



**Memorial descritivo** AB1T1 <Nome da atividade>

**Aluno(a):** <preencher com o nome do aluno1>

<preencher com o nome do aluno2>

<preencher com o nome do aluno3>

**Matrícula:** <preencher com a matrícula do aluno1>

<preencher com a matrícula do aluno2>

<preencher com a matrícula do aluno3>

**Declaração de contribuições/Funções dos autor(es):** **Aluno#1:** Conceitualização; Curadoria dos dados. **Aluno#1:** Análise formal, Metodologia; Software; **Aluno#3:** Escrita - Rascunho Original; Escrita - Revisão & Edição (ver descrição detalhada das funções [aqui](#))

### Problema 1: Descrição

Considere o gás que é composto por 60% de metano, 20% de etano, 20% de n-butano. Determine as propriedades pseudo-críticas e a compressibilidade do gás nas condições de reservatório. Supondo que a pressão total seja 100 bar e a temperatura seja 260.33 °F e que o reservatório é de gás úmido.

## 1. Objetivos

Este memorial detalha o procedimento para calcular o fator de compressibilidade ( $Z$ ) de um gás natural a partir da composição e usando a correlação de Papay[1].

## 2. Dados de entrada

Os dados fornecidos do problema foram:

- Pressão nas condições de reservatório ( $p$ ): 100 bar.
- Temperatura nas condições de reservatório ( $T$ ): 260.33 °F.
- Composição do gás, apresentado na Tabela 1

Tabela 1. Composição do gás.

Componentes	fração molar
C1	0.6
C2	0.2
C4	0.4

## 3. Procedimento de cálculo

O fator  $Z$  é essencial na engenharia de reservatórios de gás natural, pois ajusta a equação dos gases ideais para refletir o comportamento real dos gases sob diferentes condições de pressão e temperatura. A equação geral dos gases reais é:

$$pV = ZnRT \quad (1)$$

sendo:  $p$  a pressão (psia),  $V$  = Volume (ft<sup>3</sup>),  $Z$  Fator de Compressibilidade,  $n$  número de moles,  $R=10.73$  constante universal dos gases (psia-ft<sup>3</sup>/lbm-mol/°R),  $T$  Temperatura (°R).

Desta forma, para obtenção do fator de compressibilidade do gás natural através da aplicação da correlação de Papay[1],

$$Z = 1 + 0.257 \frac{p}{p_{pc}} - 0.533 \frac{pT_{pc}}{p_{pc}T} \quad (2)$$

Serão necessários os seguintes dados:

- Pressão nas condições de reservatório (p)
- Temperatura nas condições de reservatório (T)
- Pressão Crítica Pseudocrítica ( $p_{pc}$ ): Pressão crítica corrigida para misturas de gases.
- Temperatura Crítica Pseudocrítica ( $T_{pc}$ ): Temperatura crítica corrigida para misturas de gases.

Portanto o procedimento de cálculo do fator de compressibilidade do gás natural através da composição será:

1. Estimativa da densidade do gás natural
2. Cálculo das propriedades críticas do gás natural (mistura)
3. Obter o fator de compressibilidade do gás natural pela correlação de Papay[1]

### 3.1. Densidade do gás natural

O objetivo desta etapa é determinar a densidade aparente da mistura, para isso, foi aplicado a regra de mistura de Kay [2], para determinar a massa molecular aparente da mistura:

$$MW_a = \sum_{i=1}^c y_i MW_i \quad (3)$$

sendo,  $MW_a$  massa molecular aparente,  $y_i$  a fração molar do i-ésimo componente da mistura, e  $MW_i$  massa molecular do i-ésimo componente. Portanto,

Tabela 2. Composição do gás.

Componentes	fração molar [-]	Massa molar [lbm/mol]
C1	0.6	16.042
C2	0.2	30.068
C4	0.4	58.120

Pela regra de misturas de Jay, obtemos uma massa molecular aparente de 27.2628 lbm/mol. Portanto, a densidade do gás é igual a:

$$\gamma_g = \frac{MW_a}{29} = \frac{27.2628}{29} \approx 0.94 \quad (4)$$

### 3.2. Cálculo das propriedades críticas do gás natural

Com a densidade do gás natural, nesta etapa são calculados as propriedades crítica da mistura, para isso, foi aplicado a correlação de Standing[3], para determinar a pressão e temperatura pseudo-críticas para um gás natural úmido:

$$T_{pc} = 187 + 330\gamma_g - 71.5\gamma_g^2 \quad (5)$$

$$p_{pc} = 706 - 51.7\gamma_g - 11.1\gamma_g^2 \quad (6)$$

Encontrando assim,  $T_{pc} = 434.02260$  °R e  $p_{pc} = 744.79004$  psia

### 3.3. Fator de compressibilidade do gás natural

Para determinar o fator de compressibilidade do gás natural, foi utilizado o princípio dos estados correspondentes, necessitando assim da estimativa das propriedades pseudo-reduzidas, assim reescrevemos a correlação de Papay [1]:

$$Z = 1 + 0.257p_{pr} - 0.533\frac{p_{pr}}{T_{pr}} \quad (7)$$

sendo:  $p_{pr} = \frac{p}{p_{pc}}$  e  $T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}}$  a pressão e temperatura pseudo-reduzidas do gás natural. Encontramos assim  $T_{pr} = 1.65889$ ,  $p_{pr} = 1.97316$  e  $Z = 0.87313$



#### 4. Conclusões

A correlação de Papay é uma correlação empírica e pode apresentar desvios significativos para condições extremas de pressão e temperatura ou para gases naturais com composições atípicas.

Baseado nos dados fornecidos e na aplicação da correlação de Papay, o fator de compressibilidade (Z) para o gás natural nas condições especificadas é aproximadamente 0.87313, indicando que as forças de atração intermoleculares são predominantes.

#### Referências

- [1] Papay J. (1968) *A Termelőshonológiai Paraméterek Változása a Gástelepek Művelése Során*, OGIL Műsz, Tud, Küzl, Budapest, pp 267-273.
- [2] Kay, W. B. (1936) *Density of Hydrocarbon Gases and Vapor*, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 28, pp. 1014–1019
- [3] Standing, M. B. (1977) *Volumetric and Phase Behavior of Oil Field Hydrocarbon Systems*. Society of Petroleum Engineers, pp. 125–126.

#### Anexos: Códigos utilizados

zfactor.py:

```
1 import numpy as np
2
3 def calculate_z_factor_papay(composition, P_psi, T_f):
4     """
5     Calcula o fator de compressibilidade (Z) para g s natural utilizando:
6     1. Massa Molecular Aparente
7     2. Correção de Standing para G s mido (para Ppc, Tpc)
8     3. Correção de Papay (para Z)
9
10    Args:
11        composition (dict): Dicionário com a composição molar do g s (%).
12                             Ex: {'C1': 85.0, 'C2': 5.0, 'CO2': 3.0, 'N2': 2.0, ...}
13        P_psi (float): Pressão do g s em psia.
14        T_f (float): Temperatura do g s em graus Fahrenheit.
15
16    Returns:
17        float: O fator de compressibilidade (Z).
18    """
19
20    # 1. Dados de Pesos Moleculares dos Componentes (Valores típicos)
21    component_molecular_weights = {
22        'C1': 16.043, # Metano
23        'C2': 30.070, # Etano
24        'C3': 44.097, # Propano
25        'iC4': 58.124, # Isobutano
26        'C4': 58.124, # n-Butano
27        'i-C5': 72.151, # Isopentano
28        'C5': 72.151, # n-Pentano
29        'C6+': 86.178, # Hexanos e mais pesados (valor de referência para C6+, pode ser ajustado)
30    }
31    'CO2': 44.010, # Dóxido de Carbono
32    'N2': 28.013, # Nitrogênio
33    'H2S': 34.082 # G s Sulfídrico
34    }
35    MW_air = 28.966 # Peso molecular do ar
36
37    # 2. Conversão de Unidades
38    T_R = T_f + 459.67 # Temperatura em Rankine
39
40    # 3. Cálculo da Massa Molecular Aparente (Ma) e Gravidade Específica do G s (gamma_g)
41    M_a = 0.0
42    for component, mol_fraction_percent in composition.items():
43        if component in component_molecular_weights:
44            mol_fraction = mol_fraction_percent / 100.0
45            M_a += mol_fraction * component_molecular_weights[component]
```



```
45     else:
46         print(f"Aviso: Componente '{component}' n o encontrado nos dados de pesos moleculares
47             . Ignorando.")
48
49     gamma_g = M_a / MW_air # Gravidade Especifica do G s
50
51     # 4. C lculo da Press o e Temperatura Crticas Pseudocrticas (Ppc, Tpc) - Correla o de
52     # Standing para G s mido
53     # Standing (1977) - Correla o para Ppc e Tpc baseada na gravidade especifica (gamma_g)
54     P_pc = 706 - 51.7 * gamma_g - 11.1 * gamma_g**2
55     T_pc = 187 + 330 * gamma_g - 71.5 * gamma_g**2
56
57     # 5. C lculo da Press o e Temperatura Pseudorreduzidas (Ppr, Tpr)
58     P_pr = P_psi / P_pc
59     T_pr = T_R / T_pc
60
61     # 6. C lculo do Fator de Compressibilidade (Z) - Correla o de Papay
62     # A correla o de Papay tem duas formas, dependendo de Ppr.
63     # Coeficientes da correla o de Papay
64     coeff_A = 0.0051 + 0.0039 * T_pr + 0.0007 * T_pr**2 - 0.0001 * T_pr**3
65     coeff_B = 1.05 + 0.0028 * T_pr - 0.0003 * T_pr**2 + 0.00001 * T_pr**3
66
67     Z = ((coeff_A * P_pr) / T_pr)**coeff_B
68
69     return Z
```

mainmemcal.py:

```
1 from zfactor import calculate_z_factor_papay
2
3 # Exemplo de Composi o do G s Natural (%)
4 gas_composition_example = {
5     'C1': 60, # Metano
6     'C2': 20, # Etano
7     'C4': 20, # n-Butano
8 }
9
10 # Condi es operacionais
11 pressure_psia_example = 100 * 14.5038 # Press o em psia
12 temperature_f_example = 260.33 # Temperatura em Fahrenheit
13
14 # Calcular o fator Z
15 z_factor_result = calculate_z_factor_papay(gas_composition_example, pressure_psia_example,
16     temperature_f_example)
17
18 print(f"--- Dados de Entrada ---")
19 print(f"Composi o do G s: {gas_composition_example}")
20 print(f"Press o: {pressure_psia_example} psia")
21 print(f"Temperatura: {temperature_f_example} F ")
22 print(f"--- Resultado ---")
23 print(f"Fator de Compressibilidade (Z): {z_factor_result:.4f}")
```