

CALIBRATGE DE BÀSCULES DE TANC

Josep Campolier i Fulgencio Buendia

L'abril de 2023 a Hamburg es va celebrar la Conferència Internacional sobre Pesatge, organitzada per la CECIP (Federació Europea de Constructors d'Instrumentes de Pesatge). A la conferència hi van participar dues-centes trenta entitats i empreses procedents de vint-i-cinc països de tots els continents. Cal destacar la participació de la OIML (Organització Internacional de Metrologia Legal) i de la BIPM (Oficina Internacional de Pesos i Mesures). Durant tres dies, es van presentar una llarga llista de ponències relacionades amb la metrologia, tant en l'àmbit científic com en l'aplicat. Un dels aspectes rellevants va ser, sens dubte, el mesurament del pes, que és una de les aplicacions capdavanteres de la metrologia. En el capítol de nous mètodes metrològics, es va presentar una metodologia aplicada al calibratge de bàscules, en què el receptor de càrrega són tremuges, dipòsits, tancs de procés, reactors, etc. Per simplificar, a partir d'ara emprarem el terme genèric de *bàscules de tanc*.

A continuació, i amb l'autorització del ponent Sr. Daniel Eisenbarth de l'empresa [Mettler Toledo](#), explicarem amb més detall el calibratge de les bàscules de tanc.

1. Introducció al calibratge de bàscules de tanc

En la majoria d'indústries alimentàries, químiques, farmacèutiques i altres, hi ha processos que requereixen el pesatge de sòlids i de líquids a granel. Podem citar, com a exemples més comuns, els processos d'emmagatzematge i control d'inventaris, el dosatge d'un o diversos ingredients en quantitats predeterminades segons una recepta establerta o les aportacions de components en una reacció química provocada en un reactor.

Habitualment, els tancs de pesatge estan suspesos o bé recolzen en tres o quatre cèl·lules extensomètriques de pesatge, analògiques o digitals, connectades a un terminal de pesatge on es pot veure la indicació del pes (figura 1). Amb el pas del temps, aquests sistemes estan més integrats en controls automatitzats en els processos de moltes indústries.

Els requisits d'assegurament i gestió de la qualitat de la fabricació, especificats en normes com les ISO, IFS, BRC, FDA, NCF, exigeixen les verificacions i els calibratges dels

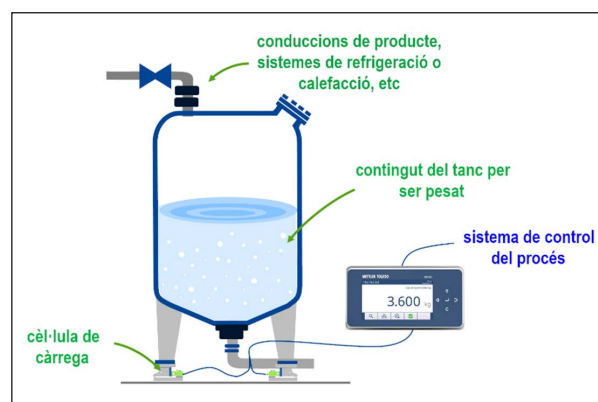


FIGURA 1. Esquema de tancs amb pesatge.

instrumentes de mesura, com els de pesatge, que intervenen en els processos utilitzats.

Com a exemple, es pot consultar l'ISO 9001:2015 en el punt 7.1.5.2 sobre la traçabilitat de les mesures (figura 2).

2. Necessitat d'un nou mètode de calibratge

Per a calibrar instruments de pesatge s'han utilitzat majoritàriament pesos patró, traçables a patrons nacionals. Aquests pesos, amb un valor nominal conegut, es col·loquen sobre el receptor de càrrega de l'instrument de pesatge (el tanc o el dipòsit) fins a arribar a l'abast màxim del sistema (figura 3).

Una vegada finalitzat el procediment, l'instrument queda calibrat; s'estableix una relació entre la indicació de l'instrument i el valor dels pesos patró aplicats. És el mètode que proporciona una incertesa millor. No obstant això, com més gran és l'abast de l'instrument de pesatge que sosté el tanc, més pesos patró són necessaris i més complicada és la manipulació i el posicionament adequat sobre el tanc. Per aquest motiu, en el punt 4.3 de la guia de calibratge CG18 de [EURAMET](#) per a instruments de pesatge, també s'indica l'ús de patrons de massa, però s'obre la porta a l'ús d'altres càrregues d'assaig, com són els assajos comparatius (per exemple, assajos de decantació o repetibilitat) o la càrrega simple de l'instrument (per exemple, precàrrega, càrrega de tara que ha de ser equilibrada, càrrega de substitució).

7.1.5.2 Traçabilitat de les mesures

Quan la traçabilitat de les mesures és un requisit, o l'organització considera que és una part essencial per a aportar fiabilitat a la validesa dels resultats de la mesura, l'equip de mesura s'ha de:

- verificar o calibrar, o ambdós, a intervals especificats o abans d'utilitzar-lo, en correspondència amb patrons de mesura relacionats amb patrons de mesura internacionals o nacionals; quan no hi hagi aquests patrons, la base emprada per al calibratge o la verificació s'ha de conservar com a informació documentada;
- identificar per a determinar-ne l'estat;
- protegir dels ajustaments, els danys o els deterioraments que poguessin invalidar l'estat de calibratge i els resultats de mesura posteriors.

L'organització ha de determinar si la validesa dels resultats de mesura anteriors ha estat afectada negativament quan l'equip de mesura es consideri no adequat al seu propòsit i ha d'emprendre les accions pertinents quan sigui necessari.

FIGURA 2. Punt 7.1.5.2. de la norma UNE-EN ISO 9001:2015.

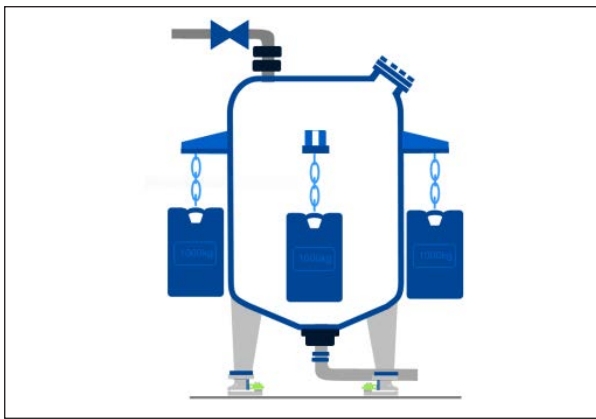


FIGURA 3. Esquema de calibratge amb masses.

Com que aquestes bàscules de tanc no acostumen a disposar d'una superfície adequada per a la col·locació dels pesos patró necessaris per a arribar a l'abast màxim, és habitual combinar l'ús d'una certa quantitat de pesos amb l'ús d'una càrrega de substitució, que habitualment és una matèria primera de les utilitzades en el procés de fabricació. En combinar càrregues de substitució i pesos, la incertesa òptima de mesura que s'obté és pitjor que l'obtinguda amb l'ús de pesos patró i podria ser un obstacle per a l'acceptabilitat del calibratge. A més, hi ha el condicionant que, en molts casos, cal rebutjar posteriorment el material que s'ha abocat dins del tanc com a càrrega de substitució.

En el cas de bàscules de tanc amb un abast superior a 500 kg, el calibratge utilitzant pesos patró resulta costós i, a vegades, gairebé impossible, ja que és imprescindible dotar el tanc d'un bastidor addicional per a col·locar els pesos mitjançant equips mecànics robustos d'elevació de pesos i sobretot cal garantir la seguretat per als tècnics de calibratge, per això els assajos de repetibilitat allarguen el temps de calibratge amb un impacte negatiu directe en el sistema de producció i els costos.

Per a calibrar bàscules de tanc per a pesatge de líquids, s'utilitza el mètode de transferència de material amb un cabalímetre com a instrument de referència, sobre la base del volum de líquid introduït en el tanc durant el procés (fi-

gura 4). Les dificultats d'aquest mètode rauen principalment en l'exactitud dels cabalímetres, que complica la determinació del volum de líquid introduït al tanc i, tal com hem comentat abans, en el fet que s'ha de rebutjar posteriorment, en alguns casos, el líquid transferit, sense oblidar el procés de selecció i la instal·lació del cabalímetre en el sistema d'alimentació de líquid a la bàscula de tanc.

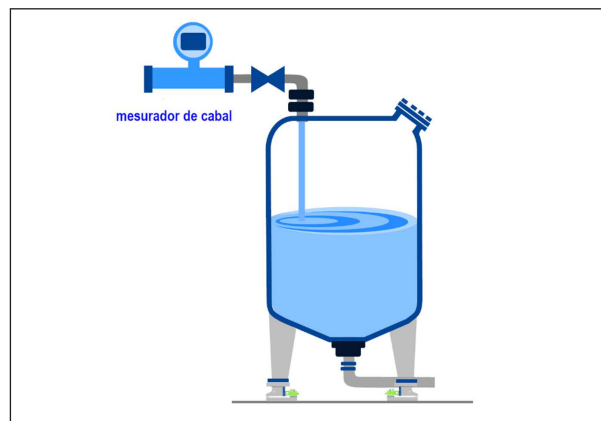


FIGURA 4. Esquema de calibratge amb cabalímetre.

En les últimes dècades s'han creat diversos enginyers basats en mitjans hidràulics. Existeixen patents basades en els principis d'empènyer amunt o avall i també d'estirar cap avall. Tots comparteixen el concepte d'utilitzar un o diversos actuadors hidràulics que apliquen una força coneguda sobre la bàscula que s'ha de calibrar, per tant, mesura de manera independent del sistema de pesatge instal·lat per al tanc. Fins ara cap d'aquests enginyers ha aconseguit un ús generalitzat.

3. Principi d'un mètode alternatiu de calibratge

El 2019, Mettler Toledo va introduir al mercat un mètode optimitzat per al calibratge de bàscules de tanc basat en el principi de tracció. Aquesta solució, anomenada *Rapid-Cal*, disposa de la patent [WO2020057034A1](#) (figura 5).

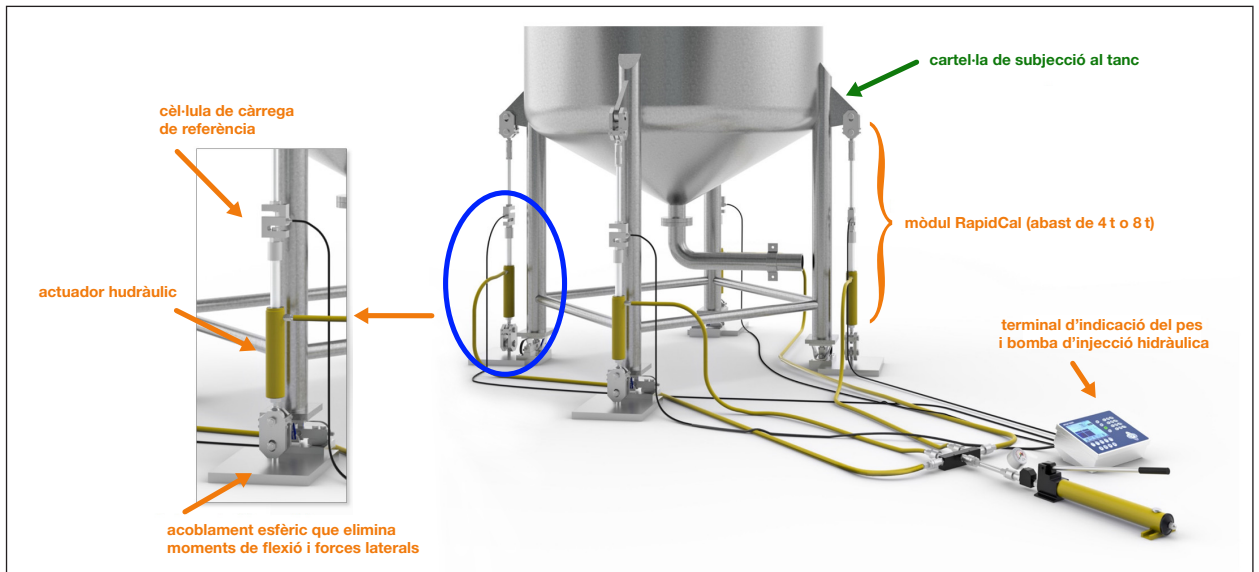


FIGURA 5. Esquema del mètode RapidCal.

El sistema RapidCal consta d'un a quatre mòduls formats per cilindres d'accionament hidràulic que es fixen tant al tanc com a l'estructura de suport d'una bomba hidràulica de maneig manual amb tubs de connexió i d'un terminal digital de pesatge. Cada cilindre hidràulic del mòdul es contrau i crea una força descendent sobre el dipòsit, que es mesura mitjançant un sensor de referència. Aquest sensor és una cèl·lula de càrrega tipus S que actua en mode de tracció, amb una càrrega màxima admissible de 4 t o de 8 t. Així doncs, la càrrega màxima directa de calibratge amb quatre mòduls pot ser de fins a 32 t.

La càrrega de calibratge pot ajustar-se lliurement amb la bomba manual per sobre d'una càrrega mínima de 500 kg. RapidCal pot aplicar-se a tancs de fins a una capacitat màxima equivalent a 32 t. En el cas de tancs amb capacitat de càrrega superior, la solució RapidCal pot combinar-se amb el mètode de substitució, amb el límit d'una única substitució i, per tant, l'abast màxim pot arribar fins a una capacitat de 64 t.

El terminal de pesatge RapidCal mesura els senyals in-

dividuals generats de cada cèl·lula de càrrega de referència i finalment treballa amb el senyal, suma de totes les cèl·lules com a referència en el procés de calibratge.

Les cèl·lules de càrrega de referència estan calibrades amb màquines de força i són traçables a la unitat de massa del sistema internacional (SI). Habitualment, el lloc de calibratge de les cèl·lules de càrrega de referència difereix del lloc d'utilització i, per tant, les variacions de la gravetat entre aquestes ubicacions són tingudes en compte per a la determinació del pes indicat en el terminal del sistema de calibratge.

Una consideració important per a assegurar els resultats del calibratge i minimitzar els efectes de les canonades connectades als tancs on l'estructura de suport o suspensió no sigui prou rígida és fixar cada mòdul RapidCal a una superfície robusta o a una estructura rígida independent (figura 6).

Les longituds dels dispositius de connexió mecànica dels actuadors hidràulics són ajustables i això permet una notable adaptabilitat al lloc d'ús del sistema (figura 7).

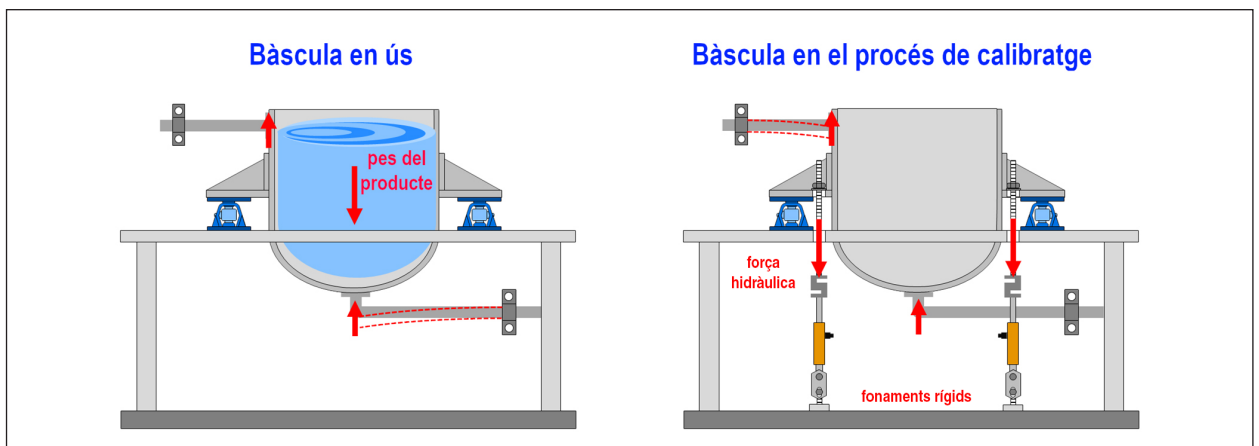


FIGURA 6. Esquema del sistema en ús, a l'esquerra, i en el procés de calibratge, a la dreta.

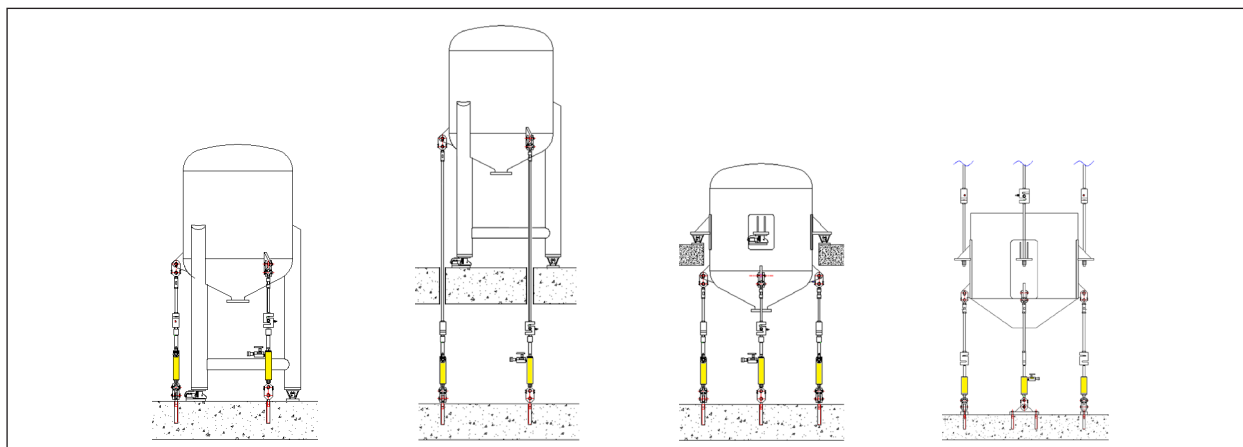


FIGURA 7. Altres exemples del muntatge per al calibratge de bàscules de tanc.

3.1. Incertesa de mesura del mètode proposat

El mètode RapidCal segueix la mateixa línia, en la mesura que és possible, que la guia EURAMET cg-18 v4.0[1], ja que se substitueixen les masses patró per cèl·lules de càrrega calibrades i, per tant, els efectes com ara la convecció o l'embranchada de l'aire sobre els pesos no tenen cabuda en aquest mètode. No obstant això, els efectes del valor de l'acceleració de la gravetat, de la variació de la temperatura, de l'arrossegament de les cèl·lules de càrrega, les contribucions derivades del muntatge, així com la resolució del sistema electrònic de referència, sí que es tenen en compte en el model. Els efectes de repetibilitat i resolució s'avaluen segons la guia citada.

Quan s'utilitza el mètode de pesos patró, per exemple, amb l'ús de masses de classe M1, la incertesa que aquestes masses aporten pot ser de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ kg/kg, per tant, no disposa d'unitats. Evidentment, cal afegir-hi la incertesa del sistema de pesatge sobre el qual el tanc s'usa i, si es combina amb càrregues de substitució, cal tenir en compte que cada substitució fa augmentar la incertesa final.

En condicions favorables, els valors de la incertesa eixamplada de calibratge utilitzant el sistema RapidCal oscil·len entre el 0,4 % respecte de la lectura de l'instrument, amb càrregues de calibratge baixes, i de l'ordre del 0,1 % respecte de la lectura de l'instrument en condicions ideals i per càrrega de calibratge màxim.

Per exemple, per a una bàscula de tanc amb un abast de 3 000 kg i una resolució d'1 kg, s'obtingria una incertesa de l'ordre d'1,2 kg per al punt de 300 kg, i aproximadament de 3 kg per al punt de 3 000 kg.

3.2. Validació del mètode

La validació del mètode RapidCal s'ha fet mitjançant exercicis de comparació amb el mètode tradicional usant pesos patró i el mètode proposat. Una mateixa bàscula de tanc recolzada sobre quatre cèl·lules de pesatge va servir com a patró de transferència, de manera que es va fer un

calibratge de 4 t de masses patró (on els punts de calibratge eren: 1 t, 2 t, 3 t i 4 t) i un altre calibratge amb el sistema de quatre mòduls RapidCal. La resolució de la bàscula era d'1 kg i la del sistema RapidCal era de 0,05 kg.

S'han avaluat les desviacions del resultat (diferència entre valors de les dues metodologies) i el resultat d'índex de compatibilitat (E_{rel}) de l'exercici, en què si el seu valor és inferior a 1, es considera que són compatibles. Els resultats obtinguts per a les desviacions van oscil·lar entre 0,1 kg i 0,6 kg, i per als valors de l'índex de compatibilitat van oscil·lar entre 0,02 i 0,15. Aquests resultats indiquen una compatibilitat òptima entre tots dos mètodes de calibratge.

A banda de la comparativa entre metodologies, en la validació del sistema també es va fer la prova de repetibilitat i de reproductibilitat. En la prova de repetibilitat de la bàscula utilitzant el sistema RapidCal amb 60 repeticions a 2 tones de càrrega, el resultat va ser una desviació típica de 0,33 kg, per sota de la resolució de l'instrument que era d'1 kg. La prova de reproductibilitat va consistir a avaluar diferents configuracions i personal tècnic en diverses repeticions. El resultat obtingut per a dues configuracions diferents i tres operaris diferents que van fer deu repeticions cadascun és una desviació estàndard de 0,71 kg, també per sota de la resolució de l'instrument.

4. Conclusions

En l'article s'ha presentat la nova metodologia per al calibratge de bàscules de tanc amb el mètode RapidCal, molt apropiat per a tancs de capacitat superior a 500 kg fins als de capacitat de 32 t, en què l'abast pot arribar fins a 64 t si s'utilitza una substitució amb material, per a evitar la problemàtica clàssica de la metodologia en masses patró.

Si es calibra una bàscula de tanc amb pesos patró, s'obté la millor incertesa de mesura, però aquestes bàscules de tanc no acostumen a disposar d'una superfície adequada per a poder col·locar els pesos patró necessaris per a arribar a l'abast màxim. De totes maneres, la solució alternativa de combinar una quantitat limitada de pesos amb diver-

ses combinacions de càrregues de substitució és costosa, requereix un temps més llarg i augmenta la incertesa final de calibratge.

La solució RapidCal, amb una incertesa de mesura menor que l'obtinguda amb el mètode de substitució, és acceptable per a la gran majoria de processos en què s'usen les bàscules de tanc.

Com a avantatges principals del mètode RapidCal podem indicar:

- Rapidesa: el calibratge utilitzant un sistema hidràulic per a generar força és extremadament ràpid.
- Menor cost total del calibratge: no és necessari desplaçar una gran quantitat de masses patró. Per a tancs amb capacitat de fins a 32 t, no requereix utilitzar càrregues de substitució, amb el consegüent estalvi en l'ús de producte per a la càrrega. Per a capacitats entre 32 t i 64 t, només requereix una única càrrega de substitució i, per tant, redueix el temps de calibratge en relació amb el mètode de pesos patró més diverses càrregues de substitució.
- Precisió relativa millor que el 0,1 % a partir de 5 t.

- Traçabilitat dels patrons al sistema internacional.
- Mètode acreditat conforme a ISO 17025:2017 per A2LA i per DAkkS.

No volem obviar els possibles desavantatges de la nova metodologia que són:

- Per a tancs de més de 32 t, obliga fins i tot a un increment de cost per l'ús de material per a una única càrrega de substitució.
- Requereix punts d'ancoratge en una estructura indeformable. Però es preparen per al primer calibratge i després serveixen per a tots els calibratges successius. Es disposa a més de l'assessorament tècnic del subministrador del servei de calibratge.

Referències

- [1] EURAMET. *Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments* [en línia], versió 4.0, 2015.