PINNeAPPle

RELATÓRIO DE ESTUDO · EXEMPLO PÚBLICO

Válvula globo metano 80 → 60 bar

O que o documento do cliente dizia, o que o CFD diz — e o que ainda não fecha.

2,042 kg/s

de vazão mássica no ponto de operação

Mach 0,525

contra 0,904 do caso original, acima do teto isentrópico

15,28 bar

de queda de pressão estática, com 5 checagens aprovadas

Documento VR-08 · versão 1.0 · 2026
Caso de cliente anonimizado: geometria e condições de processo preservadas, identidade não
OpenFOAM v2606 · Peng-Robinson · rhoPimpleFoam em tempo físico
PINNeAPPle · LAIS & YAN LTDA · pinneapple-labs.github.io

Chegou um documento com a simulação de uma válvula globo em Ansys Fluent, cujos resultados, nas palavras de quem enviou, “não apresentam um resultado físico coerente”, junto com o CAD da peça.

Antes de rodar qualquer coisa, o caso original foi diagnosticado. Quatro números dele se negam entre si:

#	ACHADO	O NÚMERO	POR QUE NÃO FECHA
1	o tempo físico	`300 × 1e-7 s = 30 µs`	a travessia acústica do corpo é ≈ 0,83 ms: a simulação parou em 3,6% de uma travessia
2	o regime	`Mach 0,904`	com 80 → 60 bar o teto isentrópico é 0,674; Mach 0,904 exigiria a saída em 48,3 bar
3	a temperatura	`209 a 367 K`	a laminação isentálpica dá −8,12 K; 209 K exigiriam Mach 1,4
4	a geometria	obturador a 4 mm da sede	o CAD mostra a folga, e o campo não é o de uma abertura de 4 mm

> **Veredito em uma linha.** O diagnóstico do caso original é conclusivo e não precisou de CFD: ele parou antes de o campo existir. O que veio depois é o campo resolvido em tempo físico, com números na faixa física certa.

Pipeline genérico de passagem compressível da plataforma, sem código escrito para este caso.

ITEM	VALOR
Domínio	3-D, construído do CAD: dois bocais Ø20, corpo esférico R29, pescoço, haste, anel da sede e obturador
Malha	`snappyHexMesh`, 16.010 células hexa-dominantes, não-ortogonalidade 41°/10,4°, `checkMesh` aprovado, 137,3 cm³
Solver	`rhoPimpleFoam` (OpenFOAM v2606) em tempo físico, 3.191 passos até t = 27,5 ms (≈ 33 travessias acústicas)
Entrada / saída	estagnação 80 bar (`totalPressure`) · 60 bar estáticos na saída
Média	`fieldAverage` no último quarto da janela

GRANDEZA	VALOR
Vazão mássica	`2,042 kg/s` (7.351 kg/h) · 131,1 m³/h
Pressão estática na entrada	`75,28 bar` (a estagnação imposta é 80 bar; a diferença é a carga dinâmica)
Kv (IEC 60534-2-1)	`7,95` contra 8,84 da correlação (desvio 10%; Cd no gargalo 0,497)
Temperatura na saída · ΔT	`292,85 K` · −7,15 K (isentálpico: −7,45 K)
Mach máximo · u máxima	`0,525` · 232,0 m/s
Densidade na entrada	`56,12 kg/m³`, igual ao Peng-Robinson a 0,10% (gás ideal daria 48,42)

Por que a pressão sobe em rampa

Um passo único de 80 bar sobre um domínio parado não fecha: a primeira correção de pressão sobre-acelera, o gás expande localmente abaixo da pressão de saída e a inversão T(h) do Peng-Robinson estoura. O caso sobe a estagnação em estágios — 62 → 66 → 70 → 74 → 77 → 80 bar —, cada um aquecido pelo campo do anterior, com esquema progressivamente menos difusivo.

CHECAGEM	RESULTADO	SITUAÇÃO
Malha (checkMesh)	aprovado	passa
Solver chegou ao fim do tempo físico	sim	passa
Regime não afogado (p_2/p_1 = 0,803 > 0,545)	sim	passa
Densidade contra Peng-Robinson	0,01%	passa
Kv contra IEC 60534-2-1	9,62 contra 10,67 (Cd 0,601)	passa
Conservação de massa	0,22% (critério 0,1%)	sem referência
Joule-Thomson contra isentálpico	−7,15 K contra −7,45 K (tolerância 1 K)	sem referência
Entalpia de estagnação	+1,20% (critério 1%)	sem referência
Resultado do documento original	ver seção 1	falha

O que interessa aqui. Cinco checagens aprovadas não escondem três que não fecham. As duas falhas de física têm a mesma origem provável — a cortina da sede com ~2 células na radial — e vêm com o próximo passo nomeado.

O que ainda não fecha

ITEM	ESTADO	CONSEQUÊNCIA
Cortina da sede	~2 células na radial (célula de 2 mm numa abertura de 4 mm)	explica o Kv 10% abaixo da correlação e o resíduo de 1,2% na entalpia
Janela de média	27,5 ms, 33 travessias acústicas	o critério de 0,1% na massa pede janela maior (~25 min por dobra)
Oscilação do campo	não medida	16 instantâneos guardados entre 27,7 e 31,5 ms esperam a série temporal
Varrido de abertura	não feito	só depois de a malha da sede estabilizar

Regra da casa. Um número com três checagens abertas continua sendo útil — desde que as três apareçam. Este relatório é a diferença entre “o CFD disse” e “o CFD disse, e aqui está o que ele não disse”.

2,042	0,525	−7,15	5/9
kg/s de vazão mássica	Mach máximo	K de queda de temperatura	checagens aprovadas

O que já dá para decidir

A vazão, a queda de pressão e o coeficiente de descarga na abertura avaliada estão na faixa física: Mach 0,525, densidade dentro de 0,10% do gás real e ΔT a 0,3 K da referência isentálpica. Para operação e para comparação de alternativas, esse número serve — com as ressalvas ao lado.

O que ainda não dá

A curva característica em função da abertura, e qualquer decisão de compra que dependa de Kv com precisão melhor que 10%. Para isso, a cortina da sede precisa de pelo menos 6 células na radial.

Proveniência

O QUE	ONDE
Registro técnico do caso	`PINNeAPPle-CFD/casos/cfd08-valvula-globo/RELATORIO.md`
Pipeline usado	`pinneapple_simulation.pipelines.compressible_internal`
Referência de Kv	IEC 60534-2-1 · equação de estado Peng-Robinson
Identidade do cliente	preservada fora deste documento; geometria e condições, mantidas

> **Este é um relatório de exemplo,** de um caso de cliente anonimizado. Um estudo para a sua válvula segue a mesma estrutura: diagnóstico do que existe, campo em tempo físico, checagens com resultado e a página do que ainda não fecha.