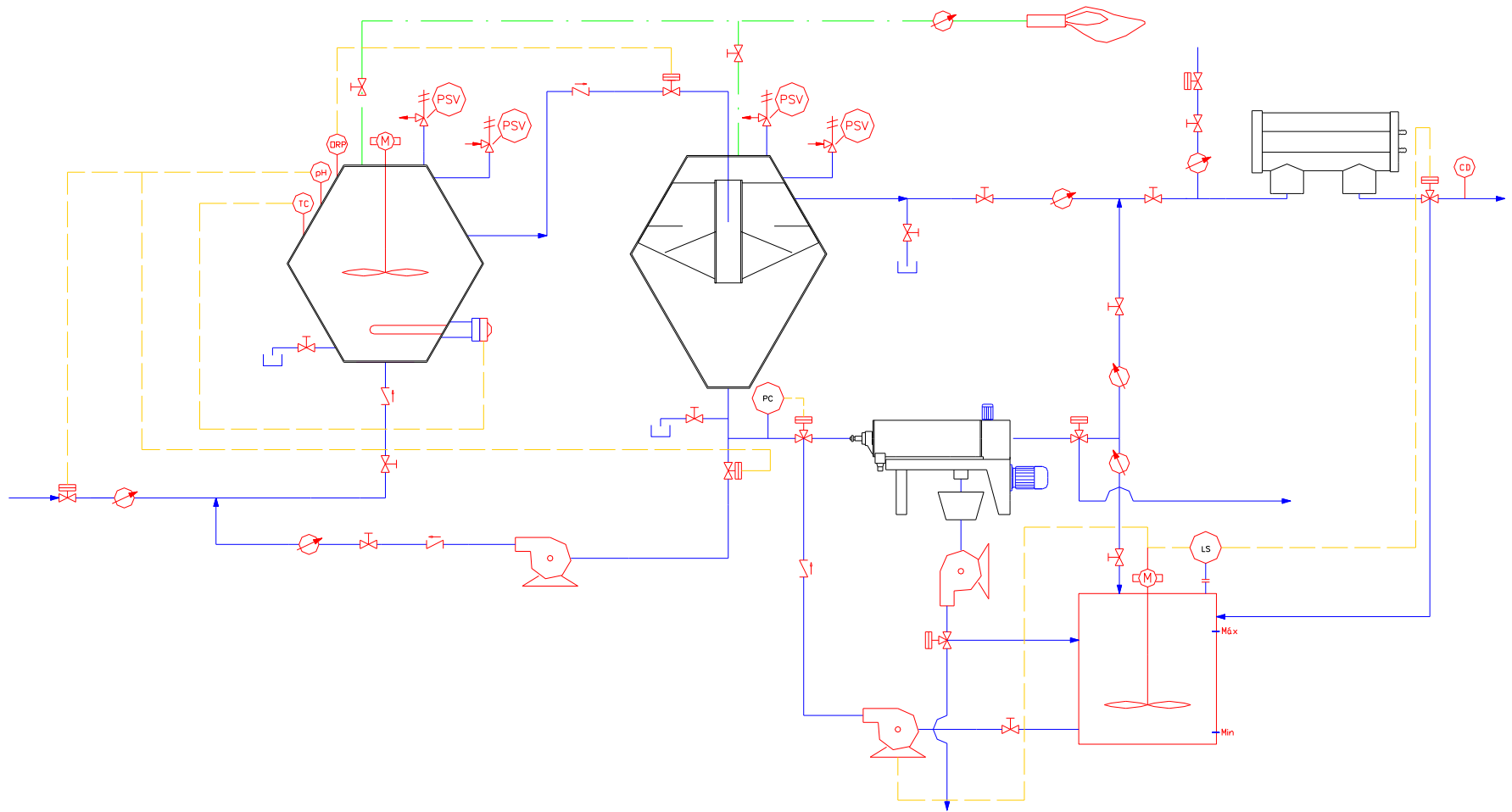
# **DISEÑO DE LA PLANTA**

- **DIAGRAMA DE FLUJO**
- **EQUIPOS EMPLEADOS**
- **BOMBAS**
- **TUBERÍAS Y ACCESORIOS**
- **PLANOS**
- **PRESUPUESTO**

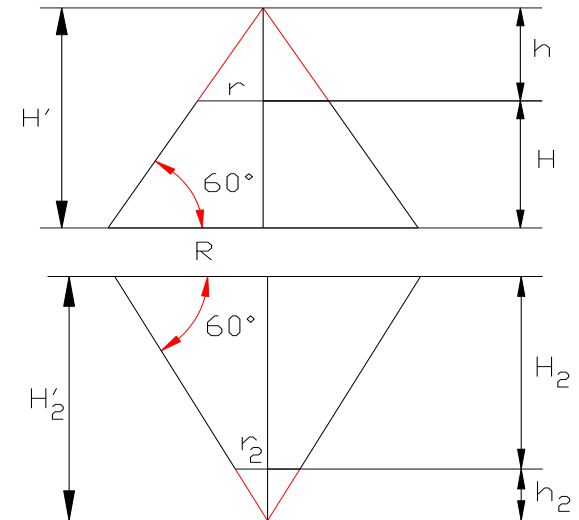
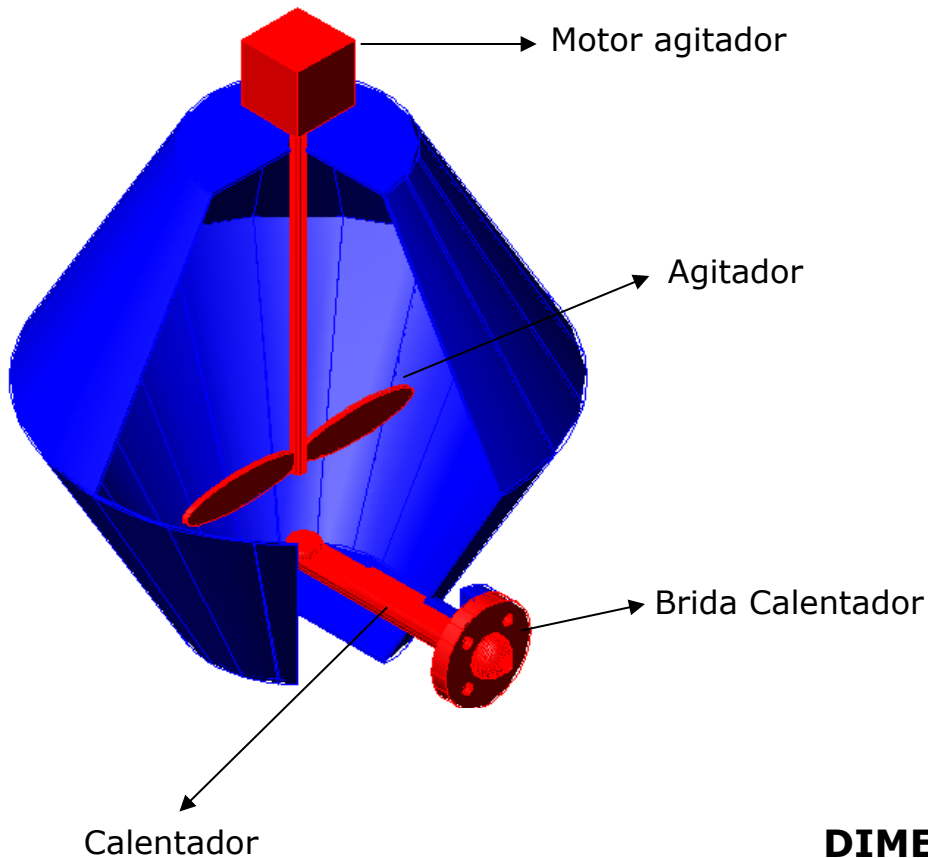
# DIAGRAMA DE FLUJO



# LAZOS DE CONTROL



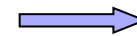
# EQUIPOS: DIGESTOR ANAEROBIO



$$V_{1/2} = \frac{1}{3}\pi R^2 H' - \frac{1}{3}\pi r^2 h$$

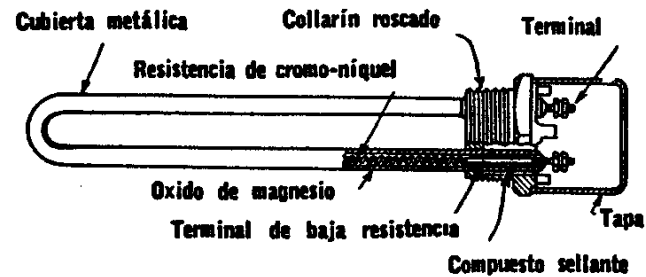
**VOLUMEN ESTABLECIDO: 1,2 m<sup>3</sup>**

**DIMENSIONES**



H = 0,71 m  
R = 0,71 m  
r = 0,3 m

# EQUIPOS: CALENTADOR



CALENTADOR DE INMERSIÓN

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

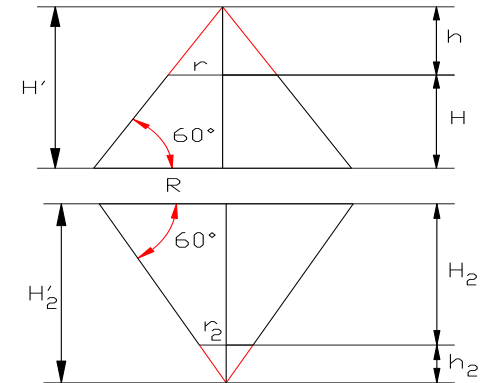
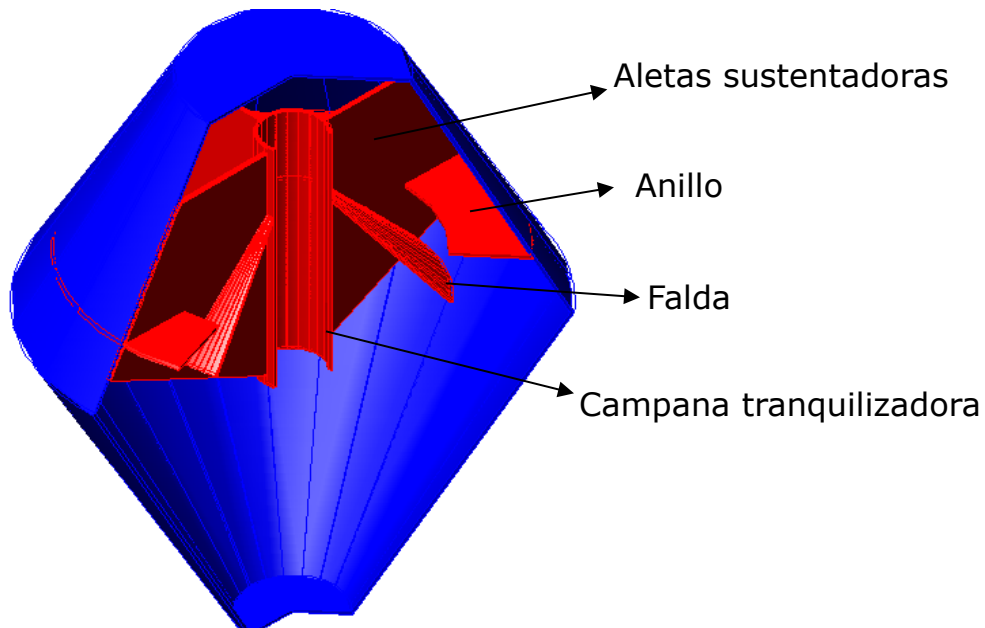


$$Q = 77 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} Q &= 4.17 \text{ l/h} \\ \rho &= 1030 \text{ kg/m}^3 \\ c_p &= 0,7 \text{ kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{kg} \\ \Delta T &= (37 - 15)^\circ\text{C} = 22^\circ\text{C} \end{aligned}$$



# EQUIPOS: DECANTADOR DE FANGOS



$$V_{1/2} = \frac{1}{3} \pi R^2 H' - \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

## CONSIDERACIONES

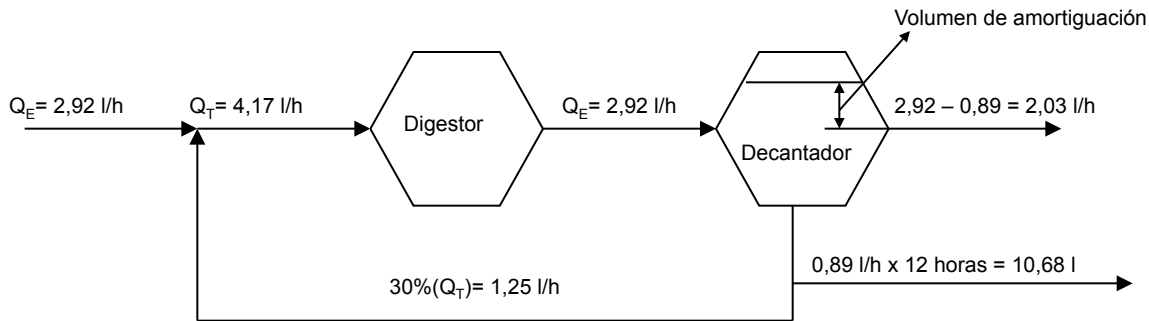
LA PARTE INFERIOR DEL DECANTADOR ESTÁ SECCIONADA EN UN DIÁMETRO INFERIOR

ALTURA MÁXIMA DE SALIDA DEL AGUA CLARIFICADA

DIMENSIONES

- H = 0,71 m
- R = 0,71 m
- r = 0,3 m
- r<sub>2</sub> = 0,15 m
- h<sub>2</sub> = 0,26 m
- H<sub>2</sub> = 0,97 m
- H<sub>max salida</sub> = 1,31 m

# EQUIPOS: CENTRÍFUGA



## **DATOS DE DISEÑO:**

$$V_{\text{DIGESTIÓN}} = 1 \text{ m}^3$$

**TRH = 10 días**

**RECIRCULACIÓN: 30%**

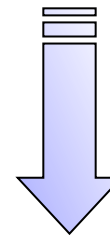
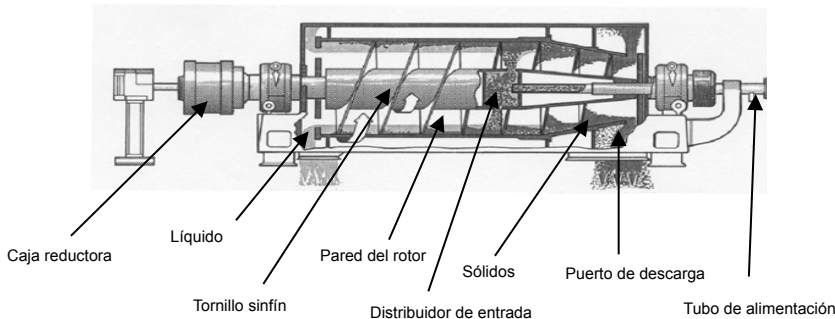
**FANGOS GENERADOS:**

$$K = Q \cdot \text{DQO} \cdot R$$

$$K = 17,51 \text{ g/h}$$

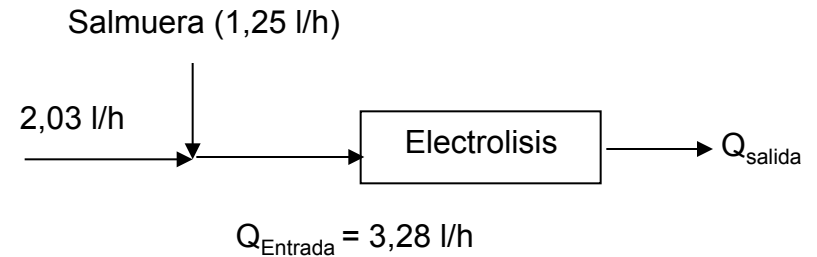
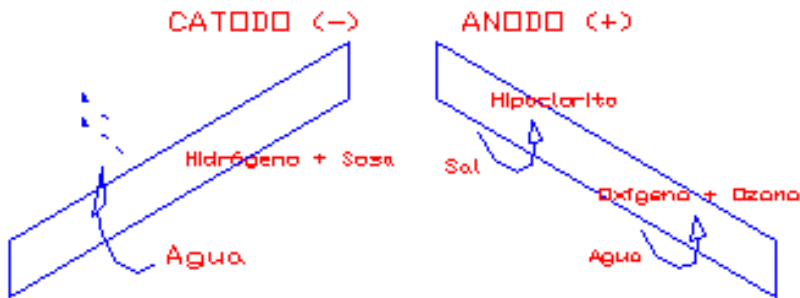
2% sequedad

$$Q = 0,89 \text{ l/h}$$



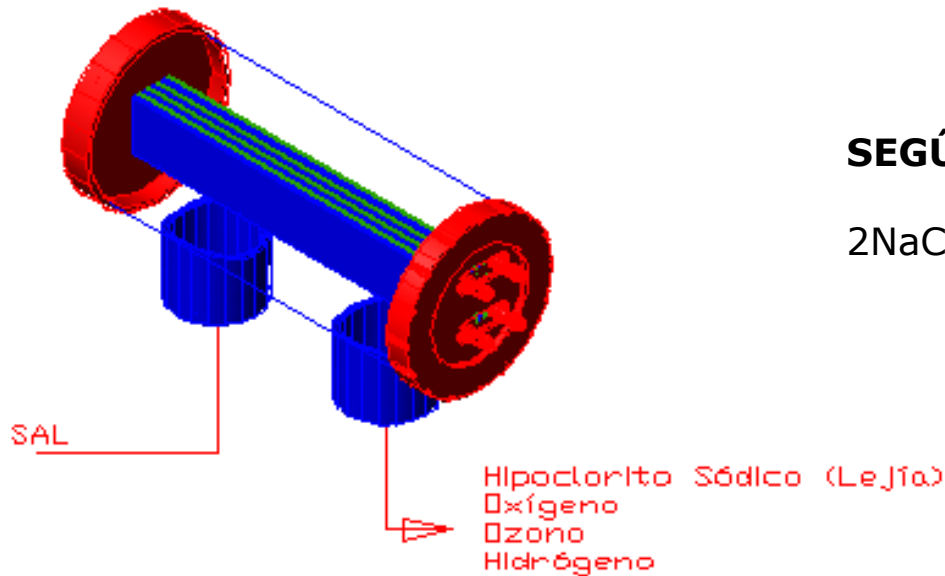
**1 PURGA CADA 12 HORAS**

# EQUIPOS: CELDA ELECTROLÍTICA



**CONCENTRACIÓN DE SAL:  $C_S = 36,97$  g/l**

**SEGÚN LA ECUACIÓN:**



**OBTENEMOS UNA  
CONCENTRACIÓN DE SOSA DE:**

**$C_{\text{NaOH}} = 12,64$  g/l**

# CÁLCULO DE BOMBAS

- **NPSH)disponible** =  $z_1 + ((P_1 + P_v) / \rho) \cdot 10 - h_f$

- **Altura de presión o carga desarrollada por la bomba**

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

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

$P_1$ : Presión en el primer punto de referencia (aspiración), en  $\text{kg/cm}^2$

$P_v$ : Presión de vapor ( $\text{Kg/cm}^2$ )  
 $H_g$ : Altura geométrica de elevación del líquido (m)  
 $\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $h_f$ : Pérdidas de carga (m)  
 $P_c$ : Pérdida de carga en aspiración e impulsión (m)

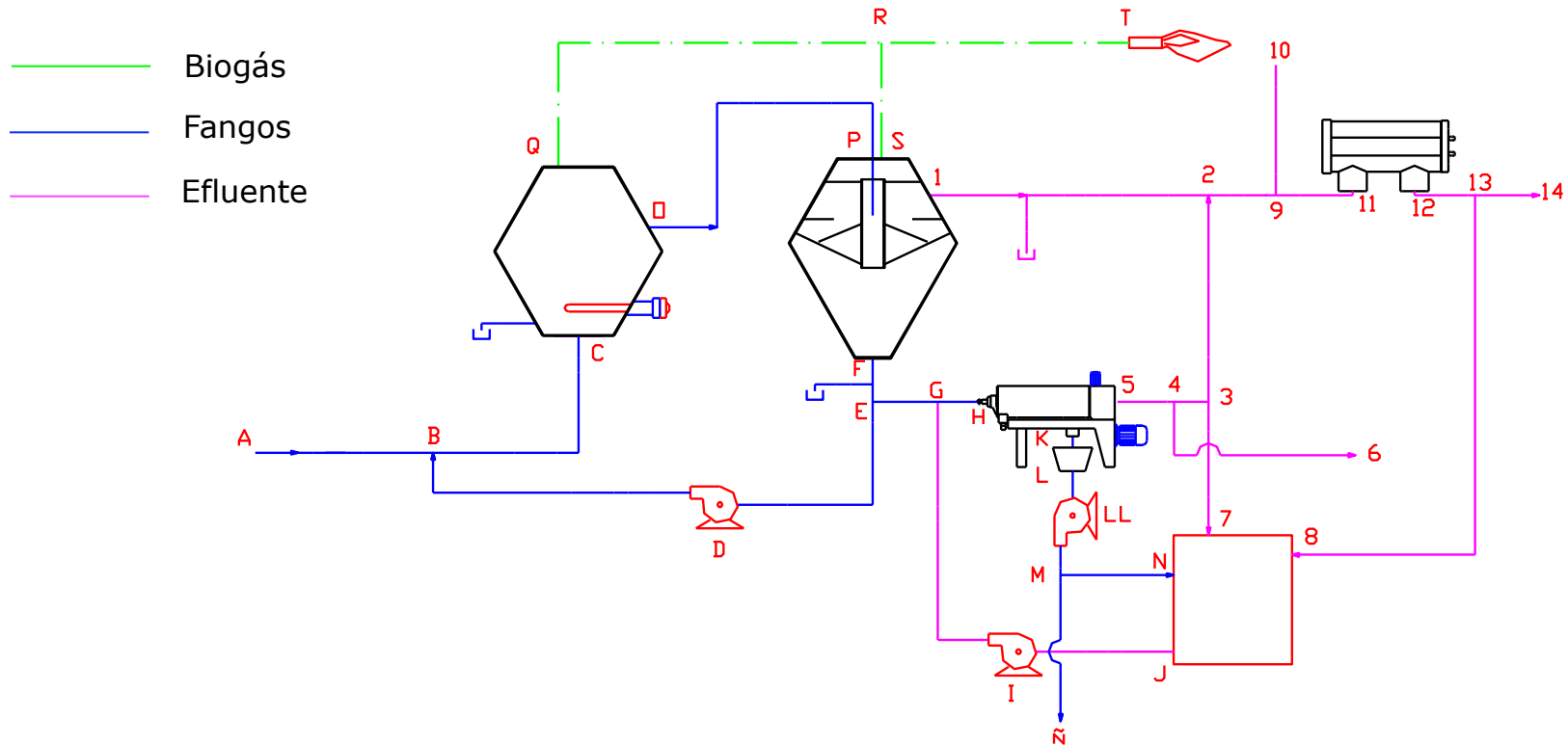
$P_c$ :  $P_c$  (aspiración) +  $P_c$  (impulsión)

$P_2$ : Presión en el segundo punto de referencia (impulsión), en  $\text{Kg/cm}^2$

- Con H y el caudal de bombeo se selecciona la bomba según el fabricante.

- Comprobar que el NPSH disponible sea mayor que el requerido.

# TUBERÍAS Y ACCESORIOS



## MÉTODO DE CÁLCULO:

$$Q = S v$$

$$S = \frac{\pi}{4} D^2$$

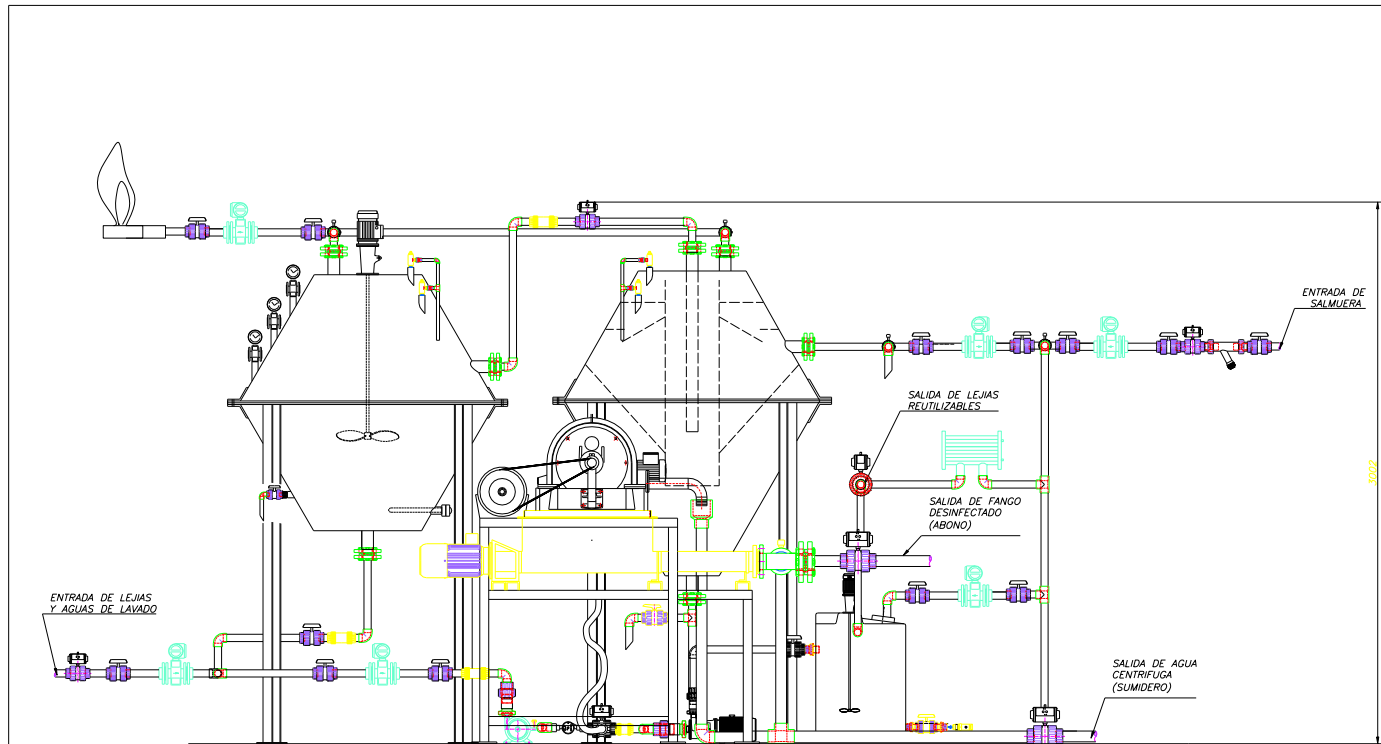
Q: Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

S: Sección de paso (m<sup>2</sup>)

D: Diámetro nominal (m)

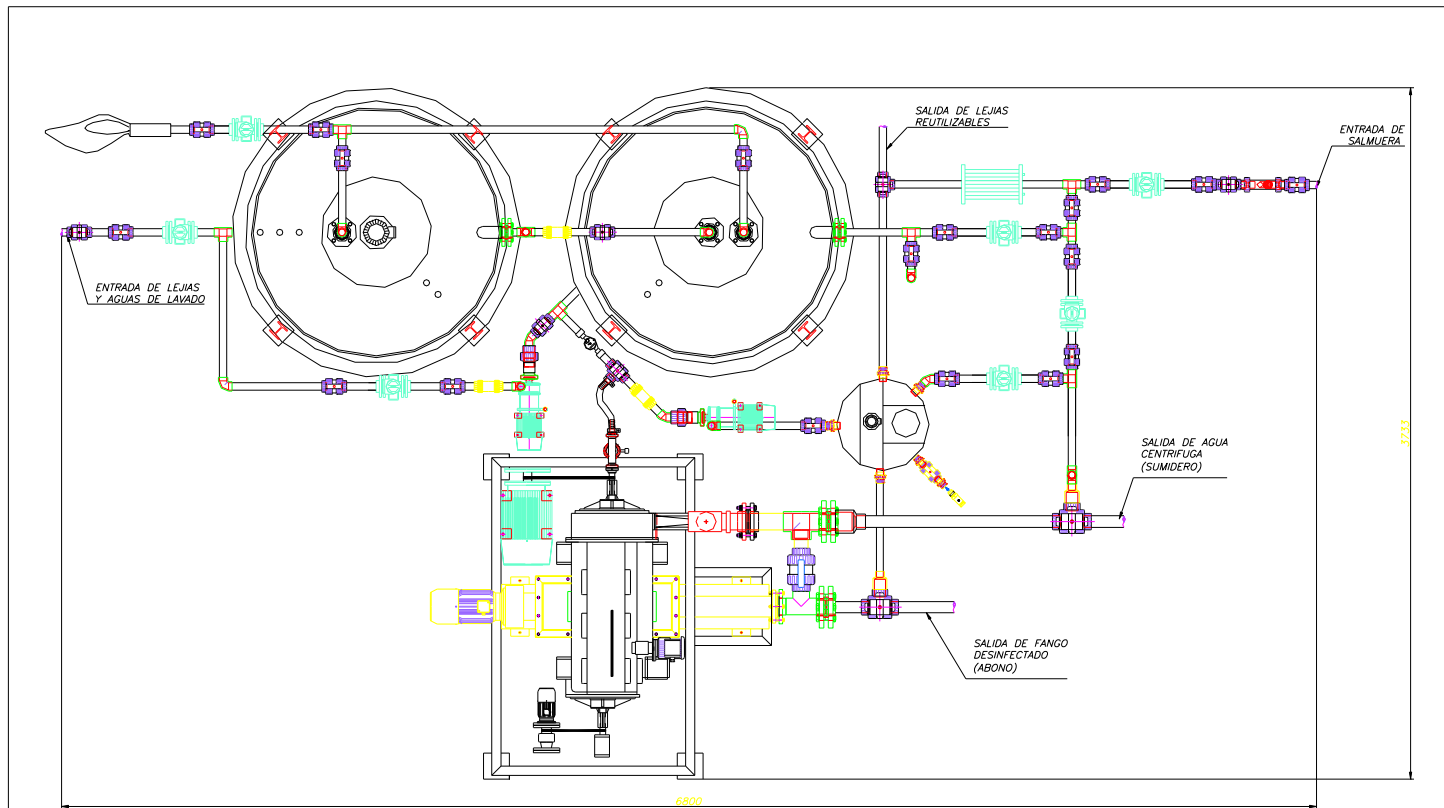
V: Velocidad del fluido (m/s)

# PLANOS: ALZADO



TITULO DEL PROYECTO: PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE INDUSTRIAS ACEITUNERAS			
Dibujado	G.G.L.	E. U. POLITÉCNICA SEVILLA	EL INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL
Fecha	Sep. 2004		Fdo: Geno Garrido Linares
Comprobado			
ESCALA	DESIGNACIÓN		PLANO 1
1 :20	DISPOSICION GENERAL EN ALZADO		HOJA 1 DE 1

# PLANOS: PLANTA



TITULO DEL PROYECTO: PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE INDUSTRIAS ACEITUNERAS			
Dibujado	G.G.L.	E. U. POLITÉCNICA SEVILLA	EL INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL Fdo: Gema Garrido Linares
Fecha	Sep. 2004		
Comprobado			
ESCALA	DESIGNACIÓN	PLANO 2	
1 :20	DISPOSICION GENERAL EN PLANTA	HOJA 1 DE 1	

# PRESUPUESTO

**EQUIPOS** \_\_\_\_\_ **10.726,61 €**

**TUBERÍAS** \_\_\_\_\_ **324,03 €**

**VÁLVULAS** \_\_\_\_\_ **783,64 €**

**BOMBAS** \_\_\_\_\_ **2.303,12 €**

**INSTRUMENTACIÓN** \_\_\_\_\_ **5.844,97 €**

---

**SUMA** **19.982,37 €**

16 % IVA

**TOTAL** **23.179,55 €**