

L'EXACTITUD DELS EQUIPS DE MESURA

Maite Pueyo Vigatà

Secció Catalana de Metrologia de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC). maite.pueyo@gmail.com

Resum: Quan volem saber quina és l'exactitud del nostre equip de mesura acostumem a buscar informació en el manual de l'equip, en el qual habitualment es mostren les especificacions tècniques. Aquesta recerca en molts casos pot ser complicada a causa de la diferent terminologia que es fa servir, i també de les diferents maneres d'expressar la quantitat numèrica associada a l'exactitud. En aquest article es revisa el concepte d'*exactitud*, així com altres conceptes que es fan servir en el seu lloc. També es presenten exemples sobre la millor manera d'expressar l'exactitud d'un equip de mesura.

Paraules clau: exactitud, veracitat, precisió, error, instrument de mesura.

THE ACCURACY OF MEASUREMENT EQUIPMENT

Abstract: In order to find out how accurate our measuring equipment is, we usually look for information in the equipment's manual, which most often sets out the technical specifications. This search can be complicated in many cases due to the different terminology used, as well as the different ways of expressing the associated numerical quantities with accuracy. In this article the concept of *accuracy* is reviewed as well as other concepts that are used in its place. We will also consider examples of the best way to express the accuracy of a measuring instrument.

Keywords: accuracy, trueness, precision, error, measuring instrument.

1. Introducció

La incertesa de mesura és el paràmetre que ens indica la qualitat d'un resultat de mesura. Es determina a partir de l'avaluació de la influència de les diferents variables o fonts d'error que entren en joc quan es fa el mesurament. Una d'aquestes variables o un dels factors que influeix en la incertesa de mesura és l'equip de mesura emprat. Tots tenim clar que no és el mateix mesurar «a pams» que fer-ho amb una cinta mètrica. Per tant, abans de fer un mesurament, hem de saber quina és la incertesa acceptable per al resultat de mesura, per tal d'escollir l'instrument de mesura més adequat. I com determinem que és adequat? Doncs a través de la seva exactitud.

L'exactitud d'un equip de mesura és una característica que habitualment proporciona el fabricant de l'equip. El problema és que, de vegades, aquesta informació està «disfressada» per altres denominacions. Per tant, és imprescindible tenir un coneixement clar sobre què és l'exactitud i quins altres termes hi estan relacionats. D'aquesta manera, la recerca d'aquesta informació podrà acabar amb èxit.

A continuació, es procedeix a presentar tota la terminologia relacionada amb l'exactitud.

2. Terminologia

Per entendre bé el concepte d'*exactitud* i d'altres termes relacionats primer és necessari presentar el terme *error*. Segons el Vocabulari internacional de metrologia (en endavant VIM), que es pot consultar en línia (ACCLC, 2015), en el punt 2.16, l'*error de mesura* és la «diferència entre el valor mesurat d'una magnitud i el valor de referència d'una magnitud». Aquest valor de referència pot ser donat per un patró, un mètode de mesura de referència o un material de referència certificat.

L'error es descompon en un error sistemàtic, ΔX , i un error aleatori, δX .

Matemàticament, podem presentar aquests dos errors amb l'expressió següent:

$$E = \Delta X + \delta X$$

I es pot representar gràficament, de manera aproximada, segons es veu en la figura 1:

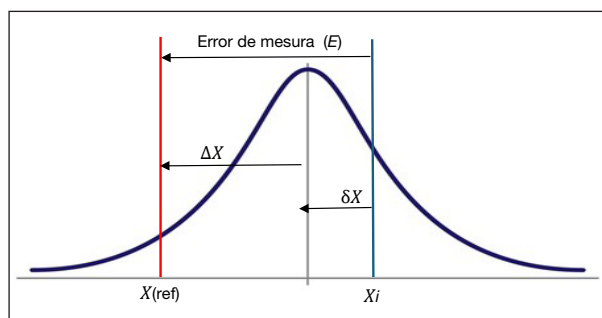


FIGURA 1. Representació gràfica de l'error, amb les seves components: sistemàtic i aleatori.

FONT: Elaboració pròpia.

A continuació, es presenta una explicació més detallada de cada concepte.

2.1. Error sistemàtic

L'*error sistemàtic*, definit en el punt 2.17 del VIM, és la «component de l'error de mesura que, en mesuraments repetits, roman constant o varia de forma previsible». En altres paraules, l'error sistemàtic és el responsable que el valor tingui un biaix, que pot ser positiu o negatiu. Aquest biaix es manté invariable si l'únic que fem és repetir el mesurament.

Posem-ne un exemple: a casa tenim una bàscula on habitualment ens pesem. Si la nostra bàscula té un error de +5 kg, vol dir que el pes que mostra en el visualitzador està esbiaixat respecte al valor real en +5 kg. Així, si, per exemple, veiem 65 kg, en realitat, el pes correcte seria 60 kg.

En aquest cas, l'error no millorarà repetint l'acció de pesar-nos en la bàscula. Seguint amb l'exemple numèric, sempre veurem 65 kg, en comptes de 60 kg.

Matemàticament, l'error sistemàtic es calcula a partir de la diferència entre el valor mesurat i el valor de referència: $X = X - X(\text{ref})$.

Exemples d'errors sistemàtics habituals en metrologia:

— L'error d'indicació d'un equip de mesura. Aquesta és la informació principal que es determina amb el calibratge d'un equip. Es calcula a partir de la diferència entre la indicació de l'equip calibrat i el valor del patró (considerat valor de referència). En un certificat de calibratge, trobem aquesta informació normalment en format de taula, que acostuma a anomenar-se *resultat del calibratge*. Per exemple:

TAULA 1
Taula de resultats de calibratge que indica l'error

Valor patró	Indicació de l'equip	Error
1,00	1,02	0,02
10,0	10,5	0,5
50,0	49,7	-0,3

FONT: Elaboració pròpia.

De vegades, la informació sobre l'error es presenta en forma de correcció:

TAULA 2
Taula de resultats de calibratge que indica la correcció

Valor patró	Indicació de l'equip	Correcció
1,00	1,02	-0,02
10,0	10,5	-0,5
50,0	49,7	0,3

FONT: Elaboració pròpia.

En el punt 2.53 del VIM s'indica que la *correcció* és la «compensació d'un efecte sistemàtic conegut».

Com es pot veure comparant les taules 1 i 2, la correcció i l'error tenen el mateix valor però el signe canviat. Si l'equip té un error de +5 kg, per corregir-lo cal restar 5 kg (correcció = -5 kg) al resultat del mesurament.

— Error per efecte de magnituds d'influència. De vegades, el resultat del mesurament pot estar esbiaixat per efecte d'una magnitud d'influència. Un cas típic és el de les mesures dimensionals: si quan mesurem la longitud d'un objecte, la temperatura és diferent de 20 °C (temperatura de referència), el valor mesurat estarà afectat de manera sistemàtica per la temperatura. En aquest cas, l'error sistemàtic es pot calcular a partir d'expressions del tipus

$$X = L \cdot \alpha \cdot \Delta T,$$

essent L la longitud mesurada, α el coeficient de dilatació de l'equip de mesura i ΔT la diferència de temperatura respecte a la de referència.

— Error associat a un paral·laxi en una lectura. Aquest error és típic en equips analògics (per exemple, un manòmetre electromecànic) o en recipients volumètrics amb un enrasament. Aquest és un error humà, que cal quantificar experimentalment i que es presentarà a través d'una funció de correcció personalitzada per a un tècnic concret.

El concepte qualitatiu que descriu l'error sistemàtic és la *veracitat* i es detalla en el punt 2.14 del VIM com: «Concordança entre la mitjana d'un nombre infinit de valors mesurats repetits i un valor de referència d'una magnitud». És interessant revisar també les notes que afegeix el VIM a aquest concepte:

1. La veracitat de mesura no és una magnitud i no pot expressar-se numèricament, però la norma ISO 5725 en proporciona característiques.
2. La veracitat de mesura varia en sentit invers a l'error sistemàtic, però no està relacionada amb l'error aleatori.
3. No s'ha d'emprar el terme *exactitud de mesura* per designar la veracitat de mesura.

La nota 1 ens remarca que la veracitat no és una variable quantificable, ja que, si en rellegim la definició, trobem que implica un nombre infinit de mesures, que no podem fer. La nota 2 ens estableix la relació entre error sistemàtic i veracitat: un mesurament és més veraç com més petit si-

gui el seu error sistemàtic, i viceversa. La nota 3 ja avisa sobre les errades terminològiques que sovint es fan, i que han estat motiu d'aquest article: no hem de confondre exactitud amb veracitat.

2.2. Error aleatori

Segons el punt 2.19 del VIM, l'*error aleatori* és «la component de l'error de mesura que, en mesuraments repetits, varia de manera imprevisible». Quan repetim el mesurament d'una mateixa magnitud sobre un mateix ítem, els valors obtinguts presenten una variabilitat deguda a la inestabilitat del procés de mesura, que pot estar causada per l'instrument de mesura (repetibilitat i resolució), per l'efecte de la variació de magnituds d'influència mentre es fa el mesurament o pel canvi d'operari, entre d'altres.

L'error aleatori es quantifica habitualment a través del càlcul de la desviació estàndard (s) del conjunt de valors obtinguts experimentalment en repetir el procés de mesura, a partir de l'expressió següent:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

essent x_i cadascun dels n valors individuals mesurats, corresponents a la mateixa variable i $\bar{x}$ la mitjana aritmètica de la mostra de valors individuals.

És important tenir en compte que, si bé la quantificació de l'error aleatori es fa sempre de la mateixa manera: fent mesures repetides de la mateixa magnitud en el mateix ítem, el valor resultant pot canviar segons com es facin aquestes repeticions. Per exemple, en la determinació del valor de longitud d'un bloc, per quantificar l'error aleatori associat a aquest mesurament podem seguir les alternatives següents:

a) Un mateix tècnic, amb el seu peu de rei, mesura deu cops el bloc, col·locant el peu de rei sempre en la mateixa posició.

b) Deu tècnics diferents, en diferents instal·lacions, amb diferents equips i en dies diferents, mesuren un cop el bloc, fent servir cadascú la seva metodologia.

En tots dos casos s'han obtingut deu valors, però l'error aleatori associat al cas B serà més gran que el del cas A, a causa de la influència de més causes de variació.

Per tant, quan es parla d'error aleatori, sempre és necessari indicar en quines condicions s'ha obtingut. D'aquí venen les expressions: *condicions de repetibilitat* i *condicions de reproductibilitat*:

— *Condicció de repetibilitat* (del punt 2.20 del VIM): «Condicció de mesurament en un conjunt de condicions que inclou el mateix procediment de mesura, els mateixos operadors, el mateix sistema de mesura, les mateixes condicions de funcionament i el mateix lloc, així com també mesuraments repetits del mateix objecte o objectes similars durant un curt període de temps». Seria el cas de l'alternativa a en l'exemple anterior.

— *Condicció de reproductibilitat* (del punt 2.24 del VIM): «Condicció de mesurament, en un conjunt de condicions que comprèn llocs, operadors i sistemes de mesura diferents, així com també mesuraments repetits del mateix objecte o objectes similars». Seria el cas de l'alternativa b. La reproductibilitat s'acostuma a determinar a través de comparacions entre laboratoris.

A mig camí entre totes dues, trobem la *condició de precisió intermèdia* (punt 2.22 del VIM). En aquest cas, cal detallar bé quines fonts de variació són les que canvien i quines no.

El concepte qualitatiu que descriu l'error aleatori és la *precisió*. Segons el punt 2.15 del VIM, la precisió és la «concordança entre les indicacions o els valors mesurats obtinguts mitjançant mesuraments repetits del mateix objecte o objectes similars en condicions especificades». Igualment com s'ha fet abans amb la veracitat, es considera interessant revisar també les notes que afegeix el VIM per a aquest concepte:

1. En general, la precisió de mesura s'expressa numèricament gràcies a mesures d'imprecisió com ara la desviació estàndard, la variància o el coeficient de variació, en les condicions especificades.
2. Les condicions especificades poden ser, per exemple, condicions de repetibilitat, condicions de precisió intermèdia o condicions de reproductibilitat.
3. La precisió s'utilitza per definir la repetibilitat de mesura, la precisió intermèdia de mesura o la reproductibilitat de mesura.
4. De vegades el terme *precisió de mesura* s'utilitza de manera inadequada per designar l'exactitud de mesura.

La nota 1 detalla com es quantifica habitualment aquest tipus d'error. Les notes 2 i 3 remarquen el que ja s'ha comentat en paràgrafs anteriors, sobre els diferents tipus de precisions, segons les condicions en què s'estan fent els mesuraments repetits. La nota 4 insisteix a no fer un ús inadequat d'aquest terme.

Després de repassar exhaustivament els dos tipus d'errors i els conceptes relacionats, es procedeix a revisar la definició d'*exactitud*.

2.3. Exactitud de mesura

Segons el punt 2.13 del VIM, l'*exactitud de mesura* és la «concordança entre un valor mesurat i un valor veritable d'un mesurand». De les notes que acompanyen aquesta definició, en destaquem:

1. L'exactitud de mesura no és una magnitud i no s'expressa numèricament. De vegades, d'un mesurament es diu que és més exacte si genera un error de mesura més petit.
2. No és convenient emprar el terme *exactitud de mesura* per designar la veracitat de mesura, ni el terme *precisió de mesura* per a l'exactitud de mesura. Aquest darrer, però, sí que està relacionat amb la veracitat i la precisió.

A continuació, i per tancar aquest capítol de definicions, es presenta la figura 2, en què s'il·lustren els tres conceptes que han estat objecte de discussió (AMC, 2003):

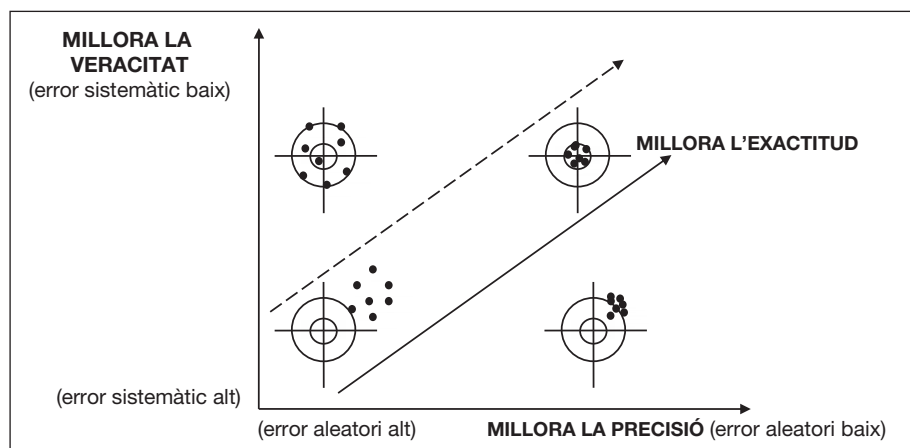


FIGURA 2. Relació entre veracitat, precisió i exactitud.
FONT: Elaboració pròpia.

En la primera diana, es representen un conjunt de valors amb un error aleatori alt i amb un de biaix, perquè són lluny del centre de la diana. Si avancem en l'eix X, i la precisió millora, l'error aleatori baixa i, ara, la representació mostra un conjunt de punts més propers entre ells. Si avancem en l'eix Y, el conjunt de punts es mostren centrats i, per tant, la veracitat ha millorat. Només avançant en la diagonal, trobem la quarta diana amb els punts més propers entre ells i centrats. En aquest darrer cas podem dir que l'exactitud ha millorat.

Quan es volen expressar les característiques metrològiques d'un instrument de mesura o d'una mesura materialitzada, el terme més adequat que s'ha de fer servir és *exactitud*. Tot i que l'exactitud és un terme qualitatiu i, per tant, quan en volem expressar el valor numèric, hauríem de parlar d'*error*, el més habitual és fer-lo servir com a tal. L'exactitud aglutina els dos tipus d'errors i, per tant, és una dada que informa de l'interval de valors dins el qual es trobarà el valor veritable.

Habitualment, l'error d'exactitud o exactitud (per simplificar) s'expressa com un valor numèric que representa la semiamplicitud de l'interval de valors possibles.

Per exemple, revisant les especificacions tècniques d'un termòmetre, el fabricant indica:

TAULA 3
Extracte de les característiques tècniques d'un termòmetre de lectura directa

Rang de mesura	Resolució	Exactitud
-20 °C a +80 °C	0,1 °C	± 0,4 % v. m. ± 0,3 °C

FONT: Elaboració pròpia.

En aquest exemple, la informació que dona el fabricant és l'exactitud de l'equip, com a semiinterval, i expressada amb un variable, que depèn del valor mesurat (v. m.):

$$0,4\% \text{ v. m.} = 0,004 \cdot t$$

Més un terme fix, igual a 0,3 °C.

Així, per exemple, a 20 °C, l'exactitud seria igual a: $\pm(0,004 \cdot 20 + 0,3) \text{ °C} = 0,38 \text{ °C}$.

2.4. Altres conceptes relacionats amb l'exactitud

Hi ha altres conceptes que, si bé no són sinònims, es fan servir com a substitut de l'exactitud. En destaquem, la *linealitat*, l'*error màxim permès* i la *tolerància*.

Linealitat no és un terme inclòs en el VIM, ja que pot definir-se de moltes maneres (segons es defineixi la recta considerada i la distància a la recta), però es fa servir en algunes àrees tècniques de la metrologia com a indicatiu de la veracitat de l'equip de mesura. Per exemple, en les especificacions de les balances, en què l'error sistemàtic sempre queda anul·lat després de fer l'ajust a zero i a la càrrega que marca el fabricant; és més adequat parlar de *linealitat* que de *veracitat*. En aquest cas, s'interpreta com la diferència residual entre el valor indicat per l'equip i el seu valor veritable (valor nominal), considerant que la relació entre la indicació de l'equip i el valor nominal és una recta que passa per l'origen i de pendent 1. Aquesta informació es considera com l'error sistemàtic residual.

En l'exemple de la figura 3, s'interpreta que, per un valor nominal de, per exemple, 6 g, l'equip pot mostrar valors entre 5,6 g i 6,4 g. Això implica un error de linealitat de ±0,4, que seria aplicable a tot el rang de mesura de la balança.

El concepte d'*error de mesura màxim permès* el trobem en el punt 4.26 del VIM i es defineix com el «valor extrem de l'error de mesura, en relació amb un valor de referència d'una magnitud conegut, que és tolerat per les especificacions o els reglaments per a un mesurament, un instrument de mesura o un sistema de mesura determinats.

Notes:

1. Els termes *error de mesura màxim permès* o *límit d'error* són, en general, utilitzats quan hi ha dos valors extrems.
2. No s'ha d'emprar el terme *tolerància* per designar l'error de mesura màxim permès».

La nota 1 de la definició no ajuda gaire a la comprensió, ja que tant pot interpretar-se que l'error de mesura màxim permès (també descrit com EMP) correspon a l'amplicitud d'un interval de valors o bé a la semiamplicitud. És a dir, es podria indicar un valor d'EMP com a 4 kg o bé com a ±2 kg. Per aquesta autora, es considera com un semiinter-

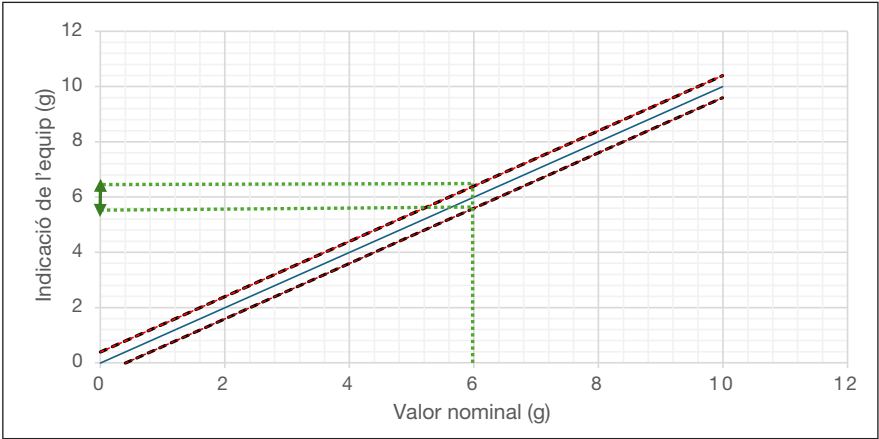


FIGURA 3. Representació de la linealitat d'una balança.
FONT: Elaboració pròpia.

val, ja que d'aquesta manera es pot comparar directament amb la incertesa expandida.

L'EMP el poden fer servir equips, sistemes de mesura o altres especificacions. I és equivalent a l'exactitud.

La *tolerància* és un altre terme, no inclòs en el VIM, que de vegades es fa servir per indicar les característiques metrològiques d'un equip de mesura. La seva definició la podem trobar en diferents fonts, per exemple, la norma ISO 3534-2: 2013 (AENOR, 2013) al numeral (1.4.4) defineix *tolerància* com «la diferència entre els límits de tolerància superior i inferior», essent els *límits de tolerància* (ISO 3534-2: 2013 (1.4.3) «els valors especificats d'una característica, que constitueixen els límits superior i inferior dels valors permesos».

Tant l'error de mesura màxim permès com la tolerància es refereixen a un interval de valors permesos. De fet, l'error màxim permès és un tipus de tolerància. Per això, el més habitual és emprar el terme d'*error de mesura màxim permès* per als equips de mesura i parlar de *tolerància* en processos, materials o productes.

3. Exemples

Els fabricants d'equips de mesura no sempre fan servir la terminologia normalitzada a l'hora de proporcionar informació amb relació a les característiques tècniques dels equips. De vegades, a més de no normalitzada, és confusa. A continuació, es mostren alguns exemples reals de característiques tècniques extretes de manuals de diferents tipus d'equips de mesura. Amb l'objectiu de veure quin és l'estat de l'art en l'ús de la terminologia revisada en els apartats anteriors. (No es dona informació de marca ni model, per tal de preservar l'anonimat del fabricant.)

TAULA 4
Exemple 1. Característiques d'un mòdul de pressió diferencial

Rang	±200 Pa
Resolució	0,1 Pa
Precisió	±0,1 % FS

FONT: Elaboració pròpia.

En aquest cas veiem com, en comptes d'exactitud, el fabricant fa servir el terme *precisió*, la qual cosa no té sentit. Recordem, tal com s'ha explicat en l'apartat anterior, que la precisió informa sobre l'error aleatori o repetibilitat de l'instrument, i que no inclou l'error sistemàtic. Seria correcte si, a més de la precisió, es donés informació relativa a la veracitat o linealitat. Però indicar únicament la precisió és incomplet.

Cal, doncs, reinterpretar la informació i assumir que l'exactitud de l'equip és de ±0,1 % FS. S'entén que FS és la sigla de *full scale*. En aquest cas, l'escala va de -200 Pa a +200 Pa; per tant, FS és igual a 400 Pa i l'exactitud és igual a ±0,001 · 400 Pa = ±0,4 Pa.

TAULA 5
Exemple 2. Característiques d'una microbalança

Rang	0 2,1 g
Resolució	0,0001 mg
Repetibilitat (tolerància de la desviació estàndard)	0,00025 mg
Linealitat (tolerància)	0,0009 mg
Excentricitat (tolerància)	0,0007 mg

FONT: Elaboració pròpia.

En aquest exemple les característiques metrològiques les informen per separat. Entenem que quan indica (tolerància), es refereix al valor màxim de cada característica metrològica: repetibilitat, linealitat o excentricitat, segons escaigui. El que no queda clar en aquest cas és si els valors indicats són el límit de variació màxima o un semiinterval, ja que no s'inclou el símbol ±. En aquest cas, per tal d'establir l'error de mesura màxim admès o l'exactitud de la balança caldria combinar aquesta informació, per exemple, de la manera següent:

exactitud = repetibilitat + linealitat + excentricitat =
0,00185 mg

TAULA 6
Exemple 3. Característiques d'una balança industrial

Abast / precisió (15 000 divisions)
3 kg / 0,2 g

FONT: Elaboració pròpia.

Com podem veure, en aquest cas es torna a confondre la terminologia. El fabricant indica que la precisió és de 0,2 g, quan, en realitat, aquest valor està referint-se a la resolució.

TAULA 7
Exemple 4. Característiques d'un anemòmetre

Rang	1: 0,8 m/s a 3 m/s 2: 3,1 m/s a 25 m/s
Precisió	1: $\pm (3\% \text{ v. m. } + 0,1 \text{ m/s})$ 2: $\pm (1\% \text{ v. m. } + 0,3 \text{ m/s})$

FONT: Elaboració pròpia.

En aquest exemple passa exactament el mateix que en l'exemple 1: es fa servir el terme de *precisió* en comptes del d'*exactitud*. S'inclou per il·lustrar que hi ha diferents maneres d'expressar l'exactitud en els equips. En aquest cas concret, hi ha dues expressions matemàtiques depenent del rang. Cadascuna té un terme fix i un terme variable que depèn del valor mesurat (v. m.). La referència al valor mesurat es pot trobar amb l'anotació v. m. o també amb l'expressió anglesa m. v. (*measured value*) o rdg (*reading* = 'lectura'). Per tant, quan trobem expressions d'aquest tipus caldrà calcular per cada valor mesurat l'exactitud corresponent al valor mesurat.

TAULA 8
Exemple 5. Característiques d'un termòmetre d'infraroig

Rang	30 °C a 400 °C
Exactitud	$\pm 1,5\text{ °C}$ o $\pm 1,5\%$ del v. m. (+0,1 a +400 °C) $\pm 2\text{ °C}$ o $\pm 2\%$ del v. m. (-30 a 0 °C) (prendre el valor més alt)

FONT: Elaboració pròpia.

En aquest cas trobem unes especificacions ben definides, amb la terminologia adequada. Es destaca que el valor de l'exactitud canvia segons el rang de mesura. I, en tots dos rangs, indiquen dos valors possibles i expliquen que sempre cal agafar el més alt.

4. Com establir l'error de mesurament màxim permès (EMP)

Després de calibrar un equip de mesura, cal avaluar si té un error inferior al límit màxim establert. Aquesta avaluació, o verificació dels resultats del calibratge, també la podem anomenar *declaració de conformitat*.

Per poder fer la declaració de conformitat cal establir, en primer lloc, el criteri d'acceptació o rebuig, que habitualment serà l'error de mesurament màxim permès. Per establir aquest valor d'EMP es recomana prendre com a referència les especificacions de l'equip, que es troben en el manual del fabricant.

També cal tenir en compte com es calibrarà l'equip i la seva incertesa de calibratge, ja que si és massa gran, en relació amb l'EMP, la conformitat serà difícil d'aconseguir. Es recomana tenir en compte que la relació entre l'EMP i la incertesa de calibratge sigui: $EMP \geq 3U$.

5. Conclusions

Al llarg de l'article s'ha fet un repàs a tota la terminologia relacionada amb el concepte d'*exactitud* aplicada als equips de mesura. L'objectiu ha estat ajudar l'usuari a llegir i entendre les especificacions dels equips publicades pels fabricants i establir els criteris d'exactitud més adequats per als equips de mesura emprats en l'exercici de les seves tasques. El fet de fer servir la terminologia adequada i correcta facilita la comunicació entre diferents parts.

Agraïments

Agraeixo la col·laboració de tots els vocals de la Secció de Metrologia de la Societat Catalana de Tecnologia, societat filial de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC), per la seva col·laboració en la revisió d'aquest article.

Bibliografia

- ACCLC = ASSOCIACIÓ CATALANA DE CIÈNCIES DE LABORATORI CLÍNIC (2015). *Vocabulari internacional de metrologia* [en línia]. Barcelona: TERMCAT, Centre de Terminologia. (Diccionaris en Línia) <<https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/192/ca>> [Consulta: 31 octubre 2024].
- AENOR = ASSOCIACIÓ ESPANYOLA DE NORMALITZACIÓ I CERTIFICACIÓ (2013). *UNE-ISO 3534-2. Estadística. Vocabulario y símbolos. Parte 2: Estadística aplicada* [en línia]. Madrid: AENOR. <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051705>> [Consulta: 31 octubre 2024].
- AMC = ANALYTICAL METHODS COMMITTEE (2003). «Terminology – The key to understanding analytical science. Part 1: Accuracy, precision and uncertainty». *Technical Brief* [en línia], núm. 13 [Royal Society of Chemistry]. <https://www.rsc.org/images/terminology-part-1-technical-brief-13_tcm18-214863.pdf> [Consulta: 9 gener 2025].