IEC 60534-2-1

Edition 2.0 2011-03

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

## Industrial-process control valves – Part 2-1: Flow capacity – Sizing equations for fluid flow under installed conditions

## Vannes de régulation des processus industriels – Partie 2-1: Capacité d'écoulement – Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides dans les conditions d'installation

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE CODE PRIX XA

ICS 23.060.40; 25.040.40

ISBN 978-2-88912-399-5

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD ..... 4
1 Scope ..... 6
2 Normative references ..... 6
3 Terms and definitions ..... 7
4 Symbols ..... 8
5 Installation ..... 9
6 Sizing equations for incompressible fluids ..... 10
6.1 Turbulent flow ..... 10
6.2 Pressure differentials ..... 11
6.2.1 Sizing pressure differential, $\Delta p_{sizing}$ ..... 11
6.2.2 Choked pressure differential, $\Delta p_{choked}$ ..... 11
6.2.3 Liquid critical pressure ratio factor, $F_F$ ..... 11
6.3 Non-turbulent (laminar and transitional) flow ..... 11
7 Sizing equations for compressible fluids ..... 11
7.1 General ..... 11
7.2 Pressure differentials ..... 12
7.2.1 Sizing pressure drop ratio, $x_{sizing}$ ..... 12
7.2.2 Choked pressure drop ratio, $x_{choked}$ ..... 12
7.3 Specific heat ratio factor, $F_\gamma$ ..... 12
7.4 Expansion factor, $Y$ ..... 13
7.5 Compressibility factor, $Z$ ..... 13
7.6 Non-turbulent (laminar and transitional) flow ..... 14
8 Correction factors common to both incompressible and compressible flow ..... 14
8.1 Piping geometry correction factors ..... 14
8.2 Estimated piping geometry factor, $F_P$ ..... 14
8.3 Estimated combined liquid pressure recovery factor and piping geometry factor with attached fittings, $F_{LP}$ ..... 15
8.4 Estimated pressure differential ratio factor with attached fittings, $x_{TP}$ ..... 16
9 Reynolds Number, $Re_V$ ..... 16
Annex A (normative) Sizing equations for non-turbulent flow ..... 18
Annex B (normative) Sizing equations for fluid flow through multistage control valves ..... 21
Annex C (informative) Piping factor computational considerations ..... 28
Annex D (informative) Engineering Data ..... 34
Annex E (informative) Reference calculations ..... 41
Bibliography ..... 54

Figure 1 – Reference pipe section for sizing ..... 10
Figure B.1 – Multistage multipath trim ..... 23
Figure B.2 – Multistage single path trim ..... 24
Figure B.3 – Disk from a continuous resistance trim The complete trim consists of a number of these disks stacked together. ..... 25
Figure B.4 – Sectional view of continuous resistance trim with multiple flow passages having vertical undulations ..... 25
Figure C.1 – Determination of the upper limit of the flow coefficient by the iterative method ..... 32

Figure C.2 – Determination of the final flow coefficient by the iterative method ..... 33
Figure D.1 – Piping geometry factors ..... 37
Figure D.2 – Pressure recovery factors ..... 39
Figure D.3 – Liquid critical pressure ratio factor $F_F$ ..... 40

Table 1 – Numerical constants *N* ..... 17
Table B.1 – Values of the stage interaction factors, *k*, and the reheat factors, r for multistage single and multipath control valve trim ..... 27
Table B.2 – Values of the stage interaction factors, *k*, and the reheat factors, *r* for continuous resistance control valve trim ..... 27
Table C.1 – Incompressible flow ..... 31
Table C.2 – Compressible flow ..... 31
Table D.1 – Typical values of valve style modifier $F_d$, liquid pressure recovery factor $F_L$ and pressure differential ratio factor $x_T$ at full rated travel [a] ..... 35

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

# INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL VALVES –

## Part 2-1: Flow capacity – Sizing equations for fluid flow under installed conditions

## FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60534-2-1 has been prepared by subcommittee 65B: Measurement and control devices, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1998. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- the same fundamental flow model, but changes the equation framework to simplify the use of the standard by introducing the notion of $\Delta p_{sizing}$;
- changes to the non-turbulent flow corrections and means of computing results;
- multi-stage sizing as an Annex.

The text of this standard is based on the following documents:

| FDIS | Report on voting |
|---|---|
| 65B/783/FDIS | 65B/786/RVD |

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts of the IEC 60534 series, under the general title *Industrial-process control valves*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

# INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL VALVES –

# Part 2-1: Flow capacity – Sizing equations for fluid flow under installed conditions

## 1 Scope

This part of IEC 60534 includes equations for predicting the flow of compressible and incompressible fluids through control valves.

The equations for incompressible flow are based on standard hydrodynamic equations for Newtonian incompressible fluids. They are not intended for use when non-Newtonian fluids, fluid mixtures, slurries or liquid-solid conveyance systems are encountered. The equations for incompressible flow may be used with caution for non-vaporizing multi-component liquid mixtures. Refer to Clause 6 for additional information.

At very low ratios of pressure differential to absolute inlet pressure ($\Delta p/p_1$), compressible fluids behave similarly to incompressible fluids. Under such conditions, the sizing equations for compressible flow can be traced to the standard hydrodynamic equations for Newtonian incompressible fluids. However, increasing values of $\Delta p/p_1$ result in compressibility effects which require that the basic equations be modified by appropriate correction factors. The equations for compressible fluids are for use with ideal gas or vapor and are not intended for use with multiphase streams such as gas-liquid, vapor-liquid or gas-solid mixtures. Reasonable accuracy can only be maintained when the specific heat ratio, $\gamma$, is restricted to the range $1{,}08 < \gamma < 1{,}65$. Refer to Clause 7.2 for more information.

For compressible fluid applications, this standard is valid for valves with $x_T \leq 0{,}84$ (see Table D.2). For valves with $x_T > 0{,}84$ (e.g. some multistage valves), greater inaccuracy of flow prediction can be expected.

Reasonable accuracy can only be maintained for control valves if:

$$\frac{C}{N_{18}d^2} < 0{,}047$$

Note that while the equation structure utilized in this document departs radically from previous versions of the standard, the basic technology is relatively unchanged. The revised equation format was adopted to simplify presentation of the various equations and improve readability of the document.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60534-1:2005, *Industrial-process control valves – Part 1: Control valve terminology and general considerations*

IEC 60534-2-3:1997, *Industrial-process control valves – Part 2-3: Flow capacity – Test procedures*

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS ..... 58
1 Domaine d'application ..... 60
2 Références normatives ..... 61
3 Termes et définitions ..... 61
4 Symboles ..... 62
5 Installation ..... 63
6 Equations de dimensionnement pour les fluides incompressibles ..... 64
6.1 Écoulement turbulent ..... 64
6.2 Pressions différentielles ..... 65
6.2.1 Pression différentielle de dimensionnement, $\Delta p_{dim}$ ..... 65
6.2.2 Pression différentielle engorgée, $\Delta p_{eng}$ ..... 65
6.2.3 Facteur $F_F$ de rapport de pression critique du liquide ..... 65
6.3 Ecoulement non turbulent (laminaire et intermédiaire) ..... 65
7 Equations de dimensionnement pour les fluides compressibles ..... 66
7.1 Généralités ..... 66
7.2 Pressions différentielles ..... 66
7.2.1 Rapport de perte de charge de dimensionnement, $x_{dim}$ ..... 66
7.2.2 Rapport de perte de charge engorgée, $x_{eng}$ ..... 66
7.3 Facteur de rapport des chaleurs massiques, $F_\gamma$ ..... 67
7.4 Facteur de détente, $Y$ ..... 67
7.5 Facteur de compressibilité, $Z$ ..... 68
7.6 Ecoulement non turbulent (laminaire et intermédiaire) ..... 68
8 Facteurs de correction communs à l'écoulement des fluides incompressibles et compressibles ..... 68
8.1 Facteurs de correction de géométrie de la tuyauterie ..... 68
8.2 Facteur estimé $F_P$ de géométrie de la tuyauterie ..... 69
8.3 Estimation du facteur combiné de récupération de pression du liquide et du facteur de géométrie de la tuyauterie avec raccords adjacents, $F_{LP}$ ..... 70
8.4 Estimation du facteur de rapport de pression différentielle $x_{TP}$ avec raccords adjacents ..... 70
9 Nombre de Reynolds, $Re_V$ ..... 71
Annexe A (normative) Equations de dimensionnement pour un écoulement non turbulent ..... 73
Annexe B (normative) Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides dans des vannes de régulation multi-étagées ..... 77
Annexe C (informative) Eléments de calcul des facteurs de tuyauterie ..... 84
Annexe D (informative) Données techniques ..... 90
Annexe E (informative) Calculs de référence ..... 98
Bibliographie ..... 111

Figure 1 – Section de tuyauterie de référence pour le dimensionnement ..... 64
Figure B.1 – Equipement interne à chemins multiples multi-étagé ..... 79
Figure B.2 – Equipement interne à chemin unique multi-étagé ..... 80
Figure B.3 – Disque d'un équipement interne à résistance continue L'équipement interne complet comprend un grand nombre de disques superposés ..... 81

Figure B.4 – Vue en section d'un équipement interne à résistance continue dont les chemins d'écoulement multiples comportent des ondulations verticales ..... 81

Figure C.1 – Détermination de la limite supérieure du coefficient d'écoulement par la méthode itérative ..... 88

Figure C.2 – Détermination du coefficient d'écoulement final par la méthode itérative ..... 89

Figure D.1 – Facteurs de géométrie de la tuyauterie ..... 94

Figure D.2 – Facteurs de récupération de la pression ..... 96

Figure D.3 – Facteur $F_F$ du rapport de la pression critique du liquide ..... 97

Tableau 1 – Constantes numériques *N* ..... 72

Tableau B.1 – Valeurs des facteurs d'interaction entre étages, *k*, et des facteurs de réchauffe, *r*, pour un équipement interne de vanne de régulation à chemin unique et à chemins multiples multi-étagée ..... 83

Tableau B.2 – Valeurs des facteurs d'interaction entre étages, *k*, et des facteurs de réchauffe, *r*, pour un équipement interne de vanne de régulation à résistance continue ..... 83

Tableau C.1 – Ecoulement de fluides incompressibles ..... 87

Tableau C.2 – Ecoulement de fluides compressibles ..... 87

Tableau D.1 – Valeurs typiques du coefficient de correction générique de vanne $F_d$, du facteur de récupération de pression du liquide $F_L$ et du facteur du rapport de pression différentielle $x_T$ à une course assignée maximale [a)] ..... 91

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

# VANNES DE RÉGULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS –

## Partie 2-1: Capacité d'écoulement – Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides dans les conditions d'installation

## AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60534-2-1 a été établie par le sous-comité 65B: Equipements de mesure et de contrôle commande, du comité d'études 65 de la CEI: Mesure, commande et automatisation dans les processus industriels.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1998. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- les mêmes modèles fondamentaux de débit mais modifie l'organisation des équations pour simplifier l'utilisation de la norme en introduisant la notion de $\Delta p_{dim}$;
- des changements dans les corrections pour les fluides non turbulents et dans les moyens d'obtention des résultats;

- le passage des calculs multi-étagés en Annexe.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|---|---|
| 65B/783/FDIS | 65B/786/RVD |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60534, présentées sous le titre général *Vannes de régulation de processus industriels*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

# VANNES DE RÉGULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS –

## Partie 2-1: Capacité d'écoulement – Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides dans les conditions d'installation

## 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60534 comprend des équations permettant de prévoir le débit de fluides compressibles et incompressibles dans les vannes de régulation.

Les équations relatives à l'écoulement des fluides incompressibles sont fondées sur les équations de base applicables aux fluides newtoniens incompressibles. Elles ne sont pas destinées à être utilisées pour des fluides non newtoniens, des mélanges de fluides, des boues ou des systèmes transportant des particules solides en suspension dans un liquide. Les équations relatives à l'écoulement des fluides incompressibles peuvent être utilisées, mais avec prudence, pour les mélanges liquides à composants multiples non volatils. Se reporter à l'Article 6 pour toute information complémentaire.

Aux très basses valeurs du rapport de la pression différentielle à la pression absolue d'entrée ($\Delta p/p_1$), les fluides compressibles se comportent de manière analogue aux fluides incompressibles. Dans de telles conditions, les équations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides compressibles peuvent être déduites des équations de base applicables aux fluides newtoniens incompressibles. Cependant, des valeurs croissantes de $\Delta p/p_1$ provoquent des effets de compressibilité qui nécessitent la modification des équations de base en y introduisant les facteurs de correction appropriés. Les équations relatives aux fluides compressibles sont destinées à être utilisées avec des gaz ou des vapeurs parfaits, mais ne conviennent pas pour les fluides multiphasiques tels que les mélanges gaz-liquide, vapeur-liquide ou gaz-solide. Seule une limitation du rapport des chaleurs massiques, $\gamma$, dans la plage $1{,}08 < \gamma < 1{,}65$ permet d'assurer une précision raisonnable. Se reporter à l'Article 7.2 pour plus d'informations.

Pour les applications de fluides compressibles, la présente norme est valable pour les vannes avec $x_T \leq 0{,}84$ (voir Tableau D.2). Pour les vannes avec $x_T > 0{,}84$ (par exemple, certaines vannes multi-étagées), on peut s'attendre à une plus grande imprécision sur la prévision du débit.

Une précision raisonnable ne peut être assurée que pour les vannes de régulation si:

$$\frac{C}{N_{18}d^2} < 0{,}047$$

A noter que bien que la structure des équations utilisée dans le présent document diffère radicalement des versions précédentes de la norme, la technologie de base demeure relativement identique. Le format d'équation révisé a été adopté pour simplifier la présentation des différentes équations et améliorer la lisibilité du document.

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60534-1:2005, *Vannes de régulation des processus industriels – Partie 1: Terminologie des vannes de régulation et considérations générales*

CEI 60534-2-3:1997, *Vannes de régulation des processus industriels – Partie 2-3: Capacité d'écoulement – Procédures d'essai*