PETROBRAS	**MEMÓRIA DE CÁLCULO**	Nº: MC-9206.00-7501-831-R1N-001	
	CLIENTE: G&E/UN-TERM/UTE-TRI		FOLHA: 1 de 13
	PROGRAMA: PROJETO DE MELHORIA DE ATIVO		-
	ÁREA: USINA TERMELÉTRICA TERMORIO - UTE-TRI		-
G&E	TÍTULO: **MEMÓRIA DE CÁLCULO - VÁLVULA DE CONTROLE – UG-11**		**G&E/EECP/PPA**
			INTERNA
RINA BRASIL SERVIÇOS TÉCNICOS LTDA	RESP. TÉC: RAFAEL REIS GOMES DA SILVA	CREA: 2010133215	
	Nº CONTRATO: 5900.0123407.23.2	Nº DO ARQUIVO: MS WORD 2016®/ FD-9206.00-7501-831-R1N-001=01.DOCX	

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	EMISSÃO ORIGINAL
01	REVISADO PELO RINA
02	ATENDIMENTO DE COMENTÁRIOS

	REV. 0	REV. 01	REV. 02	REV. A	REV. B	REV. C
DATA	28/05/2024	09/09/2024	16/10/2024			
EXECUÇÃO	W.LEITE	W.LEITE	W.LEITE			
VERIFICAÇÃO	R.MAIA	R.MAIA	R.MAIA			
APROVAÇÃO	I.RIBEIRO	R.REIS	R.SILVA			

DE ACORDO COM A DI-1PBR-00337, AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA
A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE. FORMULÁRIO PADRONIZADO PELA NORMA PETROBRAS N-381-REV.M.

SUMÁRIO

1. OBJETIVO 3
2. PREMISSAS 3
2.1. Características de Vazão 3
2.2. Características de Processo 5
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 5
4. METODOLOGIA DE CÁLCULO 5
5. RESULTADOS DOS CÁLCULOS 7
5.1. Cálculo do Cv para as Válvulas de 11 HJA 20 AA001/21 AA003 7
5.2. Cálculo do Cv para as Válvulas de 11 HJA20 AA002/21 AA004 10
6. CONCLUSÃO 13

1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar o dimensionamento das válvulas de controle e redução da UG11 11HJA20 AA001/002 e 11HJA21 AA003/004 a serem instaladas na entrada do sistema de queima suplementar.

2. PREMISSAS

2.1. Características de Vazão

2.1.1. De cordo com a N-1882, para o dimensionamento de CV das válvulas de controle, deve ser utilizada a IEC 60534-2-1, sendo obrigatório, em todas as condições de operação, verificação e tratamento adequado dos itens abaixo relacionados:

a) escoamento crítico, vaporização e cavitação;

b) influência da viscosidade no escoamento de líquidos;

c) estimativa de nível de ruído em gases segundo a IEC 60534-8-3, e líquidos segundo a IEC 60534-8-4;

d) limite de velocidade na entrada da válvula;

e) característica de vazão inerente;

f) diâmetro mínimo em escoamentos com gases, para evitar velocidades sônicas na saída da válvula.

2.1.2. Quanto à rangeabilidade e a seleção do CV a 100 % de abertura, as válvulas de controle devem atender os seguintes critérios:

a) o CV calculado na condição máxima deve corresponder a uma abertura inferior a 90 % do seu curso total;

b) o CV calculado na condição mínima deve corresponder a uma abertura superior a 10 % do seu curso total;

c) caso não seja possível atender aos limites definidos acima com uma válvula de controle, utilizar duas válvulas de controle em paralelo. Esta alternativa deve ser submetida à PETROBRAS.

2.1.3. É recomendado que o CV calculado na condição normal de operação esteja na faixa de 30 % a 70 % da abertura da válvula de controle. [Prática Recomendada]

2.1.4. O limite de velocidade na entrada da válvula de controle deve estar de acordo com a tabela 2.1 a Seguir:

FIGURA 2.1 – LIMITES DE VELOCIDADE NA ENTRADA DA VÁLVULA

Serviço	Valor recomendado	Valor máximo aceitável
Gases e vapores	< 0,3 MACH	0,5 MACH
Líquidos	< 7 m/s	10 m/s

2.1.5. A característica de Vazão deve ser escolhida seguindo a seguinte equação:

$$X = \left(\frac{\Delta P}{\Delta Ps}\right) \qquad \textit{equação 2.1}$$

Onde:

ΔP é o diferencial de pressão na válvula na condição de vazão normal de operação;

ΔPs é o diferencial de pressão dinâmico total do sistema em que a válvula está inserida, incluindo o próprio ΔP da válvula, na vazão normal de operação.

NOTA 1 Valores de pressão estática não devem ser considerados.

NOTA 2 Devem ser consideradas para cálculo do ΔPs todas as perdas de carga que ocorrem no

sistema (tubulação, equipamentos, acessórios) precedente à válvula de controle e que a sucedem, respectivamente.

Então:

a) para X ≥ 0,6 utilizar característica linear;

b) para 0,4 < X < 0,6 utilizar característica parabólica modificada ou igual percentagem;

c) para 0,2 ≤ X ≤ 0,4 utilizar característica igual percentagem;

d) evitar X < 0,2, pois a capacidade de controle da válvula fica comprometida nessa faixa.

2.1.6. Excepcionalmente, quando a perda de carga não for conhecida e o projeto básico não tenha definido a característica inerente requerida, deve ser adotado o seguinte critério:

a) válvulas em recirculação de bombas e compressores, e em serviços que alinhem regiões da planta de alta pressão para baixa pressão devem possuir característica linear;

b) admissão de vapor em sistemas e equipamentos e alinhamento de gases para “flare” devem possuir característica linear;

c) válvulas de controle controlando temperatura em “split range” e instaladas em série e no “by-pass” de trocadores de calor devem possuir característica linear;

d) válvulas em sistemas de escoamento com a presença de muitos equipamentos em série

ou alinhados a limites de bateria, utilizar característica igual percentagem;

e) válvulas sujeitas a condições de diferencial de pressão muito diferentes durante fases distintas de operação devem possuir característica igual porcentagem.

2.2. Características de Processo

Para realização dos cálculos, foram obtidos os dados de processo referentes ao Gás Natural, estes dados foram obtidos através de informações contidas no *"Design Data HJA"*. A Tabela 2.2.1 apresenta os dados de processo utilizados.

TABELA 2.2-1 – CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE PROCESSO

	Gás Natural 11 HJA20 AA001/003			Gás Natural 11 HJA20 AA002/004		
	Mínima	Operação	Máxima	Mínima	Operação	Máxima
Vazão (Nm^3/h)	-	11106	13201	-	11106	13201
Pressão na Entrada (kgf/cm^2)	34			10		
Pressão na Saída (kgf/cm^2)	10			4,5		

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- CONTROL VALVE HANDBOOK, 6TH EDITION, EMERSON/FISHER, EMERSON FLOW CONTROLS;
- N-1882- CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE INSTRUMENTAÇÃO.

4. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Foi utilizado o sofftware *"Valve Specification Manager ver. 2.22.01"* .Este software calcula o Cv ou Coeficiente de Vazão de válvulas de controle para gases, vapores e líquidos utilizando a metodologia descrita na norma ANSI/ISA-75.01.01- "Flow Equations for Sizing Control Valves".

A equação abaixo 4.1, obtida da norma ISA sintetiza as variáveis que entram no cálculo do Cv da válvula:

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_p \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1 / \rho_0}}} \qquad \textit{equação 4.1}$$

Na equação acima, “N1” é uma constante, “Fp” é um fator de correção, “ΔPsizing” é a perda de pressão através da válvula, e “ρ1/ ρ0” é a razão entre a densidade do fluído de processo (índice 1), “ρ1”, na temperatura e pressão do fluído de processo “T1” e “P1” e a densidade do fluído de referência, “ρ0”, nas condições de temperatura e pressão de referência “T0” e “P0”, chamadas na norma de STP (*Standard Temperature and Pressure*).A variável “q” é a vazão volumétrica que escoa através da válvula.

Para líquidos o fluído de referência é a água e STP é T0=60 °F” e “P0=14,606 psia”.

Para gases e vapores utiliza-se ar seco na temperatura de referência “T0=60 °F” e na mesma pressão “P1” do fluido de processo, ou seja, para gases e vapores temos fluído de referência “ar seco”, condições de referência “T0=60 °F” e “P0=P1”.

A razão SG= ρ1/ ρ0 é a gravidade específica do fluido de processo na T1 e P1 em relação ao fluido de referência na STP T0, P0.

Para líquidos o Cv ou coeficiente de vazão é expresso em “*gpm/√psi” ou “gallons per minute of water @ (T0,P0) per square root of psi*”.

Para gases e vapores o Cv é expresso em “scfh//√psi” ou “*standard cubic feet per hour of dry air @ (T0,P1) per square root of psi*”.

Examinando a equação acima vemos que o Cv é diretamente proporcional a vazão “q” que atravessa a válvula e inversamente proporcional a raiz quadrada da perda de pressão de projeto, ΔPsizing, através da válvula. A perda de pressão de projeto é definida arbitrariamente e deve ser menor ou igual a pressão na montante da válvula. Quanto maior o valor de ΔPsizing menor será o Cv da válvula e consequentemente menor o NPS ou “Nominal Pipe Size” e também o custo da mesma. Válvulas de controle são compradas em função do Cv e não do NPS da linha de inserção. Normalmente o NPS da válvula é menor que o da linha de inserção, o que torna necessário o uso de reduções para a instalação da mesa. A perda de carga através dessas reduções da linha de inserção para a válvula de controle é estimado no cálculo prescrito pela norma ISA 75.01.01 e encontra-se embutido no fator de correção Fp.

Enquanto que o Cv requerido para a válvula é calculado usando a norma ISA 75.01.01, o Cv disponível da válvula é obtido executando-se ensaios de bancada com a válvula. Coloca-se na válvula numa bancada de teste capaz de fazer escoar água (no caso de válvulas para líquidos) ou ar seco (válvulas para gases e vapores) e, para cada vazão conhecida medida na bancada de testes, mede-se a perda de pressão através da válvula e daí calcula-se o Cv pela definição de Cv, dado pela fórmula abaixo*:*

$$Cv = q \cdot \sqrt{\left[\frac{(\rho 1/\ \rho 0)}{\Delta P}\right]} \qquad equação\ 4.2$$

Em que:

q[m³/h]: vazão volumétrica;

ρ1[Kg/m³]: densidade do fluido de processo nas condições T1[°C], P1[Kgf/cm²a];

ρ0[Kg/m³]:densidade do fluido de referência nas condições padrão;

ΔP[Kg/m³]: Pressão diferencial através da válvula;

5. RESULTADOS DOS CÁLCULOS

Foram realizados os cálculos dos Cvs das válvulas de controle 11HJA20 AA001/002/003/004, considerando o gás natura, utilizando os programa de dimensionamento de válvulas da Fisher *valve specification manager v2.22.01*.

As Figuras 5.1-1, 5.1-2 , 5.2-1 , 5.2-2, 5.3-1 e 5.3-2 abaixo apresentam o cálculo do Cv da válvula de controle 11HJA20 AA001/003.

Os parâmetros mais relevantes desse dimensionamento são a vazão volumétrica, Q[Nm³/h], a pressão na entrada da válvula, P1[Kgf/cm²g] e a pressão na saída da válvula P2[Kgf/cm²g].

As seguintes restrições devem ser observadas:

P1>dP, a pressão diferencial através da válvula deve ser menor que a pressão na entrada da válvula;

P2=P1-dP>Pv, a pressão na saída da válvula que é igual a pressão na entrada da válvula menos a queda de pressão através da válvula deve ser maior que a pressão de vapor do líquido, se essa condição não for atendida o líquido evapora ao sair da válvula.

Os dados adotados para o caso de escoamento do Gás Natural na tubulação onde ficará a PCV, foram apresentados na seção 2.2 deste documento.

5.1. Cálculo do Cv para as Válvulas de 11 HJA 20 AA001/21 AA003

As figuras 5.1-1 e 5.1-2 mostram os resultados obtidos utilizando o programa referido, utilizando os dados do Gás Natural, com as pressões na entrada e saída das válvulas de 34 e 10 kgf/cm^2 respectivamente.

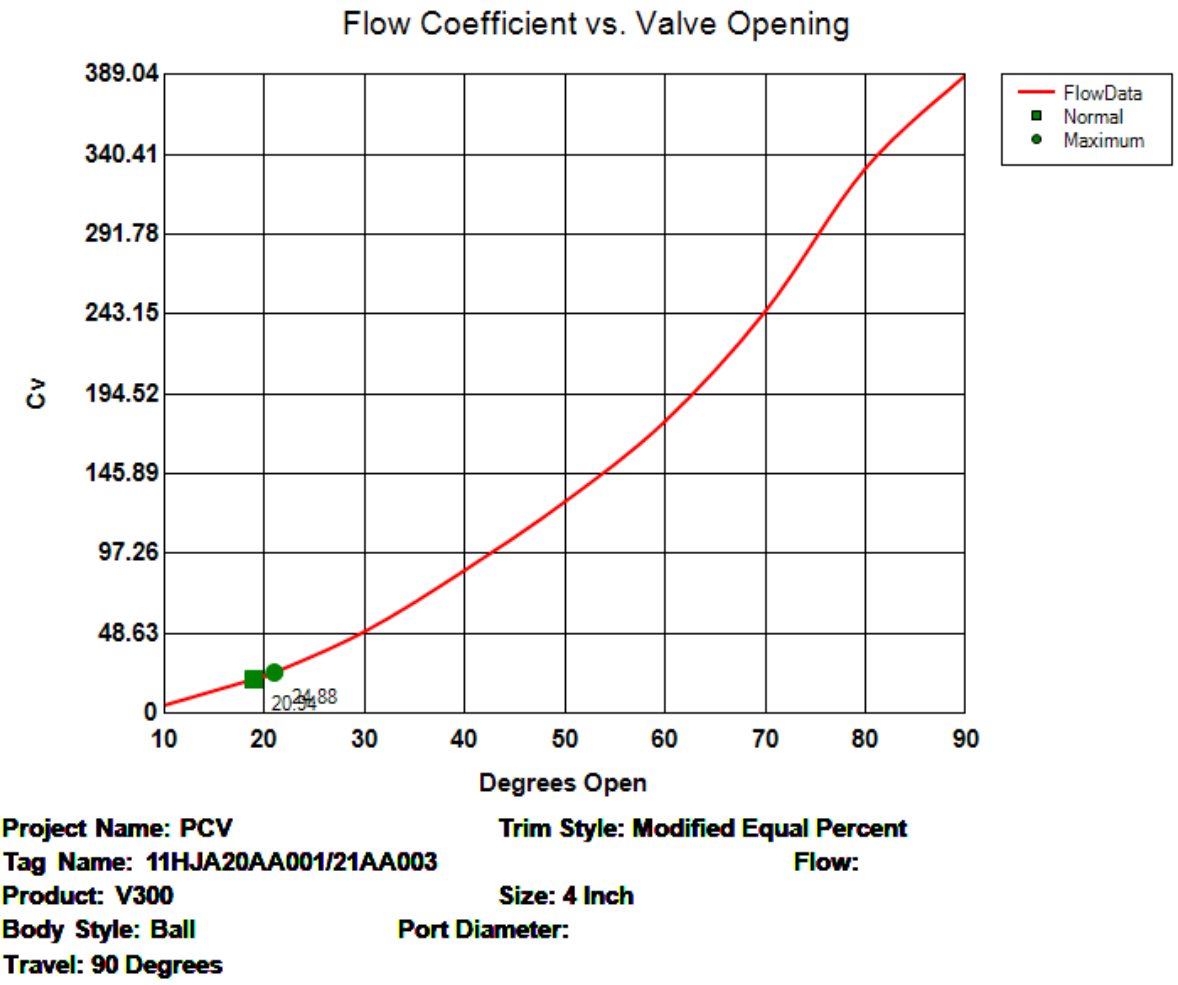
FIGURA 5.1-1 – RESULTADOS OBTIDOS USANDO O VALVE SPECIFICATION MANAGER

SIZING OUTPUTS			
Flow Coefficient (Cv)		20.935	24.884
Mass Flow Rate Gas	kg/h	9332.4275	11092.8666
Pressure differential	kg/cm2	24.00000	24.00000
Valve dP/P1 pressure ratio		0.685	0.685
Pipe and fitting flow correction factor		1.00	1.00
Combined recovery factor			
Adjusted pressure drop ratio factor		0.76	0.76
Inlet Density	kg/m3	25.16	25.16
Kinematic viscosity	cSt	47.69489	47.69489
Expansion factor		0.67	0.67
Reynolds Number			
Choked flow pressure drop	kg/cm2	24.34280	24.34280
Upstream Inside Diameter	mm	102.26	102.26
Downstream Inside Diameter	mm	102.26	102.26
IEC NOISE OUTPUTS			
Whisper III Trim Level			
Trim LpA at 1m	dB(A)	72	73
Outlet LpA at 1m	dB(A)	< 50	< 50
Valve LpA at 1m	dB(A)	72	73
Valve LpA at Rn	dB(A)	72	73
VELOCITY OUTPUTS			
Mach Number Upstream	Mach	0.030	0.036
Mach Number Valve Outlet	Mach	0.096	0.115
Mach Number Downstream	Mach	0.095	0.113
Fluid Velocity Upstream	m/s	12.5452	14.9117
Fluid Velocity Valve Outlet	m/s	40.3559	47.9685
Fluid Velocity Downstream	m/s	39.8352	47.3496
Sonic Velocity Upstream	m/s	418.2377	418.2377
Sonic Velocity Valve Outlet	m/s	418.2377	418.2377
Sonic Velocity Downstream	m/s	418.2377	418.2377
Outlet density	kg/m3	7.92	7.92

Para esta simulação obteve-se uma faixa Cv ***Min/Norm/Max - / 20,93/ 24,88 scfh.*** E o número Mach na saída da válvula ***Min/Norm/Max - /0,096/0,115***. nesta figura também podemos avaliar o nível de ruído que ficou abaixo dos 85dB, para as 2 condições calculadas, sendo os valores de ***- / 72/ 73 dB*** respectivamente.

A Figura 5.1-2 mostra a faixa de Cv em relação ao percentual de abertura para a pré seleção da Válvula de Controle, utilizando o *software "Valve Specification Manager ver. 2.22.01"* nele podemos verificar que os valores de Cv ***Min/Norm/Max - /20,93/ 24,88*** **scfh**.

FIGURA 5.1-2– COEFICIENTE DE VAZÃO PELA ABERTUEA DA VÁLVULA



A Figura 5.1-3, mostra os diâmetros disponíveis para uma válvula esfera, de acordo com as recomendações da N-1882 para a pré seleção, é que a válvula tenha entre 30 a 70% de abertura da válvula, sendo que o Cv mínimo deve estar acima dos 10% de abertura da válvula, desta forma foi selecionada uma válvula de NPS 4.

FIGURA 5.1-3 – DIÂMETROS DISPONÍVEIS EM RELAÇÃO AO CV E AO PERCENTUAL DE ABERTURA

Valve Size	Type	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
NPS 4	Cv	4.91	23.1	49.8	87.2	129	178	245	332	389	- -
DN 100	Cv	4.91	23.1	49.8	87.2	129	178	245	332	389	- -
NPS 6	Cv	- -	36.1	77.4	131	190	266	383	544	657	- -
DN 150	Cv	- -	36.1	77.4	131	190	266	383	544	657	- -
NPS 8	Cv	7.9	48.4	112	186	268	380	553	802	1060	- -
DN 200	Cv	7.9	48.4	112	186	268	380	553	802	1060	- -
NPS 10	Cv	13.3	84.7	181	294	452	633	894	1190	1620	- -
DN 250	Cv	13.3	84.7	181	294	452	633	894	1190	1620	- -
NPS 12	Cv	20.3	132	269	461	687	1010	1350	1920	2830	- -
DN 300	Cv	20.3	132	269	461	687	1010	1350	1920	2830	- -
NPS 14	Cv	- -	229	502	769	1120	1460	2040	2670	3340	- -
NPS 16	Cv	- -	234	600	989	1472	1923	2792	3865	5064	- -
NPS 20	Cv	- -	430	942	1444	2104	2742	3841	5035	6312	- -

A Figura 5.1-3 acima vale exclusivamente para válvulas globo Fischer, outros fabricantes de válvula podem apresentar outros valores de Cv.

Pela figura 5.1-3, obtem-se que uma válvula globo típica que atende a faixa requerida de Cv é a válvula de NPS 4.

5.2. Cálculo do Cv para as Válvulas de 11 HJA20 AA002/21 AA004

As figuras 5.2-1 e 5.2-2 mostram os resultados obtidos utilizando o programa referido, utilizando os dados do Gás Natural como referência, com as pressões na entrada e saída das válvulas de 10 e 4,5 kgf/cm^2 respectivamente.

.

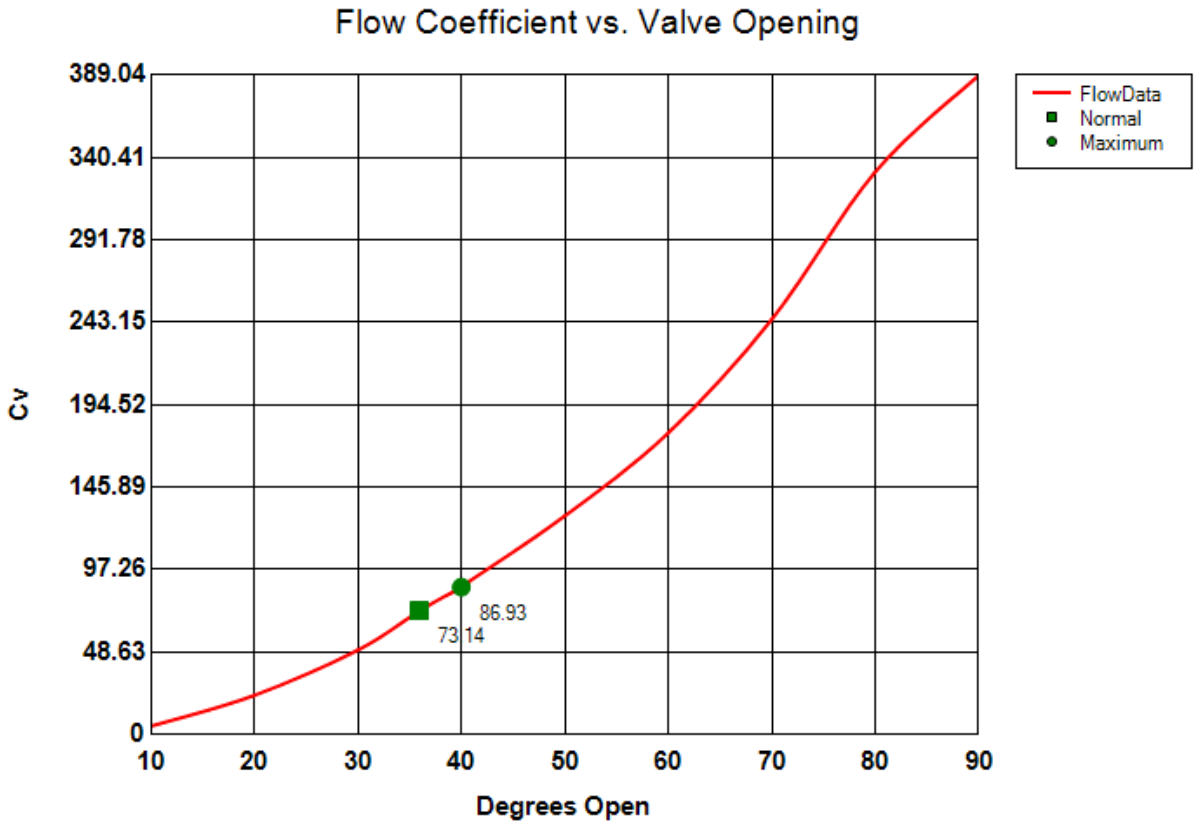
FIGURA 5.2-1 – RESULTADOS OBTIDOS USANDO O VALVE SPECIFICATION MANAGER

SIZING OUTPUTS			
Flow Coefficient (Cv)		73.137	86.934
Mass Flow Rate Gas	kg/h	9332.4275	11092.8666
Pressure differential	kg/cm2	5.50000	5.50000
Valve dP/P1 pressure ratio		0.499	0.499
Pipe and fitting flow correction factor		1.00	1.00
Combined recovery factor			
Adjusted pressure drop ratio factor		0.64	0.64
Inlet Density	kg/m3	7.91	7.91
Kinematic viscosity	cSt	151.74095	151.74095
Expansion factor		0.72	0.72
Reynolds Number			
Choked flow pressure drop	kg/cm2	6.45577	6.45577
Upstream Inside Diameter	mm	102.26	102.26
Downstream Inside Diameter	mm	102.26	102.26
IEC NOISE OUTPUTS			
Whisper III Trim Level			
Trim LpA at 1m	dB(A)	65	66
Outlet LpA at 1m	dB(A)	< 50	< 50
Valve LpA at 1m	dB(A)	65	66
Valve LpA at Rn	dB(A)	65	66
VELOCITY OUTPUTS			
Mach Number Upstream	Mach	0.095	0.113
Mach Number Valve Outlet	Mach	0.193	0.229
Mach Number Downstream	Mach	0.190	0.226
Fluid Velocity Upstream	m/s	39.9125	47.4415
Fluid Velocity Valve Outlet	m/s	80.6287	95.8382
Fluid Velocity Downstream	m/s	79.5883	94.6016
Sonic Velocity Upstream	m/s	418.6434	418.6434
Sonic Velocity Valve Outlet	m/s	418.6434	418.6434
Sonic Velocity Downstream	m/s	418.6434	418.6434
Outlet density	kg/m3	3.97	3.97

Para esta simulação obteve-se uma faixa Cv ***Min/Norm/Max - /73,137/ 86,934 scfh.*** E o número Mach na saída da válvula ***Min/Norm/Max - /0,193/0,229***. nesta figura também podemos avaliar o nível de ruído que ficou acima dos 85dB, para as 2 condições calculadas, sendo os valores de ***- / 65 / 66 dB*** respectivamente.

A Figura 5.2-2 mostra a faixa de Cv em relação ao percentual de abertura para a pré seleção da Válvula de Controle, utilizando o *software "Valve Specification Manager ver. 2.22.01"* nele podemos verificar que os valores de Cv ***Min/Norm/Max - /73,14/ 86,93*****scfh**.

FIGURA 5.2-2– COEFICIENTE DE VAZÃO PELA ABERTUEA DA VÁLVULA



A Figura 5.2-3, mostra os diâmetros disponíveis para uma válvula globo de característica igual porcentagem, de acordo com as recomendações da N-1882 para a pré seleção, é que a válvula tenha entre 30 a 70% de abertura, desta forma foi selecionada uma válvula de NPS 4.

FIGURA 5.2-3 – DIÂMETROS DISPONÍVEIS EM RELAÇÃO AO CV E AO PERCENTUAL DE ABERTURA

Valve Size	Type	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
NPS 4	Cv	4.91	23.1	49.8	87.2	129	178	245	332	389	- -
DN 100	Cv	4.91	23.1	49.8	87.2	129	178	245	332	389	- -
NPS 6	Cv	- -	36.1	77.4	131	190	266	383	544	657	- -
DN 150	Cv	- -	36.1	77.4	131	190	266	383	544	657	- -
NPS 8	Cv	7.9	48.4	112	186	268	380	553	802	1060	- -
DN 200	Cv	7.9	48.4	112	186	268	380	553	802	1060	- -
NPS 10	Cv	13.3	84.7	181	294	452	633	894	1190	1620	- -
DN 250	Cv	13.3	84.7	181	294	452	633	894	1190	1620	- -
NPS 12	Cv	20.3	132	269	461	687	1010	1350	1920	2830	- -
DN 300	Cv	20.3	132	269	461	687	1010	1350	1920	2830	- -
NPS 14	Cv	- -	229	502	769	1120	1460	2040	2670	3340	- -
NPS 16	Cv	- -	234	600	989	1472	1923	2792	3865	5064	- -
NPS 20	Cv	- -	430	942	1444	2104	2742	3841	5035	6312	- -

A Figura 5.2-3 acima vale exclusivamente para válvulas esfera Fischer, outros fabricantes de válvula podem apresentar outros valores de Cv.

Pela figura 5.2-3, obtem-se que uma válvula esfera típica que atende a faixa requerida de Cv é a válvula de NPS 4.

6. CONCLUSÃO

Com base nas informações contidas no item 5 desta memória de cálculo, é possível definir qual melhor faixa de Cv e diâmetros para as válvulas.

A faixa de Coeficiente de Vazão ideal para as válvulas PCV 11 HJA20 AA001/21AA003, seria de:

Min/Norm/Max - / 20,93/ 24,88 scfh, calculado

Uma válvula esfera típica, da marca Fischer, de NPS ou “Nominal Pipe Size” de 4 é a que melhor atende a faixa de Cv calculada. São válvulas shut-off auto-operada com instrumentação.

A faixa de Coeficiente de Vazão ideal para as válvulas PCV 11 HJA20 AA002/21AA004, seria de:

Min/Norm/Max - / 73,14/ 86,93 scfh, calculado

Uma válvula esfera típica, da marca Fischer, de NPS ou “Nominal Pipe Size” de 4 é a que melhor atende a faixa de Cv calculada. São válvulas shut-off auto-operada com instrumentação.