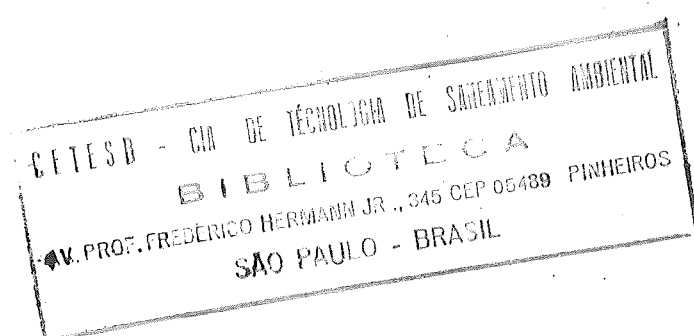


CETESB

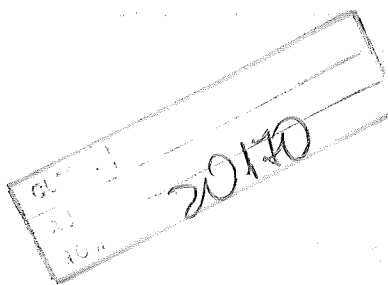
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

GTAR/STA/DENG



PA 5 - CÁLCULO DA VISCOSIDADE
DE MISTURAS GASOSAS

NOVEMBRO/84



B303
C338c (RCET)
020170

DIRETORIA

Werner Eugênio Zulauf
Diretor-Presidente

Antônio Alves de Almeida
Diretor Administrativo

Fredmar Corrêa
Diretor de Planejamento Ambiental

Nelson Mansour Nabhan
Diretor de Engenharia

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Controle

Paulo Bezerril Júnior
Diretor Financeiro

Samuel Murgel Branco
Diretor de Pesquisa

CÁLCULO DA VISCOSIDADE DE MISTURAS GASOSAS

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

INTRODUÇÃO

A viscosidade de misturas gasosas pode ser calculada, a partir da viscosidade dos componentes da mistura, por meio de uma equação desenvolvida por Wilke, descrita em (1). Essa grandeza é importante no cálculo de diversos parâmetros relativos a amostragem de poluentes em fluxo gasoso, especialmente partículas de tamanho pequeno, para as quais o fator de Cunningham tem grande influência e depende em muito da viscosidade do gás (1).

O objetivo deste trabalho é apresentar um programa que calcule a viscosidade em poise, de produtos de combustão.

METODOLOGIA

A viscosidade da mistura é dada por :

$$\mu = \sum_{i=1}^5 \frac{v_i}{1 + \frac{1}{f_i} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}} (f_j \Phi_{ij})} \times 10^{-6} \quad (I)$$

com:

$$\Phi_{ij} = \frac{\left(1 + \left(\frac{v_i}{v_j} \right)^{1/2} \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^{1/4} \right)^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left(1 + \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right)^{1/2}} \quad (II)$$

onde :

- v_i = viscosidade de cada componente gasoso (g/cm.seg)
- i = índice referente a cada componente da mistura gasosa
 - 1 - Dióxido de Carbono
 - 2 - Monóxido de Carbono

3 - Nitrogênio

4 - Oxigênio

5 - Água

f_i = frações em base úmida de cada componente da mistura

w_i = peso molecular de cada componente da mistura

Obs.: Para $f_i = 0$ adotar $f_i = 10^{-20}$

A viscosidade de cada componente gasoso é dada, em função da temperatura segundo a edição 42 do Handbook of Chemistry and Physics, citado em (1) por :

$$v_1 = 138.494 + 0.499T - 0.267 \times 10^{-3} T^2 + 0.972 \times 10^{-7} T^3 \quad (\text{III})$$

$$v_2 = 165.763 + 0.442T - 0.213 \times 10^{-3} T^2 \quad (\text{IV})$$

$$v_3 = 167.086 + 0.417T - 0.139 \times 10^{-3} T^2 \quad (\text{V})$$

$$v_4 = 190.187 + 0.558T - 0.336 \times 10^{-3} T^2 + 0.139 \times 10^{-6} T^3 \quad (\text{VI})$$

$$v_5 = 87.800 + 0.347T + 0.238 \times 10^{-4} T^2 \quad (\text{VII})$$

onde :

v_i = viscosidade em (g/cm.sec) de cada componente gasoso

T = temperatura em ($^{\circ}\text{C}$)

Com estas fórmulas completam-se os dados necessários ao cálculo da viscosidade da mistura.

Em anexo são apresentados um exemplo numérico, o diagrama de blocos, o mapa das memórias e a listagem do programa.

Há também um apêndice cujo objetivo é prover um meio de se acompanhar a execução do programa, vide pág. 7.

COMENTÁRIOS

O programa apresentado calcula através de "loops" os valores de cada somatória, como existem dois índices, i e j , logicamente existe uma espécie de ninho de "DO" do FORTRAN.

A primeira tentativa de realização deste programa, foi através da execução a partir da fórmula totalmente desenvolvida, que facilitaria muito mais a compreensão do programa, para quem o acompanhasse através da listagem, dando também uma visão mais geral da solução do problema, para quem o utilizasse. Executado dessa forma, o programa levava o que pareceu na ocasião, um tempo muito longo.

Foi então tentada a execução através de ninhos de "DO". O tempo de execução ficou praticamente de mesma ordem de grandeza, até um pouco maior. Porém como o tamanho do programa foi muito diminuído, reduzindo-se a aproximadamente 1/3 do tamanho inicial, preferiu-se esta solução, por deixar espaço de memória para a gravação de outros programas a serem utilizados em conjunto com este e pela economia de cartões decorrente, no caso em que se deseje gravá-lo em cartão, para uso posterior.

O programa permite interrupção e continuação posterior, sem ocasionar erros, todavia como se trata de execução através de "loops", fica muito difícil a correção de dados introduzidos errados. Quando isto ocorrer, o melhor é recomeçar o programa com os dados corretos.

O programa não transforma dados de porcentagem em fração volumétrica dos componentes da mistura, por isso, há que introduzi-los já na forma de fração. O programa também não verifica se as frações somadas dão 1, portanto deve-se verificar a soma antes de entrar dados.

Caso se deseje eliminar essa possível causa de erros deve-se introduzir os seguintes passos, num bloco único, imediatamente depois do passo número 151 da listagem:

```
RCL 29
+
RCL 28
+
RCL 27
+
RCL 26
+
1
-
x = 0 ?
GTO ERRO
```

Coloca-se a sub rotina ERRO, no final, imediatamente antes do END existente no passo 219, como se segue :

```

LBL "ERRO"
  "ERRO NA"
  AVIEW
  PSE
  "COMPOSIÇÃO"
  AVIEW
  PSE
  "DOS GASES"
  AVIEW
  PSE
  GTO PREZ

```

com essas alterações o programa fica cerca de 10% mais longo.

Não foram encontradas em (1) limitações para uso da fórmula da viscosidade, todavia a citação original da fórmula da viscosidade foi feita no Manual CRC da 41.^a edição, (Handbook of Chemistry and Physics, páginas 2188 a 2192) que por não ser disponível não pode ser consultado. Assume-se que para gases de chaminé em temperaturas comuns de chaminés, a fórmula seja válida.

EXEMPLO NUMÉRICO

$$T = 150^{\circ}\text{C}$$

$$F_1 = 0.01$$

$$F_2 = 0.01$$

$$F_3 = 0.70$$

$$F_4 = 0.18$$

$$F_5 = 0.10$$

$$\text{VIS} = 206.1 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

Para obter a viscosidade individual dos componentes da mistura, chamar as memórias R01 a R06 e multiplicar o valor obtido por 10^{-6} para obter os resultados em poise.

$$R01 - v_1 = 207.7 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R02 - v_2 = 227.3 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R03 = v_3 = 226.5 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R04 = v_4 = 266.8 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

$$R05 = v_5 = 144.4 \times 10^{-6} \text{ poise}$$

MAPA DAS MEMÓRIAS

REG.

00 VISCOSIDADE $\times 10^6$

01 v_1

02 v_2

03 v_3

04 v_4

05 v_5

06 $T / \emptyset_{12}$

07 $T^2 / \emptyset_{13}$

08 $T^3 / \emptyset_{14}$

09 $\emptyset_{15}$

10 $\emptyset_{21}$

11 $\emptyset_{23}$

12 $\emptyset_{24}$

13 $\emptyset_{25}$

14 $\emptyset_{31}$

15 $\emptyset_{32}$

16 $\emptyset_{34}$

17 $\emptyset_{35}$

18 $\emptyset_{41}$

19 $\emptyset_{42}$

20 $\emptyset_{43}$

21 $\emptyset_{45}$

22 $\emptyset_{51}$

23 $\emptyset_{52}$

24 $\emptyset_{53}$

25 $\emptyset_{54}$

26 w_1 / f_1

27 w_2 / f_2

28 w_3 / f_3

29 w_4 / f_4

30 w_5 / f_5

31 i para v

32 j para v

33 (w_i/w_j)

34 i para w

35 j para w

36 contador para loop até 5

37 registro indireto de $\emptyset_{ij}$

38 registro indireto para o f_i de fora da segunda somatória da fórmula (I).

39 registro indireto para o f_i de dentro da segunda somatória da fórmula (I).

40 Registro indireto de v_i

41 Contador para loop até 5

42 Acumulador provisório

APÊNDICE 1

Apresenta-se a seguir o desenvolvimento da fórmula (I) e um caso particular do desenvolvimento da fórmula (II)

$$\mu = \frac{v_1}{1 + \frac{1}{f_1} (f_2 \varnothing_{12} + f_3 \varnothing_{13} + f_4 \varnothing_{14} + f_5 \varnothing_{15})} =$$

$$\frac{v_2}{1 + \frac{1}{f_2} (f_1 \varnothing_{21} + f_3 \varnothing_{23} + f_4 \varnothing_{24} + f_5 \varnothing_{25})} =$$

$$\frac{v_3}{1 + \frac{1}{f_3} (f_1 \varnothing_{31} + f_2 \varnothing_{32} + f_4 \varnothing_{34} + f_5 \varnothing_{35})} =$$

$$\frac{v_4}{1 + \frac{1}{f_4} (f_1 \varnothing_{41} + f_2 \varnothing_{42} + f_3 \varnothing_{43} + f_5 \varnothing_{45})} =$$

$$\frac{v_5}{1 + \frac{1}{f_5} (f_1 \varnothing_{51} + f_2 \varnothing_{52} + f_3 \varnothing_{53} + f_4 \varnothing_{54})} \times 10^{-6}$$

onde :

f_i é dado e

$\varnothing_{ij}$ é obtido pela fórmula (II) e para o caso de $i = 1$ e $j = 2$ fica

$$\varnothing_{12} = \frac{\left[1 + \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^{0.25} \right]^{0.25}}{2.8284 \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right)^{1/2}}$$

PROGRAM LISTING

8.

Program Title

VIS

Date

25.09.

Name

Cálculo da Viscosidade de Misturas Gasosas

REGISTERS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
A	B	C	D	E	I				
LABELS					FLAGS		SET STATUS		
	B	C	D	E	0		FLAGS	TRIG	DISP
	b	c	d	e	1		ON OFF		
	1	2	3	4	2		0 ☐ ☐	DEG ☐	FIX ☐
	6	7	8	9	3		1 ☐ ☐	GRAD ☐	SCI ☐
							2 ☐ ☐	RAD ☐	ENG ☐
							3 ☐ ☐		n

STEP KEY ENTRY

STEP KEY ENTRY

STEP KEY ENTRY



COMMENTS

XEQ SIZE 043

STEP KEY ENTRY

STEP KEY ENTRY

001	LBL VIS
	XEQ INIT
	LBL INIT
	CLR
	1
150	STO 31
	STO 32
	26
	STO 34
010	STO 35
	STO 38
	1.004
	STO 36
	6
	STO 37
	T(C)=P
	PROMPT
	STO 06
	X ²
	STO 07
	RCL 06
	X
	STO 08
020	0.972x10 ⁷
	X
	RCL 07
	0.267E-3
	X
	-
	RCL 06
	0.499
	X
	+
	138.494
	+
	STO 01
030	RCL 06
040	0.442
	X
	RCL 07
	0.213E-3
	X
	-
	165.763
	+
	STO 02
050	RCL 06
	0.417
	X
	RCL 07

	0.139E-3
	X
	-
	167.086
	+
	STO 03
	RCL 08
060	0.139E-6
	X
	RCL 07
	0.326E-3
	X
	-
	RCL 06
	0.558
	X
	+
	190.187
	+
070	STO 04
	RCL 07
080	0.238E-4
	X
	RCL 06
	0.374
	X
	+
	87.800
	+
080	STO 05
	44
	STO 26
	28
	STO 27
	STO 28
	32
	STO 24
	18
	STO 30
090	LBL FI 13
	RCL 31
	RCL 32
	X=Y?
	XEQ FI
	RCL IND 31
	RCL IND 32
	/
	X ²
	RCL IND 35
100	RCL IND 34

	STO 33
	0.25
	X ^x
	X
	1
	+
	X ²
	RCL 33
110	1/X
	1
	+
	SQRT
	2.8284
	X
	÷
	STO IND 37
	1
	STO + 37
120	STO + 35
	STO + 32
	156.36
	GTO FI 13
	1.004
	STO 36
	1
	STO + 31
	STO 32
	STO + 34
	26
130	STO 35
	25
	RCL 37
	X <= Y?
	GTO FI 13
	LBL PREZ
	FI=?
	PROMPT
	STO 26
	F2=?
	PROMPT
	STO 27
	F3=?
	PROMPT
	STO 28
	F4=?
	PROMPT
	STO 29
	F5=?
140	PROMPT

	STO 30
	0
	STO 42
	1.004
	STO 36
	.004
	STO 41
	26
	STO 38
160	STO 39
	6
	STO 37
	1
	STO 40
050	LBL E
060	RCL 38
	RCL 39
	X=Y?
	XEQ SOMA
170	RCL IND 39
	RCL IND 37
	X
	STO + 42
	1
	STO + 39
	STO + 37
	156.36
	GTO E
	RCL IND 38
180	1/X
	RCL 42
	X
	+
	1/X
	RCL IND 40
	X

	STO + 00
	1
190	ST + 38
	ST + 40
	156.41
	GTO RESET
	RCL 09
	1E-6
	X
	ENG 3
	VIS(PORSE)=
	ARCL X
200	AVIEW
	STOP
	LBL FI
	1
	ST + 32
	ST + 35
	GTO FI 13
	LBL SOMA
	1
	ST + 39
210	RTN
	LBL RESET
	1.004
	STO 36
	26
	STO 39
	0
	STO 42
	GTO E
	END
220	

CETESB - CENTRO DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

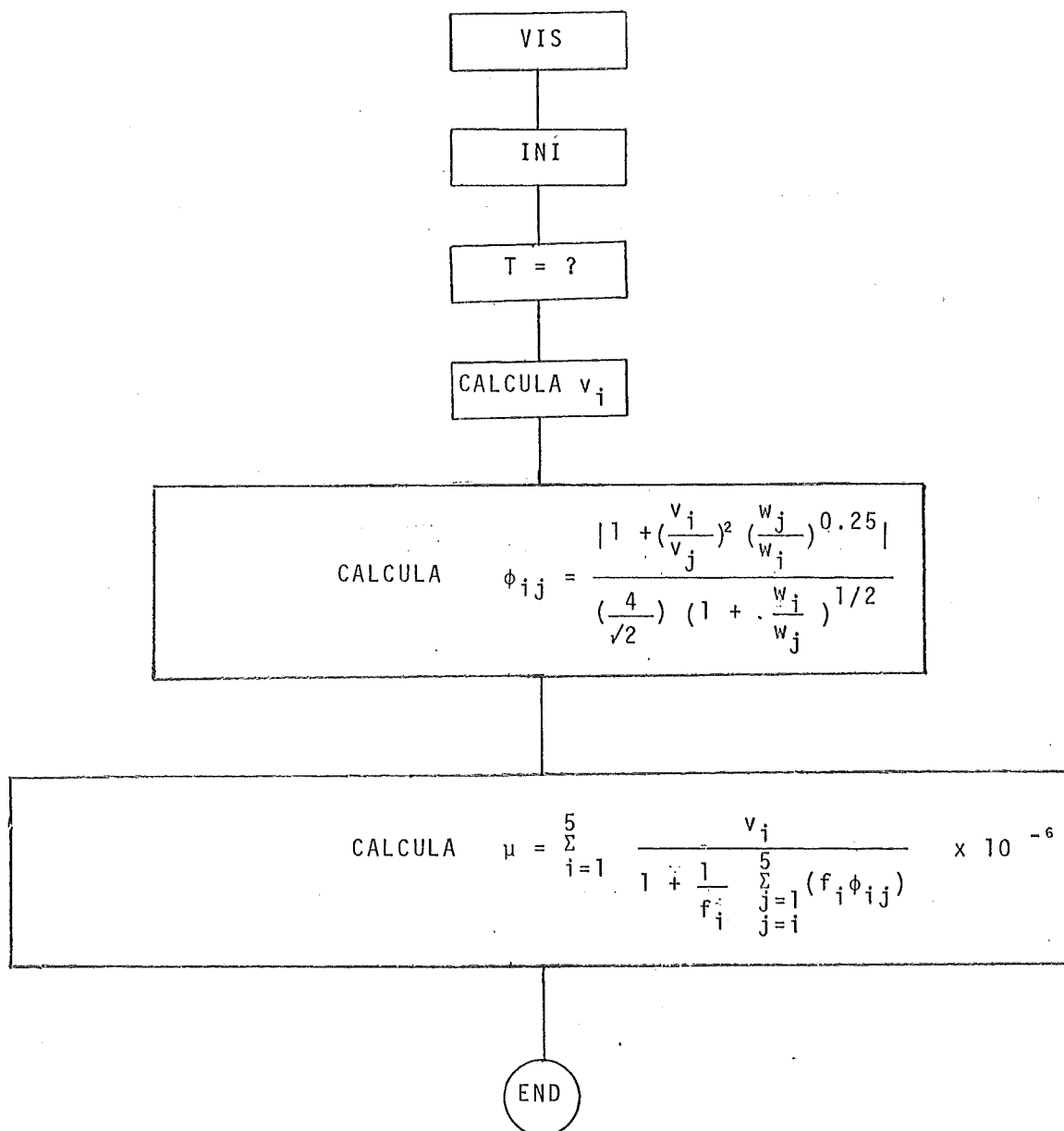
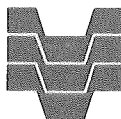


Diagrama de blocos do programa VIS

B I B L I O G R A F I A

- (1) EPA 600/7-78-042 A Computer-Based Cascade Impactor
Data Reduction System.

24/1/91
doct ^{or} D.C.
Prossin
24/1/91
Data



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Pinheiros

Fone: 210.1100 - Telex (011) 222-46-CTS-BR

CEP 05459 — São Paulo - SP — Brasil