

ANNEX I

Procediments de Calibratge

a) Peu de rei	2
b) Micròmetre d'exteriors	11
c) Comparador	15

Procediments del calibratge

a) Peu de rei

Un calibratge complet constarà de tres tipus de mesures, tal i com hem vist, les que s'anomenen d'exterior, les d'interior i per últim de profunditat. Ara bé, es pot donar el cas que, ja sigui per exigències del client o bé perquè es considera que no és necessari, es prescindeix d'alguna d'elles, essent possible qualsevol configuració.

En síntesi, agafarem un nombre de blocs patró i els mesurarem amb el peu de rei que volem calibrar. Per tal d'afinar més el càlcul repetirem més d'una vegada la mesura de cada bloc. Per exemple, hem mesurat un bloc de 10 centímetres i la primera mesura ens dona 10,01, podríem dir que la desviació és de 0,01 centímetres, ara bé, per afinar més farem 3 repeticions que ens donaran 10,01 – 9,99 – 9,98, la mitjana d'aquests resultats s'aproximarà més a la desviació de l'aparell que no pas el primer resultat.

Un altra dada a tenir en compte és el nombre de patrons que utilitzarem així com la possibilitat d'escollir entre blocs patró i anelles en les mesures d'interiors.

En la variant de calibratge que s'emprarà per defecte (mesures exterior, interior i de profunditat) s'hi faran sis repeticions i s'empraran 5 blocs patró per a les mesures d'exterior, un bloc patró per a les mesures d'interior i un bloc també per a les de profunditat.

Tot seguit es presenta l'esquelet del procés. La clau del funcionament del programa de càlcul serà la possibilitat de cancel·lar o habilitar els passos d'aquest esquema en funció dels interessos del calibratge i mitjançant les opcions de selecció inicials. Això vol dir que caldrà realitzar taules dinàmiques que variïn el seu format en funció d'una decisió a una altra.

Un possible esquema del procediment seria el següent

- 1 Presa de decisions
 - 1.1 Característiques del dispositiu
 - 1.2 Tipus de mesures que s'han de prendre
 - 1.3 Nombre de repeticions
 - 1.4 Qualitat dels blocs patró que farem servir

- 2 Mesures i resultats parcials
 - 2.1 Mesures exteriors
 - 2.1.1 Tria de les mides dels blocs patró que utilitzarem
 - 2.1.2 Anotació de les mesures fetes
 - 2.1.3 Resultats d'aquestes mesures

 - 2.2 Mesures interiors
 - 2.2.1 Elecció entre blocs o anelles i la mida que tindran
 - 2.2.2 Anotació de mesures
 - 2.2.3 Resultats

 - 2.3 Mesures de profunditat
 - 2.3.1 Mida dels blocs patró
 - 2.3.2 Anotació de les mesures
 - 2.3.3 Resultats de les mesures

- 3 Full de resultats finals

- 4 Fulls de dades estables
 - 4.1 Incerteses dels blocs patrons en funció de la seva qualitat
 - 4.2 Paràmetres estables
 - 4.3 Llistat dels tipus de calibratge

Un cop vist l'esquema entrarem a desglossar-lo punt a punt:

1 Presa de decisions

1.1 Característiques del dispositiu

Per començar, cal especificar les característiques del peu de rei que serà calibrat, d'una banda, la seva mida, és a dir, fins on arriba la seva regla de mesura. Aquesta dada és important de cara a calcular unes mides de blocs patró escaients que s'ajustin a tot el marge de càlcul que té el nostre peu de rei. Aquests valors de patrons seran calculats i suggerits a l'usuari posteriorment, tot i tenint en compte que els ha de poder canviar si així ho creu convenient.

També cal especificar la resolució del peu de rei, en funció d'aquesta resolució (dels decimals) tractarem els resultats.

1.2 Tipus de mesures que s'han de prendre

Tot seguit haurem de crear un apartat que permeti escollir quin tipus de calibratge és farà, la opció que apareixerà per defecte serà exteriors, interiors i profunditat, però caldrà permetre que l'usuari esculli qualsevol de les combinacions possibles, aquestes seran les següents:

1. Exteriors – Interiors – Profunditat
2. Exteriors – Interiors
3. Exteriors – Profunditat
4. Interiors – Profunditat
5. Exteriors
6. Interiors
7. Profunditat

Caldrà tenir en compte que en funció de la que s'esculli el format del calibratge canviarà. El primer tipus de mesures de cadascuna de les configuracions anteriors es considerarà com la principal i la resta (ja siguin dues, una o cap) les secundaries. En tots 7 casos, les mesures principals consistiran en la presa de mesures en 5 blocs patró de diferents mides realitzant 6 repeticions amb cadascun d'ells.

Pel que fa als tipus de mesures secundàries es realitzaran amb un sol patró i repetint les mesures 6 vegades

Posem-ne un exemple, en el cas 1, la mesura principal (Exteriors) es realitzarà prenent mesures en 5 blocs patró de diferents mides i repetint aquestes mesures 6 vegades per cadascun d'ells. La mesura secundària d' Interiors la farem amb un sol bloc patró o una sola

anella i realitzant també 6 repeticions.

Per últim la mesura de Profunditat la faríem com l' anterior, amb un sol bloc patró i 6 repeticions.

1.3 Nombre de repeticions

Tal i com hem vist el nombre predeterminat serà de 6 repeticions en la mesura però cal que hi hagi l'opció a variar aquest paràmetre.

1.4 Qualitat dels blocs patró

Els graus aplicables al nostre laboratori seran des de grau 0 (el més precís) fins a grau 2, és a dir, no podem obviar aquesta dada ja que ha de ser un paràmetre que es pugui variar amb facilitat.

2 Mesures i resultats parcials

2.1 Mesures exteriors

2.1.1 Tria de les mides dels blocs patró que utilitzarem

Tal i com hem dit abans, en aquest punt se suggeriran uns blocs determinats ajustats al marge de càlcul del nostre peu de rei, no obstant això, introduïrem dues possibilitats a l'usuari. Per una banda, la possibilitat de variar els patrons, ja sigui perquè no es disposa d'ell al laboratori o perquè se'n creu més adient un altre. Per l'altra banda permetem afegir més blocs patró, a banda dels 5 que ja hi haurà d'entrada, així cobrim possibles revisions futures en el mètode de calibratge.

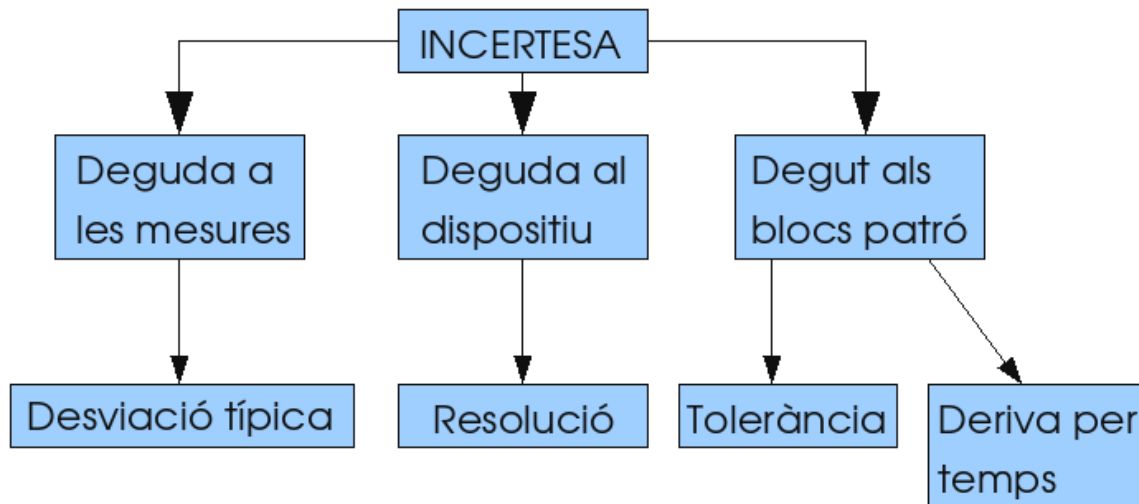
2.1.2 Anotació de les mesures preses

En aquest punt ja haurem configurat el calibratge d'exteriors i ja estarem en disposició de prendre les mides. El que ens caldrà doncs, és un full on anotar-les per tal que el programa faci el càlcul tot seguit. S'ha de tenir en compte que donades les opcions de variar tant, nombre de blocs patró com les repeticions aquesta taula variarà la seva mida en funció d'aquests paràmetres.

2.1.3 Resultats de les mesures d'exteriors

Per començar caldrà fer els càlculs que es deriven de la presa de dades, és a dir, la mitjana de cada tanda de repeticions i la desviació (o la seva inversa, la correcció) que existeix respecte el valor nominal del bloc de mesura.

En aquest apartat caldrà definir els càlculs per tal d'arribar al resultat final d'incertesa, les fonts possibles d'error que poden aportar incertesa són els que apareixen tot seguit.



Per començar trobem el terme degut a la desviació típica. La desviació típica o estàndard no és altra cosa que, la dispersió de les mesures del valor promig, és a dir, la variació esperada de les nostres mesures fetes amb el peu de rei, respecte la mitjana aritmètica d'aquestes. Per cada sèrie de repeticions de mesures haurem de calcular-la. La desviació típica es troba mitjançant la següent fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

La seva contribució a la incertesa serà

$$u_m = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Tot seguit trobem la incertesa introduïda per la resolució de l'aparell (el peu de rei en el nostre cas). Aquesta serà constant per a totes les mesures que fem, ja que l'aparell sempre és el mateix durant cada calibratge. La contribució a la incertesa serà la següent:

$$u_r = \frac{\text{resolució}}{2\sqrt{3}}$$

D' aquesta manera, només queda la incertesa aportada pels blocs patró. Primer, la seva tolerància, ens caldrà buscar els valors de tolerància corresponents a la taula i a partir d'aquest valor calcular la seva contribució a la incertesa

$$u_t = \frac{\text{Tolerància}}{\sqrt{3}}$$

Tot seguit fem el mateix amb la deriva per temps deguda al desgast del patró a partir de les equacions que tenim. Aquest resultat significarà l'error que introdueix el patró a causa del desgast d' un any, haurem de definir els anys que passen entre cada verificació d'aquest patró per tal de multiplicar el resultat per aquest nombre d'anys.

Deriva de grau K, 0 =	0,02µm	+	0.00025 L/mm
Deriva de grau 1, 2 =	0.05 µm	+	0.0005 L/mm

On L és la longitud del patró.

Per tant la seva contribució a la incertesa total serà:

$$u_{dt} = \frac{\text{DerivaTemps}}{\sqrt{3}}$$

La teoria ens diu que la incertesa combinada de diverses fonts d'error es representa amb la forma:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_p^2}$$

Per tant podem dir que en el nostre cas

$$u_{total} = \sqrt{u_m^2 + u_r^2 + u_t^2 + u_{dt}^2}$$

On les fonts d'error són, recordem, degudes a:

u_m degut a les mesures

u_r degut a la resolució de l'aparell

u_t degut a la tolerància del patró

u_{dt} degut a la deriva per temps del patró

La incertesa combinada, estimada a partir de l'equació anterior correspon a la desviació resultant de l'acció combinada de les diverses fonts d'incertesa. A partir d'aquest resultat cal cercar el que s'anomena incertesa expandida, per això aplicarem un nivell de confiança del 95%. Per tal d'assolir aquest nivell, el que caldrà fer serà multiplicar la nostra incertesa (u_c) per un coeficient numèric anomenat coeficient de Student (k)

$$U = k u_c$$

Es considera que U representa la incertesa expandida per a un nivell de confiança del 95%. Aquest coeficient k , vindrà donat pels graus efectius de llibertat. La teoria ens diu que quan el nombre de graus efectius de llibertat tendeix a infinit, la nostra k és 2, nosaltres prendrem $k=2$ quan aquests graus efectius de llibertat siguin majors de 50. Els calcularem mitjançant la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_i \frac{u(x_i)^4}{v_i}}$$

2.2 Mesures Interiors

2.2.1 Elecció entre blocs o anelles i la mida que tindran

Com hem vist abans, per a fer el calibratge en mesures interiors tan podem utilitzar blocs patró com anells metàl·lics. Això fa que en funció d'uns o altres puguin variar els càlculs de resultats. En el primer pas, doncs, ens limitarem a deixar una pestanya que permeti l'elecció d'un tipus de patró o altre i tot seguit, igual que en l'apartat anterior de mesures exteriors, una recomanació de les mides de patrons més adients i la possibilitat de variar-les a voluntat.

Una altra part important d'aquest apartat serà la variació en el nombre de patrons en funció del que s'esculli en el punt. Així doncs, depenent del tipus de calibratge que es triï hauran d'aparèixer 1 o 5 patrons per defecte. En el cas que tractem, que és el que s'empra normalment (Exteriors – Interiors – Profunditat) només hi haurà d'haver un sol patró per a fer les mesures d'interiors.

2.2.2 Anotació de les mesures

Tal i com hem vist en les mesures exteriors, aquest apartat constarà d'una taula on les columnes contindran la o les mides dels patrons i tantes columnes com repeticions s'hagin establert. Queda clar, doncs, que caldrà una taula que variï el seu format depenent d'aquestes variables

2.2.3 Resultats de les mesures

Tal i com hem vist, aquests càlculs s'hauran de fer a partir de les mesures preses amb un sol bloc patró. A grans trets, el càlcul de la incertesa no diferirà gaire del procediment que hem vist en l'apartat anterior, així doncs, cal trobar la incertesa combinada.

$$u_{total} = \sqrt{u_m^2 + u_r^2 + u_t^2 + u_{dt}^2}$$

Per tal de trobar-la obtenim cadascun dels termes d'error de la mateixa manera que hem fet abans.

Aquest càlcul de resultats d'interiors presenta un parell de particularitats. D'una banda, el càlcul de la correcció.

Per tal d'aproximar-la més el que farem serà, comparar-la amb la que hem obtingut en les mesures exteriors. Un cop fet això en farem la diferència.

A banda d'això, tindrem en compte el format dels càlculs quan es triï unes mesures amb anelles.

Les fonts que introdueixen error són similars. En primer lloc, incertesa deguda a les mesures, és a dir, la desviació típica, en segon lloc, les que son degudes a la resolució de l'aparell que hi segueixen essent perquè el dispositiu que calibrem és el mateix. Per últim, els errors deguts al patró de mesura, en aquest cas, anelles, a diferència d'abans aquesta incertesa ens ve donada pel mateix anell. Així doncs, la forma queda com la següent

$$u_{total} = \sqrt{u_m^2 + u_r^2 + u_a^2}$$

Posteriorment durem a terme el càlcul de la incertesa expandida tal i com hem vist abans.

2.3 Mesures de profunditat

2.3.1 Mida dels blocs patró

El programa suggereix uns blocs patró de la mida adient, recordem que tal i com passa en les mesures exteriors i interiors cal versatilitat a l'hora de deixar o no triar més patrons a l'usuari. En el cas que tractem, tan sols haurà d'aparèixer un bloc patró (amb la possibilitat de variar-ne la mida, això sí). En altres casos en seran cinc, tal i com hem vist en anteriors apartats.

2.3.2 Anotació de mesures

Tot seguit trobarem la taula dinàmica on introduïrem totes les mesures de profunditat.

2.3.3 Resultats de les mesures

Així doncs, aquí es duran a terme els càlculs a partir d'un sol bloc patró. Aquest apartat seguirà el mateix procediment que en mesures d'interiors vist anteriorment calculant l'incertesa combinada de les diverses fonts d'error (mesures, aparell i blocs patró) per tal de, tot seguit, calcular la incertesa expandida associada.

3 Full de resultats finals

En aquest full aglutinarem tots els resultats principals del calibratge, tot sota la condició de mantenir un mateix format independentment de les mesures que haguem decidit prendre.

4 Fulls de dades estables

L'apartat final fa referència a les dades estables, això s'ha fet pensant que serà bo definir quines dades seran variables en cada calibratge i quines seran fixes. Serà interessant definir-les ja que d'aquesta manera podrem crear un apartat on el programa vagi a buscar les dades sense la necessitat que s'hagin d'entrar cada vegada. A més, també és important que la possibilitat de modificacions d'aquestes estigui a l'abast de l'usuari.

4.1 Incerteses dels blocs patrons en funció de la seva qualitat

Aquí hi apareixerà la taula que conté els errors deguts a la tolerància dels blocs patró. Aquesta, mostra els valors en funció de la mida i el grau de qualitat del patró

Un cop hem vist el procediment i definits un per un els passos que se seguirà en el calibratge ens podem anar fent una idea de com crearem el programa de càlcul. Queda clar que volem una eina amb moltes opcions de configuració i que ens faciliti la feina.

b) Micròmetre d'exterior

Aquest procediment serà substancialment més curt que amb el peu de rei. Per començar no hi haurà la possibilitat d'escollir la variant del calibratge, això queda clar ja que els micròmetres només realitzen un tipus de mesures, en aquest cas es tracta d'un micròmetre destinat a mesures exteriors.

El que si que definirem, com hem fet abans serà el nombre de blocs patró que farem servir per defecte i les repeticions de la mesura que farem a cadascun d'ells.

Hi haurà dues opcions que vindran predeterminades, el tipus de calibratge "1" que constarà en agafar deu blocs patró diferents tot realitzant una sola repetició de la mesura en cada un i el tipus "2" que es farà amb cinc blocs patró i fent-hi deu repeticions a cada un.

L'esquema del procés és el següent:

- 1 Presa de decisions
 - 1.1 Característiques del dispositiu
 - 1.2 Tipus de calibratge
 - 1.3 Nombre de repeticions
 - 1.4 Qualitat dels blocs patró

- 2 Mesures i resultats parcials
 - 2.1 Tria de mides dels blocs patró
 - 2.2 Presa de les mesures
 - 2.3 Resultats

- 3 Resultats finals

1 Presa de decisions

1.1 Característiques del dispositiu

Començarem per definir les característiques bàsiques del micròmetre que cal calibrar. Per una banda, introduïrem el valor màxim de la seva escala i de l'altra la seva resolució o esglaió.

1.2 Tipus de calibratge

Definim dos variants de calibratge. Per compromís les definirem com, varietat de tipus 1 i varietat de tipus 2. Cadascuna segueix una configuració diferent, el primer es basa en agafar 10 blocs patró de diferents mides i realitzar una repetició en cada un d'aquests. El segon tipus, en canvi, estableix que s'han de fer mesures en dos blocs patró i realitzar 10 repeticions per cada un.

1.3 Nombre de repeticions

El procediment definit en el punt anterior sobre les restriccions de cada tipus de calibratge pot ésser alterat per l'usuari per tal de donar més flexibilitat al procediment, així doncs es podrà variar el nombre de repeticions que es faran sobre cada bloc patró.

1.4 Grau de qualitat dels blocs patró

Per últim caldrà definir el grau de qualitat dels blocs que utilitzarem per a calibrar, aquests patrons podran ser de grau 0,1 o 2.

2 Mesures i resultats parcials

2.1 Tria de mides dels blocs patró

Haurem de fer una tria de mesures que s'adaptin a tot el marge de mesures que té l'aparell cobrint-ne la major part possible i el màxim de repartits. El programa podra suggerir-ne les mides, tot i que la última paraula, l'haurà de tenir el tècnic que decideixi els blocs patró que utilitzarà, en funció de la seva disponibilitat al laboratori .

Aquestes mesures suggerides correspondran als següents fraccionaments.

Cas que es triï el tipus de calibratge 1:

Zero

1/10

1/5

3/10

2/5

1/2

6/10

7/10

9/10

màx

On max equival al valor d'abast màxim del micròmetre i les fraccions son aplicades a aquest mateix valor max.

En el cas de tipus 2:

Zero

2/15

1/3

2/3

max

A part de fixar quins blocs s'utilitzaran també cal permetre afegir o treure blocs patró.

2.2 Presa de mesures

Procedirem a prendre mesures en funció del tipus de calibratge que haguem triat, això determinarà els blocs patró que farem servir i la reiteració de mesures que aplicarem a cadascun d'ells. En el cas que fem un calibratge del tipus 1, per exemple, agafarem el primer dels 10 blocs patró que haguem escollit i el mesurarem amb el micròmetre una sola vegada, prenent nota de la mesura que marqui l'aparell i seguirem així fins a l'últim bloc patró.

2.3 Resultats

A partir de les mesures que ja hem pres hem d'extreure'n conclusions numèriques que ens ajudin a determinar l'error que presenta el dispositiu que pretenem calibrar. Seguirem el mateix procediment en el càlcul que el que s'ha exposat en el peu de rei.

3 Resultats finals

A partir dels resultats parcials que presenta cada tanda de mesures hem de destriar les de major importància i les que representen el cas més desfavorable, per tant, escollirem el valor més alt d'incertesa que serà representatiu per a totes les mesures que hem pres i que el càlcul de la seva incertesa es trobi per sota.

c) Comparador

Tot seguit passarem a exposar el procediment que se seguirà al laboratori a l'hora de calibrar

El primer pas, com en tots els altres calibratges és verificar l'abast màxim del comparador que anem a calibrar i la seva resolució.

En el cas del comparador ens podem trobar amb un calibratge mitjançant blocs patró, o bé fent ús d'un banc de mesures de precisió. Això afectarà en els càlculs finals d'incerteses ja que haurem de tenir en compte les fonts que ens introdueixen error en cada un dels dos casos.

Es realitzaran sempre dos tipus de mesura en aquest calibratge, les d'exactitud i les de repetibilitat.

Un cop haguem decidit quins blocs patró emprarem ja podrem passar a la presa de les mesures.

Les mesures d'exactitud es duen a terme fent dues sèries de mesures, per una banda, una d'ascendent, començant pel bloc patró més petit i acabant pel major, prenent una mesura a cada un i en segon lloc, una mesura descendent, del major al menor, mesurant una vegada cada bloc patró. Per defecte ho realitzarem amb 11 blocs patró de diferent valor que estiguin distribuïts al llarg de l'abast del comparador.

D'aquesta manera calculem ambdues desviacions, la creixent i la decreixent.

A continuació prendrem les mesures de repetibilitat, més similars a les que hem vist en el peu de rei i el micròmetre. Es tracta de repetir una mateixa mesura un cert nombre de vegades i anotar el resultat cada vegada, d'aquesta manera podem extreure quina és la seva desviació respecte el valor nominal del patró de la mesura.

Finalment ja hem d'extreure els resultats d'interès tenint en compte els factors que entren en joc en el càlcul d'errors.

A continuació se'n detalla l'esquema de procediment. No s'entra punt per punt ja que la majoria han estat descrits en apartats anteriors.

- 1 Presa de decisions
 - 1.1 Característiques del comparador
 - 1.2 Nombre de repeticions
 - 1.3 Selecció de patró
 - 1.4 Grau de qualitat

- 2 Mesures d'exactitud
 - 2.1 Tria dels blocs patró
 - 2.2 Presa de mesures

- 3 Mesures de repetibilitat
 - 3.1 Tria dels blocs patró
 - 3.2 Presa de les mesures

- 4 Resultats parcials

- 5 Resultats finals

- 6 Dades estables i tolerància dels patrons