

## ANEXO A. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL MEZCLADOR TIPO VENTURI

### 1. Modelo de Agudelo & Mejía

“Desarrollo de un modelo para en dimensionamiento de mezcladores aire-combustibles gaseosos para motores de combustión interna”

“Parámetros de entrada”

$AC = 15,41 [-]$  "AC relacion aire – combustible determinada por el analisis estequiometrico"

$V_d = 0,000694 [m^3]$  "Cilindrada del motor"

$n = 86,394 \left[ \frac{rad}{seg} \right]$  "regimen de giro del motor"

$n_v = 0,85 [-]$  "Eficiencia volumétrica"

$i = 2 [rad]$  "Número de revoluciones del cigueñal por cada carrera de potencia"

$P_d = 111,4843 [Kpa]$  "Presión de descarga del gas, depende del regulador de presión"

$P_i = 90,80 [Kpa]$  "Presión en la admisión de aire"

$P_T = X * P_i [Kpa]$  "Si  $P_i < P_d$ ,  $P_T$  es la presión del a mezcla en la garganta del mezclador"

$X = 0,9$  " $0 < X < 1$  Factor establecido por el diseñador"

$T_d = (21,48 + 273) [°K]$  "Temperatura absoluta del gas en la descarga"

$T_i = (25 + 273) [°K]$  "Temperatura absoluta del aire en la sección de entrada"

$K_f = 1,32 [-]$  "Exponente adiabático del gas combustible"

$K_a = 1,4 [-]$  "Exponente adiabático del aire"

$PC_i = 10,83 \left[ Kw * \frac{h}{m^3} \right]$  "Poder calorífico inferior del gas"

$W = 14,44 \left[ Kw * \frac{h}{m^3} \right]$  "Índice de Wobbe del gas"

$M_a = 28,9645 \left[ \frac{Kg}{Kmol} \right]$  "Masa molar del aire"

$M_f = 16,04 \left[ \frac{Kg}{Kmol} \right]$  "Masa molar del gas"

$Ru = 8,314 [(Kpa * m^3)/(Kmol * °K)]$  "Constante universal de los gases ideales"

Paso 1. Calcular las temperaturas absolutas del aire y combustible en la sección de la garganta

$$T_{fT} = \frac{T_d}{\left(\frac{y_f * P_T}{P_d}\right)^{\frac{1-K_f}{K_a}}} \text{ "Temperatura absoluta del gas en la garganta"}$$

$$y_f = \frac{1}{AC * \left(\frac{PC_i}{W}\right)^2 + 1}$$

El gas experimenta una expansión adiabática al pasar de la sección de descarga Ad a la sección de la garganta del mezclador AT

$$T_{aT} = \frac{T_i}{\left(\frac{y_a * P_T}{P_i}\right)^{\frac{1-K_a}{K_a}}} \text{ "Temperatura del aire en la garganta"}$$

$$y_a = \frac{AC * \left(\frac{PC_i}{W}\right)^2}{AC * \left(\frac{PC_i}{W}\right)^2 + 1}$$

El aire experimenta un proceso adiabático de contracción al pasar desde la sección de entrada del aire, hasta la garganta con temperatura de TaT

Paso 2. Calcular el valor de la densidad de la mezcla al interior de la garganta

$$\rho_m = \frac{P_T}{R_u} \left[ \frac{AC * d_g (M_a + M_f)}{AC * d_g + 1} \right] \left[ \frac{Cp_{f,T} + AC * Cp_{a,T}}{h_{f,T} + AC * h_{a,T}} \right]$$

$$h_{f,T} = 30,22 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \text{ Entalpia del gas en la garganta}$$

$$h_{a,T} = \text{Entalphy (Air, } T = T_{aT}) \text{ "Entalpia del aire en la garganta"}$$

$$Cp_{f,T} = Cp (CH_4, T = T_{fT}) \text{ "Calor especifico del gas en la garganta"}$$

$$Cp_{a,T} = Cp (Air, T = T_{aT}) \text{ "Calor especifico del aire en la garganta"}$$

$$p_{pf} = \text{Density (CH}_4; T = T_d; P = P_d) \text{ "Densidad del gas"}$$

$$p_{pa} = \text{Density (Air; } T = T_i; P = P_i) \text{ "Densidad del aire "}$$

$$d_g = \frac{p_{pf}}{p_{pa}} \text{ "Densidad relativa del gas"}$$

Paso 3. Calcular el valor del flujo másico ideal y real, además del cálculo de los flujos másicos del aire y el combustible

$$\dot{m}_{ideal} = \frac{\rho_m * V_d * n}{i} \left[ \frac{Kg}{s} \right] \text{ "Flujo ideal de la mezcla que debería ingresar al motor"}$$

$$\dot{m}_m = n_v * \dot{m}_{ideal} \left[ \frac{Kg}{s} \right] \text{ "Flujo másico real de la mezcla"}$$

$$\dot{m}_a = \dot{m}_m \left( \frac{AC}{AC + 1} \right) \left[ \frac{Kg}{s} \right] \text{ "Flujo másico de aire"}$$

Nota: En la garganta los dos gases comparten esta sección de flujo por tanto a cada uno corresponde un porcentaje de área que es igual al porcentaje volumétrico

$$AC = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \text{ "Relación aire/combustible, utilizada para el cálculo del flujo de combustible"}$$

Paso 4. Calculo de las densidades en la garganta

$$\bar{\rho}_f = \frac{\rho_{f,d}}{2} \left[ 1 + \left( \frac{P_T}{P_d} \right) \right]^{\frac{1}{k_f}} \text{ "Densidad promedio del aire en el flujo desde la entrada hasta la garganta"}$$

$$\bar{\rho}_a = \frac{\rho_{a,i}}{2} \left[ 1 + \left( \frac{P_T}{P_d} \right) \right]^{\frac{1}{k_f}} \text{ Densidad promedio del gas entre el área de descara y garganta}$$

Paso 5. Calculo del área de flujo para el gas

$$A_{f,T} = A_T * \frac{1}{AC * \left( \frac{PCi}{W} \right)^2 + 1} [m^2] \text{ "Área de flujo para el gas en la garganta"}$$

Paso 6. Calculo del área de descara del gas y área de garganta

$$A_T = \frac{\dot{m}_a}{\sqrt{2 * \bar{\rho}_a}} * \frac{AC * \left( \frac{PCi}{W} \right)^2 + 1}{AC * \left( \frac{PCi}{W} \right)^2} \left[ P_i - P_T + \frac{1}{2 * \bar{\rho}_a} * \left( \frac{\dot{m}_a}{A_i} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} [m^2] \text{ "Área de garganta"}$$

$$A_d = \frac{\dot{m}_f}{\sqrt{2 * \bar{\rho}_f}} * \left[ P_T - P_d + \frac{1}{2 * \bar{\rho}_f} * \left( \frac{\dot{m}_f}{A_{f,T}} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} [m^2] \text{ "Área de descarga de gas"}$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} * 0,03355^2 [m^2] \text{ "Área en la sección de entrada del aire"}$$

Nota: Es Necesario que los valores de presión estén dados en pascales para obtener las unidades correspondientes en los datos de área

## Resultados

$$A_d = 0,000008198 [m^2] = 8,198 [mm^2]$$

$$A_T = 0,0002113 [m^2] = 211,3 [mm^2]$$

### 2. Modelo de Miztlaff

Paso 1. Determinar el volumen de admisión. Se considera una eficiencia volumétrica

$$V_i = \frac{V_d}{2000} * \frac{n}{60} * n_{tot}$$

$$V_d = 0,694 [Lts]$$

$$n = 0,85$$

$$n_{tot} = 900 [rpm]$$

Paso 2. Determinar el área transversal y la velocidad media de entrada del Venturi

$$A_i = \frac{1}{4} * d_i^2 * \pi [m^2]$$

$$d_i = 0,035 [m]$$

$$C_i = \frac{V_i}{A_i}$$

Paso 3. Determinar la sección transversal de la garganta

$$A_T = A_i * \frac{C_i}{C_T} \geq A_i * \frac{C_i}{1 - 150 (m/s)} \text{ "Área de succión del aire"}$$

$$A_T = \frac{\pi * d_T^2}{4}$$

Paso 4. Determinar potencia del motor, poder calorífico del gas natural y el consumo específico del motor

$$f_c = \frac{sfc * P}{QHV_{gas}}$$

$$sfc = 4 \text{ "Obtenido de la tesis de maestría de Franklin Patiño"}$$

$$P = 7 [Kw] \text{ "Potencia del motor"}$$

$$QHV_{gas} = 52884 \left[ \frac{KJ}{m^3} \right] \text{ "Poder calorífico regular del metano por unidad de volumen"}$$

Paso 5. Determinar el área entrada del gas natural

$$A_g = \frac{f_c}{c_g} \text{ "Área de entrada del gas natural"}$$

$$A_g = \frac{\pi * d_g^2}{4}$$

## Resultados

### Figura A1

*Resultados del diámetro de garganta utilizando el método de Miztlaff*

$C_T \left[ \frac{m}{s} \right]$	$d_T [m]$
1	0,07505
20	0,01678
40	0,01187
60	0,009689
80	0,008391
100	0,007505
120	0,006851
150	0,006128

### Figura A2

*Resultados del diámetro de descarga de gas utilizando el método de Miztlaff*

$C_T \left[ \frac{m}{s} \right]$	$d_g [m]$
1	0,02596
20	0,005806
40	0,004105
60	0,003352
80	0,002903
100	0,002596
120	0,002370
150	0,002120