

# **ANEXO I**

## **Teoría de toberas**

## **TOBERAS:**

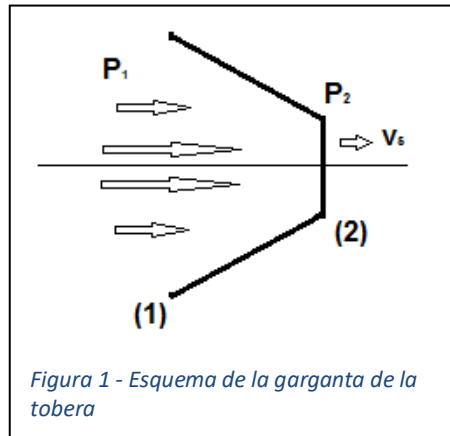
- Determinación de parámetros del punto crítico (sección crítica)
- Numero de Mach
- Relación de expansión
- Diseño de toberas

Derrame adiabático en la sección mínima:

$$v_e = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

Velocidad del sonido en un gas:

$$v_s = \sqrt{\gamma nRT_c}$$



El límite en el estrechamiento (garganta de la tobera):

$$v_s = v_e$$

$$\sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} = \sqrt{\gamma nRT_c}$$

$$\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = \gamma nRT_c$$

$$T_c = \frac{2}{\gamma-1} T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (\text{Temperatura Crítica})$$

$$(1) \frac{2}{\gamma-1} \frac{T_1}{T_c} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = 1$$

La sección mínima se denomina sección crítica ( $S_c$ ). (Corresponde con el punto (2)).

Según la ecuación de estado:

$$\boxed{P \cdot V = nRT}$$
$$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} \quad ; \quad V_c = \frac{nRT_c}{P_c}$$

En el punto (2) tenemos;

$$P_2 = P_c \quad ; \quad V_2 = V_c \quad ; \quad T_2 = T_c$$

Como el derrame es adiabático.

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma = P_c \cdot V_c^\gamma$$

Sustituyendo en (1) queda:

$$(2) \quad \boxed{\frac{2}{\gamma-1} \frac{T_1}{T_c} \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = 1}$$

Considerando lo anterior:

$$P_c \cdot \left( \frac{nRT_c}{P_c} \right)^\gamma = P_1 \cdot \left( \frac{nRT_1}{P_1} \right)^\gamma$$

$$\frac{P_c}{P_1} = \frac{\left( \frac{nRT_1}{P_1} \right)^\gamma}{\left( \frac{nRT_c}{P_c} \right)^\gamma}$$

$$\left( \frac{P_c}{P_1} \right)^{1/\gamma} = \frac{P_c \cdot T_1}{P_1 \cdot T_c}$$

$$\frac{T_1}{T_c} = \left( \frac{P_1}{P_c} \right)^{\gamma-1/\gamma}$$

Sustituyendo en (2):

$$\frac{2}{\gamma-1} \left( \frac{P_1}{P_c} \right)^{\gamma-1/\gamma} \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = 1$$

Operando:

$$\frac{2}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{P_1}{P_c} \right)^{\gamma-1/\gamma} - \left( \frac{P_1}{P_c} \cdot \frac{P_c}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = 1$$

Considerando que  $1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1$  tenemos:

$$\frac{2}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{P_1}{P_c} \right)^{\gamma-1/\gamma} - 1 \right] = 1$$

Operando y simplificando se queda la Razón de Laval:

$$\boxed{\frac{P_c}{P_1} = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}$$

$$P_c = P_1 \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \text{Presión crítica en la garganta de la tobera.}$$

Para valora de  $\gamma = 1,2$

$$\left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 0,56$$

Para valora de  $\gamma = 1,4$

$$\left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 0,52$$

Para valora de  $\gamma = 1,13$

$$\left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 0,57$$

Volumen y temperatura en la sección crítica:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_c \cdot V_c^\gamma$$

$$V_c^\gamma = V_1^\gamma \cdot \frac{P_1}{P_c} \quad \rightarrow \quad V_c = V_1 \cdot \left( \frac{P_1}{P_c} \right)^{1/\gamma}$$

Considerando:

$$P_c = P_1 \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$V_c = V_1 \cdot \left( \frac{P_1}{P_1 \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}} \right)^{1/\gamma} \quad ; \quad V_c = V_1 \cdot \left( \frac{1}{\left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}} \right)^{1/\gamma}$$

$$V_c = V_1 \cdot \left( \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \right)^{1/\gamma}$$

$$V_c = V_1 \cdot \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{1/\gamma - 1}$$

Para valora de  $\gamma = 1,2$

$$\left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{1/\gamma - 1} = 1,61$$

Para valora de  $\gamma = 1,4$

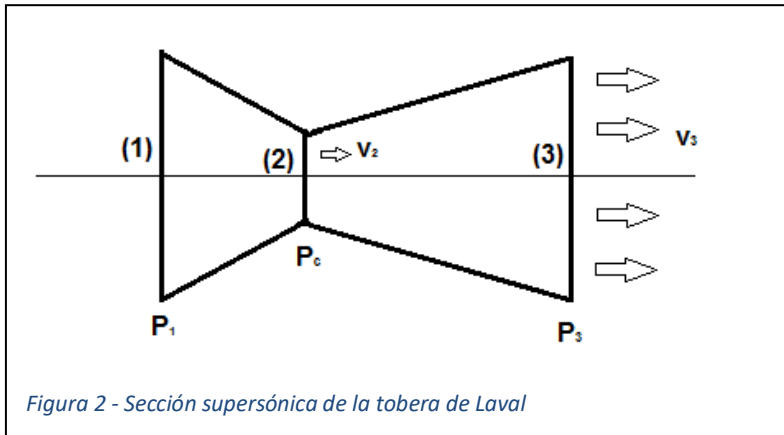
$$\left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{1/\gamma - 1} = 1,57$$

Determinación de la temperatura crítica:

$$T_c = \frac{P_c \cdot V_c}{nR}$$

## Sección supersónica. Tobera de Laval.

Hasta la sección crítica, la velocidad es subsónica. A partir del estrechamiento, sección crítica, la velocidad es supersónica y tiende a aumentar.



### Sección supersónica

Atendiendo a la ley de la continuidad:

$$S_2 \cdot v_2 \cdot \delta_2 = S_3 \cdot v_3 \cdot \delta_3$$

Relacionando las secciones calcularemos el número de Mach y relación de expansión.

$$\frac{S_2}{S_3} = \frac{v_3 \cdot \delta_3}{v_2 \cdot \delta_2}$$

Atendiendo a la velocidad de derrame adiabática tenemos:

$$v_3 = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (\text{Velocidad a la salida de la tobera})$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (\text{Velocidad del sonido, sección crítica})$$

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}}{\sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} nRT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}}$$

Teniendo en cuenta:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Resulta:

$$\frac{v_3}{v_2} = \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]} = M \quad \rightarrow \quad \text{Número de Mach}$$

Relación temperatura, presión, densidad:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma \quad ; \quad P_1 = \frac{nRT}{V_1}$$

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma - 1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma - 1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_2^{\gamma - 1}}{V_1^{\gamma - 1}} \quad ; \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{\left( \frac{1}{\delta_2} \right)^{\gamma - 1}}{\left( \frac{1}{\delta_1} \right)^{\gamma - 1}} \quad ; \quad \boxed{\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{\delta_1}{\delta_2} \right)^{\gamma - 1}}$$

Nota:

$$m = V \cdot \delta$$

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \text{para} \quad m = 1 \quad \rightarrow \quad V = \frac{1}{\delta}$$

$$P_1 \cdot \left( \frac{nRT_1}{P_1} \right)^\gamma = P_2 \cdot \left( \frac{nRT_2}{P_2} \right)^\gamma$$

$$\frac{\frac{1}{P_1}^\gamma \cdot T_1}{P_1} = \frac{\frac{1}{P_2}^\gamma \cdot T_2}{P_2}$$

$$\boxed{\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}}$$

Por lo que tenemos:

Entre el punto (1) y el punto (2) del conducto:

$$\delta_2 = \delta_1 \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$



Entre el punto (1) y el punto (3) del conducto:

$$\delta_3 = \delta_1 \cdot \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

La relación de densidades:

$$\frac{\delta_3}{\delta_2} = \frac{\delta_1 \cdot \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}{\delta_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}} = \frac{\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}$$

Como hemos visto anteriormente:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Nos queda la relación de densidades:

$$\frac{\delta_3}{\delta_2} = \frac{\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}{\left(\frac{P_1 \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}}} = \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}$$

Calculamos la relación de expansión:

$$R_{ex} = \frac{S_{final}}{S_{critica}}$$

$$R_{ex} = \frac{S_3}{S_2} = \frac{v_2 \cdot \delta_2}{v_3 \cdot \delta_3} = \frac{1}{\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right]}}$$

$$R_{ex} = \frac{1}{\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right]}}$$

La relación entre el número de Mach (M) y la relación de presiones entre cámara de combustión y el punto de derrame ( $\Delta P$ )

Siendo M:

$$M = \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

$P_3 \rightarrow$  Presión atmosférica

$P_1 \rightarrow$  Presión de cámara

$$\Delta P = \frac{P_3}{P_1}$$

$$M^2 = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - (\Delta P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

$$M^2 \cdot \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} = \left[ 1 - (\Delta P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

$$\Delta P = \left[ 1 - M^2 \cdot \left( \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

En la sección crítica se cumple que  $M = 1$ , por lo que nos queda la **Razón de Laval**:

$$\left[ 1 - \left( \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Siendo la relación de expansión:

$$R_{ex} = \frac{1}{\left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}}$$

Nos queda:

$$R_{ex} = \frac{1}{M \cdot \left[ \frac{\gamma + 1}{2} - M^2 \cdot \left( \frac{\gamma - 1}{2} \right) \right]^{\frac{1}{\gamma-1}}}$$

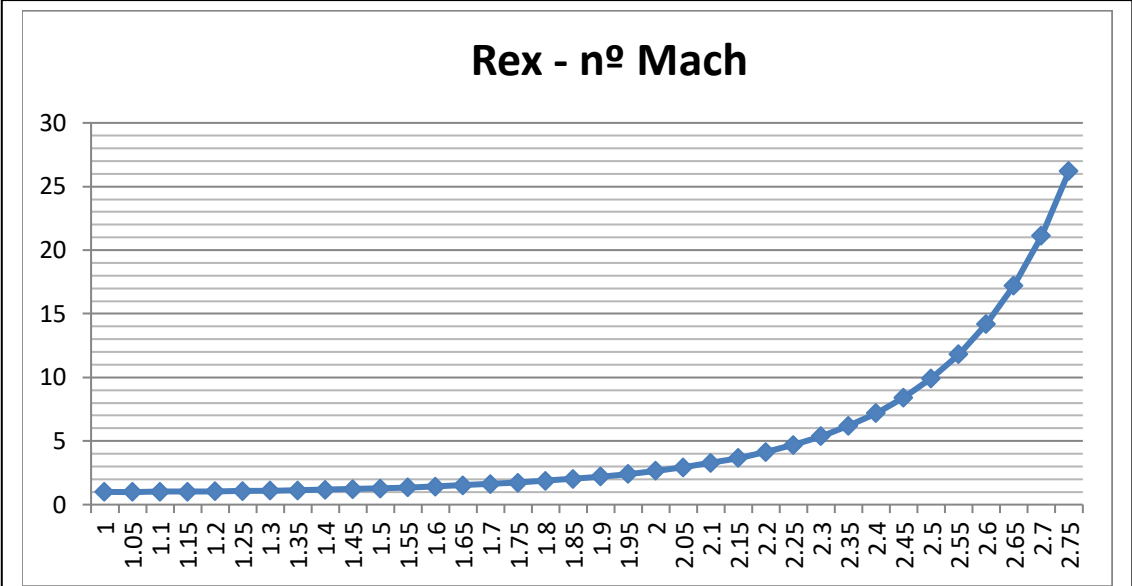


Figura 3 - Gráfica comparativa entre la relación de expansión y número de Mach

**Gráfica Relación de Expansión – número de Mach:**

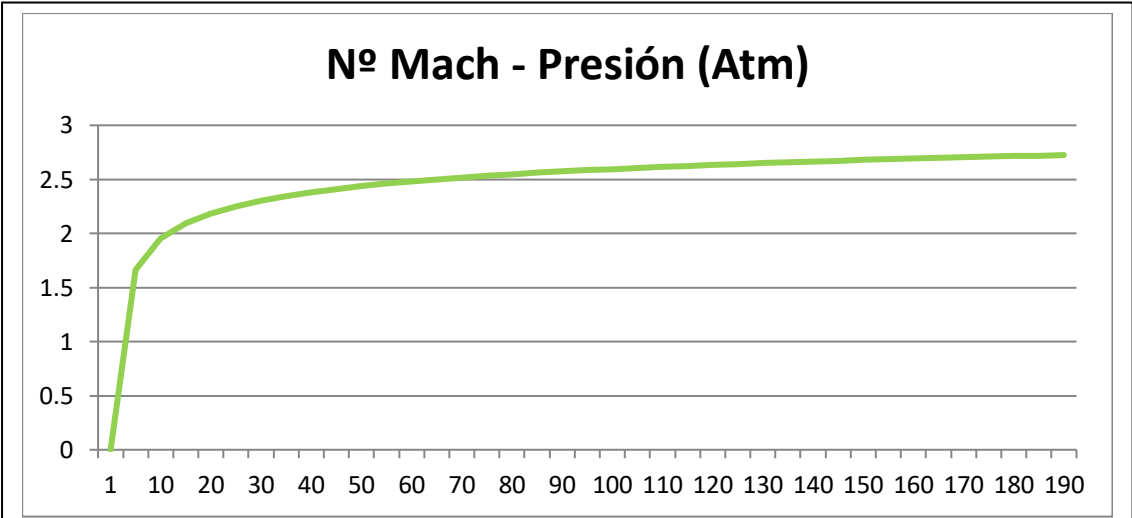


Figura 4 - Gráfica comparativa entre el número de Mach y la presión de motor (Atm)

## **ANEXO II**

### **Características de los productos químicos utilizados**

## Peróxido de hidrógeno

Nombre IUPAC: Dióxido de hidrogeno

Otros nombres: Agua oxigenada, dioxidano

Forma estructural: (Figura 35)

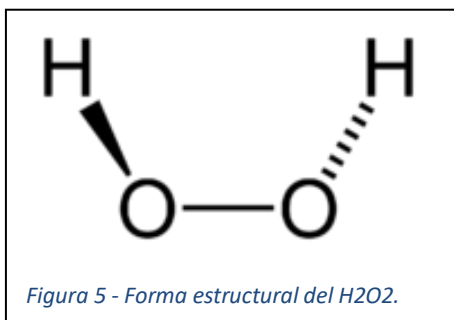


Figura 5 - Forma estructural del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Forma molecular: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

- Propiedades físicas:

Apariencia: incoloro

Densidad: 1.4 g/m<sup>3</sup>

Masa molar: 34.0147 g/mol

Punto de fusión: 272.6 K (-1°C)

Punto de ebullición: 423.35K (150°C)

Viscosidad: 1.245 cP a 20 °C

- Propiedades químicas

Acidez: 11.65 pK

Solubilidad en agua: miscible

- Peligrosidad (Figura 36)

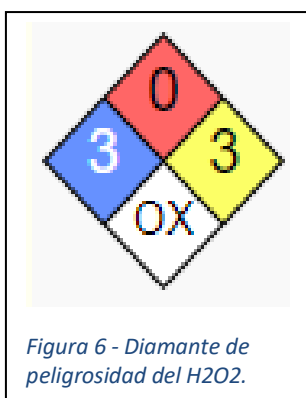


Figura 6 - Diamante de peligrosidad del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Oxidante

Corrosivo

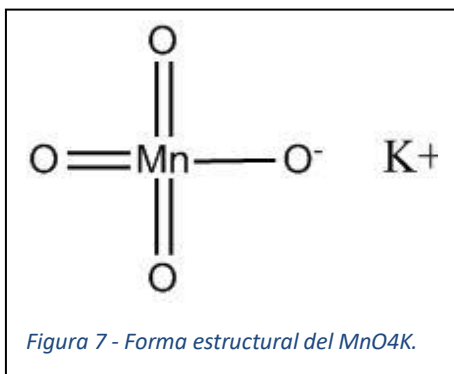
Toxicidad aguda

## Permanganato de potasio

Nombre IUPAC: Manganato (VII) de potasio

Otros nombres: Permanganato de potasio, óxido de manganeso gris, Manganto de potasio (VII)

Forma estructural: (Figura 37)



Forma molecular: MnO<sub>4</sub>K

- Propiedades físicas:

Apariencia: cristalina púrpura

Densidad: 2.7 g/m<sup>3</sup>

Masa molar: 158.0336 g/mol

Punto de fusión: 323 K (50°C)

Punto de ebullición: 513K (240°C)

- Propiedades químicas

Solubilidad en agua: 6.38 g/100 ml a 20 °C

- Peligrosidad (Figura 38)



Oxidante

Ligeramente dañino

## Metanol

Nombre IUPAC: Dióxido de hidrogeno

Otros nombres: Carbinol, Alcohol metílico, Alcohol de madera

Forma estructural: (Figura 39)

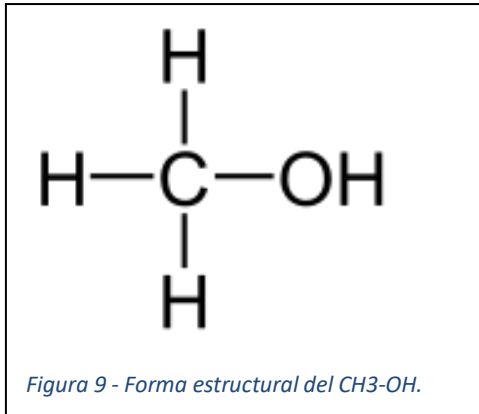


Figura 9 - Forma estructural del CH<sub>3</sub>-OH.

Forma molecular: CH<sub>4</sub>O (formula desarrollada CH<sub>3</sub>-OH)

- Propiedades físicas:

Apariencia: incoloro

Densidad: 0.7918 g/m<sup>3</sup>

Masa molar: 32.4 g/mol

Punto de fusión: 176 K (-97 °C)

Punto de ebullición: 337.8 K (65 °C)

Viscosidad: 0.59 mPa·s a 20 °C

- Propiedades químicas

Acidez: 15.5 pK

Solubilidad en agua: miscible

- Peligrosidad (Figura 40)



Figura 10 - Diamante de peligrosidad del CH<sub>3</sub>-OH.

Inflamable

Peligroso para el cuerpo

Toxicidad aguda

## **ANEXO III**

### **Cálculos**



- Tª alcanzada al final de la descomposición del  $H_2O_2$ .

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta t$$

$$Q_v = 539.4 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

$$Q_{e \text{ vapor}} = 0.48 \frac{\text{Cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{e \text{ H}_2\text{O}} = 1 \frac{\text{Cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$O_2 \rightarrow C_p = 0.237 \frac{\text{Cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q_{H_2O_2} = 98.2 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}}$$

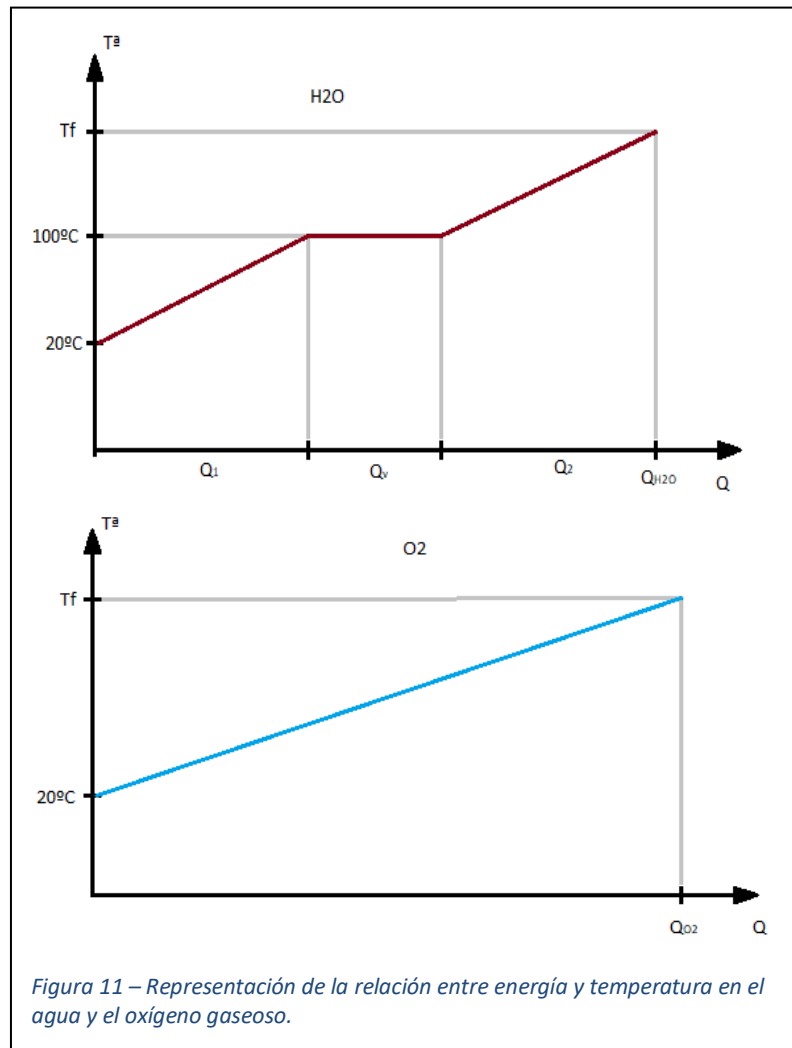
$$P_{m \text{ H}_2\text{O}_2} = 34 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$P_{m \text{ H}_2\text{O}} = 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

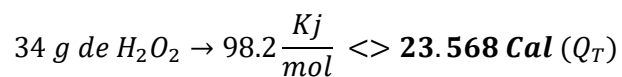
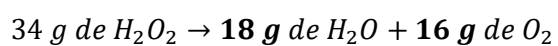
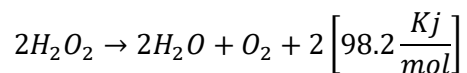
$$P_{m \text{ O}_2} = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$Q_T = Q_{H_2O} + Q_{O_2}$$

(Figura 41)



- Reacción de descomposición del agua oxigenada.



$$Q_T = m_{H_2O} \cdot C_e \cdot \Delta t_{80} + m_{H_2O \text{ vapor}} \cdot C_{V \text{ H}_2O} + m_{H_2O \text{ vapor}} \cdot C_{Vapor} \cdot (Tf - 100) +$$

$$+ m_{O_2} \cdot C_{V \text{ O}_2} \cdot (Tf - 20) = 1440 + 9709.2 + 8.64 Tf - 864 + 1.86Tf - 37.92 =$$

$$= 10247.2 + 10.53 Tf = \mathbf{23.568 \text{ Cal}}$$

$$10.53 Tf = 23.568 - 10247.2 = 13320.8 \text{ Cal} \rightarrow Tf = \frac{13320.8}{10.53} = \mathbf{1265^\circ C} \langle \rangle \mathbf{1538 \text{ K}}$$

- Motor de agua Oxigenada-Metanol.

Datos:

- Peróxido de Hidrógeno 50% → 86%
- Metanol → 14%
- Catalizador: Permanganato Potásico

- T<sup>a</sup> de combustión = 2337 K
- Exponente adiabático  $\gamma = 1.23$
- Peso molecular de la mezcla de gases =  $20 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$

$$H_2O_2 \rightarrow \begin{matrix} \delta = 1.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ P_m = 34 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} H_2O_2 + H_2O \rightarrow 50 \% H_2O_2 \\ \delta_m = 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \end{matrix}$$

$$1 \text{ L} \rightarrow 1.2 \text{ Kg}$$

- Impulso específico = 247.3 s

Trabajando a 70 Atm en los tanques, tendremos en la cámara de Combustión:

T<sup>a</sup> de cámara teórico = 2337 K

T<sup>a</sup> de cámara según el programa de simulación QUIPEP = 2316 K

$P_1$  de cámara = 20 Atm → 2 MPa

$P_2$  al exterior = 1 Atm → 0.1 MPa

$v_s \Rightarrow$  velocidad a la salida de gases

$$v_s = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{R}{P_m} \cdot T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

$$\gamma = 1.2$$

$$P_m = 20 \frac{g}{mol} \rightarrow 20 \cdot 10^{-3} \frac{Kg}{mol} \rightarrow N = 50 \frac{moles}{Kg}$$

$$R = 0.082 \frac{Atm \cdot L}{mol \cdot k} \Rightarrow 8.3 \frac{J}{mol \cdot k}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.2}{1.2 - 1} \cdot \frac{8.3}{20 \cdot 10^{-3}} \cdot 2316 \left[ 1 - \left( \frac{0.1}{2} \right) \frac{1.2 - 1}{1.2} \right]} = \sqrt{12 \cdot \frac{961.14}{10^{-3}} [1 - (0.05)^{0.166}]}$$

$$= 2129 \frac{m}{s}$$

- Consumo en la Cámara.

$$Tf = 10 s \rightarrow 1 L \rightarrow 1.2 Kg$$

$$\delta_c = 1.2 \frac{g}{cm^3}$$

$$Consumo = \frac{Masa Total}{Tf} = \frac{1.2 Kg}{10 s} = 0.12 \frac{Kg}{s}$$

$$F_i = m_c \cdot v_s = 0.12 \frac{Kg}{s} \cdot 2129 \frac{m}{s} = 255.48 N = 26.07 Kp$$

Fuerza de impulsión del motor = 41 Kp <> 401.468 N

$$F_i = m_c \cdot v_s; \quad \text{Para } v_s = 2129 \frac{m}{s} \rightarrow \text{Velocidad de Salida de gases}$$

$m_c = 86\%$  de  $H_2O_2$  +  $14\%$  de metanol

CONSUMOS

$$\left. \begin{array}{l} H_2O_2 = 0.1622 \frac{Kg}{s} \\ CH_3 - OH = 0.0264 \frac{Kg}{s} \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \delta_{H_2O_2} = 1.3 \frac{g}{cm^3} = 0.124 \frac{L}{s} \\ \delta_{CH_3-OH} = 0.8 \frac{g}{cm^3} = 0.033 \frac{L}{s} \Rightarrow 31.375 Gph \end{array}$$

- Volumen de cámara.

$$P_1 \cdot Vol_1 = n \cdot R \cdot T_1$$

$$n^{\circ} \text{ de moles; } n = \frac{m_c}{P_m} = \frac{0.18857 \cdot 10^3 \frac{g}{s}}{20 \frac{g}{mol}} = 9.43 \frac{moles}{s}$$

$$P_m = 20 \frac{g}{mol}$$

$$Vol_1 = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{P_1} = \frac{9.43 \cdot 0.082 \cdot 2316}{20} = 89.45 \frac{L}{s} \langle \rangle 0.0895 \frac{m^3}{s}$$

$$R = 0.082 \frac{Atm \cdot L}{mol \cdot k}$$

$$T_1 \rightarrow T^a \text{ de la cámara} = 2316 \text{ K}$$

$$P_1 \rightarrow 20 \text{ Atm} \rightarrow \text{Presión de cámara}$$

- Velocidad en la garganta de la Tobera

$$v_c = \sqrt{\gamma \cdot N \cdot R \cdot T_c}$$

$$\mathbf{Gasto} = v_c \cdot S_c$$

Todo lo que se genera en la cámara debe de salir por la garganta de la tobera.

$$\text{Presión crítica} \quad P_c = P_1 \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = P_1 \cdot 0.9^6 = P_1 \cdot 0.53$$

$$\text{Volumen crítico} \quad Vol_c = Vol_1 \left( \frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = Vol_1 \cdot 1.11^5 = Vol_1 \cdot 1.69$$

$$P_c = 20 \cdot 0.53 = 10.6 \text{ Atm} \langle \rangle 1.08 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{1.08 \cdot 10^6 \text{ Pascales}}$$

$$Vol_c = 0.0895 \cdot 1.69 = \mathbf{0.15135 \text{ m}^3}$$

- Velocidad crítica

$$v_c = \sqrt{\gamma \cdot N \cdot R \cdot T_c} = \sqrt{1.2 \cdot 50 \cdot 8.3 \cdot 2075.56} = \mathbf{1016 \frac{m}{s}}$$

$$\delta_c = 1.2 \frac{g}{cm^3}$$

$$T_c = \frac{Vol_c \cdot P_c}{n \cdot R} = \frac{10.6 \cdot 151.25}{9.42 \cdot 0.082} = \mathbf{2075.56 \text{ K}}$$

$$N = 50 \frac{moles}{Kg}$$

$$R = 8.3 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$\text{Gasto} = 0.15125 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow \text{Volumen crítico}$$

$$S_c = \frac{\text{Gasto}}{v_c} = \frac{0.15125 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1016 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1.48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \langle \rangle 1.45 \text{ cm}^2$$

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} 1.48 = 1.37 \text{ cm} \langle \rangle 13.7 \text{ mm} \Rightarrow \text{Diámetro de la Tobera}$$

Aplicando la Ecuación:

$$\phi_c^2 = 5.77 \cdot \frac{n}{P_1} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\pi}} = 5.77 \cdot \frac{9.43}{1.96 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{2316}{50}} = 188.93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \Rightarrow \phi_c = 13.74 \text{ mm}$$

$$n = 9.43 \frac{\text{moles}}{\text{s}} \text{ (consumo)}$$

$$T_1 = 2316 \text{ K}$$

- Cálculo de la cámara de combustión.

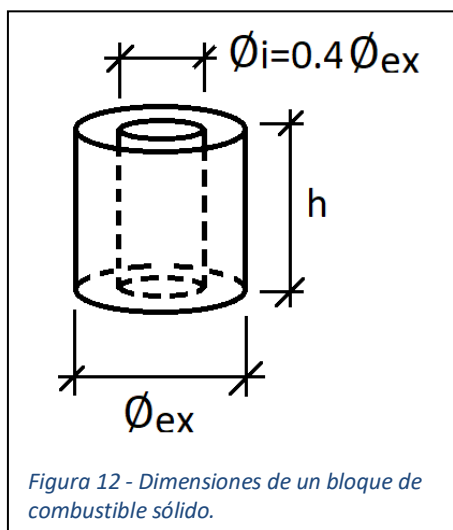
$L^*$  → Longitud característica

Para una cámara de longitud  $L^*$  por comparación con una de combustible sólido como se muestra en la Figura 42.

Donde:

$$h = 1.7 \phi_{ex}$$

$$\phi_i = 0.4 \phi_{ex}$$



Para N bloques de combustible:

$$L^* = N \cdot h \cdot \phi_e$$

$$\text{El volumen de la cámara: } V_1 = L^* \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \phi_i^2$$

$\phi_c$  → diámetro de la garganta de Tobera

$$\begin{cases} N \rightarrow 5 \text{ bloques} \\ \phi_{ex} = 5 \phi_c \end{cases}$$

Consideramos:

$fe = 1.3 \rightarrow$  coeficiente de empaquetamiento bloque

$L^* = 5 \cdot 1.7 \cdot 1.3 \cdot \phi_{ex} \rightarrow$  Longitud característica

$$\begin{aligned} Vol_1 = L_1 \cdot S_1 \rightarrow L_1 &= \frac{Vol_1}{S_1} = \frac{5 \cdot 1.7 \cdot 1.3 \cdot \phi_{ex} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \phi_i^2}{\frac{\pi}{4} \phi_{ex}^2} = \frac{5 \cdot 1.7 \cdot 1.3 \cdot \phi_i^2}{\phi_{ex}} = \frac{11.05 \cdot \phi_i^2}{\phi_{ex}} \\ &= \frac{11.05 \cdot (0.4 \cdot \phi_i)}{\phi_{ex}} = 11.05 \cdot 0.16 \cdot \phi_{ex} \rightarrow L_1 = 1.768 \cdot \phi_{ex} \Rightarrow L_1 \approx 2 \cdot \phi_{ex} \end{aligned}$$

Para conseguir una buena combustión lo más completa posible:

- Dimensiones de cámara (Figura 43)

$$\phi_{ca} = 5\phi_c$$

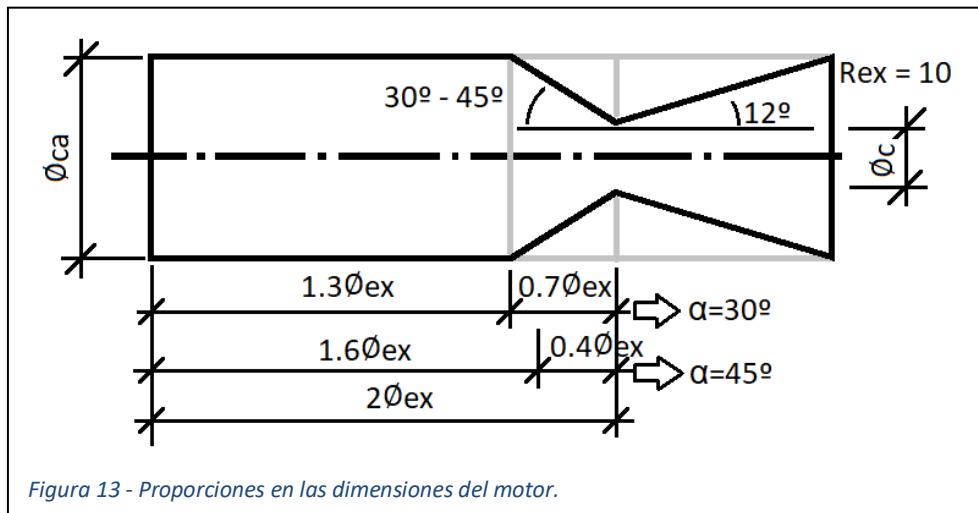


Figura 13 - Proporciones en las dimensiones del motor.

$$\begin{aligned} L_{ca} &= \\ &2 \cdot \\ &\phi_{ca} (\phi_{ex}) \end{aligned}$$

Entonces:

$$\phi_c = 14.5 \text{ mm}$$

$$\phi_{ca} = 5 \cdot 14.5 = 72.5 \text{ mm}$$

$$L_{ca} = 2 \cdot \phi_{ca} = 155 \text{ mm}$$

$$\gamma = 1.2$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$\phi_{ca} \approx 5 \phi_c$  [oscila entre 3 y 5 la proporción]

Valores asignados a  $\phi_{ca}$

$\phi_{ca} = 70 \text{ mm}$  por construcción

$\phi_c = 14.5 \text{ mm} \rightarrow \phi_{ca} = 5 \cdot 14.5 = 72.5 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$

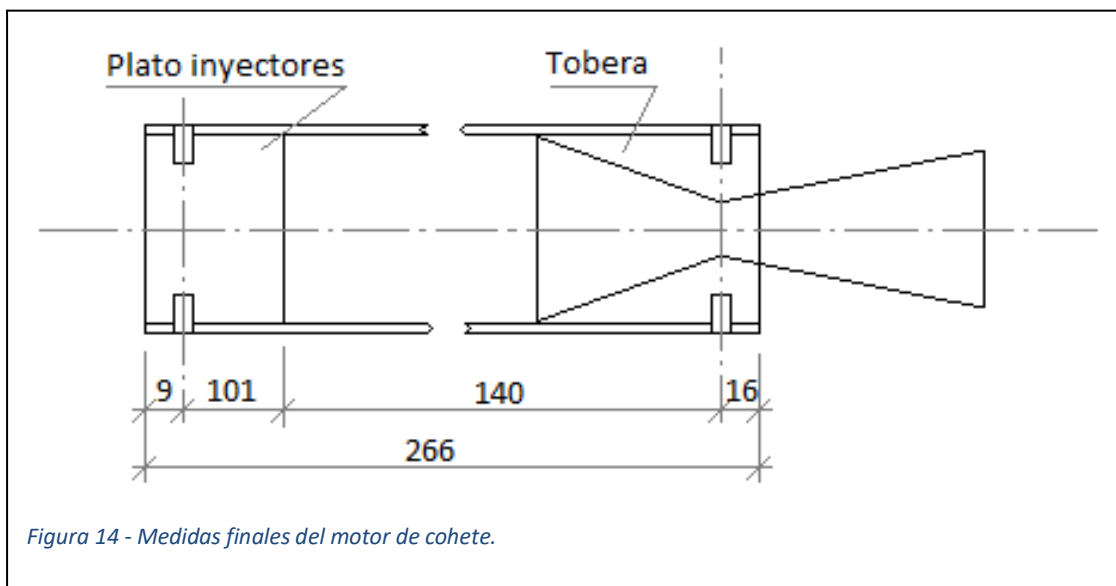
Tubo empleado  $\rightarrow \phi_i = 70 \text{ mm} \rightarrow e = 3 \text{ mm}$

Material: Acero  $F_i = 165 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2}$

Longitud de la cámara

$L_c = 2 \cdot \phi_{ca} = 2 \cdot 70 = 140 \text{ mm}$

Dimensiones del cuerpo del motor (Figura 44)



Especificaciones y espesor de la pared de la cámara de combustión

Material: acero

$F_i = 165 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2}$

$E = 3 \text{ mm}$

Tubo sin costura

$$e = \frac{P_{M\acute{a}x} \phi_i S_d}{2 F_i}$$

$$\phi_i = \text{diametro interior} = 70 \text{ mm}$$

$$\phi_e = \text{diametro exterior} = 76 \text{ mm}$$

$$P_1 = \frac{P_{M\acute{a}x}}{2} \rightarrow \text{Presi3n de trabajo} \quad S_d = \text{coeficiente de seguridad} = 1.8$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{e \cdot 2 F_i}{\phi_e S_d} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 165}{76 \cdot 1.8} = 7.237 \text{ MPa} <> 73.66 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{P_{M\acute{a}x}}{2} = \frac{7.237}{2} = 3.61 \text{ MPa} <> 36.83 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ MPa} <> 10.2 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Presi3n de trabajo del motor: } P_T = 20 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

- Tornillería de sujeci3n

$$5 \text{ Tornillos } (N_T = 5): \text{ coeficiente de carga del acero } F_r = 8 \frac{\text{Kp}}{\text{mm}^2}$$

- Fuerza sobre la tapa [en caso de rotura, los tornillos deben ceder antes que el tubo]

$$P_{TM\acute{a}x} = P_1 \cdot 1.5 = 36.8 \cdot 1.50 = 55.24 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$$S_{Tapa} = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi \cdot 7^2}{4} = 38.48 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Superficie de tapa}$$

$$\text{Fuerza sobre la tapa } F_T = P_{TM\acute{a}x} \cdot S_T = 55.24 \cdot 38.48 = 2125.82 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{T1} = \frac{F_T}{N_T} = \frac{2125.82}{5} = 425.164 \text{ Kp} <> 4166.6 \text{ N}$$

$$S_{Tor} = \frac{F_{T1}}{F_r} = \frac{425.164}{8} = 53.15 \text{ mm}^2$$

$$F_{T1} = S_{Tor} \cdot F_r \quad \phi_{Tor} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{Tor}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 53.15}{\pi}} = 8.23 \text{ mm}$$

$$\phi_{NTornillo} = \phi_{Tor} + 1 = 8.23 + 1 = 9.23 \rightarrow [M - 10] \text{ (tornillos de m3trica 10)}$$

5 tornillos de m3trica 10 dispuestos cada 72°.



- Cálculos de esfuerzos

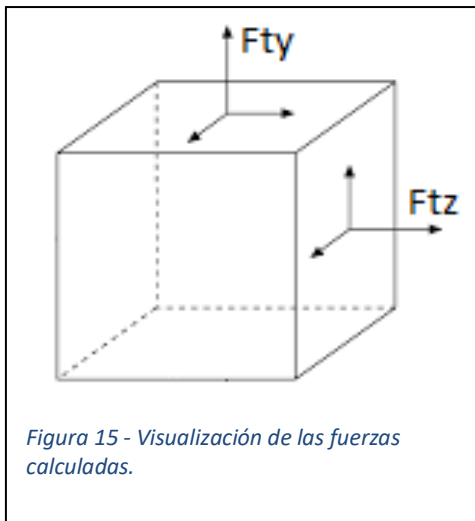
Presión de una tubería

$$P = \frac{2 \cdot e \cdot F_{Ty}}{D \cdot 1.8} \text{ (MPa)} \rightarrow P = \frac{2 \cdot e \cdot F_{Ty}}{D \cdot 1.8} \text{ (Kp/cm}^2\text{)}$$

$$F_{Ty} = 165 \cdot 10^{-6} \text{ MPa} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \rightarrow F_{Ty} = 1650 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

$e \rightarrow$  Espesor (mm)

$\Phi_e \rightarrow$  Diámetro exterior (mm)



$F_{Ty} \rightarrow$  coeficiente de tracción.

$$F_{Ty} \rightarrow \begin{cases} \text{Acero} & -1700 \text{ Kp/cm}^2 & -165 \text{ MPa} \\ \text{Aluminio} & -1120 \text{ Kp/cm}^2 & -110 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$F_{Tz} = F_{Ty} \cdot 0.8$$

$F_{Tz} \rightarrow$  coeficiente de cizalladura.

$$F_{Tz} \rightarrow \begin{cases} \text{Acero} & -1360 \text{ Kp/cm}^2 & -132 \text{ MPa} \\ \text{Aluminio} & -896 \text{ Kp/cm}^2 & -88 \text{ MPa} \end{cases}$$

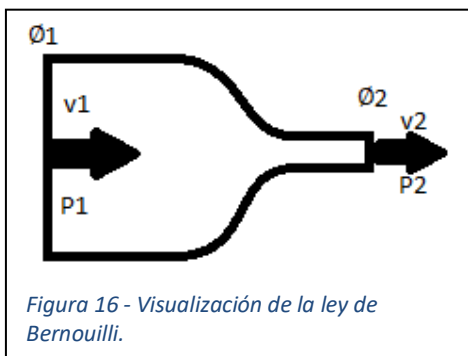
$$F_z = F_{Tz} \cdot S \rightarrow \text{fuerza de cizalladura}$$

(Figura 45)

$$F_y = F_{Ty} \cdot S \rightarrow \text{fuerza de tracción} \quad (\text{Figura 45})$$

- Placa de inyectores

- Velocidad de salida por el difusor



$$\begin{cases} Vol1 = Vol2 \\ h1 = h2 \end{cases}$$

$$S = \frac{m}{Vol}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{\delta} (P_1 - P_2)}$$

- Ecuación de Bernoulli (Figura 46)

$$E_1 = E_2$$

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2_1 + P_1 \cdot Vol_1 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2_2 + P_2 \cdot Vol_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_1 + P_1 \cdot Vol_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_2 + P_2 \cdot Vol_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_1 \cdot \delta + P_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_2 \cdot \delta + P_2$$

La velocidad en el punto 2. Como  $\phi_1 \gg \phi_2$ , entonces  $G = v \cdot S$  el termino

$$\frac{1}{2} \cdot v^2_1 \cdot \delta \approx 0 \rightarrow v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = cte$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_1 \cdot \delta + P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_2 \cdot \delta$$

$$v^2_2 = \frac{2}{\delta} (P_1 - P_2) \rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2}{\delta} (P_1 - P_2)}$$

- Área de descarga de un inyector.

Partiendo de la masa a inyectar "m", el volumen será  $Vol = \frac{m}{\delta}$ ;  $Vol = v \cdot A$

$$v \rightarrow \text{velocidad de inyección} \quad v = \sqrt{\frac{2}{\delta} \cdot \Delta P}$$

$A \rightarrow$  area del inyector

$$Vol = v \cdot A = \sqrt{\frac{2}{\delta} \cdot \Delta P} \cdot A \rightarrow \sqrt{\frac{2}{\delta} \cdot \Delta P} \cdot A = \frac{m}{\delta} \rightarrow A = \frac{m}{\delta} \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{\delta} \cdot \Delta P}} \rightarrow$$

Área Teórica:

$$A = \frac{m}{\sqrt{2 \cdot \delta \cdot \Delta P}}$$

Área Real:

$$A = \frac{m}{Cd \sqrt{2 \cdot \delta \cdot \Delta P}}$$

$Cd \rightarrow$  Coeficiente de descarga  $\approx 0.7$

- Motor de 40Kp

- Comburente

Oxidante  $H_2O_2 \rightarrow 0.1622 \frac{Kg}{seg}$

$$\delta_{H_2O_2} \rightarrow 1.22 \frac{g}{cm^3} \rightarrow Vol = \frac{m_{H_2O_2}}{\delta_{H_2O_2}} = \frac{0.1622}{1.22} = 132.9 \frac{cm^3}{seg}$$

$$Vol = 132.9 \frac{cm^3}{seg} \langle \rangle 0.1329 \frac{L}{seg} \rightarrow 478.44 \frac{L}{h}$$

- Área de descarga

$$A = \frac{m_{O_2}}{Cd \sqrt{2 \cdot \delta \cdot \Delta P}}$$

$$Cd = 0.7$$

$$\Delta P = \frac{7Kp}{cm^2} \langle \rangle 686700 \text{ Pascales}$$

$$\delta_c = 1.2 \frac{g}{cm^3} \langle \rangle 1200 \frac{Kg}{m^3}$$

$$A = \frac{0.1622 \frac{Kg}{seg}}{0.7 \sqrt{2 \cdot 1200 \cdot 686700}} = 5.7 \cdot 10^{-6} m^2 \langle \rangle 5.7 \text{ mm}^2$$

- Orificios de inyección  $\phi_i$

Considero 12 orificios rodeando al central (N = 12)

$$\phi_i = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi \cdot N}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.7}{\pi \cdot 12}} = 0.77 \text{ mm}$$

12 orificios de 0.77 mm  $\approx$  0.8 mm  $\rightarrow$  0.75 mm

Para una presión de 7 atm

Combustible

$CH_3 - OH \rightarrow 90\%$

Metanol

$$\delta_c = 0.8 \frac{g}{cm^3} \rightarrow 800 \frac{Kg}{m^3}$$

Líquido  $\rightarrow 14\%$

$$0.0264 \frac{Kg}{seg} \rightarrow consumo \rightarrow 95.04 \frac{Kg}{h}$$

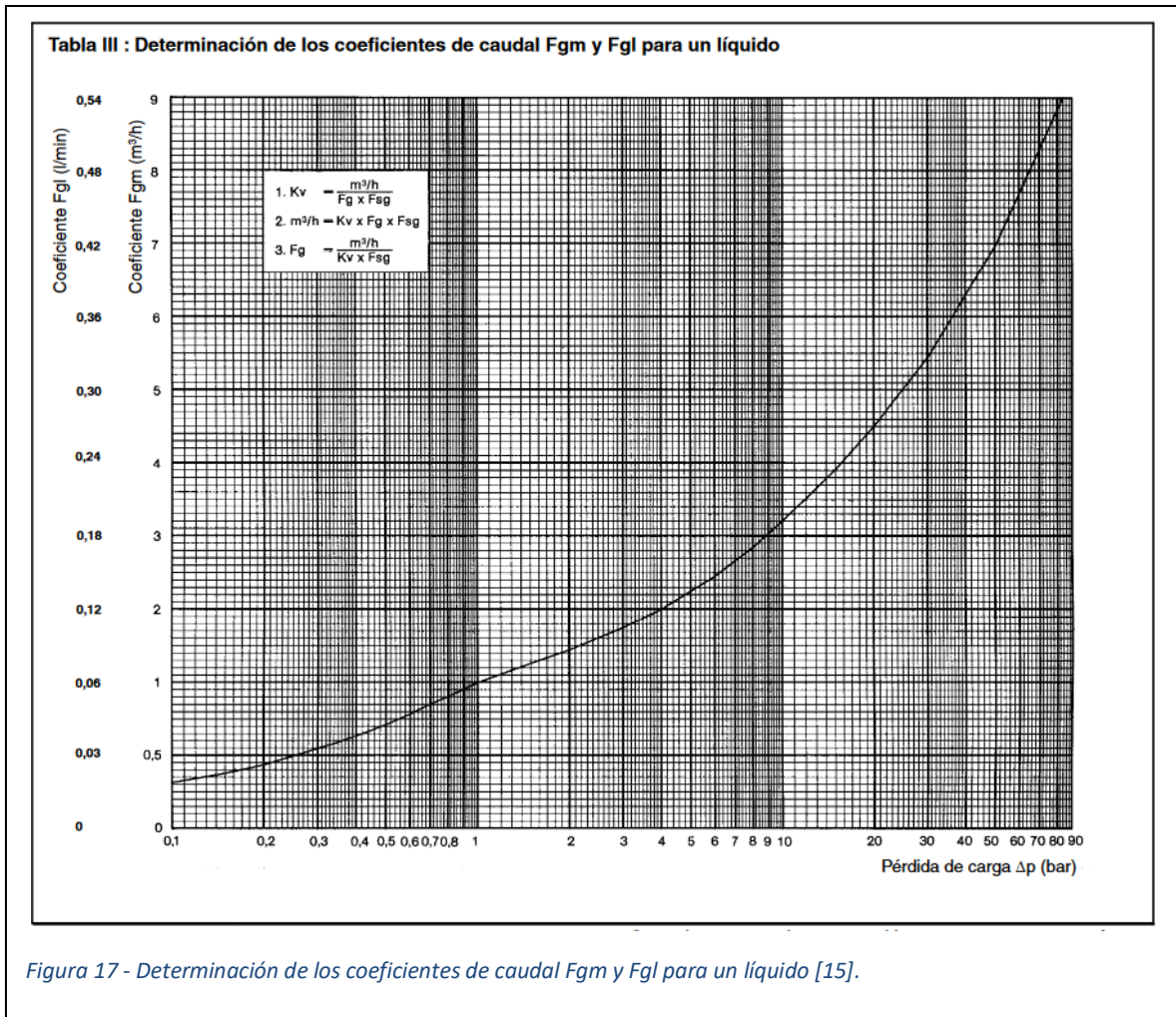
$$v = \frac{m}{\delta} = \frac{95.04}{800} = 0.1188 \frac{m^3}{h} \rightarrow 118.8 \frac{L}{h}$$

1 Galón  $\langle \rangle$  3.78636 Litros

$$118.8 \frac{L}{h} \langle \rangle 31.375 Gph$$

Se elige una boquilla de quemador marca Danfoss con un caudal de 31.5 Gph (unos 120 litros por hora) con un ángulo de trabajo de 45° semisólido a 7 Atm para la difusión de nuestro combustible. Para el oxidante, se emplean doce boquillas de 0.72 Gph de la misma marca (unos 2.73 litros por hora).

- Tuberías y canalizaciones



- Consumos

$$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 0.124 \frac{\text{L}}{\text{s}} \langle \rangle 0.124 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \langle \rangle 0.4464 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{CH}_3 - \text{OH} \rightarrow 0.033 \frac{\text{L}}{\text{s}} \langle \rangle 0.033 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \langle \rangle 0.1188 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Cálculo del coeficiente de caudal (Kv)

$$\text{Para H}_2\text{O}_2 \rightarrow 0.4464 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para líquidos, Figuras 47 y 49

$$Kv \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{Fgm * Fsg} = \frac{0.4464}{0.3 * 1} = 1.488 \approx 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ø paso aprox. (mm)	Kv aprox.		Ø paso aprox. (mm)	Kv aprox.	
	(m³/h)	(l/min)		(m³/h)	(l/min)
0,8	0,02	0,33	13	3	50,0
1,2	0,05	0,83	16	4	66,7
1,6	0,08	1,33	18	4,5	75,0
2,4	0,17	2,83	19	6,5	108
3,2	0,26	4,33	25	11	183
3,6	0,31	5,17	32	15	250
4,8	0,45	7,50	38	22	366
6,4	0,60	10,0	51	41	683
8	1,5	25,0	64	51	850
9	1,7	28,3	76	86	1433
			80	99	1650
			100	150	2500
			125	264	4400
			150	383	6375

Figura 18 - Kv según el diámetro de paso de la tubería [15].

Fsg y Fgm → Figura 47

$$\delta = 1 \frac{g}{cm^3} \ll 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Considerando una pérdida de carga de  $\Delta P = 0.5$  bar

Fgm = 0.35 →  $\Delta P = 0.1$  bar

(Figura 47)

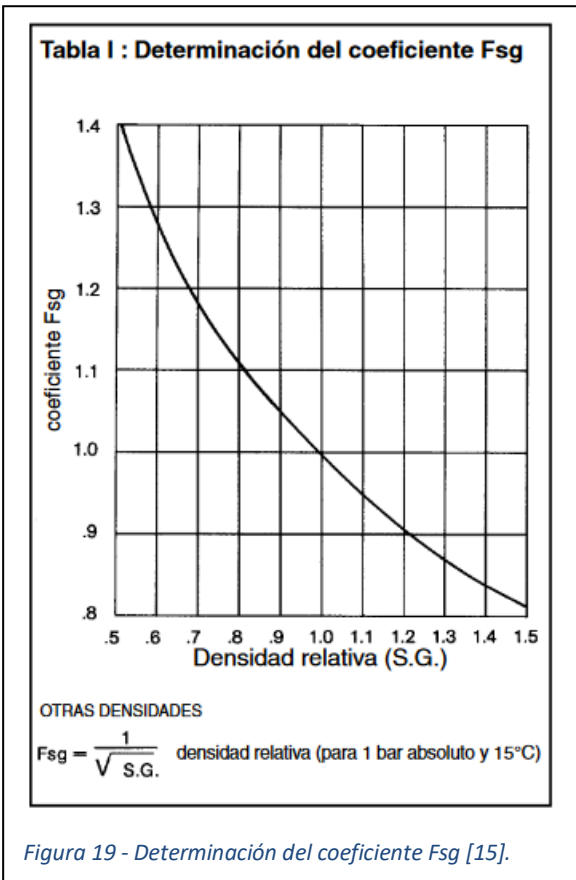
Fsg = 1 (Figura 49)

Según Figura 48

Para Kv = 1.5 → Ø de paso = 8 mm

Corresponde con un tubo de 3/8" = 9.525 mm

- Tuberías de descarga de depósitos.



- Consumo

$$H_2O_2 \rightarrow 0.4464 \frac{m^3}{h}$$

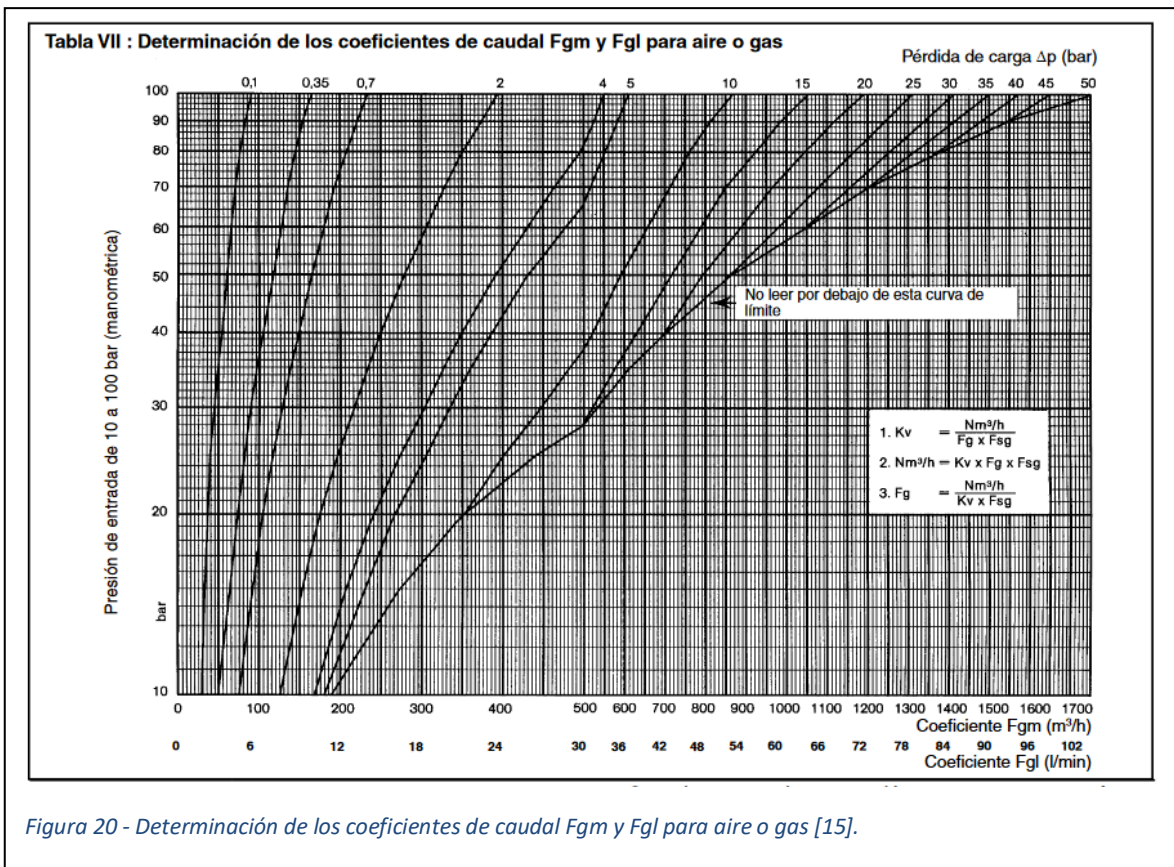
$$CH_3 - OH \rightarrow 0.1188 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Consumo Total} \rightarrow 0.4464 \frac{m^3}{h} + 0.1188$$

$$\frac{m^3}{h} = 0.5652 \frac{m^3}{h}$$

Para llenar los depósitos con Nitrógeno a 40 bar.

$$N \frac{m^3}{h} = Q' * \frac{P_2}{P_N} = 0.5652 \frac{m^3}{h} * \frac{40}{1} = 22.608 \frac{m^3}{h} \approx 23 \frac{m^3}{h}$$



- Cálculo del coeficiente de caudal (Kv)

Figuras 47 y 48

$$Kv \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{Q \left( N \frac{m^3}{h} \right)}{Fgm * Fsg} = \frac{23 \frac{m^3}{h}}{50 * 1} = 0.46 \frac{m^3}{h}$$

Perdida de carga  $\Delta P = 0.1$  bar

Fgm = 50 (Figura 49); Fsg = 1 (Figura 48)

- Según Figura 50

$$Kv = 0.46 \frac{m^3}{h} \rightarrow \text{Inferior a } 0.6 \frac{m^3}{h}$$

Ø de paso = 6.4 mm

Corresponde con un tubo de 1/4" = 6.4 mm

- Cálculo de pérdidas de carga

Perdida de carga por fricción en tubería utilizando la fórmula de Hazen-William. Simplificada para sección circular.

$$h_L = \frac{10.665 * Q^{1.85}}{C_{HW}^{1.852}} * \frac{L}{D^{4.8705}}$$

Perdida lineal

$h_L$  = Perdida de carga lineal (m.c.a)

$C_{HW}$  = Coeficiente de Hazen-William (120)

L = longitud del tramo (m)

D = diámetro conducto (m)

Q = Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

Para un caudal de  $Q = 0.4464 \frac{m^3}{h} \llcorner 1.24 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

L = 1 m

- Para  $\varnothing = \frac{1}{4}" \llcorner 6.4 \text{ mm} \llcorner 6.4 * 10^{-3} \text{ m}$

$$h_L = \frac{10.665 * (1.24 * 10^{-4})^{1.85}}{120^{1.852}} * \frac{1}{(6.4 * 10^{-3})^{4.8705}} =$$

$$= \frac{6.321 * 10^{-7}}{7089.958} * \frac{1}{2.0653 * 10^{-11}} = \frac{6.321 * 10^{-7}}{1.464 * 10^{-7}} = 4.3 \frac{m.c.a}{m} = 0.431 \text{ bar/m}$$

Inferior a 0.5 bar/m

- Velocidad del fluido



$$S = \frac{\pi \emptyset^2}{4} = 32.17 \text{ mm}^2 = 32.17 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$Q = 1.24 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = v * S \rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{1.24 * 10^{-4}}{32.17 * 10^{-6}} = \frac{124}{32.17} = 3.854 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Perdidas de carga en accesorios

Coeficiente k

Válvula de retención (abierta)      k=2

Válvula de compuerta (abierta)      k=0.2

T salida lateral      k=1.8

Codo a 90°      k=0.75

Codo a 45°      k=0.4

$$h_L = k \frac{v^{1.85}}{2g} (m. c. a) \rightarrow$$

$$h_L = 2 \frac{3.854^{1.85}}{2 * 9.8} = 1.238 (m. c. a)$$

$$h_L = 0.2 \frac{3.854^{1.85}}{2 * 9.8} = 0.124 (m. c. a)$$

$$h_L = 1.8 \frac{3.854^{1.85}}{2 * 9.8} = 1.114 (m. c. a)$$

$$h_L = 0.75 \frac{3.854^{1.85}}{2 * 9.8} = 0.464 (m. c. a)$$

$$h_L = 0.4 \frac{3.854^{1.85}}{2 * 9.8} = 0.248 (m. c. a)$$

- Válvulas – caudales

- Consumos

$$H_2O_2 \rightarrow 0.124 \frac{L}{s}$$

$$CH_3 - OH \rightarrow 0.033 \frac{L}{s}$$

$$V_{TOTAL} = V_{H_2O_2} + V_{CH_3-OH} = 0.124 \frac{L}{s} + 0.033 \frac{L}{s} = 0.157 \frac{L}{s}$$

Caudal de N2 necesario para poder compensar la salida de combustibles de los depósitos.

El N2 a 30 Atm debe reponer al vacío en los depósitos producido por la salida de combustibles. El regulador y la válvula correspondiente debe suministrar un caudal de N2 a 30 Atm de  $0.157 \frac{L}{s}$ , que son alrededor de  $10 \frac{L}{min}$ .

$$0.157 \frac{m^3}{s} = 1.57 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0.5652 \frac{m^3}{h} (a 30 atm) = 18 \frac{Nm^3}{h} (a 1 Atm)$$

Coeficiente de caudal Kv para el nitrógeno que deben satisfacer las válvulas que lo controlen.

$$0.157 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} \rightarrow 18 \frac{Nm^3}{h} \left. \begin{array}{l} 30 \text{ Atm} \\ 20^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{Según tablas} \left. \begin{array}{l} 1 \text{ Atm} \\ 20^\circ\text{C} \end{array} \right\}$$

$$Kv = 0.12 \frac{m^3}{h}$$

$$Kv = 2 \frac{L}{min}$$

El diámetro de paso  $\emptyset = 2 \text{ mm}$

- Cálculo de caudales y secciones para válvulas con gas N2 como fluido.

$$v_s = \sqrt{\frac{2}{\delta} \Delta P}$$

$$N_2 \rightarrow 30 \text{ bar } 20^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.97 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \rightarrow 1 \text{ bar } 20^\circ\text{C}$$

Para  $\Delta P = 0.7 \text{ bar}$  de pérdida de carga en la válvula.

$$\delta_2 = \delta_1 \frac{P_2}{P_1} = 0.97 \frac{30}{1} = \mathbf{29.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$P_2 = 30 \text{ bar}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$0.7 \text{ bar} \langle \rangle 0.7 * 9.8 * 10^4 \text{ Pascales}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{2}{29.1} 0.7 * 9.8 * 10^4} = \mathbf{68.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$G = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \langle \rangle 1.57 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$G = v * A * Cd$$

$A \rightarrow$  area de descarga

$$A = \frac{G}{Cd * v} = \frac{1.57 * 10^{-4}}{0.7 * 68.66} = \mathbf{3.26 * 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 3.26 * 10^{-6}}{\pi}} = \mathbf{2 * 10^{-3} \text{ m} \langle \rangle 2 \text{ mm}}$$

$$\text{Para } G = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \langle \rangle 1.57 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \langle \rangle m = 4.56 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$A = \frac{m}{Cd \sqrt{2 * \delta * \Delta P}} = \frac{4.56 * 10^{-3}}{0.7 \sqrt{2 * 29.1 * 0.7 * 10^{-5}}} = \frac{4.56 * 10^{-3}}{0.7 * 2.018 * 10^3} = \mathbf{3.22 * 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 3.22 * 10^{-6}}{\pi}} = \mathbf{2 * 10^{-3} \text{ m} \langle \rangle 2 \text{ mm}}$$

Se han adoptado  $\emptyset = 4.8 \text{ mm}$  (3/4") que suministra el mismo caudal a presiones superiores con menor pérdida de carga.

- Conductos y depósitos.

Datos:

$$t_f \rightarrow \text{Tiempo de funcionamiento} = 30 \text{ segundos}$$

Consumos:

$$H_2O_2 \rightarrow 0.124 \frac{L}{s} \quad \langle \rangle \quad V_T \text{ para 30 segundos} = \mathbf{3.72 L}$$

$$CH_3 - OH \rightarrow 0.033 \frac{L}{s} \quad \langle \rangle \quad V_T \text{ para 30 segundos} = \mathbf{0.99 L}$$

Para el depósito de  $H_2O_2$  tomaremos:

$$V_{T H_2O_2} = 4.5 L \text{ de capacidad}$$

Para el depósito de  $CH_3 - OH$  tomaremos:

$$V_{T CH_3-OH} = 1.5 L \text{ de capacidad}$$

- Depósito de combustible (Diseño empleado para ambos y mostrado en la Figura 51)

$$G_{H_2O_2} \rightarrow 8 \frac{l}{m}$$

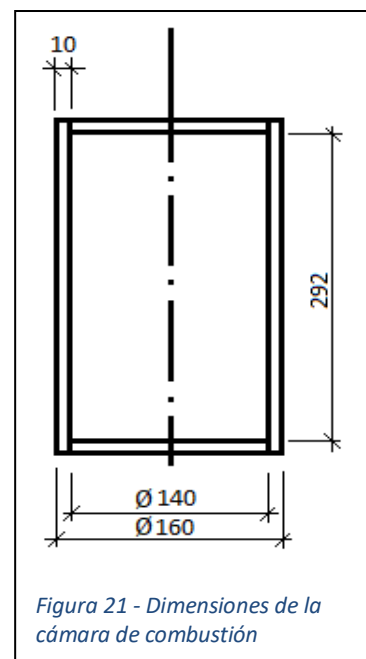
$$V_{T H_2O_2} = \frac{8 L}{60 \text{ seg}} \cdot 30 \text{ seg} = 4 L + 0.5 L \text{ de margen} \\ = \mathbf{4.5 L}$$

Partiendo de un tubo de 140 mm de  $\phi_i$

$$V_T = \frac{\pi \phi^2}{4} h \rightarrow h = \frac{V_T 4}{\pi \phi^2} = \frac{4 \cdot 4.500}{\pi \cdot 14^2} = \mathbf{29.23 cm}$$

$$P_{M\acute{a}x} = 130 \text{ Atm} = 13 \text{ MPa}$$

$$e = \frac{P_{M\acute{a}x} \phi_i S_d}{2 F_i} = \frac{13 \cdot 140 \cdot 1.8}{2 \cdot 165} = \mathbf{10 mm \text{ de espesor}}$$



- Depósitos optimizados y diferenciados

Presión de trabajo: 40 ~ 50 Atm

Peso: 37 Kg/m

Peso depósito: 37 Kg/m · 0.3 m ≈ 10.8 kg → 11 kg

Material: Din 1629

Tubos de acero sin soldadura para altas presiones

«Tubería Hidráulica» de altas presiones

- Depósito de  $H_2O_2$

$$V_T = \frac{\pi \phi^2}{4} h \rightarrow \text{Tal que } \phi(\text{diametro interior}) = 12 \text{ cm}; \quad V_T = 4500 \text{ cm}^2$$

$$h = \frac{V_T \cdot 4}{\pi \phi^2} = \frac{4 \cdot 4.500}{\pi \cdot 12^2} = \mathbf{39.78 \text{ cm}} \approx \mathbf{40 \text{ cm de alto}}$$

Esesor (e) para Presión de 70 Atm <> 6.8 MPa

$$\text{Tal que } F_i = 165 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2}; \quad 1 \text{MPa} <> 10.2 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}; \quad S_d = 1.8(\text{C. seguridad})$$

$$e = \frac{P_{\text{Máx}} \phi_i S_d}{2 F_i} = \frac{6.86 \cdot 120 \cdot 1.8}{2 \cdot 165} = \mathbf{4.49 \text{ mm}} \approx \mathbf{4.5 \text{ mm de espesor}}$$

- Depósito de  $CH_3 - OH$

$$V_T = \frac{\pi \phi^2}{4} h \rightarrow \text{Tal que } \phi(\text{diametro interior}) = 8 \text{ cm}; \quad V_T = 1500 \text{ cm}^2$$

$$h = \frac{V_T \cdot 4}{\pi \phi^2} = \frac{4 \cdot 1.500}{\pi \cdot 8^2} = \mathbf{29.84 \text{ cm}} \approx \mathbf{30 \text{ cm de alto}}$$

Esesor (e) para Presión de 70 Atm <> 6.8 MPa

$$\text{Tal que } F_i = 165 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2}; \quad 1 \text{MPa} <> 10.2 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}; \quad S_d = 1.8(\text{C. seguridad})$$

$$e = \frac{P_{M\acute{a}x} \phi_i S_d}{2 F_i} = \frac{6.86 \cdot 80 \cdot 1.8}{2 \cdot 165} = \mathbf{2.99 \text{ mm}} \approx \mathbf{3 \text{ mm}} \text{ de espesor}$$

- Conductos

Caudales:

Perdidas de carga (Experimental) según bibliografía → ver libro "Mecánicas de Fluidos y Máquinas Hidráulicas"

$$\text{Caudal } H_2O_2 \rightarrow 4 \frac{L}{30\text{seg}} \langle \rangle \mathbf{8 \frac{L}{min}}$$

- Conductos de ¼"       $\phi = 6.35 \text{ mm}$

$$S = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot 6.35 \cdot 10^{-6} = \mathbf{31.669 \cdot 10^{-6} m^2}$$

$$G = v \cdot S \rightarrow v = \frac{G}{S} = \frac{\frac{8}{60} \cdot 10^{-6}}{31.669 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{4.21 \frac{m}{seg}} \rightarrow \text{Velocidad por la conducción}$$

- Conductos de ½"       $\phi = 12.7 \text{ mm}$

$$S = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot 12.7 \cdot 10^{-6} = \mathbf{126.677 \cdot 10^{-6} m^2}$$

$$G = v \cdot S \rightarrow v = \frac{G}{S} = \frac{\frac{8}{60} \cdot 10^{-6}}{126.677 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{1.052 \frac{m}{seg}} \rightarrow \text{Velocidad por la conducción}$$

Para acabar, los cálculos de eficiencia del combustible generados por el programa QUIPEP (Figura 52).

```

AP-R45          Run using June 1988 Version of PEP,
Case 1 of 1     28 Jul 2019 at 1:37:45.54 pm

CODE            WEIGHT   D-H  DENS   COMPOSITION
511 HYDROGEN PEROXIDE (50 PC)  86.000 -1927 0.04300 850H 5720
627 METHANOL      14.000 -1780 0.02870  4H  1C  10

THE PROPELLANT DENSITY IS 0.04020 LB/CU-IN OR 1.1126 GM/CC
THE TOTAL PROPELLANT WEIGHT IS 100.0000 GRAMS

NUMBER OF GRAM ATOMS OF EACH ELEMENT PRESENT IN INGREDIENTS

  9.051225 H    0.436913 C    5.351788 O

*****CHAMBER RESULTS FOLLOW *****

T(K)  T(F)  P(ATM)  P(PST)  ENTHALPY  ENTROPY  CP/CV  GAS  RT/V
2316. 3709.  68.02  1000.00  -190.64  289.54  1.1843  4.973  13.679

SPECIFIC HEAT (MOLAR) OF GAS AND TOTAL=  12.770  12.771
NUMBER MOLS GAS AND CONDENSED=  4.9728  0.0000

  4.47930 H2O      0.41569 CO2      0.04070 H2      0.02118 CO
  0.01060 HO      0.00459 O2      0.00057 H      0.00010 O
  1.08E-05 HO2

THE MOLECULAR WEIGHT OF THE MIXTURE IS  20.109

*****EXHAUST RESULTS FOLLOW *****

T(K)  T(F)  P(ATM)  P(PST)  ENTHALPY  ENTROPY  CP/CV  GAS  RT/V
1145. 1601.  1.00   14.70  -260.90  289.54  1.2325  4.962  0.202

SPECIFIC HEAT (MOLAR) OF GAS AND TOTAL=  10.534  10.534
NUMBER MOLS GAS AND CONDENSED=  4.9625  0.0000

  4.48282 H2O      0.43206 CO2      0.04277 H2      0.00481 CO

THE MOLECULAR WEIGHT OF THE MIXTURE IS  20.151

*****PERFORMANCE: FROZEN ON FIRST LINE, SHIFTING ON SECOND LINE*****

IMPULSE  IS EX    T*    P*    C*    ISP*  OPT-EX  D-ISP    A*M  EX-T
  246.3  1.2055  2100.  38.33  4913.1  191.7  8.77  274.0  0.15274  1128.
  247.3  1.1851  2121.  38.60  4965.5  191.7  8.76  275.1  0.15437  1145.

```

Figura 22 - Hoja de datos de la simulación QUIPEP.

# **ANEXO IV**

## **Programación del Arduino**



/\*////////////////////////////////////

AUTOR: JORGE MOLINA  
FECHA ESTELAR: 2020.01.18  
COMPAÑIA: MOLINA'S SPACE  
VERSIÓN: 1.6

DESCRIPCIÓN: PROGRAMA CONTROL DEL SISTEMA DE VALVULAS DEL COHETE CONTROLAREMOS 3  
SERVOS.1-VALVULA H2O2, 2-CH3-OH, Y 3- VALVULA DE PRESIÓN DE N2 EL SISTEMA PUEDE  
REALIZAR DOS MANIOBRAS BASICAS, LA PRIMERA ES LA DE PRESURIZACIÓN DE LOS DEPOSITOS  
ESTO LO HACE A TRAVES DE LA VALVULA 3, CON UNA FUNCION RAMPA.  
LA SEGUNDA MANIOBRA ES EL MODO PRUEBAS, ESTE MODO ES PARA ENCENDER EL MOTOR, CONSISTE  
EN PRESURIZAR LOS DEPOSITOS COMO EN EL CASO ANTERIOR PERO CUANDO ESTEN PRESURIZADOS Y  
SE ACTIVE LA SEÑAL DE IGNICIÓN  
SE ENCIENDE EL MOTOR SIGUIENDO EL SIGUIENTE PROCESO:

- 1° SE ACTIVA EN EL SERVO 2 UNA SEÑAL RAMPA Q EN 2 SEGUNDOS LLEGUE AL 50% DE LA  
RAMPA,
- 2°UNA VEZ EN ESE PUNTO SE ACTIVA EL SERVO 1 Y SE PROCEDE A LLEVAR A CABO UNA  
REGULACIÓN PID
- 3° LA REGULACIÓN PID VA A PROPORCIONAR UN CONTROL DEL SERVO 1 QUE PERMITA MANTENER  
CONSTANTE  
LA PRESIÓN EN LA CAMARA DE COMBUSTIÓN A PARTIR DE LOS VALORES DE CONSIGNA  
APORTADOS AL SISTEMA
- 4° EN CUALQUIER MOMENTO SE DEBE ABORTAR LA PRUEBA.

DOBLE RAMPA SERVO NITROGENO RAMPA SERVO ALCOHOL  
ACTIVACIÓN PID AL ABRIR EL ALCOHOL AL 50%  
DESACTIVACIÓN TOTAL

\*\*\*\*\*

\*  
\*FUNCIONA  
\*

\*\*\*\*\*

pagina web de referencia para consultas <https://roble.uno/control-pid-barra-y-bola-arduino/>

\*/  
/\*VALORES INICIALES DE LOS PULSADORES QUE VAMOS A TENER \*/

```
int MARCHA=0; //PULSADOR DE MARCHA, PIN 7
int PRESURIZAR=0; //PULSADOR DE PRESURIZAR, PIN 6
```

```

//const int consigPin = A0;          // SENSOR QUE DETERMINA EL VALOR DE CONSIGNA
no usado
const int sensorPin = A1;          // SENSOR PRESIÓN CAMARA DE COMBUSTION

int sensorValue;                   // variable que almacena el valor PRESION EN
LA CAMARA

                                     //DE COMBUSTIÓN (0 a 1023)
float presioncamara;               // variable que almacena el voltaje EN LA
CAMARA DE

                                     //PRESIÓN (0.0 a 5.0)
float valvulap;                    // variable que almacena el voltaje (0.0 a
5.0) que
//debe llegar a la VALVULA PROPORCIONAL
float DPresionActual = 0;          //variación de presión float DPresionAnterior
= 0; //variación de presión
float DPresion = 0;                //variacion de presión para el calculo
derivativo

//VARIABLES REGULADOR PROPORCIONAL
float SALIDA;                      //sera el valor que le mandaremos a la valvula y que tendrá
un valor

                                     //en bares que despues convertiremos en un valor para el PW
float CONSIGNA;                    // sera el valor al que queremos que llegue la salida (se
//obtendrá de un potenciometro

float I;                            // PARTE INTEGRAL
float KP;                            // Constante Proporcional
float KD;                            // Constante Derivada float KI; // Constante Integral
float ER;                            // ERROR diferencia entre el valor real y el medido
unsigned long time = 0; // tiempo de ejecucion del ultimo ciclo
int period = 30;                    // Periodo de muestreo en ms
int SALIDAPWM=165;                  // SALIDA ADAPTADA A PWM

#include <Servo.h>
Servo S1_H2O2;                       // CREAMOS EL SERVO 1 PARA CONTROLAR LA VALVULA DE H2O2
Servo S2_ALCOHOL;                    // CREAMOS EL SERVO 2 PARA CONTROLAR LA VALVULA DE
ALCOHOL
Servo S3_N2;                          // CREAMOS EL SERVO 3 PARA CONTROLAR LA VALVULA DE
NITROGENO

int pos2 = 98;                       // posicion CIERRE del servo2

```

```

int pos3 = 98;           // posicion CIERRE del servo3
float pos = 165;        // posicion CIERRE del servo1
float reposo = 0;      // VALOR EN REPOSO

void setup() {
// INICIALIZACIÓN
pinMode(6, INPUT);     //ENTRADA BOTON MARCHA pinMode(7, INPUT);
                       //ENTRADA BOTON PRESURIZAR
S1_H2O2.attach(10);     // CONFIGURAMOS EL PIN CON EL QUE CONTROLAREMOS EL
SERVO
//DEL H2O2
S2_ALCOHOL.attach(11); // CONFIGURAMOS EL PIN CON EL QUE CONTROLAREMOS EL SERVO
                       //DEL ALCOHOL
S3_N2.attach(9);       // CONFIGURAMOS EL PIN CON EL QUE CONTROLAREMOS EL
SERVO
                       //DEL NITROGENO
Serial.begin(9600);    // COMUNICACION SERIE 9600
SALIDA=0;              // INICIALIZACION DE VARIABLES
I=0;
KP=0.3; KD =0.1;
KI=0.5;
}
//FUNCIÓN MAP: para hacer el cambio de escala entre floats

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void loop() {
KP=0.3; //constantes del regulador Proporcional, integral y derivado
KD=0.1; KI=0.5;
S3_N2.write(pos3);
S2_ALCOHOL.write(pos2); S1_H2O2.write(pos);
MARCHA = digitalRead(6);
PRESURIZAR = digitalRead(7);

if(PRESURIZAR==LOW) { //INICIAMOS DOBLE RAMPA Y LA PRESURIZACIÓN DE LOS DEPOSITOS
if (pos3>=1)
// UNA MARCA PARA PODER SABER SI YA HA REALIZADO LA APERTURA

```

```

//COMPLETA DE LA VALVULA
{
for (pos3 = 98; pos3 >= 60; pos3 -= 1) //PRIMERA PARTE DE LA RAMPA 30° APROX
{
PRESURIZAR = digitalRead (7); // LECTURA DEL PULSADOR
if(PRESURIZAR==HIGH) { //SI SE DESCONECTA PRESURIZAR SE CIERRA LA VALVULA
S3_N2.write(98); //CAMBIAMOS EL VALOR DE POSICIÓN
pos3=98;
}
delay(90); //EN 3 SEG SE ABRE LA VALVULA AL 100%
S3_N2.write(pos3);
}
for (pos3 = 60; pos3 >= 0; pos3 -= 1) //SEGUNDA PARTE DE LA RAMPA
{
PRESURIZAR = digitalRead(7); // LEEMOS EL PULSADOR
if(PRESURIZAR==HIGH)
//SI SE DESCONECTA PRESURIZAR SE CIERRA LA VALVULA
S3_N2.write(98); //CIERRA LA VALVULA //ESTA LINEA SE PODRÍA
//QUITAR YA QUE LO HACE LUEGO

pos3=98;
}
delay(30); S3_N2.write(pos3);
} // CUANDO ESTÁ EN LA PRIMERA RAMPA, TODOS LOS DEMAS CERRADOS
pos3=0;
S2_ALCOHOL.write(98);
S1_H2O2.write(165);

// MARCHA!!!!!!!!!!!! ACTIVAMOS EL SEGUNDO SERVO
}

else if(MARCHA==LOW) // SI LA MARCHA ES EN BAJO
{
//ACTIVAMOS EL 2ª SERVO
if (pos2>=1) // MARCHA PARA DETERMINAR SI HA REALIZADO LA RAMPA
{
for (pos2 = 98; pos2 >= 1; pos2 -= 1) //RAMPA DEL SEGUNDO SERVO
{
S2_ALCOHOL.write(pos2);
delay(20); //EN 5 SEG SE ABRE LA VALVULA AL 100%
MARCHA = digitalRead(6);
if(MARCHA==HIGH) // ABORTAR ENCENDIDO
{
//SI SE DESCONECTA PRESURIZAR SE CIERRA LA VALVULA
pos2=98;
S2_ALCOHOL.write(pos2); //CERRAMOS VALVULA EN POS 98
S1_H2O2.write(165);
}
}
}
}

```

```

pos2=0;                // VAMOS A POS 0 PARA CERRAR EL BUBLE
}
if (pos2 <= 50){
// CUANDO LLEGAMOS A LA SEGUNDA RAMPA A LA MITAD EMPEZAMOS LA APERTURA DEL ALCOHOL
if (millis() > time + period){           //¿ha transcurrido el periodo de muestreo?
la lectura SENSOR
presioncamara = fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 5.0);
ER = CONSIGNA - presioncamara;
// cambiar escala a 0.0 - 5.0 de LA SALIDA INVERTIDA POR SER UN LDR
CONSIGNA = 2; //VALOR DE CONSIGNA QUE
ESTABLECEMOS EN 2 QUE SERAN 20
//ATMOSFERAS

// CREACION DE LA PARTE PROPORCIONAL
//Cuanto más alejado del valor de consigna mayor tiene que ser la respuesta
DIFERENCIA ENTRE EL VALOR DE CONSIGNA Y LA PRESION MEDIDA

// CREACION DE LA PARTE DERIVADA
DPresionAnterior = DPresionActual;           //
PRESION
//ANTERIOR TOMA EL VALOR DE LA ULTIMA
MUESTRA
DPresionActual = presioncamara;           // PRESION ACTUAL
//TOMA EL VALOR DE PRESION CAMARA
DPresion = DPresionAnterior - DPresionActual;           //EN la parte derivativa
//vemos como es el cambio de presión en el tiempo de muestreo (30 ms)
//PARTE INTEGRAL
if(ER>0.3 && ER<-0.3) //0.3 ES EL VALOR EN EL QUE EMPIECE A ACTUAR EL INTEGRAL PARA
//ELIMINAR AL MAXIMO EL ERROR DE POSICION
{
I=I+ER*KI;           // EL VALOR INTEGRAL ES EL VALOR ANTERIOR MAS EL MISMO
//ERROR DE POSICION POR LA CONSTANTE INTEGRAL
}

else {           //SI NO ESTAMOS CERCA DEL VALOR, EL VALOR INTEGRAL NO SE ACTIVA

I=0;

//ECUACION FINAL
SALIDA = SALIDA + (ER * KP) + (DPresion * KD)+I;
//ACTIVAMOS LA SALIDA

```

```

if (SALIDA <=0) //CUANDO EL VALOR SEA NEGATIVO QUIERE DECIR QUE LA SALIDA NO TIENE
    //QUE ESTAR ACTIVA ASI QUE HAY QUE APAGARLA.
{
SALIDA = 0;
}
else if (SALIDA >=5){ SALIDA =5;
}
SALIDAPWM = fmap(SALIDA, 0.0, 5.0, 165.0, 60.0); // seral el
valor que
//pondremos en la salida
analogica */
// analogWrite(LED,SALIDAPWM);
// S1_H2O2.writeMicroseconds(SALIDAPWM); // VALOR DE SALIDA PARA EL
SERVO
pos=SALIDAPWM;
S1_H2O2.write(pos);
// MOSTRAMOS VARIABLES EN EL PLOTTER
// PARA MOSTRAR LAS DOS VARIABLES EN PANTALLA DEL ARDUINO
}
}
}
}
else //SI LA VALVULA 2 ESTA ABIERTA HACEMOS EL PID SIN REGULACIÓN
{
//aquí hacemos el pid
if (millis() > time + period){ // ¿Ha transcurrido el periodo de muestreo?
time = millis();
//LECTURA DE SEÑALES Y ESCALADO
sensorValue = analogRead(sensorPin); // realizar la lectura
SENSOR
presioncamara = fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 5.0); // cambiar escala a
0.0 - 5.0
//de LA SALIDA INVERTIDA POR
SER UN LDR
CONSIGNA = 2; //VALOR DE CONSIGNA

// CREACION DE LA PARTE PROPORCIONAL
//Cuanto mas alejado del valor de consigna mayor tiene que ser la respuesta
ER=CONSIGNA-presioncamara; // EL ERROR ES LA DIFERENCIA ENTRE EL
//VALOR DE CONSIGNA Y LA PRESION MEDIDA

// CREACION DE LA PARTE DERIVADA
DPresionAnterior = DPresionActual; // PRESION ANTERIOR TOMA EL VALOR DE
LA
// ULTIMA MUESTRA

```

```

DPresionActual = presioncamara; // PRESION ACTUAL TOMA EL VALOR DE
PRESION
//CAMARA
DPresion = DPresionAnterior - DPresionActual; //EN la parte
derivativa
//vemos como es el cambio de presión en un
tiempo
//que es el tiempo de muestreo (30
milisegundo)

//PARTE INTEGRAL
if(ER>0.3 && ER<-0.3) //0.3 ES EL VALOR EN EL QUE EMPIECE A ACTUAR EL INTEGRAL
//PARA ELIMINAR AL MAXIMO EL ERROR DE POSICION
{
I=I+ER*KI; // EL VALOR INTEGRAL ES EL VALOR ANTERIOR
MAS EL
//ERROR DE POSICION POR LA CONSTANTE INTEGRAL
}
else { // SI NO ESTAMOS CERCA DEL VALOR EL VALOR INTEGRAL
NO SE
//ACTIVA

I=0;
}

//ECUACION FINAL
SALIDA = SALIDA + (ER * KP) + (DPresion * KD)+I;
//ACTIVAMOS LA SALIDA
if (SALIDA <=0) //CUANDO EL VALOR SEA NEGATIVO QUIERE DECIR QUE LA SALIDA
//NO TIENE QUE ESTAR ACTIVA ASI QUE HAY QUE APAGARLA.
{
SALIDA = 0;
}
else if (SALIDA >=5){ SALIDA =5;
}
SALIDAPWM = fmap(SALIDA, 0.0, 5.0, 165.0, 60.0); // será el valor que pondremos
//en la salida analogica */
// VALOR DE SALIDA PARA EL SERVO
pos=SALIDAPWM;
S1_H2O2.write(pos);
}
}
}
else // Y SI SE CIERRA EL MANDO DE MARCHA, CERRAMOS LA VALVULA DE ALCOHOL Y DE H2O2
{
pos2=98;

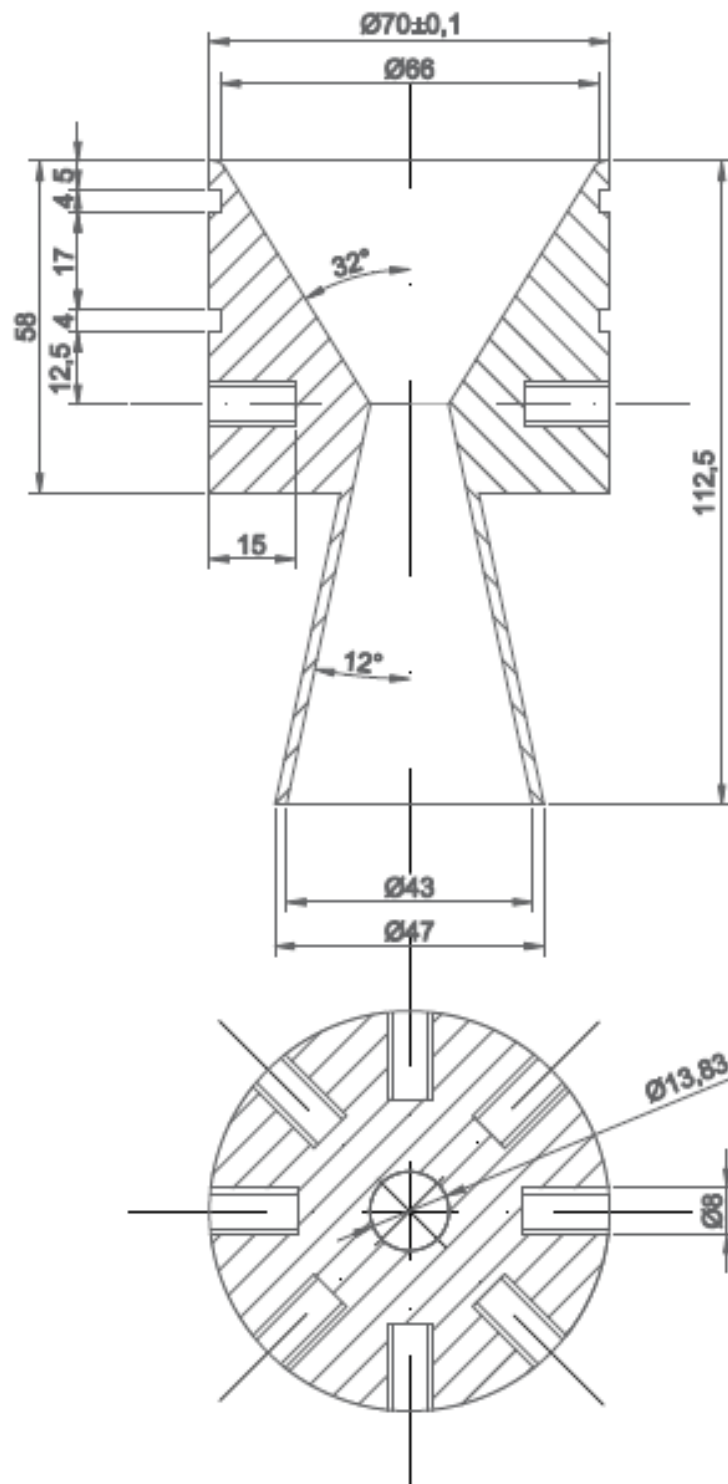
```

```
pos=165;S2_ALCOHOL.write(pos2);
S1_H2O2.write(pos);
}
}
else //SI SE DESACTIVA EL MANDO DE PRESIÓN CERRAMOS TODAS LAS VALVULAS
{
pos3=98;
pos2=98;
pos=165;
S3_N2.write(pos3);
S2_ALCOHOL.write(pos2);
S1_H2O2.write(pos);
}
}
```

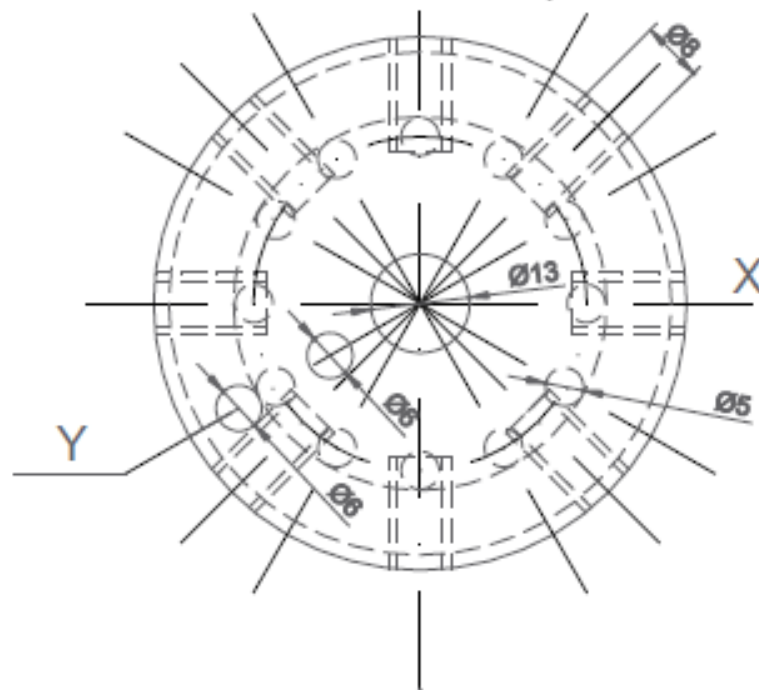
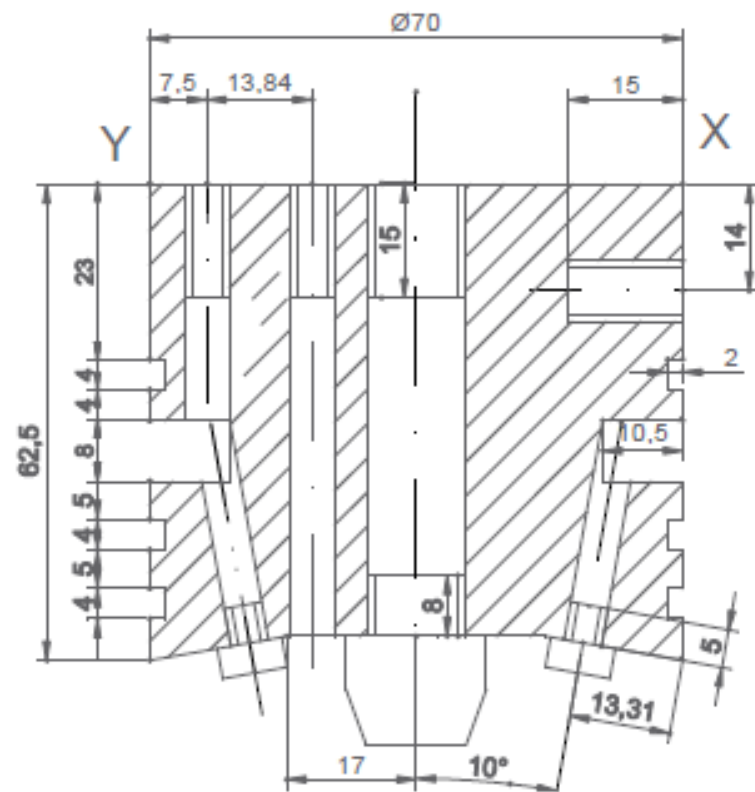


# **ANEXO V**

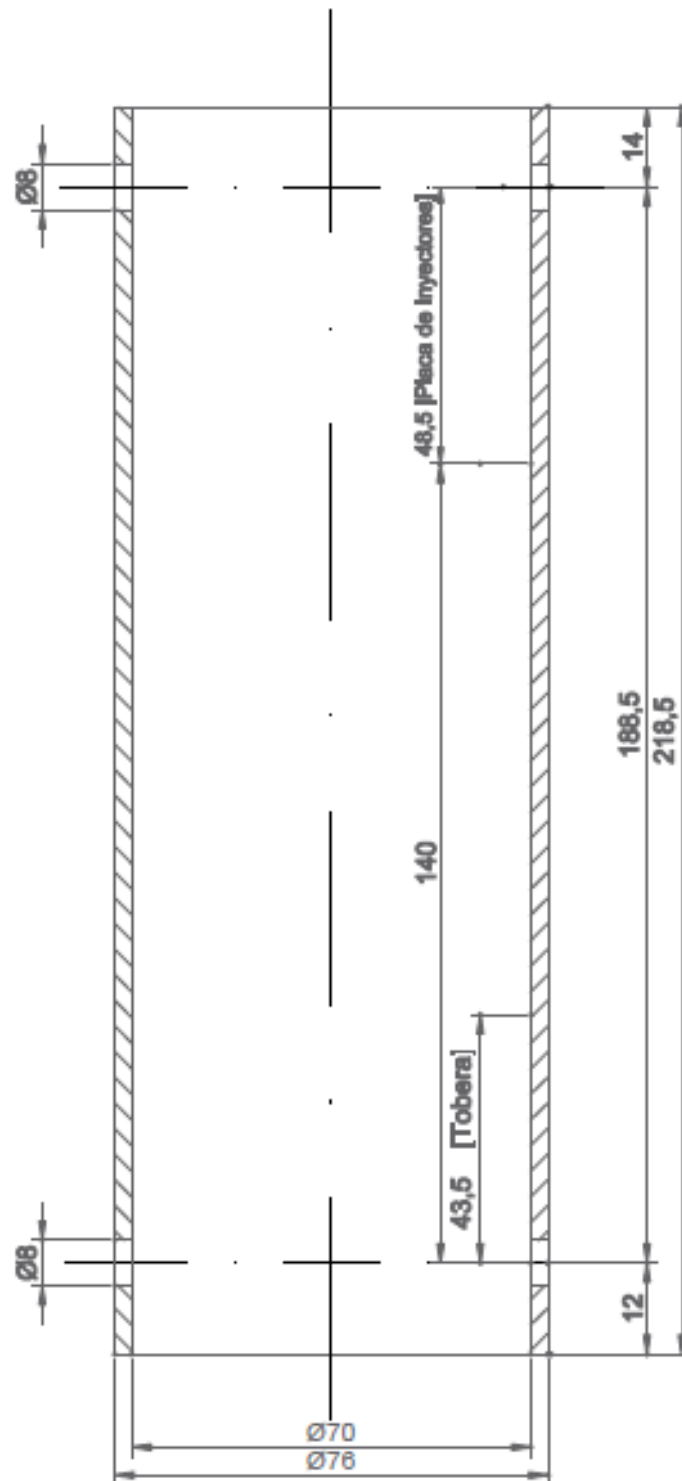
## **Planos del motor**



Acero MATERIAL	Dibujado	Jorge Molina Ibáñez	Trabajo de Fin de Grado
	Comprobado	Jorge Molina Ibáñez	
ESCALA 3:4	TOBERA CON Rex=10		Plano nº: 1



Acero MATERIAL	Dibujado	Jorge Molina Ibáñez	Trabajo de Fin de Grado
	Comprobado	Jorge Molina Ibáñez	
ESCALA 1:1	<b>PLACA DE INYECTORES</b>		Plano nº: 2



MATERIAL	Acero	Dibujado	Jorge Molina Ibáñez	Trabajo de Fin de Grado
		Comprobado	Jorge Molina Ibáñez	
ESCALA	3:4	CAMARA DE COMBUSTIÓN		Plano n°: 3

## **ANEXO VI**

### **Presupuesto de fabricación**

## PRESUPUESTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

Nº ITEM	SUB ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	COSTO
<b>1</b>		<b>FABRICACIÓN MECÁNICA</b>				<b>3.237,06 €</b>
	1.1	Tochos de acero dulce	2		40	80,00 €
	1.2	Tubería de acero dulce D=70mm	1		20	20,00 €
	1.3	Gasto de material durante el mecanizado	1		25	25,00 €
	1.4	Costo del tornero-fresador	56		22,88	1.281,28 €
	1.5	Válvulas de mano	8		5,66	45,28 €
	1.6	Tuberías de acero + Roscas + Tuberías flexibles de alta presión	1		563,6	563,55 €
	1.7	Válvulas antiretorno	4		24,22	96,88 €
	1.8	Regulador	1		59,65	59,65 €
	1.9	Inyectores	13		0,4	5,20 €
	1.10	Servomotores	3		23,68	71,04 €
	1.11	Bombonas 200 bar 7L	2		110,2	220,46 €
	1.12	Bombona de N2 200 bar 12L	1		230	230,00 €
	1.13	Gasto de material durante la fontanería	1		10	10,00 €
	1.14	Costo del fontanero	18		25,04	450,72 €
	1.15	Consumo de energía eléctrica	300		0,26	78,00 €
<b>2</b>		<b>COMPUESTOS QUÍMICOS</b>				<b>71,31 €</b>
	2.1	Agua oxigenada al 50%	4		6,99	27,96 €
	2.2	Permanganato potásico	1		4,35	4,35 €
	2.3	Alcohol metílico 97%	10		0,9	9,00 €
	2.4	Material de protección	1		30	30,00 €
<b>3</b>		<b>DISEÑO Y MONTAJE ELECTRÓNICO</b>				<b>4.665,86 €</b>
	3.1	Componentes eléctricos y electrónicos	1		140	140,00 €
	3.2	sensores	3		80	240,00 €
	3.3	Tarjeta de adquisición de datos	1		115,9	115,86 €
	3.4	Ingeniero electrónico y automático	150		27,8	4.170,00 €

**Total Presupuesto**

**7.974,23 €**